

Liebe Leserin, lieber Leser,

die OTH Amberg-Weiden forscht vernetzt, erfolgreich und zukunftsorientiert. Antworten auf aktuelle gesellschaftliche und technologische Herausforderungen unserer Zeit – wie Digitalisierung oder Energiewende - werden durch Forschung und Innovation adressiert, in einer Vielfältigkeit an Projekten aufgegriffen und vorangetrieben. Das spiegelt sich auch in den Leitthemen wider, in denen sich die Forschungsprojekte an der OTH Amberg-Weiden einordnen lassen: Produktion und Systeme, Information und Kommunikation, Energie und Mobilität, Lebenswissenschaften und Ethik. Als wichtige disziplinübergreifende Querschnittstechnologien stehen die Sensorik und die Digitalisierung im Zentrum der Forschungsaktivitäten. Erfolgreiche lösungs- und entwicklungsorientierte Forschung baut nicht nur auf umfangreiches Know-How, sondern auch auf die Vernetzung mit regionalen und überregionalen Industriepartnern. Ein Baustein ist der PartnerCircle der OTH Amberg-Weiden als ein Netzwerk mit heute 28 Mitgliedsunternehmen im Wesentlichen aus der Oberpfalz. Diese starke Partnerschaft geht gemeinsam die Herausforderungen der Digitalisierung sowohl in der Forschung als auch in der praxisorientierten Ausbildung aktiv an und nutzt die Chance für eine nachhaltige Stärkung der Region.

Der vorliegende Forschungsbericht der OTH Amberg-Weiden bietet mit seinen insgesamt 32 Beiträgen einen beeindruckenden Einblick in Projekte und Forschungsergebnisse über alle fachlichen Disziplinen und Themenfelder unserer Hochschule hinweg. Einige Meilensteine des vergangenen Forschungsjahres möchten wir gerne herausstellen:

Um wissenschaftlichen Nachwuchs noch besser zu fördern und Promotionen in Zusammenarbeit mit Universitäten zuverlässiger zu gestalten, wurden in 2017 bayernweit BayWISS-Verbundkollegs gegründet. Auf der Basis gemeinsamer Forschungsvorhaben von Universität

und Hochschule für Angewandte Wissenschaften wird der Weg für eine Promotion für beide Hochschulen kollegbasiert und strukturiert. Die OTH Amberg-Weiden ist mit dem Forschungsschwerpunkt Energie zusammen mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und der Technischen Hochschule Nürnberg Trägerhochschule des BayWISS-Verbundkollegs Energie. Auch im Bereich Gesundheit können hervorragende Absolventinnen und Absolventen im Rahmen von Verbundpromotionen zukünftig noch besser unterstützt werden, da die OTH Amberg-Weiden Mitglied im BayWISS Verbundkolleg Gesundheit ist.

Unternehmen fast aller Wirtschaftsbereiche sind durch die fortschreitende Digitalisierung und Technologisierung tiefgreifenden Veränderungen unterworfen, die Anpassungen an sich rasch verändernden Rahmenbedingungen erfordern. Mit neuen grundständigen Bachelorstudiengängen und konsekutiven sowie berufsbegleitenden Masterstudiengängen wie „Medieninformatik“ (B.Eng.), „Industrie 4.0 Informatik“ (B.Eng.), „Digital Business“ (M.Sc.), „Digital Business Management“ (MBA), „Technologiemanagement 4.0“ (MBA), „Angewandte Wirtschaftspsychologie“ (M.A.) und „Steuerrecht und Steuerlehre“ (LL.M.) weitet die OTH Amberg-Weiden ihr breit gefächertes Studienangebot deutlich aus und kann somit die Absolventinnen und Absolventen auf ihr zukünftiges Berufsleben optimal vorbereiten. Die OTH Amberg-Weiden leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen und zur weiteren positiven Entwicklung der Region.

Mit der Eröffnung des E-Houses auf dem Campus der OTH Amberg-Weiden im November 2017 wurde ein weiterer Meilenstein für die Bündelung und den Ausbau der digitalen Kompetenz in der Region geschaffen. Neben Wirtschaftsunternehmen wird die Hochschule mit ihren Digitalisierungsprojekten einziehen. Aufbauend auf der

umfangreichen Erfahrung der OTH Amberg-Weiden im Bereich E-Commerce und in den damit verbundenen Geschäftsmodellen und Strategien werden – angesiedelt im E-House – in den Forschungsbereichen E-Commerce und Digital Business das Anwenderverhalten speziell im Online-Handel erforscht. Einen Teil des E-House-Konzeptes bildet die Digitale Gründerinitiative Oberpfalz (DGO), die Gründerinnen und Gründer bestmöglich dabei unterstützt erfolgreiche Unternehmen in der Digitalisierung aufzubauen. Auch Teilgebiete der Medizintechnik werden in das E-House einziehen.

Zusammen mit allen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften und Universitäten der Oberpfalz und Niederbayerns wird die OTH Amberg-Weiden im Projekt „Transfer und Innovation in Ostbayern (TRIO)“ den forschungsbasierten Wissens- und Technologietransfer in der Region Ostbayern ausbauen und erweitern. Das Ziel des Transfervereines ist es, mit Partnern der Wirtschaft und Gesellschaft noch mehr Sichtbarkeit der Hochschule in der Region und eine weitere Professionalisierung bereits bestehender Kooperationen zu erreichen. Für diesen flächendeckenden Wissens- und Technologietransfer wurden dem Hochschulverbund vom Bundesministerium für Bildung und Forschung über einen Zeitraum von 5 Jahren ca. 14 Millionen Euro in Aussicht gestellt.

Angewandte Forschung an der OTH Amberg-Weiden bedeutet auch vernetzte, grenzüberschreitende Zusammenarbeit. Die OTH Amberg-Weiden hat bereits ein ausgedehntes Kooperationsnetzwerk, bestehend aus inzwischen 13 Hochschulen und Universitäten in Mitteleuropa. Die Zusammenarbeit umfasst mehrere Forschungsprojekte mit Partnern in Tschechien sowie Studiengänge und Sprachangebote mit Fokus auf Mitteleuropa. Auf diesen umfassenden Grundlagen wird, mit Förderung des Freistaates Bayern, ein OTH-AW Kompetenzzentrum Bayern – Mitteleuropa (MOE) aufgebaut. Unter anderem werden die Sprachangebote ausgebaut, die in der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit von entscheidender Bedeutung sind.

Diese wenigen Beispiele sowie die folgenden Beiträge des Forschungsberichtes zeigen die Vielfalt der Themen in der Forschung an der OTH Amberg-Weiden. Allen gemeinsam ist die kontinuierliche Stärkung der Innovationskraft der Region sowie die Rückkopplung in eine hochaktuelle und den Bedürfnissen unserer Zeit angepasste Ausbildung unserer Studierenden. Unser Dank gilt den Forscherinnen und Forschern und allen Beteiligten für ihr herausragendes Engagement. Wir wünschen eine spannende Lektüre und freuen uns, wenn weitere forschungsbasierte Kooperationen entstehen.



Prof. Dr. Andrea Klug

Präsidentin der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden



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. Alfred Höß

Vizepräsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden/
Wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Angewandte Forschung



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Technologietransferbeauftragter der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Dear Readers,

At the OTH Amberg-Weiden, research is networked, successful and future-oriented. Answers to current social and technological challenges of our time – as digitalisation or energy transition – are addressed by research and innovation and taken up and promoted by a wide variety of projects. This is also reflected in the main issues classifying the research projects of the OTH Amberg-Weiden: Production and Systems, Information and Communication, Energy and Mobility, Life Sciences and Ethics. Research activities are also focussing the multidisciplinary cross-sectional technologies sensor technology and digitalisation. Successful solution- and development-oriented research not only builds on extensive know-how but also on the networking with regional and supraregional industrial partners. The PartnerCircle of the OTH Amberg-Weiden, a network of today 28 member companies mainly from the Oberpfalz (Upper Palatinate), is an integral part of this cooperation. Together, this strong partnership confronts actively the challenges of digitalisation as well in research as also in practice-oriented education and uses the opportunity to strengthen and sustain the region's economic base.

The present research report of the OTH Amberg-Weiden with its total of 32 contributions provides an impressive insight into projects and research results across all subject areas and topics of our university. In the following, we would like to highlight some milestones of the last research year:

In order to better promote young scientists and make doctoral projects more reliable in terms of cooperation between universities, „BayWISS-Verbundkollegs“ (network of Bavarian universities and universities of Applied Sciences) were founded state-wide in 2017. On the basis of joint research projects of the university and the university of Applied Sciences, the way to a doctoral dissertation will become network-based and structured for both

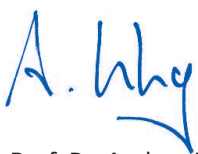
universities. The OTH Amberg-Weiden with its research focus on Energy is, together with the Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) and the Technische Hochschule Nürnberg (Technical University of Nuremberg), the supporting university of the “BayWISS-Verbundkolleg Energy”. Even in the health sector, better support can be provided for excellent graduates in the context of networked doctoral projects, as the OTH Amberg-Weiden is a member of the “BayWISS-Verbundkolleg” Health.

Owing to the ongoing process of digitalisation and technologisation, companies from almost all economic sectors are undergoing fundamental changes necessitating adaptations to the rapidly changing frameworks. With the introduction of new, basic bachelor courses and consecutive as well as part-time Master courses like “Medieninformatik” (Media Informatics) (B.Eng.), “Industrie 4.0 Informatik” (Industrie 4.0 Informatics) (B.Eng.), “Digital Business” (M.Sc.), „Digital Business Management (MBA), „Technologiemanagement 4.0“ (Technology Management) (MBA), „Angewandte Wirtschaftspsychologie“ (Applied Economic Psychology) (M.A.) and „Steuerrecht und Steuerlehre“ (Fiscal Law and Fiscal Theory) (LL.M.), the OTH Amberg-Weiden significantly enlarges its wide range of course offerings, thus preparing the graduates for an optimal start into their professional career. Thereby, the OTH Amberg-Weiden adds an essential contribution to the strengthening of the companies' innovative capacity and to the continued positive development of the region. Another milestone for the bundling and development of digital literacy in the region was created with the opening of the E-House on the OTH Amberg-Weiden campus in November 2017. Besides commercial enterprises, the university will move in with its digitalisation projects. Building on the extensive experience of the OTH Amberg-Weiden in the field of e-commerce and the related business models and strategies, the user behaviour especially in the field

of online-trading is analysed by the research areas E-Commerce and Digital Business in the E-House. A part of the E-House concept is formed by the „Digitale Gründerinitiative Oberpfalz (Digital Start-up Initiative Upper Palatinate)“, which supports new entrepreneurs in the best possible way to build up successful companies focussing digitalisation. Partial areas of Medical Technology will also move into the E-House.

With the project „Transfer und Innovation in Ostbayern (TRIO)“ (Transfer and Innovation in Eastern Bavaria), the OTH Amberg-Weiden will, together with all universities for Applied Sciences and universities of the Upper Palatinate and Lower Bavaria, upgrade and expand the research-based transfer of knowledge and technologies in the region of Eastern Bavaria. Along with partners from the socio economic sector, the transfer association aims at increasing the university’s visibility in the region and at a further professionalization of already existing cooperations. In order to implement this comprehensive transfer of knowledge and technologies, the Federal Ministry of Education and Research raised the prospect of approx. 14 million Euros over a 5-year period for the university network.

Applied research at the OTH Amberg-Weiden also means a networked, cross-border cooperation. The OTH Amberg-Weiden already maintains an extensive partner network of by now 13 colleges and universities in Central Eastern Europe. The cooperation comprises several research projects with partners in the Czech Republic as well as degree courses and language course offerings focussing Central Eastern Europe. Building on these broad foundations and with the support of the Free State of Bavaria, an „OTH-AW Kompetenzzentrum Bayern – Mitteleuropa (MOE)“ (OTH-AW Competence Center Bavaria – Central Eastern Europe) is being established. Amongst others, the language course offerings, which are of vital importance for a cross-border cooperation, will be extended. These few examples as well as the following contributions of the research report show the variety of issues in research at the OTH Amberg-Weiden. All of them contribute to the ongoing strengthening of the region’s innovative capacity and feed back into an up-to-date education of our students, which is adapted to the needs of our time. We would like to express our thanks to the researchers and all those involved for their outstanding commitment. We wish you a stimulating read and would be glad to establish further research-based cooperations.



Prof. Dr. Andrea Klug

President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden



Ltd. RD Ludwig von Stern

Chancellor of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden/
Chairman of the Technologie-Campus an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden e.V.



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Vice-President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden/
Scientific Director of the Institut für Angewandte Forschung



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

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

Vorwort	3	Energie und Mobilität	
Digitalisierung		Optimierte Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien für Blockheizkraftwerke	38
ISAC@OTH-AW – Industrie 4.0 für den Mittelstand	10	Raphael Lechner, M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O’Connell Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Meierhofer Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch	
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl Prof. Dr. Dieter Meiller Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk Dipl.-BW (FH) Natalia Batcheller Benedikt Bräutigam, M.Eng. Bernd Gerlang, M.Eng. Christoph Haller, M.Eng. Florian Schöler-Niewiera, M.Eng.		Vermessung und Strömungssimulation von Kleinwindenergieanlagen	43
Bedrohungen durch scheduling-basierende Angriffsszenarien im Automotive-Bereich	15	Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer Daniel Hummel, M.Sc. Peter Stüber, B.Eng.	
Tobias Nickl Benjamin Weigl Prof. Dr. Andreas Aßmuth		Experimental Investigation of the Characteristics of a Radial Cantilever Turbine for Small Scale ORC Plants	48
Using Interactive Visualizations to analyze influences of climate on industrial production	23	Prof. Dr. Andreas P. Weiß Jonas Müller Tobias Popp, M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Josef Hauer Dr.-Ing. Markus Preißinger Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann	
Prof. Dr. Dieter Meiller		Experimental Investigation of Dual-Fuel Operation with Biomethane and various Pilot Fuels using different Compression Ratios	54
Reproduktion und Minimierung von Metallartefakten in der digitalen Volumetomographie	27	Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch Raphael Lechner, M.Sc. Andreas Röhl, M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O’Connell	
Andrea Fleischer, B.Eng. Manuel Stich, M.Sc. Anne Slawig, M.Sc. Prof. Dr. Dr. Tim Krafft Prof. Dr. Ralf Ringler		Development of a tool for passive monitoring a vehicle-to-server communication	62
Virtuelle Produktentwicklung für Drug Delivery Devices und Primärverpackungen	34	Philipp Heß, B.Eng. Josef Schmid, M.Sc. Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß	
Prof. Dr. Franz Magerl Dominik Süß, B.Eng.			

Routenplanung für Elektrofahrzeuge.....	67	Personalwesen in der Region – Quo vadis?.....	114
Stefan Stiegler, B.Eng.		Ibrahim Kaçmaz, M.A. HRM	
Sebastian Wieland, B.Eng.		Dr. Gabriele Murry, MBA (USA), MHR (USA)	
Heike Lepke, M.Eng.		Prof. Dr. Bernt Mayer	
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß			
Information und Kommunikation			
Einsatzmöglichkeiten von Internet of Things Kommunikationstechnologien in der kontaktlosen Energie- und Datenübertragung	75	Der Verbleib von MINT-Studierenden in den ersten vier Hochschulse mestern – Eine Studienverlaufsanalyse (SVA) in ausgewählten MINT-Studiengängen an den Ostbayerischen Technischen Hochschulen (OTH) Amberg-Weiden und Regensburg	119
Andreas Fuchs, M.Eng.		Dipl.-Sozialwirt (Univ.) Bernd Rager	
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt			
Cand. Ing. Tobias Andersch			
Cand. Ing. Martin Biehler			
Testautomatisierung für PROFINET-Geräte durch modernes Testkonzept	79	Was kostet die Bargeldabschaffung?	126
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt		Prof. Dr. Gerhard Rösler	
Alexander Gercikow, M.Eng.		Prof. Dr. Franz Seitz	
Julian Rost, M. Sc.		Karl-Heinz Tödter	
Lebenswissenschaften und Ethik			
Hygiene und Medizintechnik – Entwicklung technischer Lösungen zur Reduzierung behandlungsassoziierter Infektionen.....	83	Entwicklung eines Modells zur Nachhaltigkeitsberechnung	131
Dr. rer. nat. Sebastian Buhl		Prof. Dr. Bernhard Bleyer	
Sebastian Käs, M.Sc.		Heike Vogel-Pöschl, M.Sc.	
Alexander Stich, M.Sc.			
Christopher Fleischmann, M.Sc.			
Sabrina Reiml, M.Sc.			
Sabine Gruber, B.Eng.			
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta			
Entwicklung einer Vorrichtung zur automatisierten Blutprobenentnahme für den akkurateren Einsatz personalisierter Medizin	90	Produktion und Systeme	
Marius Kaspers, B.Eng.		 	
Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen		Hybride Fertigung komplexer Kunststoffteile – Kombination aus „3D-Druck“ und Zerspanung	
Different modulation of the descending control during pain itch	95	Christoph Haller, M.Eng.	
Prof. Dr. Ralf Ringle		Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl	
Prof. Dr. Clemens Forster		 	
Der Einfluss unterschiedlicher Audiogestaltung bei gleichem Bewegtbild	99	Laser structuring of plastics mould-steels	
Prof. Dipl.-Ing. Maximilian Kock		Dominik Will, B.Eng.	
ISEK als neuer Weg der kommunalen Entwicklungsplanung – Handlungskonzepte für Kommunen.....	105	Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen	
Prof. Dr. Reiner Anselstetter		 	
Dr. Wolfgang Weber		Alterssimulation im industriellen Umfeld	
Sensorik			
		Magnetic Diagnostic for Low Voltage Switchgear	
		Christian Reil, M.Eng.	
		Matthias Meier, B.Eng.	
		Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt	
		Prototypenentwicklung eines ph-Sensors auf Basis protonenleitender Metalloxide.....	
		Helmut Hartmann, M.Eng.	
		Sebastian Chalupczok, M.Eng.	
		Prof. Dr. Peter Kurzweil	

**Migration lebensmittelschädlicher Stoffe aus
Kartonverpackungen und Dosen:
Angewandte Infrarot- und Massenspektrometrie167**
Prof. Dr. Peter Kurzweil
Dominik Strobel, B.Eng.
Bastian Stierstorfer, B.Eng.

**Flüchtige organische Schadstoffe im Shisha-Rauch:
eine umweltanalytisch-toxikologische Studie171**
Prof. Dr. Peter Kurzweil
Christoph Pöhlmann, B.Eng.
Leonhard Waldmüller, B.Eng.

**Untersuchung elektrochemischer Vorgänge
mithilfe einer Quarzmikrowaage175**
Dipl.-Phys. Christian Schell
Prof. Dr. Peter Kurzweil

**Einfluss multipler Läsionen bei der Detektion
von Sentinel-Lymphknoten.....179**
Prof. Dr. Ralf Ringler
Katharina Gmey, B.Eng.
Manuel Stich, M.Sc.

Studienangebot der OTH Amberg-Weiden 184

Inserentenverzeichnis 185

Impressum 186

ISAC@OTH-AW – Industrie 4.0 für den Mittelstand

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl
Prof. Dr. Dieter Meiller
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt
Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk
Dipl.-BW (FH) Natalia Batcheller
Benedikt Bräutigam, M. Eng.
Bernd Gerlang, M. Eng.
Christoph Haller, M. Eng.
Florian Schöler-Niewiera, M. Eng.

Zusammenfassung

Forschung und Entwicklung im Fahrwasser der Industrie-4.0-Initiative richten sich bislang vor allem an Großunternehmen. Kleinere Unternehmen laufen hier Gefahr, den Anschluss zu verlieren. Im Rahmen des fakultätsübergreifenden Projektes „Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden“ (ISAC@OTH-AW), gefördert durch die Initiative BAYERN DIGITAL, zielen die Forschungsanstrengungen der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden darauf ab, die Vorteile von Industrie 4.0 auch mittelständischen Unternehmen zugänglich zu machen.

Abstract

The focus of Industry 4.0 research and innovation has thus far been mostly on large companies; smaller companies run the risk of being left behind. The objective of the “Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden” (ISAC@OTH-AW) research project, financed by the BAYERN DIGITAL initiative, is to make the benefits of Industry 4.0 accessible to small and medium-sized companies.

Einleitung

Derzeit fokussieren namhafte Institute und Einrichtungen ihre Forschungsaktivitäten im Zuge der Industrie-4.0-Initiative der Bundesregierung vor allem auf Großunternehmen aus z. B. dem Automotive-Bereich. Die Einsatzmöglichkeit in kleinen und mittelständischen Unternehmen spielt in der Regel nur eine untergeordnete Rolle. Kleine finanzielle und zeitliche Budgets setzen hier oftmals sehr enge Grenzen für Entwicklungen, was eine zusätzliche Herausforderung darstellt. Innerhalb des kooperativen Forschungsprojektes ISAC@OTH-AW wollen vier Professoren und ihre Teams aus den Fakultäten Maschinenbau/Umwelttechnik sowie Elektrotechnik, Medien und Informatik nun eben diesen kleinen und mittelständischen Unternehmen Möglichkeiten aufzeigen, wie sie von Industrie 4.0 profitieren können. Professor Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl beschäftigt sich u. a. mit der Entwicklung eines Expertensystems zur Bewertung und Weiterentwicklung innovativer Fertigungsverfahren und Materialien (Teilprojekt 1). Die Entwicklung von Methoden zur Effizienzsteigerung in der Modellerstellung für die digitale Fabrik ist Gegenstand der Bemühungen von Professor Dr.-Ing. Matthias Wenk (Teilprojekt 2). Professor Dr.-Ing.

Hans-Peter Schmidt beschäftigt sich mit dezentralen „Low Cost“-Steuerungen und echtzeitfähigem Industrial Ethernet für Industrie 4.0 (Teilprojekt 3). Die Datenanalyse und Entwicklung neuartiger Bedienkonzepte zur Steuerung und Überwachung von digitaler Produktion ist das Thema, das Professor Dr. Dieter Meiller im Rahmen des Projektes bearbeitet (Teilprojekt 4). Das Projekt ist auf eine Laufzeit von sechs Jahren angelegt und wird durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie gefördert. Das gesamte Projektvolumen beläuft sich auf 3,7 Millionen Euro.

Teilprojekt 1: Entwicklung eines Expertensystems zur Bewertung und Weiterentwicklung innovativer Fertigungsverfahren und Materialien

Ziel von Teilprojekt 1 ist die Entwicklung und Erprobung eines Expertensystems zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz von konventionellen wie auch innovativen Herstellungsprozessen. Kern des Expertensystems sind dabei Kennzahlensysteme mit verfahrensspezifischen Key Performance Indicators (KPIs), die auf Basis von Grundlagenversuchen für die jeweiligen Fertigungsverfahren entwickelt werden. Dies erfolgt im

Rahmen einzelner Arbeitspakete, in denen jeweils ein Fertigungsverfahren in der Praxis Anwendung findet, um dessen Prozesseigenschaften und -parameter umfassend im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Energieverbrauch zu analysieren [1].

Im bisherigen Projektverlauf wurden zum einen bereits vorhandene Daten aus Benchmarkversuchen analysiert und zum anderen das Fertigungsverfahren Fräsen und dessen entsprechende Prozessparameter einer detaillierten Grundlagenuntersuchung unterzogen. Basierend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen konnte im Anschluss daran ein Kennzahlensystem für Fräsprozesse entwickelt werden. Dies ermöglicht es, Fräsprozesse anhand weniger KPIs bezüglich der Werkzeug-, Maschinen- und Energiekosten zu beurteilen und die Einflüsse von Prozessgrößen auf die Wirtschaftlichkeit verschiedener Frässtrategien herauszuarbeiten [2, 3].

Analog zum Fräsen werden im folgenden Projektverlauf weitere Kennzahlensysteme für die Fertigungsverfahren Drehen, Bohren zuzüglich Gewinden und Reiben sowie auch für additive Verfahren entwickelt. Die Kombination aller Kennzahlensysteme zu einer gemeinsamen Plattform soll es Unternehmen letztendlich ermöglichen, ihre bestehenden oder zukünftigen Fertigungsprozesse einer wettbewerbsübergreifenden Bewertung bezüglich Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz zu unterziehen und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Zudem können anhand der KPIs bereits im Voraus die zu erwartenden Prozess-, Energie-, Maschinen- sowie Werkzeugkosten abgeschätzt und somit die Fertigung bereits von Anfang an detailliert geplant werden. Am Ende des Projektes soll ein Leitfaden zur zielgerichteten Implementierung des Expertensystems in kleinen sowie größeren Unternehmen erstellt werden [1].

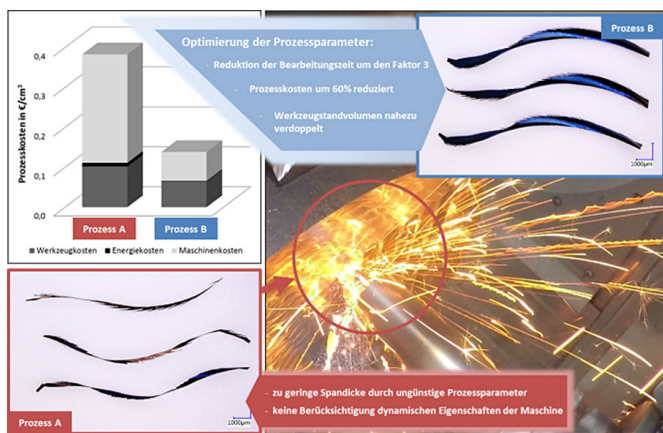


Abbildung 1: Gegenüberstellung der Kostenanteile zweier Fräsprozesse

Teilprojekt 2: Entwicklung von Methoden zur Effizienzsteigerung in der Modellerstellung für die digitale Fabrik

Um die komplexer werdenden Entwicklungsprozesse auch in Zukunft beherrschen zu können, gewinnt der Einsatz simulationsbasierter Hilfsmittel zunehmend an Bedeutung. Die Simulation ermöglicht entscheidungsrelevante Untersuchungen, lange bevor die Anlage realisiert wird. Es können Planungsvarianten bewertet werden, Angaben zur späteren Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit gewonnen werden, Risikofaktoren identifiziert werden und die Anlage virtuell in Betrieb genommen werden, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Voraussetzung ist die Erstellung geeigneter Simulationsmodelle, die das reale Verhalten der Anlage abbilden. Der Einsatz der Simulationstechnik ist jedoch nur dann sinnvoll und wirtschaftlich, wenn die Aufwände für die Modellerstellung den Nutzen nicht übersteigen.

Gerade kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sehen durchaus die Vorteile des Simulationseinsatzes, schrecken aber vor den Aufwänden zurück. Um den Simulationseinsatz auch in KMU zu fördern, müssen die Toolchains intuitiv benutzbar und die Prozesse weitgehend automatisiert durchführbar sein. Das Teilprojekt „Entwicklung von Methoden zur Effizienzsteigerung in der Modellerstellung für die digitale Fabrik“ liefert dazu einen wichtigen Beitrag. Das Gesamtkonzept basiert auf dem Aufbau eines Komponentenbaukastens, der parametrierbare Simulationskomponenten enthält. Aus diesen Simulationskomponenten kann durch Verknüpfung und Parametrierung aufwandsminimal und effizient ein Simulationsmodell für den Anlagen- und Maschinenbau erstellt werden. Der Einsatz eines Komponentenbaukastens erleichtert die Modellerstellung bereits deutlich. Ein weiterer Effizienzhub wird nutzbar, wenn die Modellerstellung weitgehend automatisiert erfolgen kann. Dazu werden Methoden auf Basis von Planungsdaten entwickelt. Damit kann dann quasi auf Knopfdruck ein leistungsfähiges Simulationsmodell für die Simulation von Produktionsanlagen erstellt werden. Der Modellierungsaufwand und damit die Kosten für die Modellerstellung können deutlich reduziert werden. Damit wird es auch kleinen und mittelständischen Unternehmen ermöglicht, moderne Simulationstechnologien im Produktionsumfeld einzusetzen.

Teilprojekt 3: Dezentrale „Low Cost“-Steuerungen und echtzeitfähiges Industrial Ethernet für Industrie 4.0

In diesem Teilprojekt werden dezentrale modulare Komponenten für „Low Cost“-Lösungen im Industrie-4.0-Umfeld entwickelt, ihre Eigenschaften untersucht und die Leistungsfähigkeit mit einer Demonstrationsanlage verifiziert. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf „Low-Cost“-Steuerungen, die durch Adaption aus Open-Source-Projekten für den Einsatz durch KMU ertüchtigt werden. Ein weiterer

Schwerpunkt liegt in der industriellen Kommunikation. Hier werden zwei Aspekte untersucht: zum einen die kontaktlose Energie- und Datenübertragung für hochflexible Fertigungsanlagen und zum anderen eine kostengünstige Realisierung durch Zweidraht-Ethernet. Im bisherigen Projektverlauf wurden zehn Module mit modernster Industrie-4.0-fähiger Steuerungstechnik konzipiert, aufgebaut und in Betrieb genommen. Ein Teil der Module wurde mit einer selbst entwickelten Fördertechnik ausgestattet, die als Nachbildung von Intralogistikanwendungen dient.

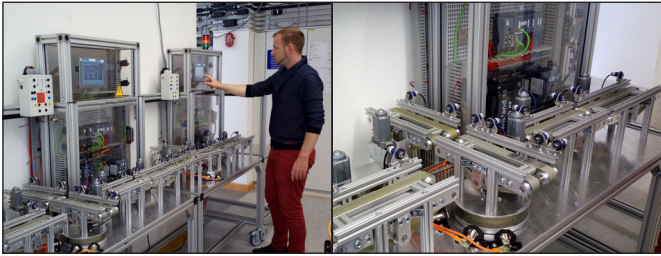


Abbildung 2: Industrie-4.0-Module als Intralogistikanwendung

Für die kontaktlose Energie- und Datenübertragung wurde eine neue Übertragungsstrecke aufgebaut und in Betrieb genommen. Mit der Übertragungsstrecke können unterschiedliche Konzepte für die Energie- und die Datenübertragung weiter untersucht werden. In Versuchen konnten bereits erfolgreich erste Datenübertragungen durchgeführt und gleichzeitig Energie übertragen werden.



Abbildung 3: Industrie-4.0-Module als Intralogistikanwendung

Teilprojekt 4: Datenanalyse und Entwicklung neuartiger Bedienkonzepte zur Steuerung und Überwachung von digitaler Produktion

In modernen digitalen Fabriken werden Produktionsanlagen bereits überwacht und ferngesteuert. Für das Monitoring und die Steuerung werden dabei große Datenmengen generiert und an die Maschinenschnittstellen übermittelt. Der nächste Schritt ist eine Analyse dieser Daten, um beispielsweise zielgerichtete Vorhersagen von Produktionsvariablen oder optimierte Steuerungen der Anlagen zu ermöglichen.

Sortieren mittels Schwarmvisualisierung

Die im Rahmen des Teilprojektes 4 entstehende Lösung zur Datenanalyse wurde als eine sich abwechselnde Kombination aus maschineller Auswertung und interaktiver Visualisierung realisiert. Die Hauptaspekte des Analyseprozesses sind das Clustering und die Klassifizierung von Daten mittels unüberwachten maschinellen Lernens [4]. Insbesondere sollen später große Datenpools mit hochdimensionalen Daten und einer Vielzahl unterschiedlicher Datentypen verarbeitet werden. Um hierbei eine rechenintensive Dimensionsreduktion zu vermeiden, werden die Daten in einem ersten Schritt mittels Modellen und Algorithmen aus den Bereichen der Schwarmvisualisierung [5] und Partikelschwarmoptimierung [6], [7], [8] visualisiert, um Selbstorganisation diverser Datenobjekte zu ermöglichen.

Die Datenobjekte werden dabei in einem zweidimensionalen Raum dargestellt, wobei dort die Achsen keine Objektmerkmale repräsentieren. Sich ähnelnde Objekte bewegen sich hier aufeinander zu, wobei ihre Ähnlichkeit von der Übereinstimmung der jeweiligen Merkmale bestimmt wird [9].

Clustering mittels interaktivem k-Means-Algorithmus

Zusätzlich wurde der eigens entwickelte interaktive k-Means-Algorithmus implementiert und verbessert. Mit dessen Hilfe ist es nun möglich, interaktiv in die Sortierung einzugreifen und eine beliebige Anzahl von Clustern in die Visualisierung einzubringen. Diese werden bei ihrer Bildung durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet.

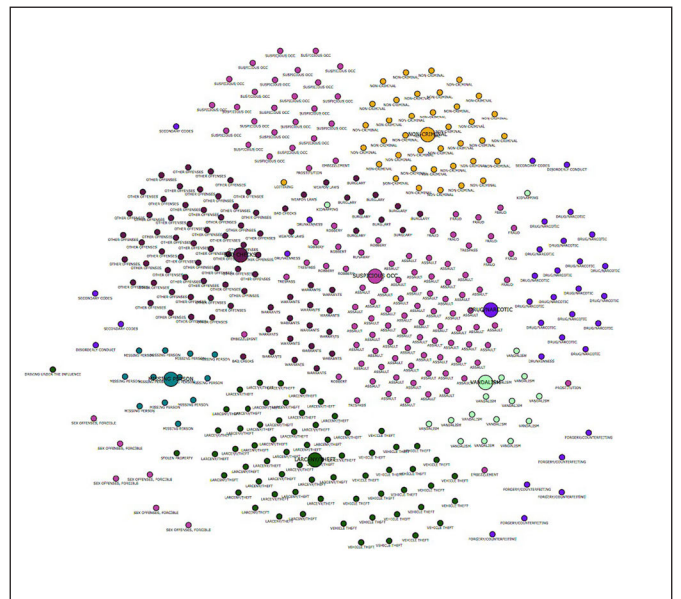


Abbildung 4: Clustering mittels interaktivem k-Means

Aktuell wird an einer innovativen Bedienung des Analyse-tools gearbeitet, die sich eines Touchtisches und haptischer Steuerungselemente bedient. Durch diese Kombination wird der Zugang zur Datenanalyse für Laien stark vereinfacht.

Fazit und Ausblick

Um das Projekt so praxisnah wie möglich zu gestalten, konnten zahlreiche kleine und mittelständische Unternehmen als Kooperationspartner gewonnen werden. Die angestrebten Meilensteine für das Projektjahr konnten, nach leichten Anpassungen, ebenfalls planmäßig erreicht werden. Zukünftig können die Erkenntnisse in ein Konzept für einen Demonstrator überführt werden. Außerdem ist geplant, Entwicklungen in Form von Feldstudien bei den Kooperationspartnern zu testen. Einen exemplarischen Einblick in die Arbeiten im Teilprojekt 1 erhalten Sie auch im Beitrag „Hybride Fertigung komplexer Kunststoffteile – Kombination aus ‚3D-Druck‘ und Zerspanung“ von Professor Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl und M. Eng. Christoph Haller.

Referenzen:

- [1] Blöchl, W. (2015). Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden (ISAC@OTH-AW) – Antrag eines fakultätsübergreifenden Forschungsprojektes, Fassung vom 20.05.2015.
- [2] Haller, C. (2014). Optimierung von Frässtrategien auf Basis von wirtschaftlichen und energetischen Kennzahlen – Masterarbeit an der OTH Amberg-Weiden.
- [3] Friedsman, A.-J. (2017). Untersuchung des Werkzeugverschleißes bei trochoidalen Fräsprozessen – Bachelorarbeit an der OTH Amberg-Weiden.
- [4] Na, Wenbo. (2015). Research on well production prediction based on improved extreme learning machine, in: International Journal of Modelling, Identification and Control, S. 238–247, 2015.
- [5] Meiller, D. (2015). Diving into the Data Ocean, International Federation for Information Processing 2015, Interact 2015, Part IV, LNCS 9299, S. 465–468.
- [6] Maltese, J., and Ombuki-Berman, B. (et al.) (2015). Co-operative Vector-Evaluated Particle Swarm Optimization for Multi-Objective Optimization, in: Conf. Proc. Computational Intelligence 2015, IEEE Symposium Series on IEEE.
- [7] Shafeeq, A., & Hareesha, K. S. (2012). Dynamic Clustering of Data with Modified k-Means Algorithm, International Conference on Information and Computer Networks (CICIN 2012), IPCSIT vol. 27, S. 221–225, 2012.
- [8] Kuo, R. J., and Wang, M. J. (eds.). An application of particle swarm optimization algorithm to clustering analysis, Soft Computing, 15(3), S. 533–542, 2011.
- [9] Meiller, D. & Niewiera F. (2016). Data Visualization and Evaluation for Industry 4.0 using an interactive k-Means Algorithm, in: Conf. Proc. WSCG 2016 – 24nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision.

Fördergeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl

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

w.bloechl@oth-aw.de



Prof. Dr. Dieter Meiller

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

d.meiller@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

hp.schmidt@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk

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

m.wenk@oth-aw.de



Dipl.-BW (FH) Natalia Batcheller

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

n.batcheller@oth-aw.de



Benedikt Bräutigam, M. Eng.

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

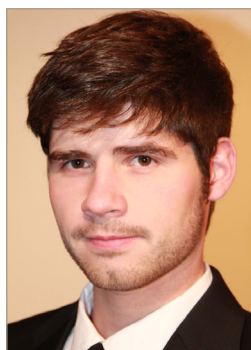
be.braeutigam@oth-aw.de



Bernd Gerlang, M. Eng.

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

be.gerlang@oth-aw.de



Christoph Haller, M. Eng.

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

ch.haller@oth-aw.de



Florian Schöler-Niewiera, M. Eng.

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

f.schoeler-niewiera@oth-aw.de

Bedrohungen durch Scheduling-basierende Angriffsszenarien im Automotive-Bereich

Zusammenfassung

Durch die stetige Vernetzung aller Systeme und Dinge (engl. Internet of Things, IoT) sowie die Digitalisierung physischer Systeme (engl. cyber-physical system) im Automobil-Bereich soll dem Passagier ein intuitives Fahrerlebnis ermöglicht werden. Sensoren, Aktoren und mobile Endgeräte sind hierzu miteinander vernetzt. Während bisher zahlreiche Angriffe, vom unautorisierten Öffnen des Fahrzeugs bis hin zur unbefugten Nutzung von Bedienelementen (z. B. Scheibenwaschanlage), durch Schwachstellen im System demonstriert wurden, zeigt diese Arbeit eine neue Art von Angriffen auf. Die immer größer werdende Zahl an Steuerungsaufgaben bringt Single-Core-Systeme an ihre Grenzen. Multi- bzw. Many-Core-Systeme sollen Abhilfe schaffen und beim Hersteller Kosten einsparen. Ein besonderes Gefahrenpotenzial birgt dabei das notwendige Scheduling, das u. a. Safety- und zukünftig auch Security-Funktionen Rechenzeit zuweist. Angriffe auf das Scheduling können im Automobilbereich das Echtzeitverhalten beeinträchtigen und somit Safety-Mechanismen wie das Auslösen des Airbags oder der Bremse verzögern. Im folgenden Aufsatz werden Scheduling-basierende Angriffsszenarien vorgestellt sowie deren Funktionsweise erläutert.

Abstract

To provide an intuitive experience for the driver, connecting objects and devices (Internet of Things IoT) as well as the digitalization of physical systems (cyber-physical system) are becoming prevalent in the automotive industry. Therefore, actuators, sensors and devices in the car are interconnected with the infotainment system. In recent years, cyber security researchers showed the vulnerabilities of cars for cyber attacks. All these attacks have in common that they can perform only actions which are provided by or implemented in the system, e.g. running the windshield wipers. In this paper we describe a new way of potential attacks based on the scheduling system of a control unit. Due to the ever-increasing amount of control tasks in a vehicle single-core systems are approaching their limits. For this purpose, multi- and many-core systems will be used in future. The scheduling system which distributes the computing time, e.g. for safety and security functions, is a potential target for future cyber attacks. These type of attacks can affect the real-time behaviour of a system and thereby delay or block the signal to trigger the airbag or the vehicle's brakes. In this paper, scheduling-based attack scenarios and their general operation are discussed.

1 Einleitung

Der durchschnittliche Amerikaner verbringt ca. 250 Stunden pro Jahr in seinem Fahrzeug. Ein modernes „connected car“ erzeugt pro Stunde ca. 25 GB an Daten, darunter Sensor- und Aktuatorendaten, Steuerungsinformationen für die Fahrzeugassistenten oder auch mediale Inhalte des Infotainmentsystems [1]. Bestand die Aufgabe einer zentralen Fahrzeugsteuerung (engl. electronic control unit, ECU) in der Vergangenheit darin, einfache Signale und Prozesse der Motorsteuerung zu verarbeiten, müssen diese heute ca. 1,3 TB an Daten erzeugen, verwalten und kommuni-

zieren. Um dabei möglichst energieeffizient und somit wirtschaftlich zu sein, rüstet die Industrie nach. Der klare Vorteil von Multi- bzw. Many-Core-Systemen, mit geringerer Taktzahl und dadurch mit geringerer Energieaufnahme bzw. Wärmeabgabe eine größere Menge an Daten effizient bewältigen zu können, soll nun auch in der Fahrzeugsteuerung für mehr Leistung sorgen.

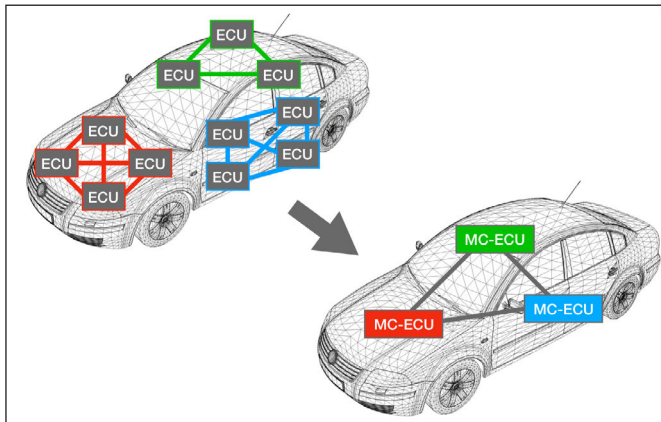


Abbildung 1: Entwicklung der Steuergeräte von Single-Core- zu Multi-Core-Systemen

1.1 FORMUS³IC

Das seit 2015 durch die Bayerische Forschungsstiftung geförderte Projekt „Forschungsverbund Multi-Core Safe and Software-intensive Systems Improvement Community“ (kurz FORMUS³IC) hat es sich zur Aufgabe gemacht, einen ganzheitlichen Ansatz für die Herausforderungen zu finden, die durch den neuen Einsatz heterogener Multi- bzw. Many-Core Architekturen entstehen, und den Automotive- bzw. Avionik-Sektor bei der Einführung dieser Systeme zu unterstützen. Von der formalen Verifikation über die Modellierung des Software-Entwurfs bis hin zur Virtualisierung von Hardware bestreiten die einzelnen Teilprojekte Aufgabenstellungen mit dem Ziel, Scheduling, Energieeffizienz und Sicherheit in Automotive- und Avionik-Applikationen zu verbessern. Im Folgenden soll das Teilprojekt 2, das dieser Arbeit zugrunde liegt, kurz beschrieben werden [2].

1.2 Teilprojekt 2

Im Rahmen des Forschungsprojekts FORMUS³IC ist im Teilprojekt 2 insbesondere der Einsatz von Scheduling-Verfahren in Steuergeräten aus dem Bereich Automotive zentraler Gegenstand der Forschung.

Im Zentrum steht dabei die Architekturbeschreibungssprache EAST-ADL, deren Konzepte in den international etablierten Automotive Open System Architecture (AUTOSAR) Standard einfließen. EAST-ADL sieht jedoch bisher noch keine Möglichkeit vor, Multi-Core-Eigenschaften zu berücksichtigen. Ziel ist es, diese domänenspezifische Architekturbeschreibungssprache um spezielle Multi-Core-Attribute zu erweitern.

1.3 Security-Beitrag zu Teilprojekt 2

Der Security-Beitrag aus Amberg behandelt die Analyse von Angriffen auf das Scheduling-Verfahren für stark zeitkritische Komponenten. Dabei sollen die Gefahren und Konsequenzen durch die Kompromittierung des Schedulers im Automotive-Umfeld untersucht werden. Ferner sollen geeignete Gegenmaßnahmen zur Vermeidung solcher Angriffe aufgezeigt werden.

2 Grundlagen

Um ein grundlegendes Verständnis für die Sicherheitslage und Angriffsszenarien zu erhalten, werden in diesem Kapitel die Grundlagen erklärt, um anschließend darauf aufbauend Angriffe auf das Scheduling zu erläutern.

2.1 Safety

Die Sicherheit im Sinne der Unfallvermeidung (engl. safety) ist der Schutz vor Systemausfällen, z. B. der Technik im Fahrzeug. Dem Fahrer werden hierzu Hilfsmittel bereitgestellt, die ihn in gefährlichen Situationen warnen und ggf. unterstützen. Durch diese Maßnahmen sollen Unfälle verhindert bzw. deren Auswirkungen verringert werden [3].

2.2 Security

Die Sicherheit im Sinne der Kriminalprävention (engl. security) wird als Schutz vor Angriffen auf das technische System bezeichnet. Die Security schützt dabei nicht den Menschen vor der Maschine, sondern die Maschine wird vor böswilligen Eingriffen wie z. B. dem nicht vorgesehenen Abschalten von Safety-Funktionen geschützt [3].

2.3 Safety und Security im Automotive-Bereich

Bisher lag der Fokus im Automotive-Bereich verstärkt auf der funktionalen Sicherheit (safety) des Systems. So sind Kommunikationsnetzwerke und Steuergeräte umfassend gegen technische Ausfälle oder Umwelteinflüsse geschützt, insbesondere bezüglich hoher Verfügbarkeit, Redundanz und Fehlertoleranz kritischer Komponenten [4] [5]. Die Security hingegen spielte speziell bei Steuergeräten im Zusammenhang mit eingebetteten Systemen bislang keine große Rolle. Dies begründet sich damit, dass die Systeme aus individuell konfigurierten Komponenten bestanden, physikalisch voneinander getrennt und unabhängig waren.

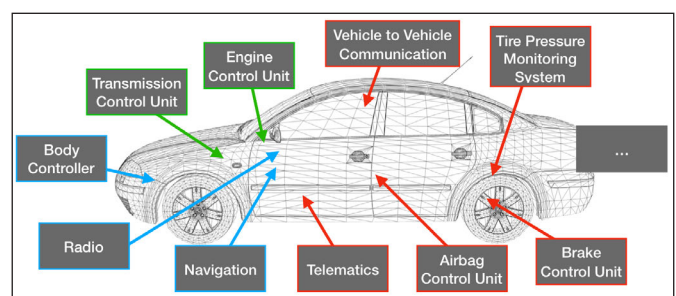


Abbildung 2: Beispiele verschiedener Steuerungsaufgaben in einem modernen Kraftfahrzeug

Durch den Einzug des IoT in das moderne Fahrzeug, das Bedürfnis zur Fernüberwachung sowie neue Steuerungsmöglichkeiten, z. B. eine Handy-App zur Fernsteuerung von Fahrzeugfunktionen, wurden unbeabsichtigt auch neue Schwachstellen und Risiken geschaffen. Darüber hinaus basieren heutzutage die einzelnen Systeme meist

auf sog. Commercial-off-the-shelf- (COTS-)Komponenten, die miteinander vernetzt sind. COTS sind hingegen keine speziellen individuellen Komponenten, sondern seriengefertigte Produkte, die in großer Stückzahl produziert werden. Der Vorteil vom Einsatz solcher COTS liegt hauptsächlich in der Kostenreduzierung. Der Nachteil hingegen liegt in integrierten Funktionen und Schnittstellen, die nicht immer benötigt werden und serienmäßig schlecht bis gar nicht abgesichert sind. Durch den großflächigen Einsatz solcher Komponenten nimmt auch das Interesse an Angriffen zu. Zudem entwickeln sich auch die Angriffstechniken weiter und werden immer ausgeklügelter. So zeigten u. a. der Computerwurm Stuxnet [6] sowie die Malware Brutal Kangaroo [7] auf, wie physikalisch voneinander getrennte Systeme, die als besonders sicher galten, infiziert werden können. Bisherige Angriffe im Automotive-Bereich umgingen oder kompromittierten die unzureichenden Schutzvorkehrungen, um Funktionen auszuführen, die auch der Fahrer selbst steuern kann. Weitaus schlimmer wäre es, wenn die Safety- sowie die Security-Mechanismen eines Fahrzeugs durch einen Angreifer direkt manipuliert werden könnten.

2.4 Von eingebetteten Single- zu Multi-Core-Systemen

Bei eingebetteten Systemen handelt es sich um spezielle Computersysteme, die in eine technische Umgebung wie z. B. das Automotive-Umfeld eingebunden sind. Die Hauptaufgabe ist dabei die Überwachung und Steuerung von physikalischen Prozessen [8]. Infolge der zunehmenden Leistungsfähigkeit der Hardware übernehmen diese mehr Steuerungsaufgaben, wodurch die Anzahl an zu verarbeitenden Prozessen steigt. Einzelne Prozessoren stoßen hier an ihre Grenzen und werden in der Praxis zunehmend von Multi-Core-Systemen abgelöst (Abbildung 1). Durch die parallele Ausführung von Softwarekomponenten auf mehreren Prozessoren kann der Durchsatz und somit die Leistungsfähigkeit erhöht werden [9]. Jedoch muss bereits bei der Entwurfsphase Rücksicht auf die Verteilung der Softwarekomponenten (siehe Unterabschnitt 2.5) genommen werden. Funktionale sowie nicht-funktionale Anforderungen einer Komponente, z. B. Arbeitsspeicher, Kommunikationsnetzwerk sowie Echtzeit- und Zuverlässigkeitsanforderungen, müssen dabei erfüllt werden.

2.5 Besonderheiten der Softwarearchitektur im Automotive-Bereich

Weitverbreitete Betriebssysteme für eingebettete Systeme sind im Automotive-Bereich u. a. OSEK- und AUTOSAR. Die europäische Organisation OSEK/VDX unterstützt die Vereinheitlichung der Softwarearchitektur für ECUs im Fahrzeugbau. Der AUTOSAR-Standard, entwickelt von einer internationalen Arbeitsgemeinschaft verschiedener Firmen, baut auf den Ansätzen von OSEK auf und stellt die Referenzgrundlage für die Entwicklung von Softwarefunktionen dar. Dabei wird eine Systemfunktion gemäß

dem Standard durch AUTOSAR Software Components realisiert, die in der Entwicklungsphase einzelnen ECUs zugeteilt werden können (Abbildung 3). Jede Softwarekomponente besteht wiederum aus einer Menge von

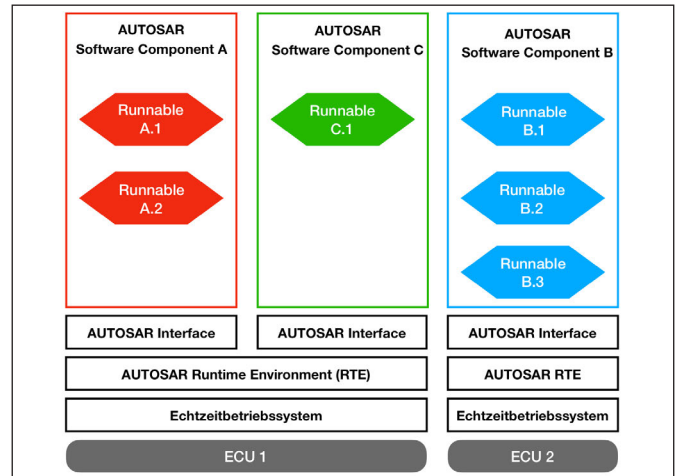


Abbildung 3: Platzierung von AUTOSAR-Softwarekomponenten auf verschiedene ECUs [10]

Runnable Entities, kurz als Runnable bezeichnet. Sie stellt in der AUTOSAR-Architektur die kleinste funktionale Code-Einheit dar, die unabhängig von anderen Runnables ausgeführt und vom Scheduler eingeplant werden kann [11]. Dadurch ist es möglich, Softwarekomponenten verschiedener Hersteller auf unterschiedliche ECUs zu verteilen. Beispielsweise könnte Software Component A zum Auslesen von Sensordaten zuständig sein, die von Software Component C verarbeitet werden (Abbildung 3). Die Software kann dabei von unterschiedlichen Herstellern bereitgestellt werden.

2.6 Prozess-Scheduling in eingebetteten Systemen

Bei der Verteilung einer Softwarekomponente wird zwischen der räumlichen (engl. mapping) und der zeitlichen Dimension (engl. scheduling) unterschieden. Beim Mapping wird die Zuteilung auf eine physikalische Ressource vorgenommen, hingegen wird beim Scheduling die Koordination der konkurrierenden Zugriffe auf die gemeinsam genutzten Ressourcen einer ECU gemanagt.

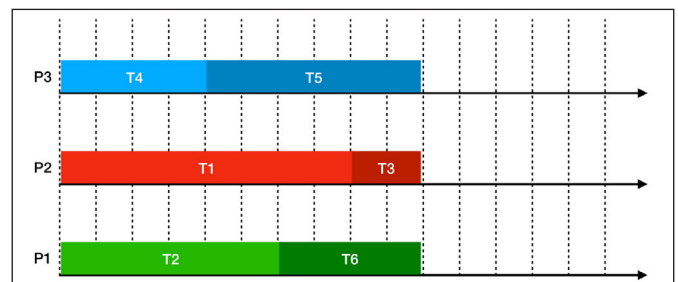


Abbildung 4: Mapping und Scheduling verschiedener Tasks [10]

Der Scheduler in einem System übernimmt die Aufgabe, an einzelne Tasks (Task wird in dieser Arbeit als Synonym für Prozess verwendet) Rechenzeit zu vergeben und deren Zustände (aktiv, blockiert, bereit) zu verwalten [12]. Je

nach Scheduling-Strategie zum Lösen eines Scheduling-Problems wird die Verteilung hinsichtlich verschiedener Gesichtspunkte optimiert, z. B. Fairness, Minimierung der Ausführungsdauer oder Echtzeitverhalten. Des Weiteren wird zwischen unterbrechenden (präemptiv) und nicht-unterbrechenden (kooperativ) Scheduling-Verfahren unterschieden. Präemptiv bedeutet, dass der Scheduler einen Task niedriger Priorität unterbrechen kann und durch einen Task höherer Priorität ablöst. Hingegen kann beim kooperativen Scheduling ein Task nicht unterbrochen werden, bis dieser vollständig abgearbeitet wurde [13].

2.7 Scheduling in Automotive-Umfeld

Im Automotive-Umfeld nimmt die Bedeutung von Fahrerassistenzsystemen (Kollisionsvermeidung, Geschwindigkeitsregelung etc.) signifikant zu. Das Verhalten des Systems muss dabei zu jedem Zeitpunkt der Laufzeit genau bekannt sein, was mithilfe von Echtzeitsystemen realisierbar ist [14]. Echtzeit bedeutet, dass die Aufgabe eines Tasks zu einer bestimmten Deadline fertiggestellt werden muss. Um diese Eigenschaft zu garantieren, kommen spezielle Echtzeitscheduling-Algorithmen zum Einsatz. Zu unterscheiden gilt es hierbei zwischen „harten“ (engl. hard real-time, HRT), „weichen“ (engl. soft real-time, SRT) und „festen“ (engl. firm real-time, FRT) Echtzeitsystemen (Abbildung 5).

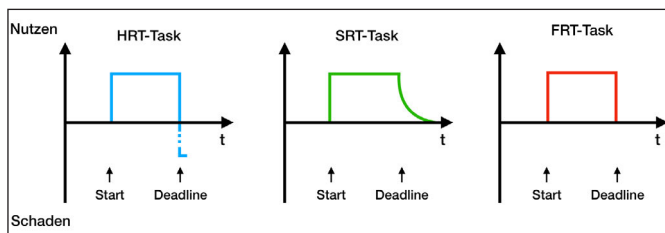


Abbildung 5: Arten von Echtzeitsystemen [10]

In „harten“ Echtzeitsystemen kann ein Fehler im Wertebereich zu katastrophalen Folgen führen, z. B. zur Zerstörung des Systems oder zur Gefährdung von Menschenleben. „Fest“ hingegen bedeutet, dass das Verstreichen eines Termins keinen unmittelbaren Schaden erzeugt, jedoch ist das Ergebnis wertlos. In „weichen“ Echtzeitsystemen sinkt mit verstrichener Deadline der Wert des ermittelten Ergebnisses, z. B. bei einem verzögerten Sprachanruf über das Internet [15]. In Echtzeitsystemen bzw. Echtzeitbetriebssystemen werden in der Regel präemptive Verfahren eingesetzt, die entweder offline mit statischen Prioritäten vor der Laufzeit oder online mit dynamischen Prioritäten zur Laufzeit arbeiten. Dabei wird immer der Task mit der höchsten Priorität vom Scheduler bevorzugt. Leistungsfähige Assistenzsysteme erfordern oftmals, dass Sensordaten in Echtzeit wiederholt abgefragt werden. Dies führt zwangsläufig zu prioritätsgesteuerten Tasks, die fortlaufend und periodisch verarbeitet werden müssen. Ein periodischer Task $\tau_i = (C_i, T_i)$ ist vereinfacht ($T_i = D_i$) durch seine maximale Ausführungszeit (engl. worst case execution time, WCET) C_i , seine Periode T_i und die Deadline D_i definiert. Liu und

Layland [16] zeigten 1973 mit den Scheduling-Verfahren Rate Monotonic (RM) und Earliest Deadline First (EDF) auf, dass eine Menge an unabhängigen periodischen Tasks $\Gamma = (\tau_1, \dots, \tau_n)$ für eine natürliche Zahl n unter „harten“ Echtzeitbedingungen realisierbar ist, falls die notwendige Bedingung

$$u = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \leq 1$$

erfüllt wird. Falls der Auslastungsfaktor $u > 1$ ist, gibt es für den Scheduler keinen zeitlich zulässigen Ablaufplan. Für $u < 1$ treten sog. Leerlauftasks (engl. idle tasks) auf, in denen der Prozessor unbeschäftigt ist. Die hinreichende Bedingung ist wiederum vom gewählten Scheduling-Verfahren abhängig. Falls alle Tasks ausgeführt werden können, ohne die vorgegeben zeitlichen Bedingungen zu verletzen, ist die Taskmenge vom Scheduler zeitlich planbar.

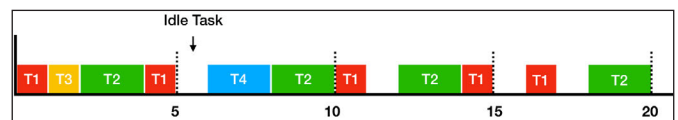


Abbildung 6: Echtzeit-Scheduling von periodischen Tasks [10]

2.8 Memory Management in Multi-Core-Systemen

Um die Performance in modernen Multi-Core-Systemen zu steigern, werden Caches in verschiedenen Hierarchiestufen eingesetzt. Dabei erhöhen sich mit zunehmender Ebene der Speicherhierarchie die Cache-Zugriffszeiten. Abhängig von der Architektur besitzt jeder Kern eines Prozessors fest zugewiesenen Cache-Speicher (Level-1, opt. Level-2), der nur exklusiv vom Kern selbst verwendet werden kann. Um jedoch zwischen den einzelnen Kernen kommunizieren zu können, teilen sich diese den Last-Level-Cache (Abbildung 7).

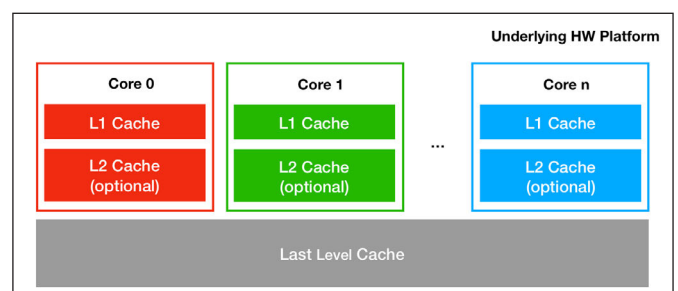


Abbildung 7: Cache-Hierarchie in Multi-Core-Systemen

Im Cache werden Kopien von Teilen der im Hauptspeicher abgelegten Daten verwaltet. Diese Kopien werden vom Cache-Controller in Form von Cache-Paketen (engl. cache line) fester Länge aus dem Hauptspeicher in den Cache geladen. Stellt die CPU eine Anfrage zu einem Eintrag, überprüft der Cache-Controller, ob dieser im Cache gespeichert ist. Kann der Wert aus dem Cache geladen werden, so spricht man von einem Cache-Treffer (engl. cache hit). Muss der Cache-Controller hingegen den

Wert erst aus dem Hauptspeicher in den Cache laden, so spricht man von einem Cache-Fehlzugriff (engl. cache miss). Die relativ hohe Zugriffszeit auf den Hauptspeicher führt dabei zu Wartezeiten [17].

3 Scheduling-basierende Angriffsszenarien

Im Folgenden werden Scheduling-basierende Angriffe auf Multi-Core-Systeme aufgezeigt. Die Angriffe zielen auf die Sicherheit im Sinne der Security (siehe Unterabschnitt 2.2) eines Systems ab und kompromittieren die aus der Informationssicherheit bekannten klassischen Schutzziele Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität. Eingriffe dieser Art auf die Security können u. a. Einfluss auf die Safety eines Systems haben.

3.1 Angriffe auf das Schutzziel Verfügbarkeit

Der Einsatz von Multi-Core-Prozessoren im Automotive-Bereich birgt neue Gefahren durch das Scheduling und die gemeinsam genutzten Ressourcen (vgl. Unterabschnitt 2.8). Abhängig vom Zielsystem und den Absichten des Angreifers können z. B. Nachrichten im System verändert oder die Verarbeitung von Sensordaten sowie die Steuerung von Aktoren manipuliert bzw. gestört werden. Durch die deterministische Eigenschaft von „harten“ Echtzeitsystemen mit statischen Prioritäten (siehe Unterabschnitt 2.7) ist es für den Angreifer möglich, das Scheduling eines Systems zu rekonstruieren [18]. Anhand des rekonstruierten Scheduling-Plans kann der Angreifer gezielt Tasks einschleusen, um das Scheduling zu beeinflussen. Abbildung 8 zeigt das Scheduling zweier Echtzeit-Tasks, die beide ihre Deadline-Vorgaben erfüllen.

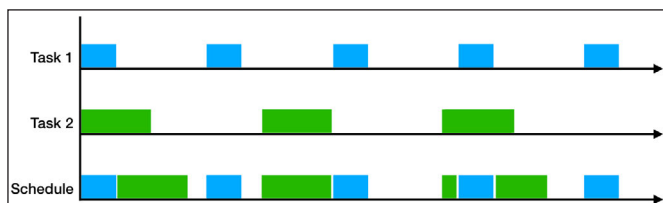


Abbildung 8: Ablaufplan eines präemptiven Echtzeit-Schedulings

Durch das Einbringen eines weiteren periodischen Tasks durch einen Angreifer (gekennzeichnet als „Attacker“ in Abbildung 9) ist es möglich, dass Deadline-Vorgaben anderer Tasks verfehlt werden. Somit könnten gezielt Deadlines von bestimmten Tasks manipuliert oder das ganze System blockiert (engl. denial of service, DoS) werden. Angriffe dieser Art können zur Gefährdung der Betriebs-



Abbildung 9: Beeinträchtigung des präemptiven Echtzeit-Schedulings durch einen Angreifer

icherheit im System führen. Im Automotive-Bereich könnte dies bedeuten, dass sich z. B. Fahrerassistenzsysteme fehlerhaft verhalten oder im Fahrzeug moderne Bremsysteme mit Brake-by-Wire-Technologie, bei denen der Bremsimpuls nicht über hydraulischen Leitungsdruck, sondern elektronisch durch ein Steuersignal übertragen wird, nicht mehr funktionieren.

3.2 Angriffe auf das Schutzziel Integrität

Statt die Betriebsfähigkeit eines Systems zu stören, kann ein Angreifer die Absicht verfolgen, Daten und Steuerungssignale zu manipulieren. Dabei muss zuerst das System verdeckt ausspioniert werden, um Informationen für den weiteren Angriff zu sammeln. Dieses Verhalten konnte u. a. auch beim Computerwurm Stuxnet beobachtet werden, der mehrere Monate verdeckt im Hintergrund agierte [6]. Um während eines Angriffs unerkannt zu bleiben, ist es wichtig, dass sich der gewohnte Ablauf des Systems nicht verändert. Dabei besteht die Möglichkeit, die beim Scheduling verwendeten Idle Tasks (siehe Unterabschnitt 2.7) zu manipulieren [18] und somit durch Seitenkanalangriffe wichtige Informationen zu gewinnen [19].

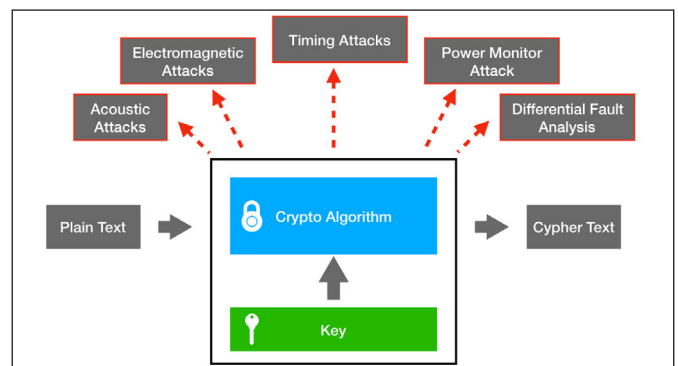


Abbildung 10: Mögliche Seitenkanalangriffe auf ein System

Durch Seitenkanalangriffe wie z. B. Cache-Timing-Angriffe ist es möglich, Informationen zur weiteren Kompromittierung des Systems abzugreifen [20]. So ist es aufgrund gemeinsam genutzter Ressourcen wie z. B. dem Last-Level-Cache (vgl. Unterabschnitt 2.8) möglich, Zeitunterschiede zwischen einem Cache-Hit und einem Cache-Miss zu messen. Folgendes Beispiel soll den Ablauf eines Cache-Timing-Angriffs darstellen. Dabei wird angenommen, dass sich ein böswilliger Task A und ein Task B mit vertraulichen Daten denselben Last-Level-Cache teilen.

1. Task A belegt den gesamten Cache des Systems mit eigenen Daten.
2. Task B führt eine Funktion mit vertraulichen Daten aus, wodurch die benötigten Daten in den Cache geladen werden müssen.
3. Task A fordert die zuvor in den Cache geschriebenen Daten wieder vom System an und misst die einzelnen Ladezeiten.

Durch diesen Angriff lernt Task A, welche Cache-Adressen von Task B verwendet wurden. Ideal wäre es für den Angreifer, wenn der Prozessor den böswilligen Task A abwechselnd mit dem Task B ausführt. Mithilfe dieser Angriffsmethode wurde in [21], [22] aufgezeigt, wie AES-Verschlüsselungsverfahren kompromittiert werden können. Speziell durch die gemessenen Zugriffszeiten auf einzelne Cache-Lines kann geschlussfolgert werden, welche Tabellenfragmente der AES-Verschlüsselung zu welchem Zeitpunkt in den Cache geladen wurden. Dadurch ist es möglich, den verwendeten AES-Schlüssel zu rekonstruieren und die Verschlüsselung zu brechen. Im Automotive-Bereich könnten somit verschlüsselte Nachrichten auf einem Kommunikationskanal entschlüsselt werden, um diese zu manipulieren. Dabei könnte es sich bspw. auch um eine Nachricht mit personenbezogenen Daten des Fahrers handeln, für die besondere datenschutzrechtliche Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Verschlüsselung) notwendig sind.

3.3 Angriffe auf das Schutzziel Vertraulichkeit

Des Weiteren kann ein Angreifer das Ziel verfolgen, Daten vom System verdeckt abzugreifen. Durch diese Methode können z. B. vertrauliche Daten von einem Task zu einem anderen Task übertragen werden, obwohl diese keine direkte Möglichkeit zur Kommunikation besitzen. Anhand des Scheduling-Plans kann der Angreifer gezielt Tasks einschleusen, um verdeckt zu kommunizieren. Bei prioritätsbasierenden Scheduling-Algorithmen wie z. B. Rate Monotonic wird die Abhängigkeit zwischen Priorität und Periode eines Tasks ausgenutzt, um diese gezielt für Angriffe zu koordinieren [23]. Die Kommunikation zweier Tasks findet dabei über einen sog. verdeckten Kommunikationskanal (engl. covert channel) statt (siehe Abbildung 11). Mithilfe dieser Methode ist es für den Angreifer möglich, Nachrichten bzw. Daten im System unbemerkt zwischen verschiedenen Tasks zu senden, die sich Ressourcen wie z. B. den Cache-Speicher teilen. Diese Art der Kommunikation wurde erstmals 1973 von Lampson beschrieben [24].

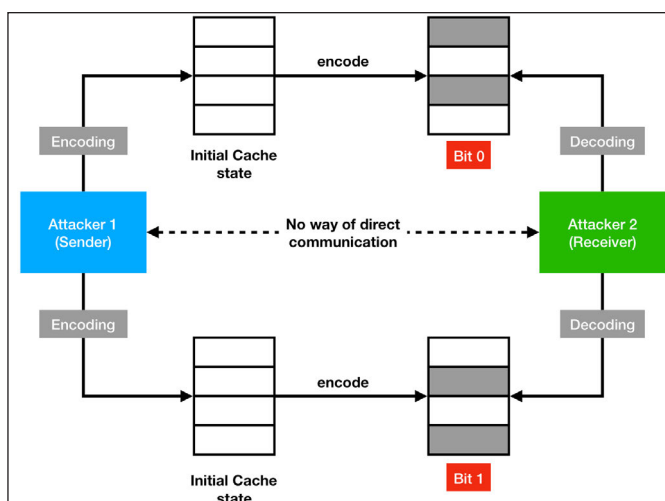


Abbildung 11: Kommunikation zweier Tasks über einen „covert channel“

Bei Covert-Channel-Angriffen gilt es zwischen Ressourcenkanälen (engl. resource channels) und Zeitkanälen (engl. timing channels) zu unterscheiden. Bei Ressourcenkanälen können Tasks, die sich gemeinsame Ressourcen wie z. B. Festplatten, Hauptspeicher etc. teilen, über den Zugriff auf die Ressourcen miteinander kommunizieren [25]. Beispielsweise kann eine Kommunikation stattfinden, indem ein Task eine Ressource exklusiv beansprucht. Ein zweiter Task kann somit feststellen, ob dieselbe Ressource zur Verfügung steht oder blockiert wird. Diese beiden Zustände können als die Bit-Zustände 0 oder 1 interpretiert werden. Wird diese Methode in zeitlichen Abständen wiederholt, können die einzelnen Bit-Zustände zusammengesetzt Nachrichten bilden (Abbildung 12).

Zeitpunkt	Ressource vorhanden?	Empfangenes Bit
1	Ja	1
2	Ja	1
3	Nein	0
4	Ja	1
5	Nein	0
...

Abbildung 12: Resource Channel

Bei Zeitkanälen müssen die Tasks hingegen in der Lage sein, die zeitlichen Abstände zwischen manipulierten Ereignissen zu messen. Beide Tasks müssen dabei Zugriff auf einen Zeitgeber, z. B. die Uhr des Systems, besitzen [25]. Die zeitlichen Abstände werden vom Empfänger wieder als Bit-Zustände interpretiert, die wiederum die Nachricht bilden. Beispielsweise können so Übertragungsprotokolle ausgenutzt werden, um die Reihenfolge von Netzwerkpaketen bzw. die Zeitdeltas zwischen Paket-sendungen zu verändern (Abbildung 13) [26].

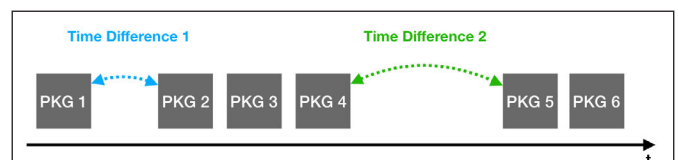


Abbildung 13: Timing Channel

Mithilfe von Zeitkanälen ist der Angreifer nicht mehr an Tasks gebunden, die sich eine ECU bzw. deren Ressourcen teilen. Durch einen gemeinsamen Übertragungskanal wie z. B. den CAN-Bus oder FlexRay wäre es möglich, zwischen Tasks im ganzen System verdeckt zu kommunizieren.

4 Zusammenfassung

Während im letzten Forschungsbericht Angriffe auf klassische fahrzeuginterne Kommunikationsnetzwerke und Bussysteme dargestellt wurden [27], sind in dieser Arbeit neue Angriffsmöglichkeiten basierend auf dem Scheduling-Verfahren aufgezeigt worden. Der Einzug von Multi- bzw. Many-Core-Systeme in den Automotive-Bereich birgt neue Gefahren, bedingt durch das Scheduling der Tasks sowie die Nutzung gemeinsamer Ressourcen. Dabei kann

sowohl die Security als auch die Safety eines Fahrzeugs beeinträchtigt werden. Durch das in Unterabschnitt 2.5 vorgestellte Modell könnte ein Hersteller versuchen, das System mit böswilligen Tasks zu infiltrieren, um an Informationen anderer Hersteller zu gelangen. Die Motive eines solchen Angriffs reichen vom Verkauf vertraulicher, durch Spionage gewonnener Daten bis hin zur Zerstörung von Systemen durch Sabotage, um gegenüber anderen Herstellern Vorteile auf dem Markt zu gewinnen. Denkbar wären auch Angriffe auf das Scheduling von außen durch veraltete Software oder ungepatchte Systeme.

Wie das Bundeslagebild 2016 zeigt, nahm die Anzahl an Cybercrime-Straftaten in Deutschland im Vergleich zum Vorjahr um knapp 81 % zu [28]. Angriffe auf das Automobil sind dabei längst keine Seltenheit mehr, da moderne Fahrzeuge ständig mit dem Internet verbunden sind und immer mehr zu fahrenden Computern werden. Deshalb müssen in Zukunft auch Security-Aspekte im Automotive-Bereich berücksichtigt werden. Ziel der weiteren Arbeit von Teilprojekt 2 im Forschungsprojekt FORMUS³IC ist es, die vorgestellten Angriffe im Automotive-Umfeld weiter zu analysieren, um z. B. Präventionsmaßnahmen in der Softwarearchitektur oder ein Intrusion Detection System für Echtzeitsysteme zu entwickeln.

Referenzen:

- [1] Hitachi Data Systems, „The Internet on Wheels and Hitachi, Ltd.“ 2015. [Online] Available: <https://www.hds.com/en-us/pdf/white-paper/hitachi-white-paper-internet-on-wheels.pdf> (Accessed 2017-08-29).
- [2] J. Mottok und D. Fey, „Gesamtvorhabensbeschreibung FORMUS³IC“, 2016.
- [3] C. Öxleand M. Kuhlmeier, Praxishandbuch Security, Richard Boorberg Verlag, 2015.
- [4] International Organization for Standardization, „ISO 26262-1-Road vehicles : Functional Safety“ 2011. [Online] Available: <https://www.iso.org/standard/43464.html> (Accessed 2017-08-10).
- [5] International Electrotechnical Commission, „IEC Functional Safety and IEC 61508“ 1998, [Online] Available: <http://www.iec.ch/functionalsafety/> (Accessed 2017-08-13).
- [6] T. M. Chen und S. Abu-Nimeh, „Lessons from Stuxnet“, 2011.
- [7] WikiLeaks, „Brutal Kangaroo User Guide“ 2017, [Online] Available: <https://wikileaks.org/vault7/document/BrutalKangaroo-DriftingDeadline-V2-UserGuide/> (Accessed 2017-09-04).
- [8] E. A. Lee und S. A. Seshia, Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, MIT Press, 2016.
- [9] S. B. Chien, Andrew A., „The Future of Microprocessors“ 2011. [Online] Available: <https://cacm.acm.org/magazines/2011/5/107702-the-future-of-microprocessors/fulltext> (Accessed 2017-08-11).
- [10] H. Robert, Platzierung von Softwarekomponenten auf Mehrkernprozessoren, Springer-Verlag, 2015.
- [11] F. Schäfer, Steuergeräte-Entwicklung mit AUTOSAR: Evaluierung der Entwicklungsumgebung Arctic Studio, 2014.
- [12] J. Wietzke und M. T. Tran, Automotive Embedded Systeme, Springer-Verlag, 2006.
- [13] W. Lange und M. Bogdan, Entwurf und Synthese von Eingebetteten Systemen: Ein Lehrbuch, Walter de Gruyter, 2013.
- [14] R. Hilbrich, J. R. van Kampenhout und H.-J. Goltz, „Modellbasierte Generierung statischer Schedules für sicherheitskritische, eingebettete Systeme mit Multicore-Prozessoren und harten Echtzeitanforderungen“, Springer-Verlag, 2012.
- [15] J. A. Stankovic und K. Ramamritham, „What is Predictability for Real-Time Systems?“, 1993.
- [16] C. L. Liu und J. W. Layland, „Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment“, 1973.
- [17] T. Rauber und G. Rüniger, Parallele Programmierung, Springer-Verlag, 2012.
- [18] C.-Y. Chen, R. B. Bobba und S. Mohan, „Schedule-Based Side Channel Attack in Fixed-Priority Real-time Systems“, 2015.
- [19] Dan Boneh, Richard A. De Millo, und Richard J. Lipton, „On the Importance of Eliminating Errors in Cryptographic Computations“, 1997.
- [20] D. Page, „Theoretical Use of Cache Memory as a Cryptanalytic Side-Channel“, 2002.
- [21] Daniel J. Bernstein, „Cache-timing attacks on AES“, 2005.

- [22] D. A. Osvik, A. Shamir und E. Tromer, „Cache Attacks and Countermeasures: The Case of AES“, 2006.
- [23] J. Son und J. Alves-Foss, „Covert Timing Channel Analysis of Rate Monotonic Real-Time Scheduling Algorithm in MLS systems“, 2006.
- [24] Butler W. Lampson und J. Alves-Foss, „A Note on the Confinement Problem“, 2006.
- [25] Matt Bishop, Introduction to Computer Security. AddisonWesley, 2005.
- [26] S. Wendzel, Tunnel und verdeckte Kanäle im Netz: Grundlagen, Protokolle, Sicherheit und Methoden, Springer-Verlag, 2012.
- [27] B. Weigl und A. Aßmuth, „Bedrohungslage fahrzeuginterner Kommunikationsnetzwerke und Bus-Systeme“, 2017.
- [28] Bundeskriminalamt, „Cybercrime Bundeslagebild 2016“, 2016.

Fördergeber:

Die Autoren danken der Bayerischen Forschungsstiftung (BFS) und dem Forschungsverbund FORMUS³IC „Multi-Core Safe and Software-intensive Systems Improvement Community“ für die finanzielle Unterstützung.



Kontakt:



Tobias Nickl

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

t.nickl@oth-aw.de



Benjamin Weigl

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

b.weigl@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

Using Interactive Visualizations to analyze influences of climate on industrial production

Zusammenfassung

Dieser Beitrag diskutiert eine Lösung, Methoden der Datenanalyse für Personen verfügbar zu machen, die in der Industrie arbeiten und keine Experten in diesem Themengebiet sind. Kleine und mittelständische Unternehmen sollten von dieser Herangehensweise profitieren können.

Abstract

The paper discusses a solution to make methods of data analytics accessible to persons working in industry, who are not specialists in this domain. Small and medium enterprises should benefit from this approach.

1 Introduction

A fundamental part of the project “Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden” (ISAC@OTH-AW) [1] is to cooperate with the local industry to generate innovations for the age of Industry 4.0. The project started at the end of 2015 and will last till the end of 2021. It is funded by the Ministry of Economics in Bavaria (Germany). Nowadays, in modern digital factories large amount of data are transmitted to interfaces for controlling and monitoring. Our industrial project partners appreciate that the next phase will be the analysis of data to get more insights in to the production process. There are several goals: improving product quality, saving energy, simplifying processes and more. Two partners are manufacturing plastic parts or parts made of foamed material and cardboard. They are collecting data from several sensors during the production process. The product quality is measured, too. They want to know whether atmospheric conditions would have any influence on the quality of their products. In our project, we designed new kinds of data logging devices. These devices are working independent form external power source for several months and are able to measure different climate variables every minute. At the time of writing this paper we are installing these devices inside and outside the factories. The goal is to collect data over a long time (one year). In combination with data form existing sensors and the measured product quality we will have enough data to find correlations of climate influences and product quality. The next problem is that often there is little

knowledge about data analytics and machine learning in small or medium enterprises [2]. Therefore, we want to provide a system that allows engineers to analyze data interactively without special knowledge. Though there are other interesting solutions [3], it is still not easy to make interactive visualizations of this huge amount of data, we implemented software prototype that allows to resample data to different resolutions. It is possible to select the density and the time range.

2 Interactive Clustering

Users are able to select parts of the whole resampled dataset with a range slider and get direct visual feedback (Figure 1). The visualization is divided in two parts: A plot of data below and a swarm-based visualization. Instead of using a flocking algorithm [4] as proposed earlier [5] we decide to use a force-based algorithm [6]. The similarity of two single data objects determines the strength of their attraction. Users are able to cluster data with an interactive k-modes algorithm [7]. They are able to add and remove centroids interactively by touch or click complementary to the to the dynamic FClust approach [8]. The interactive way of selecting the amount of clusters should give more insight into the structure of data than other approaches where the number of clusters are generated automatically [9]. In future, we want to use our approach in combination with other methods of data analytics and machine learning to get best results for industry and to evaluate our approach.

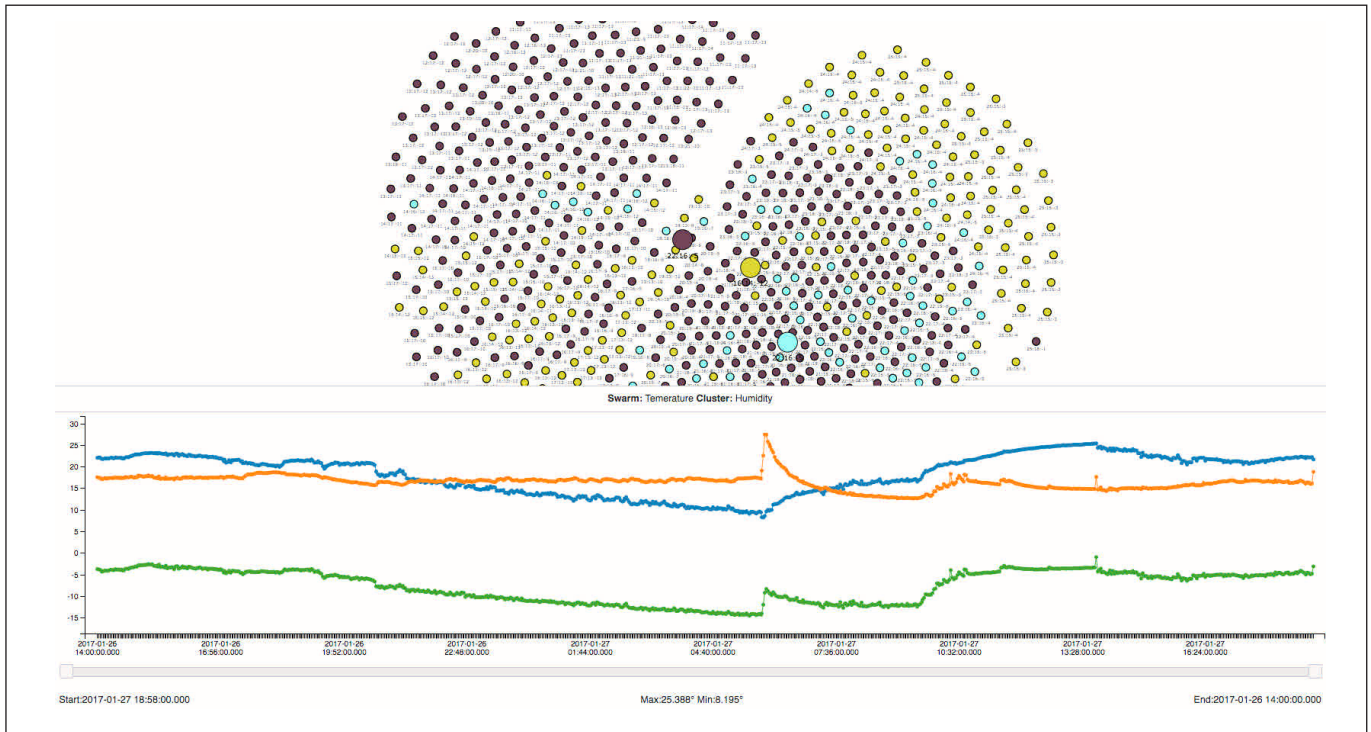


Figure 1: Screenshot of interactive clustering

References:

- [1] Gerlang, B., 2017. ISAC@OTH-AW. OTH-AW, [online] Available at: <http://www.isac-oth.de> [Accessed 04 Apr. 2017].
- [2] Burns, E., 2015. Why haven't SMEs cashed in on big data benefits yet? TechTarget, [online] Available at: <http://searchbusinessanalytics.techtarget.com/feature/Why-havent-SMEs-cashed-in-on-big-data-benefits-yet> [Accessed 04 Apr. 2017].
- [3] Liu, Z. et al., 2013. imMens: Real-time Visual Querying of Big Data. In *Computer Graphics Forum*, Vol. 32, No. 3pt4, pp. 421–430.
- [4] Reynolds, C. W., 1987. Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model. In *ACM SIGGRAPH computer graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 25–34.
- [5] Meiller, D., 2015. Diving into the Data Ocean, *International Federation for Information Processing 2015, Interact 2015, Part IV, LNCS 9299*, pp. 465–468.
- [6] Battista, G. D. et al., 1999. Graph drawing: algorithms for the visualization of graphs.
- [7] Meiller, D. and Niewiera, F., 2016. Data Visualization and Evaluation for Industry 4.0 using an interactive k-Means Algorithm. In *Conf. Proc. WSCG 2016 – 24nd International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, pp. 33–37.
- [8] Saka, E. and Nasraoui, O., 2010. On dynamic data clustering and visualization using swarm intelligence, *IEEE 26th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW)*, pp. 337–340.
- [9] Shafeeq, A. and Hareesha, K. S., 2012. Dynamic Clustering of Data with Modified k-Means Algorithm, *International Conference on Information and Computer Networks (CICIN 2012)*, Vol. 27, pp. 221–225.

Projektpartner:

BHS Corrugated, 92729 Weiherhammer
Herding GmbH Filtertechnik, 92224 Amberg

Fördergeber:

für das Projekt „ISAC@OTH-AW“

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



Kontakt:



Prof. Dr. Dieter Meiller

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

d.meiller@oth-aw.de
www.isac-oth.de

ecofurbish[®]
your glass plant



...protecting your profits, and our planet.

Wenn es darum geht den Energieverbrauch zu reduzieren und Ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen – gibt es keinen besseren Weg als ein *ecofurbish*[®] Ihrer Glasschmelzanlage durch HORN Glass Industries AG.

Profitieren Sie von unserer tiefgehenden Erfahrung im Bereich der Glasschmelztechnologie, um die ökologische und ökonomische Leistung Ihres Ofens zu optimieren. Für weitere Informationen über branchenführende Lösungen besuchen Sie unsere Website www.hornglass.com

HORN
GLASS INDUSTRIES
INNOVATION ENGINEERED IN GERMANY

RAUM FÜR ZUKUNFT

FEE



**ELEKTROTECH
ENGINEERING**

**AUTOMATION
ROBOTIK**

**ENERGIE-
TECHNIK**

**INFORMATIK+
SYSTEME**

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-Unternehmensgruppe

In der Seugn 20 | 92431 Neunburg v. W.
Telefon: +49 (0) 9672 506-0 | www.fee.de

www.facebook.com/fee.neunburg



STARTEN SIE DURCH!

Die DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO. ist einer der weltweit führenden Anbieter von Schraubtechnik, Automation, Druckluftmotoren und Druckluftwerkzeugen. 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, Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik/IT und Automation, BWL oder Wirtschaftsingenieurwesen.

Starten Sie jetzt Ihre Karriere! Nähere Informationen finden Sie auf unserer Homepage www.deprag.com!

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!

DEPRAG

DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO.
Carl-Schulz-Platz 1 | 92224 Amberg
www.deprag.com | bewerbung@deprag.de

Andrea Fleischer, B. Eng.
Manuel Stich, M. Sc.
Anne Slawig, M. Sc.
Prof. Dr. Dr. Tim Krafft
Prof. Dr. Ralf Ringler

Reproduktion und Minimierung von Metallartefakten in der digitalen Volumen- tomografie

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung und Erstellung eines Röntgenphantoms zur Reproduktion von Metallartefakten in der digitalen Volumentomografie (DVT) sowie die Reduktion von Metallartefakten mittels Optimierung der Aufnahmeparameter des DVT. Dabei werden Verschleißerscheinungen des DVT infolge seines jahrelangen alltäglichen Praxiseinsatzes vernachlässigt und die fehlende Kalibrierung auf Hounsfield Units umgangen. Um aussagekräftige Werte von biologischen Geweben und potenziellen Ersatzmaterialien zu erhalten, werden diese im kalibrierten CT untersucht und auf Hounsfield Units (HU) analysiert. Dabei konnten Materialien festgestellt werden, die im CT eine ebenso geringe Strahlendurchlässigkeit wie Zähne aufweisen. Weitere Untersuchungen der Röntgenaufnahmen zeigen, dass diese Materialien wegen ihrer hohen Dichte und effektiven Ordnungszahl Artefakte verursachen. Daher wurde die Differenz der CT-Werte von Knochen und Zähnen miteinbezogen, um die gleichen röntgenologischen Unterschiede darzustellen. Hinzu kommt, dass diese Materialien eine Beständigkeit gegenüber chemischen und physikalischen Einflüssen aufweisen, einfach zu beschaffen sind und mit herkömmlichen Mitteln bearbeitet werden können. Die resultierenden Materialien wurden herangezogen, um ein Röntgenphantom zur realitätsgetreuen Nachbildung des menschlichen Unterkiefers und der menschlichen Zähne zu erstellen.

Anhand eines Versuchsplans werden mit dem Röntgenphantom verschiedene Kombinationen aus Röhrenspannung und Röhrenstrom im DVT untersucht. Um mit dem Phantom möglichst realistische Situationen wiederzugeben, wird der Versuchsplan für ein, zwei und drei Zahnimplantate erweitert, wobei sich die Positionierung der Implantate an typischen Fällen aus dem Praxisalltag orientiert.

Die Auswertung erfolgt mittels qualitativer Beurteilung der Röntgenaufnahmen durch radiologisches Fachpersonal und durch eine quantitative Bewertung der Röntgen-

Abstract

This study describes the development and construction of an x-ray phantom for the reproduction of metal artefacts in the cone-beam computed tomography, as well as the reduction of metal artefacts by optimization of the CT-parameters in medical imaging.

To reach significant values of biological tissues with surrogate materials, all materials are examined utilizing a CT and comparing by their hounsfield units (HU). After the examination of various materials, some materials with low radiopacity compared to human teeth can be determined. Further studies of radiographs show that these materials cause artefacts due to their high density and effective atomic number. In addition, these materials have a resistance to chemical and physical influences, are easy to manufacture and process. The resulting materials were used to create a x-ray phantom, which means a realistic replica of the human mandible and human teeth.

Based on an experimental set-up various combinations of tube potentials and tube currents are examined with the x-ray phantom. To reproduce realistic situations using the phantom, the experiments for one, two and three dental implants are performed. The positioning of the implants in the experiments can be compared to the position of the implants in medical practice.

The evaluation of the acquired image data is carried out by an optical evaluation performed by radiologists and also quantitatively using various quality parameters of the image.

The analysis of the optical evaluation and the determination of the signal-to-noise-ratio (SNR) results in different device configurations which can be recommended. To obtain an optimal device setting, the optical assessment is favored, due to the fact that it reflects the general opinion of radiology professionals.

bilder hinsichtlich des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR). Bei der qualitativen und quantitativen Beurteilung ergeben sich unterschiedliche optimierte Gerätekonfigurationen zur artefaktreduzierten Darstellung. Um eine optimale Geräteeinstellung zu erhalten, wird sich letztendlich stärker an der optischen Beurteilung orientiert, da diese die medizinische Beurteilung des radiologischen Fachpersonals widerspiegelt.

Einleitung

In der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie (MKG) und der Zahnheilkunde kommen bildgebende Verfahren zur Diagnostik und Therapieplanung zum Einsatz. Hauptsächlich werden in diesem Teilgebiet der Medizin planare Röntgenaufnahmen mit beispielsweise der Orthopantomografie (OPG) angefertigt. Diese zweidimensionalen (2D) Aufnahmen sind oftmals jedoch nicht ausreichend für eine weiterführende Diagnostik von pathogenen Prozessen in der zahnärztlichen Chirurgie und Implantologie sowie für die weitere Planung operativer Verfahren in der MKG. Speziell für die weiterführende Diagnostik und Therapieplanung im Kopfbereich wurde die digitale Volumentomografie (DVT) entwickelt. Das DVT erzeugt während der Rotation um den Patientenkopf multiple Projektionen, die durch den Flachbilddetektor in ein Digitalsignal umgewandelt und auf den Computer übertragen werden. Anschließend entstehen mittels eines Rekonstruktionsalgorithmus dreidimensionale (3D) Bilder mit einer hohen Auflösung. Vorteilhaft ist vor allem die geringere effektive Dosis im Vergleich zur Computertomografie (CT) [1]. Die hohe Auflösung im DVT ermöglicht eine deutliche Abgrenzung anatomischer Strukturen und pathogener Prozesse in den Aufnahmen. Dadurch können Ärzte schnell und präzise Krankheiten erkennen und Diagnosen erstellen. Die Bilddaten werden zur Therapieplanung eingesetzt und dadurch der gesundheitliche Zustand von Patienten verbessert.

Mit Optimierung der Bauteile, die eine hohe Auflösung erlauben, steigt auch die Empfindlichkeit der technischen Bildverarbeitung, was dazu führt, dass die 3D-Röntgenapparate anfälliger für Bildfehler werden. Bildfehler, auch Artefakte genannt, gibt es seit den frühen Anfängen der Radiologie. Sie entstehen hauptsächlich durch Bewegungen des Patienten, Wechselwirkung der Röntgenstrahlung mit Materie oder durch gerätetechnische Einwirkungen. Ihretwegen kann es sein, dass eine Auswertung der Röntgenaufnahmen nur teilweise bis gar nicht möglich ist. Um Artefakte zu minimieren, muss deren Entstehung untersucht werden. Aufgrund der Vorgaben des Strahlenschutzes und der Reproduzierbarkeit ist dabei eine In-vitro-Untersuchung unter Zuhilfenahme eines Phantoms nötig.

Methoden

Erstellung eines Phantoms

Anfertigung einer Materialstudie

Um geeignete Materialien für ein Phantom zu ermitteln, werden die Hounsfield Units der biologischen Gewebe, Kunststoffe, Silikone und Harze sowie mineralischen Gemische in der nachstehenden Abbildung 1 aufgeführt. In der Grafik sind die CT-Werte in HU dargestellt. Abhängig von der Höhe des HU-Wertes ergeben sich unterschiedliche Helligkeitsbereiche in den Aufnahmen.

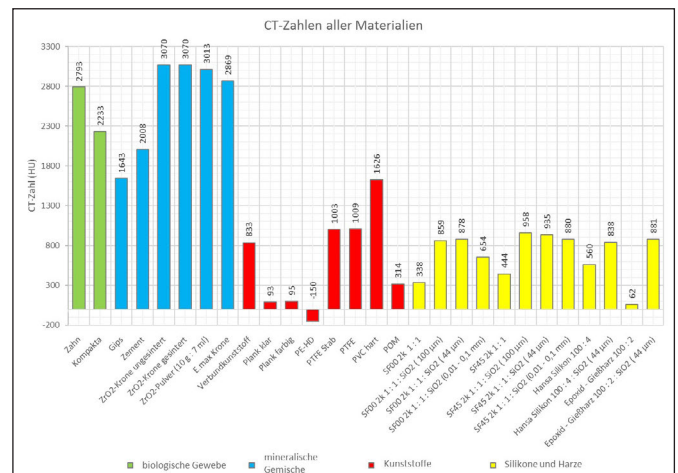


Abbildung 1: Ermittelte CT-Zahlen (HU) für alle untersuchten Materialien bei 80 kV und 88 mAs

Aus dem Vergleich der Differenzen der einzelnen Materialien resultiert, dass die Kunststoffe PTFE und PVC (HD) aufgrund der annähernden Wertedifferenz wie Knochen und Zähne als Ersatzmaterial geeignet sind. Hinzu kommt, dass diese Materialien nicht nur im Handel erhältlich, sondern auch mit herkömmlichen Mitteln zu bearbeiten sind.

Konstruktion des Phantoms

Der Aufbau des Röntgenphantoms ist den anatomischen Strukturen des Unterkiefers nachempfunden, unterscheidet sich aber in seiner abstrakten Form. Der Unterkiefer besteht aus einer hufeisenartigen Form, die mit einer Bohrung auf der Unterseite versehen ist, um eine spätere Schnittstelle für einen Bewegungsmotor für die Reproduktion von Bewegungsartefakten zu ermöglichen.

Zusätzlich sind an der Oberseite des Kieferbogens Bohrungen in den Quadranten drei und vier im Bereich der Zähne 32–34 und 42–44 vorgesehen. In diese Bohrungen können Phantomzähne und in die freien Zwischenräume Zahnimplantate eingesetzt werden.

Als Werkstoff für den Phantomunterkiefer wurde PTFE und für Zahnphantome PVC hart verwendet. Dabei handelt es sich um jeweils sehr feste Kunststoffe, die aufgrund der Materialanalysen und in Anlehnung an die Masterarbeit von Frau Karina Schuller [2] ausgewählt wurden. Abbildung 2 zeigt das erstellte CAD-Modell des Phantomunterkiefers.

Um letztlich Metallartefakte zu reproduzieren, werden Probeimplantate der Firma Straumann in das Röntgenphantom an verschiedenen Positionen inseriert.

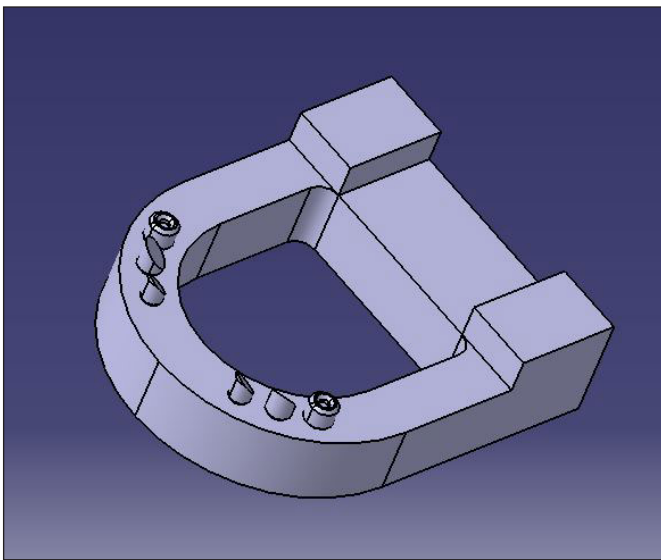


Abbildung 2: CAD-Modell des Phantomunterkiefers mit Phantomzähnen

Die Implantate der Firma Straumann bestehen aus einem biokompatiblen Grad-4-Reintitan, dessen Oberfläche nach einer grobkörnigen Sandstrahlung eine Makrorauigkeit von ca. 20–40 µm besitzt. Mittels Säureätzung wird die Mikrorauigkeit auf ca. 2–4 µm verfeinert. Somit wird das Wachstum der Osteoblasten angeregt und eine Sand-blasted, Large-grit, Acid-etched (SLA) Oberfläche hergestellt [3].

Beschreibung des Messaufbaus

Bevor mit dem DVT Untersuchungen am Phantom vorgenommen werden können, muss das Röntgengerät vorbereitet werden. Hierfür wurde eigens zur Durchführung der Aufnahmen eine spezielle Auflagefläche für das DVT angefertigt. Diese besteht aus einer rechteckigen Holzplatte, die mit einem Aluminiumrohr versehen ist und als Steckverbindung in die Halterung der abmontierten Kinnauflagefläche für Patienten eingefügt werden kann (Abbildung 3). Auf dieser Fläche kann das Röntgenphantom im Aufnahmefeld des DVT platziert werden.

Um Zahnimplantate im Röntgenphantom zu inserieren, wird der Implantat-Motor aus der Praxis zur Insertion der Straumann-Implantate eingesetzt. Der Motor ist von der Firma NSK vom Modell Surgic XT Plus. Um die Implantate im Phantom zu setzen, muss dieses präpariert werden.

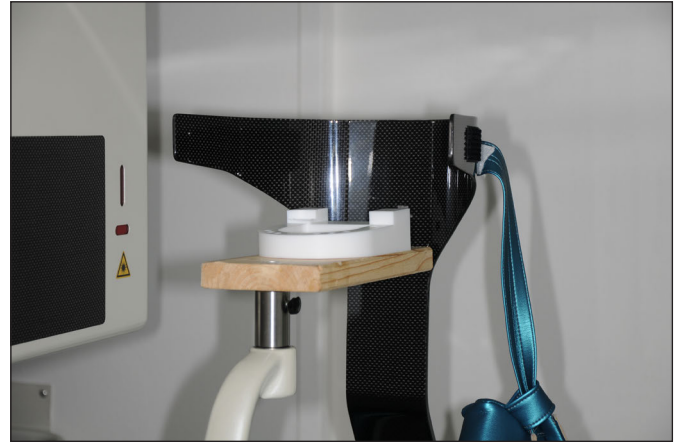


Abbildung 3: Auflagekonstruktion im DVT mit Röntgenphantom ohne Zähne

Hierfür werden drei verschiedene Bohrer mit den Größen-durchmessern 2,2 mm, 2,8 mm und 3,5 mm eingesetzt. Die Implantate besitzen ein selbstschneidendes Gewinde, haben einen Durchmesser von 4,1 mm und eine Länge von 10 mm. Mit einem Drehmoment von 20 Nm und einer Drehzahl von 50 min⁻¹ wird zunächst vorgebohrt und anschließend mit derselben Konfiguration das Implantat gesetzt.

Datenakquisition im DVT

Versuch 1 repräsentiert das Röntgenphantom ohne Implantate (Abbildung 3) und kann als Referenzaufnahme verwendet werden.

Die Versuche 2 bis 4 umfassen drei typische Fälle für die Positionierung von Zahnimplantaten im Praxisalltag. So werden für Versuch 2 ein Zahnimplantat an der Position 44, für Versuch 3 zwei Zahnimplantate an den Positionen 44 und 46 und für Versuch 4 drei Implantate an den Positionen 44, 45 und 46 gesetzt (Abbildung 4). Die Aufnahmen erfolgen laut Vorgabe des erstellten Versuchsplans. Da im Vorfeld durch die Phantomzähne Artefakte in den Testaufnahmen ersichtlich waren (Abbildung 4), wurde entschieden, auf die Phantomzähne während der Datenakquisition im DVT zu verzichten.

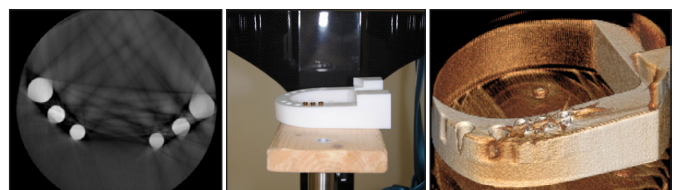


Abbildung 4: Links: Röntgenaufnahme bei 90 kV und 5 mA in Z-Achse: Artefakte verursacht durch Phantom mit Phantomzähne. Mitte: Versuchsaufbau von Versuch 4 im DVT. Röntgenphantom mit drei Zahnimplantaten ohne Zahnphantom. Rechts: 3D Darstellung des Röntgenphantoms mit Zahnimplantat.

Ergebnisse

Bewertung der optischen Bildqualität

Zur Beurteilung der Bildqualität in Abhängigkeit der Eingabeparameter werden in Anlehnung an den Versuchsplan Bewertungsbögen erstellt.

Aus dem Datenpool aus Versuch 2 wird mittels des DICOM Viewers RadiAnt ein Schnittbild selektiert, welches das Röntgenphantom mit einem Zahnimplantat am deutlichsten darstellt. Diese Schnittbilder werden anschließend qualitativ anhand der häufigsten Eigenschaften der Bildqualität bewertet. Diese umfassen das Bildrauschen, den Bildkontrast, die Absorptionsunschärfe, die Detailauflösung und die allgemeine Bildqualität. Auf die Bewertung der Artefakte wird hierbei nicht eingegangen, da in den Bildausschnitten vorhandene Strukturen fälschlicherweise als Aufhärtungsartefakte gedeutet werden könnten und somit die Auswertung verfälschen.

Die genannten Bewertungskriterien werden von sehr gut mit 1 bis schlecht mit 5 bewertet (Abbildung 5).

	1	2	3	4	5
	(Sehr gut)				(Schlecht)
Bildrauschen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bildkontrast	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absorptionsunschärfe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Detailauflösung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Allgemeine Bildqualität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 5: Bewertungskriterien mit Bewertungsabstufungen

Die erstellten Bewertungsbögen werden an Ärzte aus der MKG und Radiologie sowie Medizinphysik- und Medizintechnikexperten zur Beurteilung übermittelt. Die jeweiligen Gerätekonfigurationen sind bei der Bewertung nicht ersichtlich, um die Beurteiler der Aufnahmen nicht zu beeinflussen. Nachdem die Beurteilung der Schnittbilder abgeschlossen ist, wird zur Auswertung die Häufigkeit der jeweiligen Bewertungspunkte ermittelt. Diese gibt an, wie oft ein Bewertungspunkt für je ein Bewertungskriterium je Aufnahme vergeben wurde.

Da die absolute Häufigkeit nur schwer Rückschlüsse auf die Aufnahme mit den besten Beurteilungen zulässt, wird das arithmetische Mittel der Ergebnisse berechnet. Dieser Vorgang wird für alle Aufnahmen und Bewertungskriterien wiederholt. Aus den Werten können nun die Mittelwerte je Bewertungskriterium und Aufnahme ermittelt werden. Somit lässt sich zum einen feststellen, welches Kriterium in jeder Schichtaufnahme am besten bewertet wurde und zum anderen, welche Gerätekonfiguration allgemein die besten Bildergebnisse liefert.

	Bildrauschen	Bildkontrast	Absorptionsunschärfe	Detailauflösung	Allgemeine Bildqualität
Aufnahme 1	4,27	2,93	2,67	2,81	3,27
Aufnahme 2	1,73	3,20	2,67	2,00	2,13
Aufnahme 3	3,07	3,13	3,73	3,60	3,60
Aufnahme 4	3,27	3,53	2,87	3,13	3,07
Aufnahme 5	1,60	2,27	2,47	1,73	1,93
Aufnahme 6	3,20	2,40	3,50	3,47	3,13
Aufnahme 7	3,60	2,27	2,47	2,07	2,73
Aufnahme 8	3,00	2,53	3,07	3,27	3,20
Aufnahme 9	2,33	2,07	3,47	2,33	3,40

Abbildung 6: Durchschnittliche Bewertung der Aufnahmen je Bewertungskriterium, wobei Grün das beste und Rot das schlechteste Ergebnis hervorhebt

Betrachtet man zunächst die einzelnen Durchschnittswerte (Abbildung 6), so zeigt sich, dass das Bildrauschen in Aufnahme 5 das beste Ergebnis (1,60) liefert, wohingegen Aufnahme 1 den schlechtesten Wert (4,27) besitzt. Der Bildkontrast hingegen ist in Aufnahme 9 mit einem Wert von 2,07 am besten und in Aufnahme 4 am schlechtesten bewertet. Die Absorptionsunschärfe wurde in Aufnahme 5 und 7 mit einem Wert von 2,47 gleich gut bewertet. Das schlechteste Resultat liefert Aufnahme 3 mit 3,73. Aufnahme 5 liefert in den Bewertungskriterien Detailauflösung und Allgemeine Bildqualität die besten Werte mit 1,73 in der Detailauflösung und 1,93 in der Allgemeinen Bildqualität, wohingegen Aufnahme 3 die schlechtesten Ergebnisse mit 3,60 in Detailauflösung und Allgemeiner Bildqualität liefert.

Fasst man alle Resultate zusammen, lässt sich ein Ranking aufstellen (Abbildung 7). Diese Rangfolge gibt mit 1 die Aufnahmekonfigurationen mit den besten und mit 9 die Aufnahmekonfigurationen mit den schlechtesten Ergebnissen an. Aufnahme 5 zeigt die allgemein beste Bildqualität für die Eingabeparameter 75 kV und 3 mA.

		Ranking	Spannung / Strom
Aufnahme 1	3,189	8	60 kV / 1 mA
Aufnahme 2	2,347	2	60 kV / 3 mA
Aufnahme 3	3,427	9	60 kV / 5 mA
Aufnahme 4	3,173	7	75 kV / 1 mA
Aufnahme 5	2,000	1	75 kV / 3 mA
Aufnahme 6	3,140	6	75 kV / 5 mA
Aufnahme 7	2,627	3	90 kV / 1 mA
Aufnahme 8	3,013	5	90 kV / 3 mA
Aufnahme 9	2,720	4	90 kV / 5 mA

Abbildung 7: Gesamtdurchschnittsbildung je Aufnahme und Ranking

Quantitative SNR-Bewertung

Das Verhältnis von Signalintensität zu Rauschen ist eine wichtige Größe zur qualitativen Bildbeurteilung in der Radiologie. Durch Veränderung der Eingangsspannung am Röntgengerät kann die Strahlendosis variieren und somit für eine positive oder negative Entwicklung des SNR verantwortlich sein. Das Rauschen in den Röntgenbildern sorgt dafür, dass die Erkennbarkeit der Signale eingeschränkt wird. In der Bildverarbeitung wird das SNR wie folgt definiert:

$$SNR = \frac{A_{Signal}}{\sigma_{Rauschen}}$$

mit A_{Signal} : Nutzsinalamplitude;

$\sigma_{Rauschen}$: Rausch-Standardabweichung.

Um einen Zusammenhang zwischen den Eingabeparametern Röhrenspannung und Röhrenstrom mit dem SNR nachzuweisen, wird das SNR in allen Aufnahmen bestimmt. Mittels ROI-basierter Untersuchung in den akquirierten Röntgenbildern können die einzelnen Schnittbilder der Aufnahmen mittels eines entwickelten MATLAB Source Codes analysiert werden (Abbildung 8).

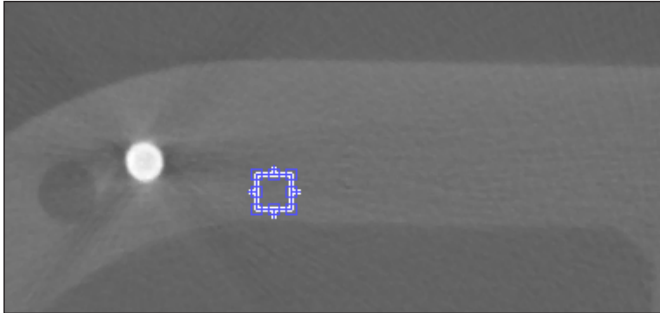


Abbildung 8: Schnittbild aus der Z-Achse mit Röntgenphantom und einem Zahnimplantat aus Versuch 1 mit einer ROI (blaues-weißes Quadrat)

Bei der Auswertung der akquirierten Daten wird das SNR in Abhängigkeit des Röhrenstroms in Milliampere (mA) und der Röhrenspannung in Kilovolt (kV) betrachtet. Hierbei ist es wichtig, dass bei der Datenerfassung die ROI immer an der gleichen Position in den Bildausschnitten positioniert ist, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Es konnte festgestellt werden, dass das SNR in der Z-Achse bei gleichbleibendem Röhrenstrom und steigender Röhrenspannung zunimmt. Je höher der SNR-Wert ist, desto geringer ist das Störsignal, welches das Bildsignal überlagert.

Eine Zunahme des SNR in der Z-Achse erfolgt auch bei gleichbleibender Röhrenspannung und steigendem Röhrenstrom, wobei das SNR das gleiche Verhalten wie bei einer steigenden Röhrenspannung und einem gleichbleibenden Röhrenstrom aufweist.

Bei der Betrachtung der Versuche 2 bis 4 (Abbildung 9) lässt sich ein deutlicher Rückgang der SNR-Werte im Vergleich zu Versuch 1 feststellen. Die Voraussetzung zur Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses ist, dass die ROI in einen homogenen Grauwertebereich des Schnittbildes gelegt wird. Aufgrund der Zahnimplantate in den Röntgenaufnahmen werden neben den Aufhärtungsartefakten auch Streuartefakte verursacht. Diese führen dazu, dass sich im Interessenbereich keine homogenen Grauwertebereiche befinden und somit die Berechnung des SNR stark beeinflusst wird. So ergibt sich für Versuch 2 (Abbildung 9, orange Säule) ein maximales SNR von 13,12 bei einer Röhrenspannung von 75 kV und einem

Röhrenstrom von 5 mA. In den Versuchen 3 und 4 sinkt das maximale SNR weiter ab (11,25 in Versuch 3 – Abbildung 9, graue Säule; 8,86 in Versuch 4 – Abbildung 9, gelbe Säule).

Die Beurteilung des Versuches 1 (Abbildung 9, blaue Säule) zeigt, dass der SNR in den Röntgenaufnahmen einen wesentlich höheren Wert annimmt als in den Versuchen 2, 3 und 4. Das Maximum des Signal-Rausch-Verhältnisses liegt bei Versuch 1 bei 37,88 mit einer Geräteeingangsspannung von 75 kV und einem Geräteeingangsstrom von 5 mA. Mit zunehmender Anzahl an Implantaten steigt die Artefakhäufigkeit und damit die Inhomogenität in der ROI.

Da nur in Versuch 1 das SNR zuverlässig in einem homogenen Bereich des Schnittbildes, das durch keine Streuartefakte beeinflusst wird, ermittelt wird, kann anhand dieses Wertes eine Aussage über mögliche Gerätekonfigurationen getroffen werden, die eine Verbesserung der Bildqualität mit sich bringen.

Ob die Anzahl und die Distanzen zwischen den Zahnimplantaten innerhalb des Aufnahmegebietes Einfluss auf die Streuung der Intensität und somit auch auf den SNR haben, kann anhand der vorhandenen Auswertung und Abbildungen nicht eindeutig geklärt werden.

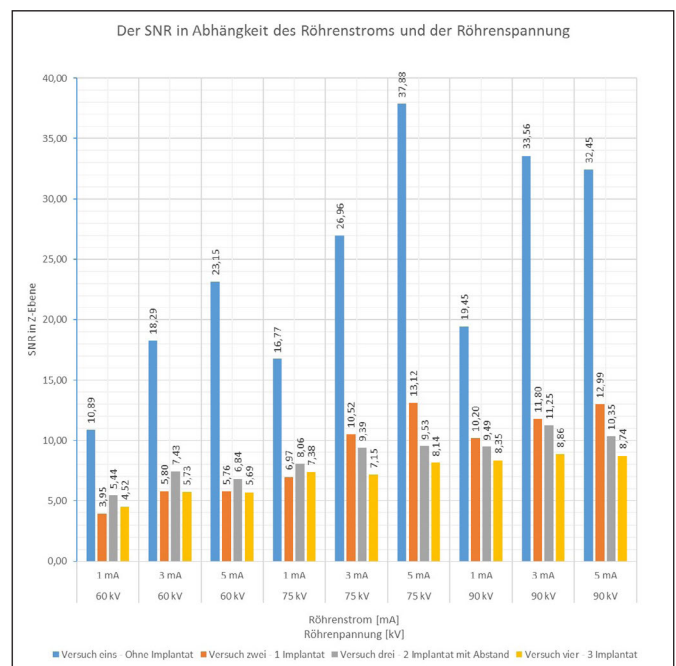


Abbildung 9: Effektive Dosis in Abhängigkeit des Röhrenstroms und der Röhrenspannung

Schlussfolgerungen und Ausblick

Nach einer ausführlichen Materialanalyse wurde ein Röntgenphantom in Form eines Unterkiefers mit eingesteckten Zähnen und Zahnimplantaten entwickelt und erstellt. Mit diesem Phantom konnten 3D-Röntgenaufnahmen in der digitalen Volumtomografie (DVT) unter kontrollierten Bedingungen angefertigt und mittels verschiedener

Auswertungsverfahren analysiert werden. Eine statistische Analyse der Auswertungsergebnisse ermöglichte die Optimierung der Aufnahmeparameter am DVT.

Um das Röntgenphantom weiterzuentwickeln, sind weitere ausführliche und umfassende Materialanalysen durchzuführen, um Ersatzmaterialien für Kiefer und Zähne zu ermitteln, um die Schwächung der Röntgenstrahlung an den Phantommaterialien noch besser dem Knochen und den Zähnen anzugleichen.

Neben der Reproduktion von Metallartefakten kann das entwickelte Phantom auch zur Reproduktion von patientenverursachten Bewegungsartefakten eingesetzt wer-

den. Durch das Gewinde an der Unterseite des Phantoms ist es möglich, eine Verbindungsstange für einen Bewegungsmotor zu installieren. Biomechanische Berechnungen dienen hierbei der Ermittlung von Kräften und Drehmomenten, die ein Mensch aufwenden muss, um sich in der Patientenlagerung bewegen zu können. Anhand dieser mechanischen Berechnungen kann die Auslegung für einen geeigneten Motor bestimmt werden.

Neben der Minimierung von Metallartefakten mittels Änderungen der Eingabeparameter ist es auch möglich, eine Reduzierung der Streu- und Aufhärungsartefakte mittels einer softwarebasierten Lösung zu erzielen.

Referenzen:

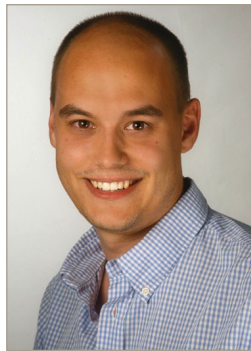
- [1] Zugriff am 03.08.2017 unter http://global.morita.com/global/root/img/pool/products/dental/diagnostic_and_imaging_equipment/3d_accuitomo_80/3D_Accuitomo_80_engl_klein_pdf-0217_1601.pdf
- [2] Schuller, Karina: Masterarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen zum Thema: Entwicklung eines Hybridphantoms zur Anwendung in der Nuklearmedizin und Radiologie. Abgabe 2016.
- [3] Straumann, SLA – Active Wissenschaftliche Studien, Fünfte Ausgabe (2011), Seite 2.

Kontakt:



Andrea Fleischer, B. Eng.

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



Manuel Stich, M. Sc.

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

m.stich@oth-aw.de



Anne Slawig, M. Sc.

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

a.slawig@oth-aw.de



Prof. Dr. Dr. Tim Krafft

Kieferchirurgische
Gemeinschaftspraxis
Wörthstraße 7
92637 Weiden

praxis@mkg-weiden.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

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

r.ringler@oth-aw.de

Virtuelle Produktentwicklung für Drug Delivery Devices und Primär- verpackungen aus Glas

Prof. Dr. Franz Magerl
Dominik Süß, B. Eng.

Zusammenfassung

Die Zusammenführung aller verfügbaren Modelle und Daten schafft einen perfekten digitalen Zwilling, der es ermöglicht, die Produkt- und Prozessentwicklung mit all ihren Herausforderungen zuverlässig in einem virtuellen Umfeld zu simulieren. Dies beginnt bereits bei der Glasherstellung. Hier erlaubt es die Simulation, kritische Parameter für die Qualität des erzeugten Glases, den Energieverbrauch und die Emissionsbelastung zu ermitteln und auf diese Weise eine stabile, hochwertige und umweltfreundliche Produktion sicherzustellen. Bei der Verarbeitung von Behälter- oder Hüttenglas sind die nächsten Schritte die Erzeugung und der Transport von Glaspfropfen zur Formstation. Hier können sowohl die optimalen Temperaturprofile als auch die optimale Austritts- und Transportgeschwindigkeit der Tropfen durch entsprechende Simulationen ermittelt werden. Bei den anschließenden Formprozessen ermöglichen es die Simulationsverfahren, hohe Temperaturdifferenzen zwischen dem geschmolzenen Glas und den Werkzeugen sowie die extreme Verformung des Glases bei der Formung zuverlässig zu beherrschen. Ähnlich hoch ist die Leistungsfähigkeit der Predictive Engineering Analytics bei der Fertigung und Verarbeitung von Röhrenglas. Hier kann das komplexe Zusammenspiel von Glaszuführungs- und Zuggeschwindigkeit, Temperatur und Druck im virtuellen Raum simuliert werden, um einen robusten Produktionsprozess auf höchstem Qualitätsniveau sicherzustellen. Wie beim Behälterglas helfen Simulationstechniken anschließend, Erwärmungs-, Schneide-, Umform- und Oberflächenveredelungsprozesse optimal zu beherrschen. Durch die Virtualisierung der gesamten Entwicklungs- und Prozesskette wird umfassendes Know-how zur Identifizierung, Bewertung und Kontrolle der dominierenden Einflussparameter für die Prozessstabilität und Produktfunktionalität generiert – mit den entsprechenden Vorteilen für den Kunden bei der Bewertung von Effizienz- und Effektivitätspotenzialen.

Abstract

Bringing together all available models and data creates a perfect digital “twin” that lets product and process development and all the related challenges be simulated reliably in a virtual environment, something that begins right at the glassmaking stage. The simulation allows critical parameters relating to the quality of the glass produced, the energy consumed, and the emissions generated to be determined, thus guaranteeing stable, high-quality, and environmentally friendly production. When processing container or molded glass, the next step is to produce glass gobbs and transport them to the molding station, where corresponding simulations can calculate the optimum temperature profiles for the gobs as well as their ideal discharge and transportation speed. In the downstream molding processes, the simulation techniques make it possible for high temperature differences between the molten glass and the tools as well as extreme deformation in the glass during the molding process to be handled reliably. It provides a virtual space for simulating the complex interplay between glass infeed and drawing speeds, temperature, and pressure in order to guarantee a robust, top-quality production process. As with container glass, simulation techniques then facilitate optimum control over heating, cutting, forming, and surface finishing processes. Virtualizing the entire development and process chain generates extensive insights for identifying, evaluating, and monitoring the crucial parameters that influence process stability and product functionality.

Einleitung

Glasspritzen werden durch Umformung aus Glasröhren hergestellt. Die Herstellung ist bisher nicht in einer Simulation nachvollzogen und daher nur aufgrund praktischer Erfahrung optimiert worden. In einer umfangreichen Studie sollen der Umformprozess mithilfe numerischer Simulation nachvollzogen und Optimierungspotenziale erschlossen werden. Die numerische Simulation des Umformprozesses bietet ein breites Spektrum an Vorteilen gegenüber der „trial and error“-Methode. Diese erstrecken sich von dem ganzheitlichen Verständnis des Prozesses über die Verkürzung von Optimierungszeiten im Rahmen einer statistischen Versuchsplanung bis zur Reduktion von Entwicklungs- und Produktionszeiten. Bei der Simulation von Glas ergibt sich zudem der Vorteil, dass der Prozess bzw. vor allem das viskoelastische Werkstoffverhalten von Glas infolge der Simulation besser verstanden und analysiert werden kann. Durch das fundierte Verständnis des Herstellungsprozesses kann dieser nun leichter analysiert und optimiert werden.

Methodisches Vorgehen

Die Simulation erfolgt mit der FEM-Software MSC Marc/Mentat. Bei dieser handelt es sich um einen FEM-Solver für alle Arten von Nichtlinearitäten (Werkstoffe, Randbedingungen, Kontakte usw.). Ein weiterer Vorteil, den die Software bietet, sind multiphysikalische Analysen. Diese sind für die Simulation von Glas erforderlich, da eine gekoppelte thermomechanische Analyse notwendig ist. Der Werkstoff Glas zeichnet sich durch ein viskoelastisches Materialverhalten aus. Das Materialverhalten von Glas lässt sich mit den gängigen FEM-Programmen nicht direkt abbilden. Aus diesem Grund wird ein Unterprogramm (Subroutine) verwendet. In diesem ist die Fulcher-Tammann-Vogel-Gleichung integriert, sodass für die resultierenden Temperaturen des Simulationsobjekts die entsprechenden strukturmechanischen Werkstoffeigenschaften bestimmt werden können. Die Fulcher-Tammann-Vogel-Gleichung hat sich etabliert, um die Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Glases darzustellen. Mithilfe dieser Gleichung kann für jede beliebige Temperatur innerhalb ihres Gültigkeitsbereiches die entsprechende Viskosität berechnet werden.

Des Weiteren wurden im Vorfeld alle wichtigen Materialeigenschaften und Wärmetransportmechanismen, die für die Simulation benötigt werden, recherchiert. Dabei handelt es sich um die Wärmeausdehnung, die Wärmeleitfähigkeit, die Wärmestrahlung und den konvektiven Wärmeübergang, wobei Letzterer von mehreren Faktoren abhängt.

Die Glasröhre wird vor jedem Umformschritt im Umformbereich erhitzt. Um diesen Vorgang in der Simulation abzubilden, wurden mithilfe einer Wärmebildkamera die Temperaturprofile der Glasröhre unmittelbar vor der

Umformung bestimmt. Diese Temperaturverteilung wurde nun mithilfe von Wärmeübergangsbeziehungen in das Modell eingebracht. Die sich nach wenigen Sekunden im Modell einstellende Temperaturverteilung entspricht somit der, die in der Realität an der Glasröhre vorliegt. Weitere für die Simulation benötigte Randbedingungen stellen die Fliehkraft, die Lagerung der Glasröhre und den Wärmeübergang zur umliegenden Luft dar.

Zudem müssen die Umformrollen in die Simulation eingebracht werden. Diese werden in der 2D-Simulation durch Kurven und in der 3D-Simulation durch Flächen dargestellt. Die Rollen vollziehen in der Simulation dieselben Bewegungen wie in der realen Produktion. Ihnen wurden dieselben Temperaturen zugeordnet wie in der realen Produktion.

Somit wurde ein realitätsnahes Modell für die Simulation des Herstellungsprozesses der Glasspritze aufgebaut, das alle wesentlichen Aspekte der realen Produktion abdeckt. Jedoch erfolgt bei dem zweidimensionalen Modell eine Abstraktion der Realität. Während die Rolle und die Glasröhre in der Realität nur an einem Punkt in Kontakt sind und sich gegeneinander abrollen, wird in der 2D-Simulation angenommen, dass die Glasröhre im Kontaktbereich vollständig von der Formrolle umschlossen wird und sich der „Ring“ der Formrolle gleichmäßig zusammenzieht. Dieser Aspekt äußert sich zum einen in dem gleichmäßigen Zusammenziehen der Glasröhre in ihrem Umfang, zum anderen wird der Wärmeübergang zwischen der Rolle und der Röhre verstärkt, da die Röhre vollkommen von der Umformrolle umschlossen wird, wodurch diese im Kontaktbereich deutlich schneller auskühlt.

Aufgrund dieses Punktes wird die Simulation später dreidimensional erweitert. Nichtsdestotrotz stellt das 2D-Modell die Anfangsbasis für alle Simulationen dar, da die Berechnungszeiten für die einzelnen Umformschritte bei wenigen Minuten liegen, weshalb die Abstraktion in der Startphase in Kauf genommen wurde.

Ergebnisse/Zusammenfassung/Ausblick

Nachfolgend werden Ergebnisse der 2D-Simulation im Vergleich zur CT-Aufnahme der realen Bauteile für alle vier Umformschritte dargestellt (Abbildungen 1–4). Es lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der 2D-Simulation die Realität sehr gut abbilden.

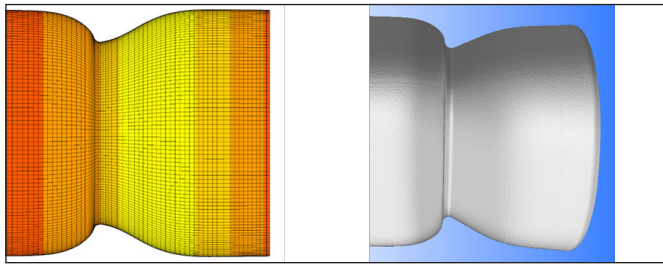


Abbildung 1: Erster Umformschritt: Vergleich Ergebnis 2D-Simulation mit CT-Aufnahme des realen Bauteils

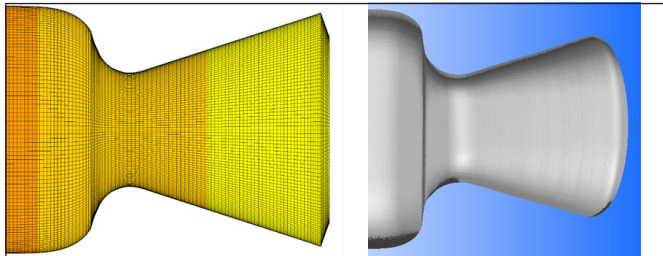


Abbildung 2: Zweiter Umformschritt: Vergleich Ergebnis 2D-Simulation mit CT-Aufnahme des realen Bauteils

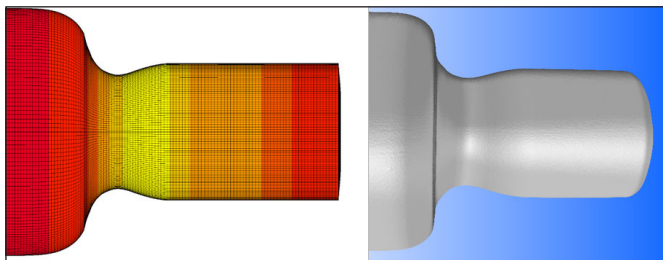


Abbildung 3: Dritter Umformschritt: Vergleich Ergebnis 2D-Simulation mit CT-Aufnahme des realen Bauteils

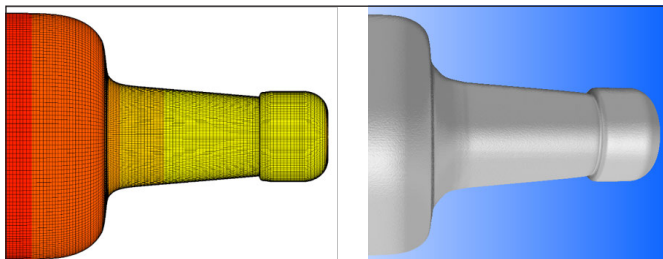


Abbildung 4: Vierter Umformschritt: Vergleich Ergebnis 2D-Simulation mit CT-Aufnahme des realen Bauteils

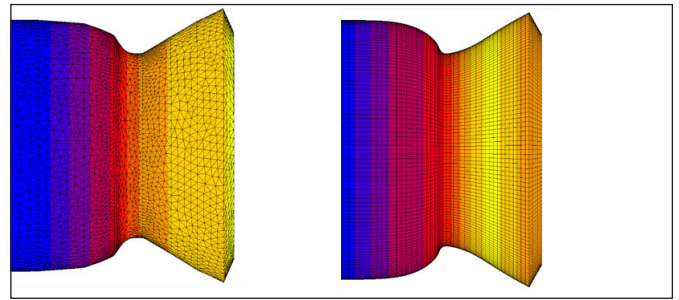


Abb. 5: Erster Umformschritt: Ergebnis der 3D- und 2D-Simulation

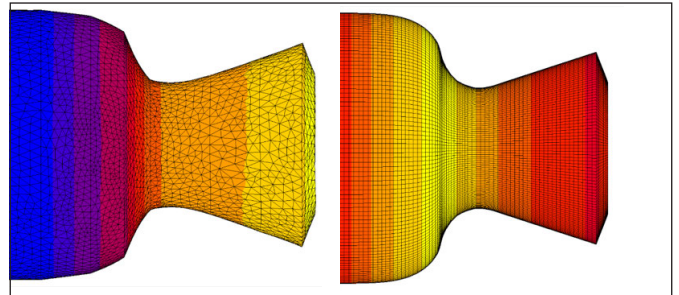


Abb. 6: Zweiter Umformschritt: Ergebnis der 3D- und 2D-Simulation

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass Glas sehr gut im Rahmen der FEM simuliert werden kann. Die Berechnungszeiten für 2D-Simulationen liegen bei einigen Minuten, die für 3D-Simulationen bei mehreren Stunden. Da die Ergebnisse der 2D-Simulationen kaum von den dreidimensionalen Ergebnissen abweichen, kann hierbei bereits von einer ausreichenden Genauigkeit ausgegangen werden.

Die Simulation ermöglicht ein ganzheitliches Verständnis des Umformprozesses. Aus diesem Verständnis und dank der Möglichkeiten des einfachen Abänderns von Fertigungs- und Werkstoffparametern im FEM-Programm lässt sich eine Vielzahl von Optimierungsmöglichkeiten für den Produktionsprozess ableiten. Somit kann die Simulation von Glasprozessen dazu beitragen, die Produktivität zu erhöhen und Kosten zu senken. Auch für die Entwicklung neuer Fertigungsschritte kann die Simulation zielgerichtet genutzt und der Prozess beschleunigt werden.

Zudem werden die 2D- mit den 3D-Ergebnissen abgeglichen; nachfolgend ist dies für den ersten und zweiten Umformschritt dargestellt (Abbildungen 5 und 6). Auf der linken Seite befinden sich die Ergebnisse für das 3D-Modell, auf der rechten Seite die Ergebnisse des 2D-Modells. Wie erwartet wird die Glasröhre bei der zweidimensionalen Simulation im Kontaktbereich stärker abkühlt. Da dieser Effekt jedoch lokal begrenzt ist, zeigen sich nur geringe Unterschiede in den Simulationsergebnissen. In weiteren Untersuchungen soll das 2D-Modell dahingehend optimiert werden, dass die zum 3D-Modell bestehenden Unterschiede bestmöglich minimiert werden. Somit lässt sich eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse erreichen und die Vorteile bezüglich der wesentlich kürzeren Berechnungszeit des 2D-Modells können genutzt werden.

Projektpartner:

Gerresheimer Regensburg GmbH

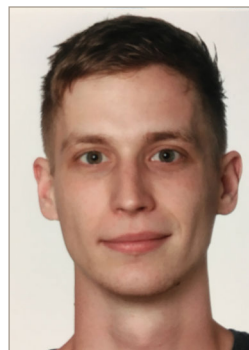
Kontakt:



Prof. Dr. Franz Magerl

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

f.magerl@oth-aw.de



Dominik Süß, B. Eng.

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

do.suess@oth-aw.de

Optimierte Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien für Blockheizkraftwerke

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

Zusammenfassung

Im zweijährigen Vorhaben „Optimierte Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien für Blockheizkraftwerke“, das über die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert wurde, wurden die Potenziale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz von BHKW-Anlagen durch die Umsetzung optimierter Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien untersucht. Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt vier BHKW-Anlagen betrachtet. Im vorliegenden Bericht werden auszugsweise zwei der untersuchten Optimierungsmaßnahmen näher vorgestellt; die ausführlichen Forschungsergebnisse erscheinen als Forschungsbericht im Fraunhofer IRB-Verlag [1]. Die Ergebnisse zeigen, dass durch optimierte Vorrangschaltungen und einen stromgeführten Sommerbetrieb deutliche Verbesserungen in der Auslastung und Wirtschaftlichkeit von BHKW-Anlagen erzielt werden können.

Abstract

In aim of the project „Optimized Monitoring, Operation and Control Strategies for Combined-Heat-and-Power-Plants“ was to investigate the potential for improvement in terms of energy efficiency and cost-effectiveness for existing CHP-plants. The project was funded by the Research Initiative „Zukunft Bau“ of the Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. A total of four CHP-plants were chosen as part of the study. In this report two of the investigated optimization measures are presented in detail as an extract of the full report, which will be published by Fraunhofer IRB [1]. The results show, that by implementing an optimized order of priority and an operation strategy, according to the electric load profile instead of the thermal load profile during summer, substantial improvements in the form of utilized capacity and cost-effectiveness can be achieved for CHP-plants.

1 Einführung und Vorgehensweise

Im Rahmen der Energiewende spielen kompakte KWK-Anlagen, sogenannte Blockheizkraftwerke (BHKW), die dezentral zur Versorgung von Liegenschaften und Wärmenetzen eingesetzt werden, eine wichtige Rolle. Sowohl für neu geplante als auch für bestehende BHKW-Anlagen gilt es, die Auslegung sowie die Betriebs- und Regelstrategie optimal auf den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen, um das Effizienzpotenzial voll auszuschöpfen.

Im zweijährigen Vorhaben „Optimierte Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien für Blockheizkraftwerke“, das über die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert wurde, wurden in Kooperation mit der LEA Lean Energy Services GmbH, der Bayernwerk Natur GmbH, der Stadtwerke Crailsheim GmbH und dem Kommunalunter-

nehmen Stadtwerke Weiden i. d. OPf. die Potenziale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz von BHKW-Anlagen durch die Umsetzung optimierter Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien untersucht. Hierfür wurden vier BHKW-Anlagen unterschiedlicher Konfiguration und Leistungsklasse ausgewählt und im Rahmen eines zweijährigen Monitorings begleitet:

- BHKW-Anlage A zur Versorgung eines Kindergartens mit angrenzenden Gebäuden
- BHKW-Anlage B mit Einspeisung in ein Wärmenetz für ein Wohngebiet
- BHKW-Anlage C mit Einspeisung in ein Wärmenetz zur Versorgung eines Industrieparks
- BHKW-Anlage D zur Versorgung eines Klinikums

Im vorliegenden Bericht werden auszugsweise zwei der untersuchten Optimierungsmaßnahmen an den BHKW-

Anlagen B und D näher vorgestellt, die ausführlichen Forschungsergebnisse erscheinen als Forschungsbericht im Fraunhofer IRB-Verlag [1].

2 Umsetzung einer optimierten Vorrangschaltung (BHKW-Anlage B)

Die BHKW-Anlage B dient der Wärmeversorgung eines Wohngebiets. In der Heizzentrale sind zwei BHKW-Module (BHKW1 mit $142 \text{ kW}_{el}/216 \text{ kW}_{th}$, BHKW2 mit $205 \text{ kW}_{el}/331 \text{ kW}_{th}$), ein Spitzenlastkessel mit 1.750 kW_{th} und 2 Pufferspeicher mit je $7,5 \text{ m}^3$ installiert. Die beiden BHKW-Module werden moduliert betrieben. Das bedeutet, dass die Leistung der beiden Module zwischen 50 % und 100 % der Nennleistung geregelt werden kann.

Ausgehend von einer Wirkungsgradbestimmung im Teillastbetrieb wurde die Vorrangschaltung der BHKW-Module in der ersten Monitoringphase analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass bei rückläufiger Wärmeabnahme zunächst das kleinere der beiden Module (BHKW1) abschaltet, während das größere Modul (BHKW2) gleichzeitig in den Modulationsbetrieb mit reduzierter Leistung geht (vgl. rot markierter Bereich in Abbildung 1). Im betreffenden Zeitraum könnte der Wärmebedarf jedoch nahezu vollständig auch mit dem kleinen Modul gedeckt werden, das dabei zudem mit Nennlast und wesentlich besserem elektrischen Wirkungsgrad betrieben werden könnte. Als Optimierungsmaßnahme wurde daher die Vorrangschaltung geändert, sodass nun bei geringem Wärmebedarf zunächst BHKW1 – möglichst mit Nennlast – betrieben wird und BHKW2 erst danach zuschaltet.

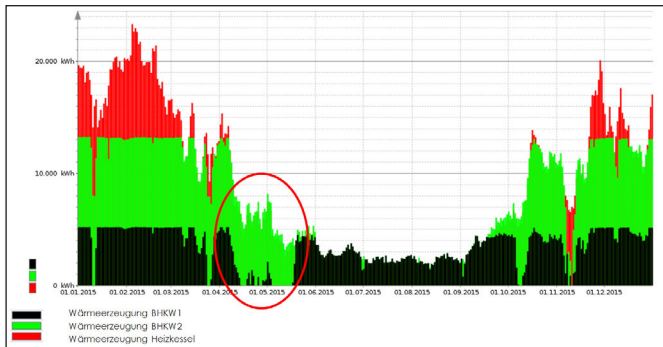


Abbildung 1: Ungünstige BHKW-Vorrangschaltung

Die Ergebnisse der Umstellung sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 zusammengefasst. Abbildung 2 zeigt den Betrieb für den Zeitraum von zwei Wochen vor der Umstellung. Aufgrund des geringen Wärmebedarfs ist nur ein BHKW-Modul in Betrieb, in diesem Fall aufgrund der Vorrangschaltung das größere der beiden Module (BHKW2). Das Modul kann jedoch aufgrund der zu geringen Wärmeabnahme fast durchgehend nur mit 50 % Teillast und zudem häufigen Start-Stopp-Zyklen betrieben werden.

Abbildung 3 zeigt den Betrieb für den Zeitraum von zwei Wochen nach Änderung der Vorrangschaltung. Deutlich zu erkennen ist, dass nun vorrangig BHKW1 in Betrieb ist

und BHKW2 nur zeitweise kurz zuschaltet. Da BHKW1 nur ca. 65 % der thermischen Leistung von BHKW2 aufweist, kann es zudem auch bei geringer Wärmeabnahme noch deutlich länger bei Nennlast betrieben werden und erreicht auch insgesamt eine höhere Laufzeit.

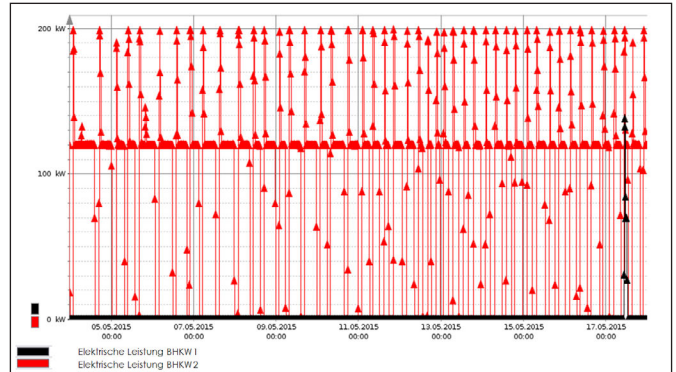


Abbildung 2: Elektrische Leistung der beiden BHKW-Module vor der Umstellung der Vorrangschaltung

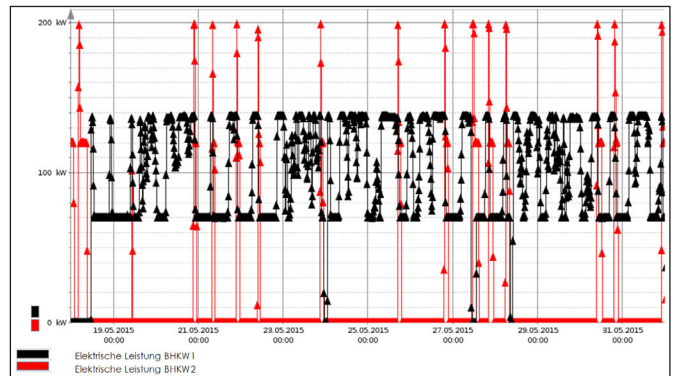


Abbildung 3: Elektrische Leistung der beiden BHKW-Module nach der Umstellung der Vorrangschaltung

Durch die Änderung der Vorrangschaltung konnte für den untersuchten Zeitraum von zwei Wochen vor und nach der Umstellung in nahezu allen Bereichen eine Verbesserung erzielt werden. Der mittlere elektrische Nutzungsgrad der BHKW-Anlage steigt um ca. 2 Prozentpunkte, der Gesamtnutzungsgrad steigt trotz etwas geringerem thermischen Nutzungsgrad ebenfalls leicht an. Durch die Effizienzvorteile erhöht sich die Primärenergieeinsparung und die spezifischen CO_2 -Emissionen sinken. Die Startanzahl konnte mit insgesamt 18 gegenüber 48 Starts (jeweils Summe über beide Module) deutlich reduziert werden. Für BHKW1 ergibt sich mit fast 80 Betriebsstunden pro Start nunmehr ein sehr günstiges Start-Stopp-Verhältnis, während BHKW2, das in der neuen Vorrangschaltung nur noch sporadisch zuschaltet, hier etwas schlechter abscheidet als vor der Umstellung. Für die BHKW-Anlage als Ganzes betrachtet können die Betriebsstunden pro Start jedoch deutlich verbessert werden. Durch die Umstellung kann zudem ein wirtschaftlicher Vorteil generiert werden. Hochgerechnet auf den relevanten Zeitraum von ca. Anfang Mai bis Ende September besteht das Potenzial für jährliche Einsparungen im vierstelligen Eurobereich.

3 Potenzialanalyse für den stromgeführten Sommerbetrieb (Anlage D)

In der BHKW-Anlage D sind zwei hocheffiziente Erdgas-BHKW-Module (BHKW1 mit $250 \text{ kW}_{el}/264 \text{ kW}_{th}$, BHKW2 mit $550 \text{ kW}_{el}/578 \text{ kW}_{th}$) installiert. Die beiden Module versorgen das Klinikum sowohl mit Wärme als auch mit Strom. Der Strom, der nicht im Klinikum selbst genutzt werden kann, wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Zur Spitzenlastabdeckung sind in der Heizzentrale drei Gaskessel verbaut. Der Pufferspeicher ist als Kaskade aus vier in Reihe geschalteten Behältern mit je 5 m^3 Volumen ausgeführt und als hydraulische Weiche eingebunden.

BHKW-Anlage D wird wärmegeführt betrieben, weshalb die bereitgestellten Strommengen bei abnehmendem Wärmebedarf im Sommer ebenfalls zurückgehen (Abbildung 4). Im Fall der betrachteten Anlage hat die erzeugte elektrische Energie jedoch einen vergleichsweise hohen Wert (hohe Stromgutschrift aufgrund von Stromeigenutzung), weshalb eine durchgängig hohe Strombereitstellung über die BHKW-Module wünschenswert wäre. Da die Anlage zudem bereits über einen Notkühler verfügt, bietet sich – zumindest während der Sommermonate – ein stromgeführter Betrieb an. Zu beachten ist dabei, dass im Jahresmittel die erforderlichen Nutzungsgrade für einen qualifizierten KWK-Betrieb im Sinne der einschlägigen Richtlinien (z. B. Energiesteuergesetz [2], AGFW-Richtlinie FW 308 [3]) wegen des zeitweise ungekoppelten Betriebs nicht unterschritten werden. Zur Abschätzung der erzielbaren Vorteile wurde daher auf Basis eines MATLAB/Simulink-Simulationsmodells eine Potenzialanalyse des stromgeführten Betriebs über eine Netzbezugsregelung durchgeführt.

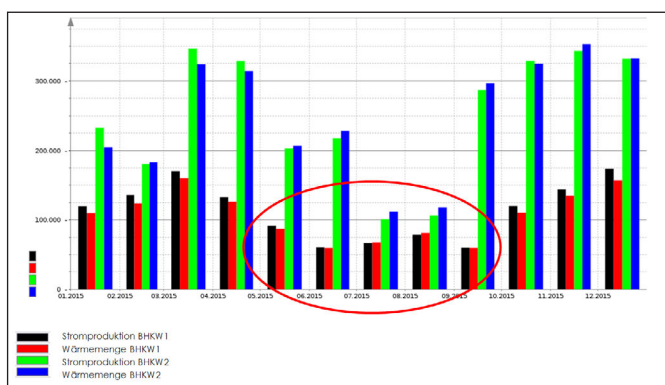


Abbildung 4: Rückgang der Strombereitstellung in den Sommermonaten bei BHKW-Anlage D

Die erzeugte Wärme der beiden BHKW-Module wird im Simulationsmodell vorrangig zur Deckung des Wärmebedarfs im Klinikum genutzt. Als Basis für die Berechnung dient hier der tatsächliche Wärmebedarf, der als Lastgang vorgegeben wird. Wärmeüberschüsse werden über den Notkühler abgeführt. In der Simulation wird im Fall eines Leistungsüberschusses zunächst die Wärme von BHKW2 über den Notkühler abgeführt. Dies hat jedoch

nur rechnerische bzw. bilanzielle Gründe und spielt in der Praxis keine Rolle, da die Wärme beider Module stets in ein gemeinsames Heizungsnetz eingespeist wird und eine Aufteilung der abgeführten Wärme auf die unterschiedlichen Wärmeerzeuger physikalisch nicht möglich ist. Entscheidend ist im Rahmen der Potenzialanalyse daher in erster Linie die Energiebilanz der Gesamtanlage.

In der Praxis ist ein stromgeführter Betrieb der BHKW-Anlage D insbesondere im Sommer interessant. In den Wintermonaten werden die beiden BHKW-Module aufgrund des hohen Wärmebedarfs ohnehin nahezu durchgängig betrieben, sodass eine Umstellung auf explizit stromgeführten Betrieb keine Vorteile bringt. Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde für die Simulation ein Betrachtungszeitraum vom 01.01. bis 31.12. festgelegt, wobei lediglich für den Zeitraum vom 15.06. bis zum 31.07. auf stromgeführten Betrieb umgestellt wurde und für den restlichen Zeitraum ein wärmegeführter Betrieb angenommen wurde. Für den wärmegeführten Betrieb wurden aus Vergleichbarkeitsgründen die tatsächlichen Betriebsdaten im Zeitraum 01.01.2016 bis 31.12.2016 angesetzt.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die beiden BHKW-Module durch die kurzzeitige Umstellung auf stromgeführten Sommerbetrieb deutlich längere Laufzeiten erreichen können. Im Betrachtungszeitraum vom 01.01. bis 31.12. können die Betriebsstunden des BHKW1 von insgesamt 6.679 h auf 7.013 h und die des BHKW2 von 6.285 h auf 7.042 h erhöht werden. In der Simulation können die beiden BHKW im Zeitraum vom 17.06. bis 31.07. weitestgehend durchgängig bei Nennlast betrieben werden. Dadurch verringert sich im Gesamtbetrachtungszeitraum die Startanzahl des BHKW1 von 651 auf 575 Starts und die des BHKW2 von 672 auf 548 Starts.

In Abbildung 5 ist die zusätzliche Stromerzeugung der BHKW-Anlage im wärmegeführten Betrieb (tatsächliche Betriebswerte) im Vergleich zu den Simulationsergebnissen mit stromgeführtem Sommerbetrieb dargestellt. Da die BHKW-Anlage lediglich in den Monaten Juni und Juli auf stromgeführten Betrieb umgestellt wird, sind die Werte der Stromerzeugung für die Monate Januar bis Mai und August bis Dezember identisch. In den Monaten Juni und Juli werden dagegen insgesamt 514 MWh_{el} mehr Strom erzeugt.

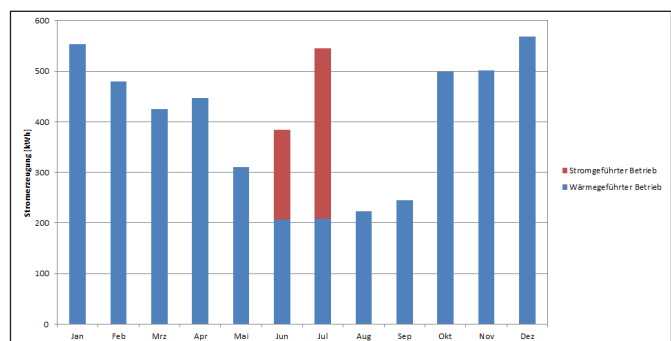


Abbildung 5: Vergleich der tatsächlichen Stromerzeugung der BHKW-Anlage mit der Simulation im Betrachtungszeitraum

In der Simulation kann im Zeitraum vom 17.06. bis 31.07. der erzeugte Strom vollständig im Klinikum genutzt werden. Aufgrund der Betriebsart „Netzbezugsregelung“ wird bis auf minimale Regelabweichungen kein überschüssiger Strom ins öffentliche Netz eingespeist. Es werden allerdings ca. 521 MWh_{th} überschüssige Wärme erzeugt, die über den Notkühler abgeführt werden muss. Über den gesamten Betrachtungszeitraum von einem Jahr werden dennoch ca. 90 % der bereitgestellten Wärme genutzt, sodass der Gesamtwirkungsgrad lediglich um ca. 3,5 Prozentpunkte auf nunmehr 80,5 % fällt. Damit werden die Kriterien für den KWK-Betrieb im Sinne des AGFW-Arbeitsblatts FW 308 (80 % Nutzungsgradpotenzial [3]) und des Energiesteuergesetzes eingehalten (> 70 % Nutzungsgrad für die vollständige Steuerentlastung [2]).

Durch die Umstellung der Betriebsweise von wärmegeführt auf stromgeführt über den Zeitraum von sechs Wochen im Sommer kann im betrachteten Fall ein deutlicher wirtschaftlicher Vorteil erzielt werden, der in erster Linie auf die Mehreinnahmen aus der Stromgutschrift zurückzuführen ist. Ein weiterer geringer Vorteil ergibt sich dadurch, dass der Spitzenlastkessel in den Sommermonaten praktisch nicht mehr betrieben werden muss, da die BHKW-Module ohnehin genug Wärme zur Verfügung stellen. Den Einsparungen stehen Mehrausgaben für die Brennstoffversorgung und Instandhaltung der BHKW-Module gegenüber. Die Sensitivitätsanalyse (Abbildung 6) zeigt, dass der wirtschaftliche Vorteil des stromgeführten Betriebs stark von der Höhe der Stromgutschrift bzw. vom Brennstoffpreis abhängt. Das Ausgangsniveau wurde hier mit 3,5 Cent/kWh_{Hi} bzw. 14,5 Cent/kWh_{el} angenommen. Je höher der Wert der erzeugten Stroms, desto höher der wirtschaftliche Vorteil. Je höher die Kosten für den Brennstoff sind, desto geringer fällt der wirtschaftliche Vorteil aus. Im betrachteten Fall ist das Ergebnis jedoch fast über den gesamten Variationsbereich hinweg positiv.

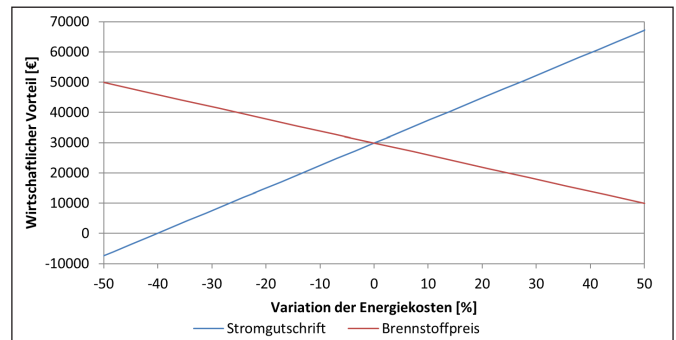


Abbildung 6: Wirtschaftlicher Vorteil des stromgeführten Betriebs im Sommer gegenüber dem wärmegeführten Betrieb

4 Fazit

Die Ergebnisse der vorgestellten Optimierungsmaßnahmen zeigen, dass durch optimierte Vorrangschaltungen und einen stromgeführten Sommerbetrieb deutliche Verbesserungen in der Auslastung und Wirtschaftlichkeit von BHKW-Anlagen erzielt werden können. Insbesondere bei BHKW-Anlagen mit mehreren Modulen unterschiedlicher Leistung ist eine sorgfältige Abstimmung der Vorrangschaltung und des Modulationsbetriebs notwendig, um die BHKW-Module möglichst lange im optimalen Lastbereich betreiben zu können. Im stromgeführten Betrieb mit Anteilen ungekoppelter Stromerzeugung ist darauf zu achten, dass im Jahresmittel die erforderlichen Nutzungsgrade für einen qualifizierten KWK-Betrieb nicht unterschritten werden. Als Maßstab hierfür können das Nutzungsgradpotenzial nach AGFW-Arbeitsblatt FW 308 (80 %) bzw. der erforderliche Nutzungsgrad nach Energiesteuergesetz (> 70 %) angesetzt werden.

Referenzen:

- [1] Lechner, Raphael; O’Connell, Nicholas; Meierhofer, Thorsten; Brautsch, Markus: Entwicklung, Umsetzung und Bewertung optimierter Monitoring-, Betriebs- und Regelstrategien für Blockheizkraftwerke - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben SWD-10.08.18.7-14.27. Amberg, 2017.
- [2] Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I 2006, S. 1534; I 2008, S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 1 und Artikel 2 des Gesetzes vom 27. August 2017 (BGBl. I 2017, S. 3299) geändert worden ist.
- [3] AGFW-Arbeitsblatt FW 308 – Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes; www.agfw.de; Abfrage 16.05.2014.

Projektpartner:

LEA Lean Energy Services GmbH
Bayernwerk Natur GmbH
Stadtwerke Crailsheim GmbH
Kommunalunternehmen Stadtwerke Weiden i. d. OPf.

Fördergeber:

Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung



Kontakt:



Raphael Lechner, M. Sc.

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

r.lechner@oth-aw.de



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

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

n.oconnell@oth-aw.de



Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Meierhofer

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

t.meierhofer@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

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

m.brautsch@oth-aw.de

Zusammenfassung

Zur Optimierung von Kleinwindenergieanlagen in Bezug auf Leistung und Schallemissionen wurde ein Prüfstand konzipiert, der eine Vermessung von Leistungskennlinien ermöglicht. Eine kommerziell verfügbare Kleinwindenergieanlage wurde auf dem Prüfstand untersucht. Darüber hinaus wurde ein Modell zur stationären Strömungssimulation der Turbine der Kleinwindenergieanlage geschaffen. Die zugrundeliegenden Gleichungen wurden mithilfe der quelltextoffenen C++-Bibliothek OpenFOAM® anhand der Finite-Volumen-Methode diskretisiert und gelöst. Die aus der Simulation erhaltenen Ergebnisse für den Wirkungsgrad der Turbine sind in Bezug auf Verlauf und Wertebereich plausibel, müssen aber durch experimentelle Ermittlung des Generatorwirkungsgrades der Kleinwindenergieanlage validiert werden.

Abstract

In order to optimize small-scale wind energy plants with respect to power generation and noise emissions, a test rig for the measurement of performance curves has been designed. A commercially available small-scale wind energy plant has been investigated on the test rig. In addition, a model for the steady-state flow simulation of the turbine of the small-scale wind energy plant has been created. The governing equations have been discretized with the finite volume method and solved by means of the open-source C++ library OpenFOAM®. The simulation results for the efficiency of the turbine are plausible in terms of curve progression and value range. However, an experimental determination of the generator efficiency is necessary for validation.

1 Einleitung

Windenergieanlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie einem durch Wind entstehenden Fluidstrom mithilfe eines Rotors mechanische Arbeit entziehen und diese über eine rotierende Welle an einen Generator übertragen, in dem eine Wandlung in elektrische Energie erfolgt. Kleinwindenergieanlagen haben das Potential, einen ergänzenden Beitrag zur Versorgung von Wohn- und Gewerbebauten mit elektrischer Energie zu leisten. Die Klassifikation von Kleinwindenergieanlagen (KWEA) ist nicht einheitlich geregelt und basiert gemäß verschiedener technischer und rechtlicher Normen zum Beispiel auf Grenzwerten bezüglich der überstrichenen Rotorfläche, der Nennleistung oder der Anlagenhöhe.

Im Rahmen des Projekts soll eine KWEA entwickelt werden, die alle Anforderungen zur wohngebäudenahen Bereitstellung von elektrischer Energie erfüllt und zur Netzeinspeisung oder zum Betrieb mit Laderegeln und Akkusystemen geeignet ist. In bereits abgeschlossenen Projekten wurden dazu verschiedene Horizontal- und Vertikalläufer im Freifeld untersucht. Dabei stellten sich bei den trieblosen Horizontaläläufern unter anderem fol-

gende Schwachpunkte heraus: Bei höheren Windgeschwindigkeiten entstehen ausgeprägte Strömungsgeräusche, die in Wohn- und Mischgebieten insbesondere nachts eine deutliche Ruhestörung und damit eine Überschreitung der Grenzwerte der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm [1] bewirken würden. Weiterhin zeigte sich, dass eine Freilandvermessung der KWEA ungenügend genaue Informationen für die Kennlinienermittlung liefert und eine unzureichende Abstimmung zwischen KWEA und Wechselrichter Optimierungspotential bietet.

2 Methodische Vorgehensweise

Durch die gewonnenen Erkenntnisse stellte sich zunächst die Aufgabe, Leistungskennlinien stationär und zuverlässig zu vermessen. Dazu wurde ein Laborprüfstand konzipiert und aufgebaut. Die Strömungsgeräusche sollen durch eine Optimierung der Rotorgeometrie reduziert werden. Dazu soll zunächst der Wirkungsgrad der bestehenden Rotoren experimentell ermittelt werden. Als Grundlage zur Geometrieoptimierung werden numerische Modelle zur Strömungssimulation aufgebaut, die anhand

der experimentell ermittelten Daten validiert werden. Nach erfolgter Validierung können mit den numerischen Modellen verbesserte Geometrien identifiziert werden, welche dann wiederum gefertigt und auf dem Prüfstand hinsichtlich Leistung und Schallemissionen vermessen werden können. Diese bieten auch die Grundlage für eine spätere Optimierung der elektrischen und elektronischen Komponenten.

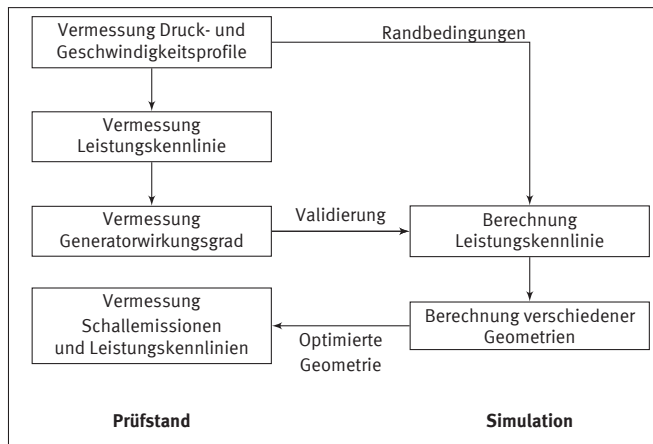


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise

Abbildung 1 zeigt die methodische Vorgehensweise. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Aufbau eines numerischen Modells beschrieben, das zunächst anhand des experimentell ermittelten Wirkungsgrads validiert werden soll.

3 Prüfstand

Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des Prüfstands. Ein Elektromotor (1), dessen Drehzahl über einen Frequenzumrichter einstellbar ist, treibt einen Propeller (2) an. Die sich ausbildende Strömung wird durch eine Gitterstruktur (3) gleichgerichtet und treibt die Turbine der KWEA (4) an. Deren Generator ist mit einer Auswerteeinheit verbunden. An den Messpunkten (5), die stromabwärts von (3) und ausgehend vom Mittelpunkt entlang der y-Achse und z-Achse angeordnet sind, werden sowohl die Strömungsgeschwindigkeiten als auch die statischen und dynamischen Drücke gemessen. Über einen Reflexmesser wird die Drehzahl des Rotors der KWEA erfasst.

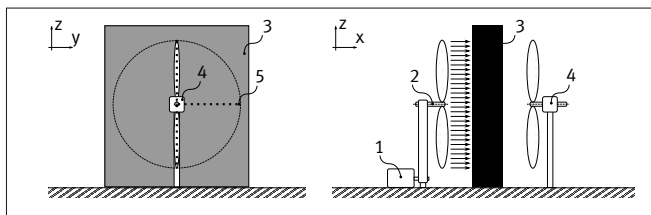


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prüfstands

4 Numerische Simulation

4.1 Grundgleichungen

Unter der Annahme einer stationären, inkompressiblen und isothermen Strömung eines Newtonschen Fluids vereinfachen sich die Navier-Stokes-Gleichungen zu

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

und

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} (\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T)) + \vec{S} \quad (2)$$

wobei ρ die Dichte, u die Geschwindigkeit, p den Druck, μ_{eff} die effektive dynamische Viskosität und S Quellterme bezeichnet.

Die Gleichungen werden mit der Finite-Volumen-Methode für unstrukturierte Netze diskretisiert. Dabei werden die zu lösenden Gleichungen, beispielhaft dargestellt an einem Konvektionsterm des Skalars ϕ , über ein Kontrollvolumen V_C integriert und unter Anwendung des Green-Gauss-Theorems in eine Summation der Flüsse über die Begrenzungsflächen f des Kontrollvolumens überführt:

$$\begin{aligned} \iiint_{V_C} \nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi) dV &= \iint_A (\rho \vec{u} \phi) \cdot \vec{n} dA \\ &\approx \sum_f (\rho \vec{u} \cdot \vec{n} A)_f \phi_f \end{aligned} \quad (3)$$

In der vorliegenden Arbeit werden die Konvektionsterme mit einem Hybridschema diskretisiert, das auf Basis einer gradientenbasierten Begrenzungsfunktion eine Mischung aus Aufwind- und Zentralfdifferenzen anwendet.

Die Modellierung der Turbulenz erfolgt durch eine Reynolds-Mittelung der abhängigen Variablen der Grundgleichungen, wobei das Gleichungssystem mit dem Eingleichungs-Turbulenzmodell nach Spalart/Allmaras [2] geschlossen wird.

Zur Geschwindigkeits-Druck-Kopplung wird der SIMPLE-Algorithmus [3] angewendet. Die entstehenden Matrizen werden durch Mehrgitter- und konjugierte Gradienten-Verfahren iterativ gelöst. Es wird die quelltextoffene C++-Bibliothek OpenFOAM® verwendet.

4.2 Rechengebiet

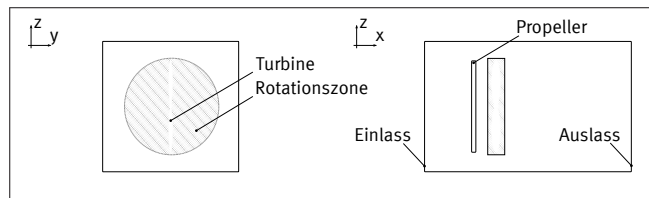


Abbildung 3: Rechengebiet

Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung des Rechengebiets. Am Einlass wird der Totaldruck vorgegeben, am Auslass werden Geschwindigkeits- und Druckgradienten auf null gesetzt. Anstatt den Propeller diskret zu modellieren, wird an den im Bereich des Propellers liegenden Zellflächen ein Drucksprung generiert, der aus den zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsprofilen resultiert.

Zur Modellierung der Rotation der Turbine wird im umliegenden Zellbereich eine Rotationszone definiert, in der ein Quellterm für Coriolis- und Zentrifugalkräfte in die

Momentengleichung eingebracht wird, wobei ω die Winkelgeschwindigkeit und \vec{r} den radialen Positionsvektor ausdrückt:

$$\vec{S}_{\text{rot}} = -2\rho(\omega \times \vec{u}) - \rho(\omega \times (\omega \times \vec{r})) \quad (4)$$

Die Geometrie der Turbine vom Hersteller FuturEnergy (5 Flügel, Durchmesser 1,7 m) wurde im Rahmen einer Abschlussarbeit [4] manuell vermessen. Im Anschluss an die CAD-Modellierung wurde die Geometrie in ein trianguliertes Oberflächennetz überführt, welches die Grundlage zur Generierung der Rechengitter darstellte.

Mit cfMesh wurden drei hexaeder-dominante Gitter mit 8, 12 und 15 Millionen Zellen erstellt (Gitter G1, G2, G3). Im Vor- und Nachlaufbereich der Turbine und in der Rotationszone wurden lokal verfeinerte Zellbereiche erstellt, an der Turbinenwand wurden fünf Prismenschichten erzeugt. Die maximalen y^+ -Werte liegen für alle durchgeführten Rechnungen und Gitter unter 5.

Eine Gitterunabhängigkeitsstudie, in dem das Gesamtmoment untersucht wurde, zeigte eine Abweichung von 6 % zwischen Gitter G2 und G1 und 0,5 % zwischen Gitter G3 und G2 – folglich wurde Gitter G2 für die weiteren Rechnungen verwendet. Abbildung 4 zeigt exemplarisch Schnittdarstellungen eines Gitters.

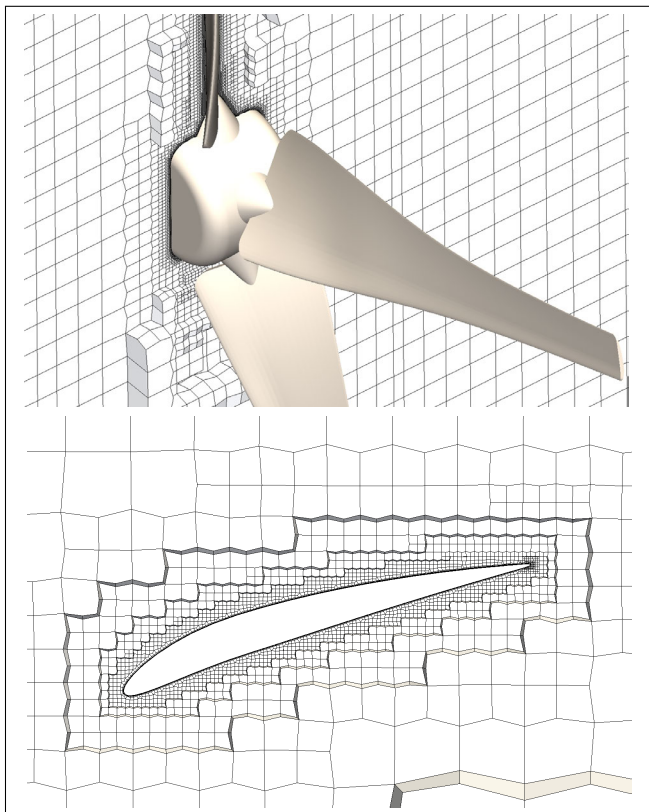


Abbildung 4: Rechengitter (isometrische Schnittdarstellung mit Turbinengeometrie und Schnitt durch $r_{\text{max}}^{-1} = 0.4$ im Bereich eines Flügels)

5 Ergebnisse

Abbildung 5 zeigt zeitlich gemittelte und normierte Geschwindigkeiten über den dimensionslosen Radius des

Propellers für verschiedene Propellerdrehzahlen, die im Rahmen einer Abschlussarbeit gemessen wurden [5]. Abbildung 6 zeigt die nach dem Generator der KWEA ermittelten Leistungen, die für Propellerdrehzahlen zwischen 550 und 950 min^{-1} in Schritten von 100 min^{-1} ermittelt wurden [6].

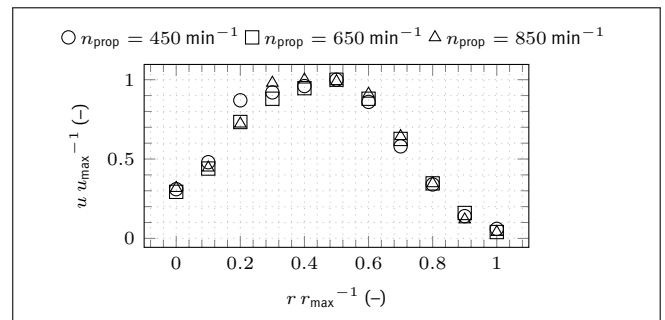


Abbildung 5: Normierte Geschwindigkeiten in Abhängigkeit des dimensionslosen Propellerradius für verschiedene Propellerdrehzahlen

Ebenfalls aufgetragen sind die Leistungen aus der Simulation. Aus dem Quotient der experimentell und simulativ ermittelten Leistung ergibt sich der Generatorwirkungsgrad, der bei den betrachteten Propellerdrehzahlen zwischen ca. 0,80 und 0,93 variiert.

Die errechneten Werte liegen in Anbetracht des verbauten Synchrongenerators in einer plausiblen Größenordnung, müssen jedoch zur Validierung der Ergebnisse aus der Simulation experimentell überprüft werden. Ist dies, gegebenenfalls nach Verbesserungen des Berechnungsmodells, erfolgt, können optimierte Turbinengeometrien berechnet werden, die in einem nächsten Schritt gefertigt und dann auf dem Prüfstand im Hinblick auf Leistung und Schallemissionen vermessen werden.

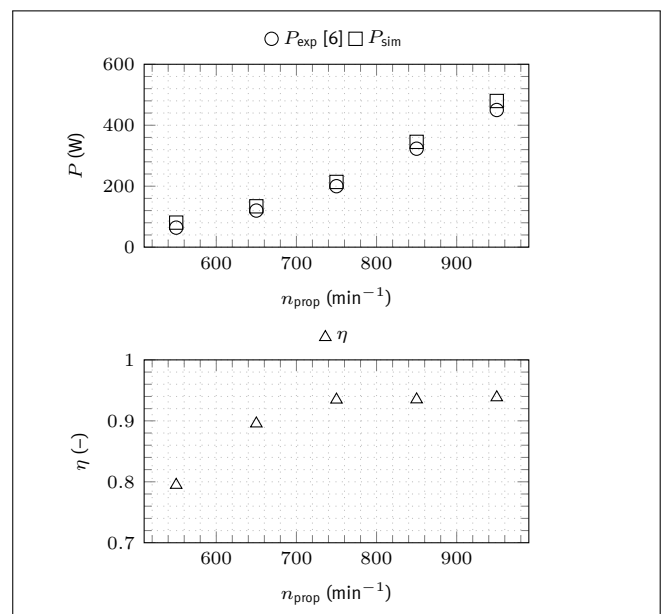


Abbildung 6: Leistung und Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Propellerdrehzahl

Nomenklatur

Lateinische Symbole

A	Oberfläche
f	Fläche
M	Drehmoment
n	Drehzahl
\vec{n}	Normalenvektor
P	Leistung
p	Druck
\vec{r}	Positionsvektor
r	Radius
S	Quellterm
u	Strömungsgeschwindigkeit
V	Volumen
x, y, z	Raumkoordinaten
y^+	Dimensionsloser Wandabstand

Griechische Symbole

μ	Dynamische Viskosität
ρ	Dichte
η	Wirkungsgrad
ϕ	Skalar
ω	Winkelgeschwindigkeit

Sub- und Superskripte

\square_c	Kontrollvolumen
\square_{eff}	Effektiv
\square_{exp}	Experiment
\square_f	Fläche
\square_{max}	Maximum
\square_{prop}	Propeller
\square_{rot}	Rotation
\square_{sim}	Simulation
\square^T	Transponiert

Referenzen:

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Bundesministerium des Innern. URL: http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_26081998_IG19980826.htm. Zuletzt aufgerufen am 14.08.2017.
- [2] Spalart, P. und Allmaras, S. "A one-equation turbulence model for aerodynamic flows". In: 30th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. American Institute of Aeronautics und Astronautics, Jan. 1992.
- [3] Patankar, S. und Spalding, D. "A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows". In: International Journal of Heat and Mass Transfer 15.10 (Okt. 1972), S. 1787–1806.
- [4] Weigl, A. "Numerische Strömungssimulation einer Kleinwindenergieanlage im Prüffeld". Bachelorarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 2017.
- [5] Forster, W. "Auslegung und Aufbau eines Prüfstandes für Kleinwindenergieanlagen". Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 2015.
- [6] Wildfeuer, M. "Vermessung und Auswertung der elektrischen Komponenten der Kleinstwindenergieanlage Airforce 1". Bachelorarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, 2016.

Fördergeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



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 Hummel, M.Sc.

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

da.hummel@oth-aw.de



Peter Stüber, B.Eng.

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

pe.stueber@oth-aw.de

Experimental Investigation of the Characteristics of a Radial Cantilever Turbine for Small Scale ORC Plants

Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß
Jonas Müller
Tobias Popp, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Josef Hauer
Dr.-Ing. Markus Preißinger
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann

Zusammenfassung

Der Aufsatz präsentiert und diskutiert die experimentell bestimmten Kennfelder einer radial durchströmten 12-kW-Cantilever-Turbine. Das Cantilever-Design verspricht ein höheres Wirkungsgradniveau als die derzeit standardmäßig eingesetzte axial durchströmte Impulsturbine. Zunächst werden die theoretischen Überlegungen erläutert, die zu dem neuen Design führten. Im Anschluss wird das ORC-Versuchskraftwerk an der Universität Bayreuth, in dem die Turbine getestet wurde, kurz vorgestellt.

Die Wirkungsgradverläufe (isentrop, total zu statisch) werden als Funktion der Drehzahl und des Druckverhältnisses aufgetragen und diskutiert. Die Cantilever-Turbine erreicht im Experiment einen maximalen Wirkungsgrad von 76,8%. Das ist 2,3 Prozentpunkte besser als in der Auslegung und 3,4 Prozentpunkte besser als die bereits vermessene axiale Impulsturbine. Allerdings tritt dieser höchste Wirkungsgrad nicht beim Auslegungsdruckverhältnis $PR_{DP} = 18,75$, sondern erst bei $PR = 22,4$ auf.

Die grundsätzlichen Überlegungen wurden damit durch das Experiment bestätigt. Es wurde aber auch offensichtlich, dass die erweiterte Auslegungsprozedur für Cantilever-Turbinen derzeit noch nicht in der Lage ist, den Auslegungspunkt zu treffen.

Abstract

The paper presents and discusses the experimentally determined characteristics of a 12 kW radial inflow/ radial outflow cantilever turbine operating with hexamethyldisiloxane. The cantilever turbine is considered as a more efficient alternative to the currently applied axial impulse turbine. First of all, the theoretical considerations which led to the new turbine design are explained. In the following, the Organic Rankine Cycle research plant at University of Bayreuth is introduced, in which the turbine was tested.

Total-to-static isentropic efficiency characteristics as a function of rotational speed and pressure ratio are shown, discussed and evaluated. In the experiments, the cantilever turbine delivers a maximum efficiency of 76.8% which exceeds the prediction by 2.3 percentage points and its already tested axial counterpart by 3.4 percentage points. However, the cantilever design does not meet its design point. The mentioned maximum efficiency occurs at pressure ratio $PR = 22.4$ instead of $PR_{DP} = 18.75$. Thus, it must be concluded that the principle considerations were indeed correct but the design process failed in meeting the desired design point.

1 Introduction

Organic Rankine Cycle (ORC) power plants are a viable option for decentralized small scale stationary energy converters (< 100 kWel) heated by e.g. waste heat in industry, waste heat of internal combustion engines, geothermal heat or even solar radiation. An ORC power plant operates like a coal fired steam power plant where water is pumped on high pressure, heated and evaporated by the steam generator, the steam is expanded in a turbine which

drives the generator and is finally brought back to liquid state in a condenser. The difference of ORC to a conventional steam cycle is that instead of water, different fluids like e.g. alcohols, natural and synthetic refrigerants or siloxanes are used. All these fluids evaporate at far lower temperatures than water. Thus, an ORC plant is able to exploit low temperature thermal sources like geothermal energy or waste heat which would not be possible or at least more difficult by means of water.

In both systems, the steam power cycle as well as the Organic Rankine Cycle, the expander (e. g. a turbine) plays an important role. It converts the thermal energy into mechanical work. Worldwide, there are several experienced suppliers for big steam turbines (> 1 MWe), however only few companies are found which develop and provide small scale turbine generators (< 100 kWe) for organic fluids. Therefore, the company DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO in Amberg has been developing a micro-turbine-generator-construction-kit [1; 2] with close support of the scientific staff of the University of Applied Sciences Amberg-Weiden. Two different turbine concepts, a simple single stage axial turbine (Fig. 1, left) and a single stage radial-inflow and radial-outflow cantilever turbine (Fig. 1, right) have been developed. Currently, the axial impulse turbine is the backbone of the micro-turbine-generator-construction-kit. It is rather simple in design and very flexible in application. However, as explained later, the radial cantilever turbine promises a higher efficiency level without significant disadvantages. In order to prove the theoretical considerations and calculations, a representative of each turbine type was designed for the same task, built and experimentally investigated in the ORC research plant at the University of Bayreuth. The test results of the axial turbine have been already published [3].

In the following, the recently investigated cantilever turbine and the ORC research plant in which it was tested will be introduced. The experimentally determined turbine characteristics will be discussed and evaluated.

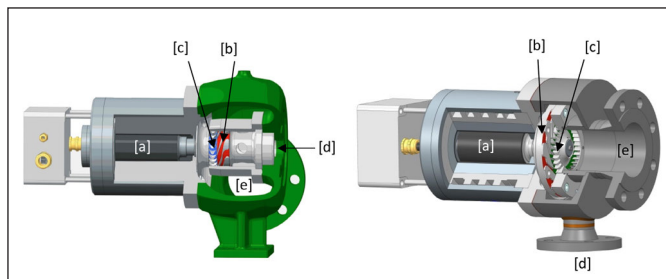


Figure 1: The architecture of the axial impulse turbine (left) and of the radial inflow/outflow cantilever turbine (right). [a] high speed generator, [b] turbine nozzles, [c] turbine wheel, [d] turbine inlet, [e] turbine outlet (source: DEPRAG)

2 Theoretical considerations concerning the turbine concepts

The advantages of a pure impulse turbine design (Fig. 1 and Fig. 2, left) are the ability to process very high pressure ratios per stage and the option to design the turbine stage with partial admission due to the fact that no pressure drop across the rotor blading occurs [1]. Partial admission means that a portion of the total arc of the annulus is blocked off. Hence, the flow impinges only on parts of the rotor blading. Thereby, very small power output turbines can be implemented without requiring blading heights that are too small to be manufactured with sufficient accuracy [4].

However, the disadvantage of the impulse design is the lower efficiency potential compared to a “reaction” design. In an impulse stage the nozzles convert the entire required stage enthalpy drop Δh into kinetic energy. Thus, the nozzle exit velocity and thereby the flow losses are very high. In contrast to this, if a part of the stage enthalpy drop is processed in the wheel what is called “reaction”, the nozzle exit velocity can be reduced. Lower velocity means lower loss, i.e. higher efficiency. In the investigated radial inflow / radial outflow cantilever turbine (Fig. 1 and Fig. 2, right) this wheel enthalpy drop is implemented only by changing circumferential velocity “ $u_1^2 - u_2^2$ ” due to change in radii. The concept uses only the pressure drop Δp_{wheel} generated by the centrifugal field of force ($\Delta p_{wheel} \approx \rho/2 * (u_1^2 - u_2^2)$). Therefore, no acceleration occurs in the wheel. Thus, the introduced cantilever turbine is able to work with partial admission as well.

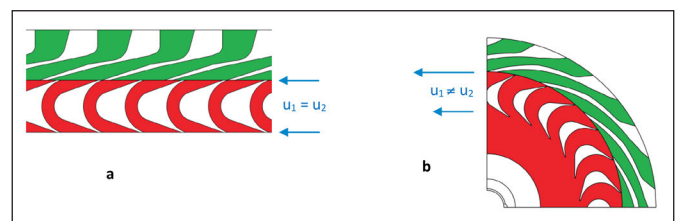


Figure 2: Comparison of axial impulse (a) and radial inflow/outflow cantilever stage (b) (source: DEPRAG)

3 The ORC research plant and the tested radial cantilever turbine

In order to prove these theoretical considerations and calculations, a representative of each turbine type was designed and built to serve as the expander in the ORC research plant at the Center of Energy Technology at the University of Bayreuth. The research plant was designed to investigate waste heat recovery from a 250 kW bio-gas internal combustion (IC) engine with an exhaust gas temperature of about 500 °C. Process simulations and theoretical investigations showed that for this rather high exhaust temperature hexamethyldisiloxane is a suitable working fluid [5]. The layout of the research plant is shown in Fig. 3. It is heated by a 120 kW propane gas burner which substitutes the IC engine. Its layout is that of a classical ORC plant consisting of a feed pump, an evaporator, an expander, a recuperator and a condenser. However, the evaporator is directly heated by the exhaust gas and does not use an additional thermal oil loop. As expander one of the discussed micro-turbines driving a high speed generator is used.

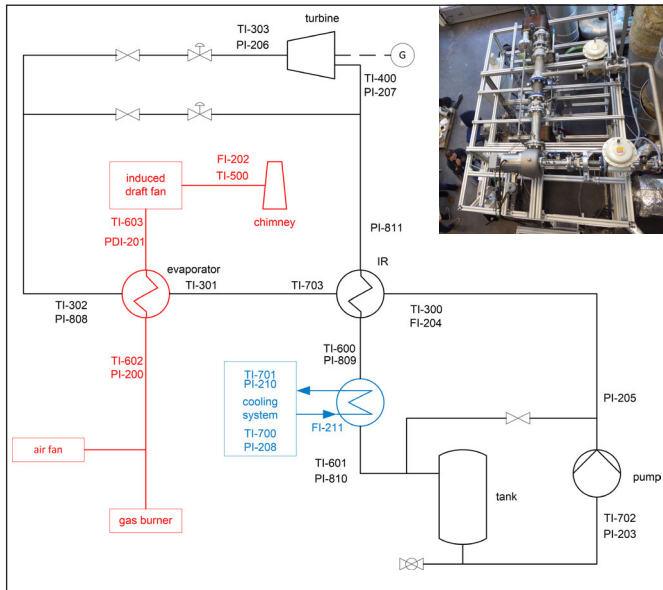


Figure 3: ORC plant lay-out and a photo (top view) of the plant

The thermodynamic circuit works very stable. The heat flux can be easily varied between 50 % and 100 %. This reliable operating behaviour allowed a detailed experimental investigation of the two micro-turbines at different speeds, mass flow rates, pressure ratios, etc. The generated electrical power is logged via the 25 kW feed-in unit. The mass flow rate is measured by a Coriolis device (“FI-204” in Fig. 3). Pressures (PI) and temperatures (TI) are measured upstream and downstream of each component. Thus, the efficiencies of all components can be calculated. For full load, i.e. high mass flow rates, the turbine efficiency can be calculated reliably on the basis of the measured turbine exit temperature. However, for small part load the heat losses are not negligible. To avoid using a measured exit temperature, the applied electrical conversion chain was investigated separately in advance. For this purpose, the generator was driven by an electric motor. A torque meter between motor and generator measured torque and rotational speed to get knowledge about the mechanical power input. Electrical power fed into the grid was measured by the 25 kW feed-in unit. Thus, the overall electrical efficiency of the entire electrical conversion chain could be determined as a function of power. The weak influence of rotational speed was neglected. In the following, the discussed total-to-static isentropic turbine efficiencies use actual enthalpy drop determined by measured turbine power and not via turbine outlet temperature.

The main design data of the investigated radial cantilever turbine are listed below. Fig. 4 presents a photograph of the turbine generator mounted on the top of the ORC plant.

wheel diameter	120 mm	outlet pressure	0.32 bar
rotational speed	28,000 rpm	inlet temperature	176 °C
Laval nozzles	12	pressure ratio (ts)	18.75
rotor blades	30	degree of reaction	0.13
mass flow rate	0.32 kg/s	degree of admission	full
power output	12 kW	nozzle exit Ma number	1.98
inlet pressure	6.00 bar	rotor inlet Ma _r number	0.87

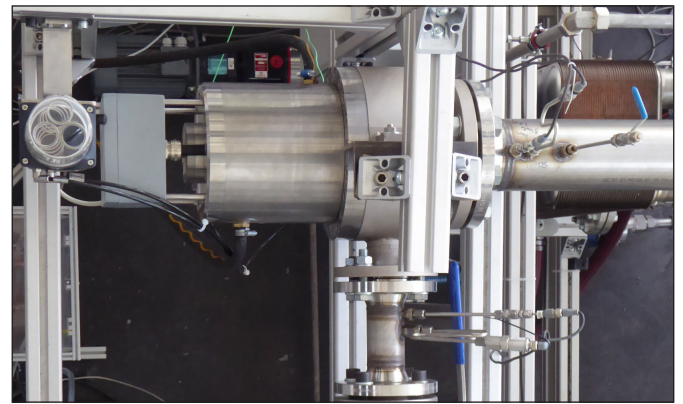


Figure 4: The 12 kW micro cantilever turbine

4 Experimental investigation of the turbine characteristics

The efficiency characteristics of the axial impulse turbine were already published [3]. Therefore, in the following only the recently measured characteristics of the radial cantilever turbine are presented and discussed.

Fig. 5 displays the total-to-static isentropic efficiency plotted against rotational speed. The total-to-static pressure ratio (PR) serves as parameter. There are two sets of curves: The solid lines represent a turbine outlet pressure of about 0.3 bar \approx const. The dashed lines represent an outlet pressure of about 0.2 bar \approx const. Thus, pressure ratios (PR) are about 1.5 times higher for the dashed lines than for the solid lines at comparable mass flow rates (\dot{m}). The thick black solid line is closest to design data at condenser pressure 0.3 bar. The mass flow rate for this line is 100 %, the pressure ratio PR = 18.3. Here the cantilever turbine shows a flat efficiency maximum of 73.4 % at 25,000 rpm (axial turbine 73.4 % at 24,000 rpm; see [3]). However, this is not its design speed. Thus, the cantilever turbine does not fulfil expectations at design point. It is obvious that the efficiency peak moves to higher rotational speed with increasing pressure ratio (PR). The reason is, that the intermediate pressure p_1 between nozzles and wheel is a function of rotational speed ($p_1 = p_2 + \Delta p_{\text{wheel}}$, $\Delta p_{\text{wheel}} \approx \rho/2 * (u_1^2 - u_2^2) \sim n^2$) and

thereby the nozzle pressure ratio as well. Concluding, it is safe to say, that design pressure ratio of the nozzles can be achieved over a wide range of overall turbine pressure ratio as long as the rotational speed is adjusted. This is important, because turbine peak efficiency requires properly working nozzles. The cantilever turbine achieves the highest measured efficiency of 76.8 % for PR = 22.4 and rotational speed $n = 27,000$ rpm.

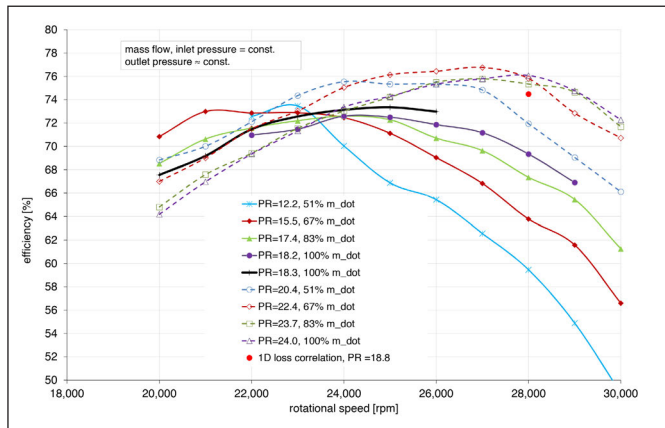


Figure 5: Turbine characteristics, total-to-static isentropic efficiency as function of rotational speed

Fig. 6 displays the same data as above. Now, efficiency is plotted as a function of total-to-static pressure ratio. The corrected rotational speed n_{corr} , normalized by its design point value, serves as parameter.

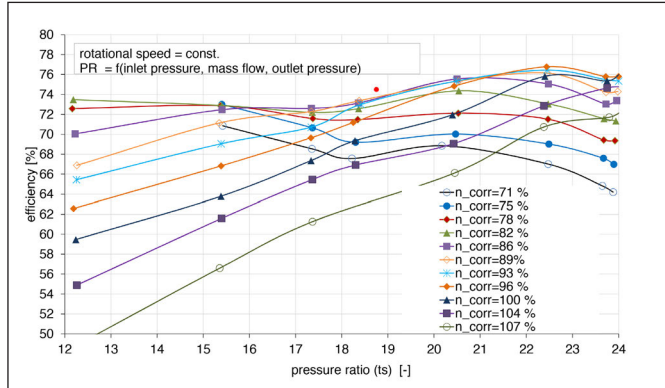


Figure 6: Turbine characteristics, total-to-static isentropic efficiency as function of total-to-static pressure ratio

A wide range of investigated pressure ratios ($12 < PR < 24$) could be examined because two different condenser pressure occurred at two different measuring days (0.2 bar and 0.3 bar condenser pressure). It is obvious, that the shape of the curves vary significantly with rotational speed. As explained above, the reason is the intermediate pressure p_1 between radial nozzles and wheel which increases with rotational speed. Thus, nozzle pressure ratio varies with rotational speed. For any rotational speed, there is an overall turbine pressure ratio $PR_{turbine}$ for which the nozzles work in their design point, i.e. with optimum nozzle efficiency ($PR_{turbine} = PR_{nozzle} \times PR_{wheel}$). No matter whether overall pressure ratio is reduced or increased, the overall efficiency drops when deviating from this operation point. Accordingly, in the investigated

pressure ratio range $12 < PR < 24$ different parts of the typical efficiency characteristic for $n_{corr} = \text{const.}$ are shown: the ascending part, the region close to maximum and the descending part.

The cantilever turbine does not measure up the expectations at design pressure ratio ($PR = 18.75$). The measured efficiency is 73.4 % instead of 74.5 % as predicted. However, for higher pressure ratios it performs better. The maximum measured efficiency is 76.8 % at $PR = 22.4$. The configuration failed in meeting the desired design point. The supersonic nozzles seem to work better at higher overall turbine pressure ratios. Maybe, the intermediate pressure between nozzles and radial wheel is not predicted properly – most likely too low. Therefore, the nozzles achieve their design pressure ratio actually only at higher overall pressure ratio than designed.

A surprising finding of these measurements is (Fig. 6) that by varying the rotational speed, the cantilever turbine can keep a high level of efficiency (≥ 73 %) even for pressure ratios far below and above design pressure ratio ($12 < PR < 24$). This might be a very valuable characteristic of this turbine design concept regarding e.g. part load operation of the ORC plant in which it is applied.

5 Conclusions

A radial cantilever turbine was tested in a small ORC research plant running with hexamethyldisiloxane. Before the experimentally determined turbine characteristics were shown and discussed, the theoretical considerations which led to the turbine design were introduced.

The maximum measured turbine efficiency was 76.8 % and thereby 2.3 percentage points higher than the predicted efficiency (1D) and 3.4 % higher than the maximum measured efficiency of the axial impulse turbine [5]. Thus, in principle the cantilever concept proved its higher efficiency potential compared to the axial design.

However, maximum efficiency of the cantilever design occurred at pressure ratio $PR = 22.4$ and not at design pressure ratio $PR_{DP} = 18.75$. The cantilever turbine achieves a total-to-static isentropic efficiency of 73.4 % at $PR_{DP} = 18.75$. The rotational speed was 25,000 rpm instead of $n_{DP} = 28,000$ rpm. This means, that the principle considerations were indeed correct, but the design process failed in meeting the desired design point. Most likely, the intermediate pressure between nozzles and radial wheel is not predicted properly. This must be improved.

Nomenclature

c	absolute velocity
h	enthalpy
\dot{m}	mass flow rate
n	rotational speed
p	pressure
T	temperature
u	circumferential velocity
w	relative velocity
Δ	difference
1D	one dimensional
ORC	Organic Rankine Cycle
PR	pressure ratio
rpm	revolution per minute

Subscripts

1	nozzle blading outlet, rotor blading inlet
2	rotor blading/stage outlet
corr	corrected
in	inlet
DP	design point
t	total
ts	total to static
u	in circumferential direction

References:

- [1] WEISS A. P., ZINN G.: Micro Turbine Generators For Waste Heat Recovery And Compressed Air Energy Storage, 15th Conference on Power System Engineering, Thermodynamics & Fluid Flows – ES2016, June 09-10. 2016, Pilsen, Czech Republic
- [2] DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO.: Green Energy Turbine GET®, <http://www.deprag.com/en/green-energy/home-green-energy-turbine/green-energy-turbine.html>; 30.06.2017
- [3] WEISS A. P., HAUER J., POPP T., PREISSINGER M.: Experimental Investigation of a Supersonic Micro Turbine Running with Hexamethyldisiloxane, 16th Conference on Power System Engineering, Thermodynamics & Fluid Flows – ES2017, June 13-15. 2017, Pilsen, Czech Republic
- [4] WEISS A. P.: Volumetric Expander Versus Turbine – Which is the better Choice for Small ORC Plants?, 3rd International Seminar on ORC Systems, October 12-14, 2015, Brussels, Belgium
- [5] PREISSINGER M., BRÜGGEMANN D.: Thermoeconomic Evaluation of Modular Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery over a Broad Range of Heat Source Temperatures and Capacities, *Energies* 2017, 10(3), 269; doi 10.3390/3n10030269, www.mdpi.com/1996-1073/10/3/269

Acknowledgement:

This project was funded by the Bavarian State Ministry of Education, Science and the Arts.

Bayerisches Staatsministerium für
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

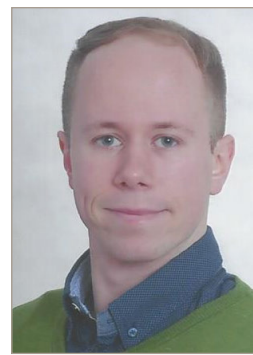
a.weiss@oth-aw.de



Jonas Müller

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

j.mueller1@oth-aw.de



Tobias Popp, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Kompetenzzentrum für
Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

to.popp@oth-aw.de



Dipl.-Ing. (FH) Josef Hauer

DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO.
Carl-Schulz-Platz 1
92224 Amberg

j.hauer@deprag.de



Dr.-Ing. Markus Preißinger

Universität Bayreuth
Zentrum für Energietechnik (ZET)
Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth
aktuell:

Fachhochschule Vorarlberg
Leiter Forschungszentrum
markus.preissinger@fhv.at



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann

Universität Bayreuth
Zentrum für Energietechnik (ZET)
Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth

brueggemann@uni-bayreuth.de

Experimental Investigation of Dual-Fuel Operation with Biomethane and various Pilot Fuels using different Compression Ratios

Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch
Raphael Lechner, M. Sc.
Andreas Röhl, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O'Connell

Der folgende Beitrag ist eine gekürzte Fassung des Artikels „Experimental Investigation of Dual-Fuel Operation with Biomethane and various Pilot Fuels using different Compression Ratios“, der für das „China National Symposium on Combustion 2017“ in Nanjing, China, zusammengestellt wurde. Der Beitrag wurde im Rahmen des „Joint Lab on Combined Heat and Power“ der OTH Amberg-Weiden und der Jiangsu University, Zhenjiang, China auf der Konferenz präsentiert. Der vollständige Bericht wurde von der „Chinese Section of the Combustion Institute“ veröffentlicht [1].

Zusammenfassung

Zündstrahlmotoren sind eine interessante Option für die effiziente Bereitstellung von Strom und Wärme mittels Blockheizkraftwerken (BHKW). In Zündstrahlmotoren werden flüssige und gasförmige Kraftstoffe eingesetzt. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden zwei unterschiedliche Betriebsweisen mit Biomethan als gasförmiger Brennstoff und Heizöl bzw. unterschiedlichen biogenen Kraftstoffen als Zündöl untersucht. Im sog. „flexiblen Dual-Fuel-Betrieb“ wurde der Motor mit einem Verdichtungsverhältnis von 19:1 betrieben. Im sog. „Zündstrahlbetrieb“ wurde der Motor mit einem reduzierten Verdichtungsverhältnis von 16:1 betrieben. In dieser Konfiguration ist ein deutlich höherer Biomethananteil möglich, allerdings ist die einsetzbare Zündölmenge limitiert. Im flexiblen Dual-Fuel-Betrieb wurde der höchste elektrische Wirkungsgrad mit 100 % Flüssigkraftstoff erreicht, während im „Zündstrahlbetrieb“ die besten Wirkungsgrade bei hohen Gasanteilen erreicht wurden. Mit beiden Betriebsweisen konnte bei einer Stromkennzahl von ca. 1 ein elektrischer Wirkungsgrad von > 42 % erreicht werden. Diese Werte bestätigen die hohe exergetische Effizienz der untersuchten BHKW-Motoren.

The following report is a short version of the paper

“Experimental Investigation of Dual-Fuel Operation with Biomethane and various Pilot Fuels using different Compression Ratios” prepared for the “China National Symposium on Combustion 2017” in Nanjing, China. The paper was presented at the conference within the scope of the “Joint Lab for Combined Heat and Power” of the OTH Amberg-Weiden and the Jiangsu University, Zhenjiang, China. The full version was published by the “Chinese Section of the Combustion Institute” [1].

Abstract

Dual-fuel engines can be an interesting option for efficient supply of heat and power in combined heat and power (CHP) systems, using a variety of both liquid and gaseous fuels. Two different dual-fuel configurations derived from the same base engine were tested with biomethane as gaseous fuel, using heating oil and various biofuels as pilot fuel. Procedure 1, referred to as “flexible dual-fuel mode”, features a compression ratio of 19:1. Procedure 2, referred to “pilot ignition mode”, features a reduced compression rate of 16:1. This configuration allows for significantly higher biomethane ratios than Procedure 1, but limits the applicable liquid fuel quantities. In flexible dual-fuel configuration the best efficiency was reached in liquid fuel operation, while in pilot ignition configuration the best efficiency was obtained in dual-fuel operation with maximum share of gas. In both procedures high electric efficiencies of more than 42 % could be achieved, along with power coefficients of about 1, which proves the good exergetic efficiency of the investigated CHP engines.

1. Introduction

Combined heat and power (CHP) generation can reach all the essential factors for sustainable energy solutions according to Dinçer and Zamfirescu (2014) [2]. Cogeneration units in different applications can be used in industrial plants [3] [4], communities [5], housing societies [6] [7], hospitals and private households [7] in many different ways. In combination with fluctuating energy systems like wind turbines and solar power plants, cogeneration systems can work as base-load units and can be operated with renewable primary energy sources in the forms of solid, liquid and gaseous biomass. There are different conversion routes to obtain renewable liquid and gaseous fuels by thermochemical conversion, biochemical conversion, chemical conversion or physical conversion [8] and there are different possibilities of internal combustion in diesel engines [9], dual-fuel engines [10] and spark-ignited gas engines [11] [12].

Dual-fueling of Diesel engines can be an attractive possibility to reduce the dependence on diesel and to reduce harmful diesel emissions to a sustainable fuel market with lower carbon emissions [12]. Diesel engines can be used under liquid as well as dual fuel operation with negligible technological modifications. The dual fuel process is especially appropriate for CHP units with weak gases and low methane values (wood gas, landfill gas) and lean air-to-fuel ratios as the liquid fuel injection enables a steady ignition with further energy input throughout the injection process. Different dual fuel operation modes using common rail, direct injection or pre chamber injection systems are described in literature with different combinations of liquid fuels (bio diesel, diesel) and gaseous fuels (natural gas, hydrogen [14], biogas). Pre chamber engines are rugged designed and show less fault liability with lowest efficiencies. Direct injection engines with common rail injection systems are appropriate for dual fuel processes as they allow the accurate control of the liquid fuel injection and the pilot injection can optimize the dual fuel combustion process [15].

Within the scope of this paper the diesel ignited gas engine (Figure 1) will be further investigated. In this type of dual-fuel engine, a lean premixed mixture of gas and air is fed into the engine and a direct injection of liquid fuel into the combustion chamber ignites the compressed charge [16]. The investigations are part of an ongoing research project on fuel-flexible operation of CHP systems carried out within the framework of the Competence Centre for CHP technologies at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden. In the first step, which is presented in this paper, the electric and thermal efficiency in dual fuel operation was determined, using biomethane as gaseous fuel and different liquid biofuels as pilot fuels. Two different compression ratios and two different modes of operation (pilot injection mode and flexible dual-fuel mode) were applied.

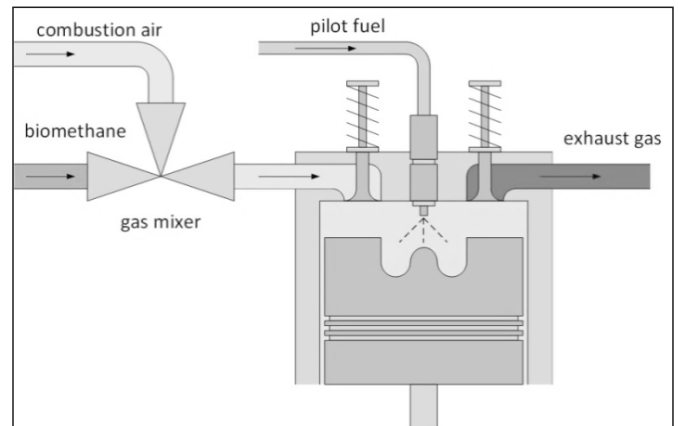


Figure 1: Schematic of a Diesel Ignited Gas Engine (adapted from [17])

2. The Experimental Setup and Procedure

2.1 The experimental Setup

The experiments were carried out on a CHP test bench (Figure 2) equipped with a MAN D26 6-cylinder diesel engine (technical specifications see table 2). The MAN engine was modified for dual-fuel operation and can be equipped with two different sets of pistons in order to achieve compression ratios of 19:1 and 16:1 respectively. The engine can be operated in two different modes. In “flexible dual-fuel mode” with compression ratio 19:1 the engine can be operated with variable shares of gaseous and liquid fuel, limited only by engine knock. This mode is intended for flexible conversion of both liquid and gaseous fuels in variable ratios. In the configuration with compression ratio 16:1 the engine is operated in “pilot ignition mode”, i.e. the main energy input comes from the gaseous fuel and only a small portion of liquid fuel is used for ignition of the compressed charge. This mode is intended for efficient conversion of mainly gaseous fuels.

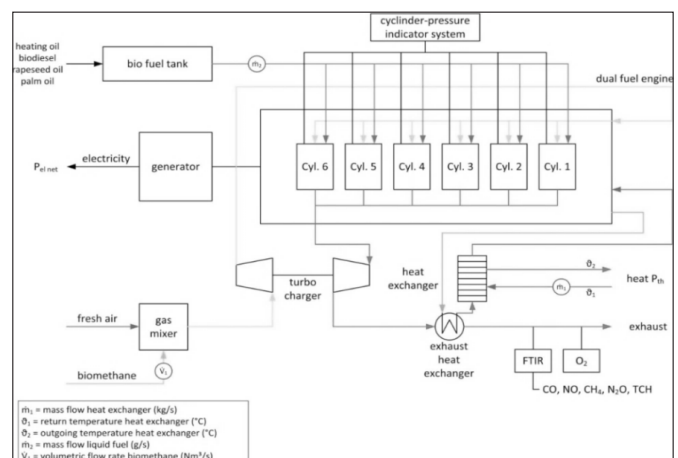


Figure 2: The installation of the test bed for the experimental procedure – modified picture from [17]

2.2 Experimental Procedure

The experimental work was divided into two different procedures summarized in Table 1. In Procedure 1 the CHP system was equipped with the MAN D 26 Diesel engine with a compression rate of 19:1 and liquid fuel operation

as well as dual fuel operation with different gas ratios were investigated (flexible dual-fuel mode). Since engine knock due to the high compression ratio proved to be the limiting factor for gas admixing in Procedure 1, the compression was reduced to 16:1 in Procedure 2 in order to be able to investigate higher gas ratios with a fixed injection quantity of liquid fuel (pilot ignition mode).

For the experiments a total of five different liquid fuels were used, with heating oil as the reference fuel, followed by biodiesel, rapeseed oil, soybean oil and palm oil. As gaseous fuel “biomethane” was used. The term biomethane represents methane from biogenous sources, usually biogas, which is purified and segregated into pure methane and carbon dioxide to meet the standards of the public natural gas grid. Biomethane is injected into the public gas grid at the place of production and extracted at the place of consumption based on a balancing mechanism. Physically biomethane is equivalent to natural gas from the public grid, but it is produced from renewable sources and thus has a considerably smaller carbon footprint.

Table 1: Experimental Procedures

	Procedure 1			Procedure 2		
operation mode	MAN D26 common-rail dual-fuel flexible mode			MAN D26 common-rail pilot ignition mode		
fuel	liquid fuel	dual fuel		liquid fuel	dual fuel	
	heating oil	heating oil	bio-methane	heating oil	heating oil	bio-methane
	palm oil	palm oil	bio-methane	palm oil	palm oil	bio-methane
	soybean oil	soybean oil	bio-methane	soybean oil	soybean oil	bio-methane
	bio-diesel	bio-diesel	bio-methane	bio-diesel	bio-diesel	bio-methane
	rape-seed oil	rape-seed oil	bio-methane	rape-seed oil	rape-seed oil	bio-methane
compr. ratio	19:1	19:1		16:1	16:1	
electrical load	80 to 240 kW	80 to 240 kW		80 to 200 kW	80 to 240 kW	

Table 2: Technical and mechanical data of the investigated CHP systems [18]

base engine	MAN D 26
working process	4-stroke diesel/dual-fuel, turbocharger with 2-stage intercooler
displacement	12.4 liter
bore	126 mm
stroke	166 mm
rotational speed	1500 rpm
injection system	common-rail direct injection with solenoid injectors
cooling	water-cooled with exhaust gas heat exchanger
generator	Leroy Somer LSA 47.2 M8
type	synchronous
cooling system	air cooled
maximum power rating	550 kVA
voltage	400 V
frequency	50 Hz
cos phi	1
efficiency	96%

3. Experimental Results

3.1 Experimental Results Procedure 1

In Procedure 1 the CHP engine was configured as a flexible dual-fuel engine allowing different ratios of liquid to gaseous fuels, using a compression ratio of 19:1 and applying loads from 80 kW to 240 kW electric power output (minimum applicable load up to full load). The main application of this mode is to enable gas admixing whenever it is available on-site, but still keeping a fully functional diesel engine with a compression ratio and piston geometry optimised for diesel combustion. The engine essentially operates in diesel mode with 100 % liquid fuel and 0 % gaseous fuel, moving to gas-engine combustion with increasing admixture of gaseous fuel.

In this configuration the amount of gas that can be admixed to the intake air is primarily limited by the peak pressure and engine knock at higher loads. This effect is illustrated in Figure 3 for cylinder 4, which showed to be most prone to knock in the investigated engine configuration. The pressure traces presented in Figure 3 correspond to full load operation with 240 kW electric power output, heating oil as liquid fuel and biomethane as gaseous fuel. The gas ratio was increased from 0 % (liquid fuel operation) up to the individual maximum considered as safe for each operating point, which in this case was 65 %. The gas admixture is expressed as percentage of the gas valve position, where 0 % corresponds to a closed gas valve and 100 % corresponds to the gas valve being fully open.

It has to be noted that the dependency between the gas-valve position and the amount of gas in the compressed charge is not linear. Hence, in the following discussions the amount of gas admixed will be represented by its energy content expressed as fuel power input in kW. The maximum gas valve position of 65 % presented in Figure 3 corresponds to a fuel power input from biomethane P_{gas} of 141 kW and a fuel power input from heating oil P_{liq} of 431 kW. All presented results refer to a liquid fuel injection timing of 8° crank angle before top dead centre (TDC), which in preliminary experiments was identified as optimum considering both efficiency and safe operation.

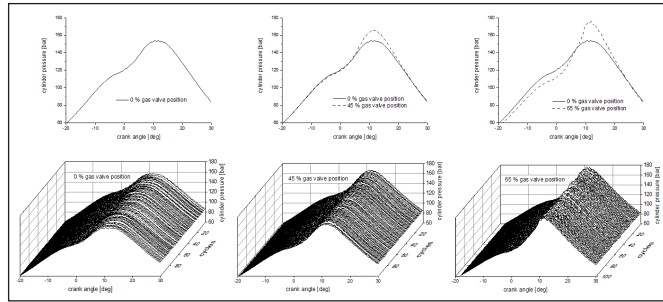


Figure 3: Cylinder pressure as function of the crank angle (cylinder 4) at 240 kW electrical load, heating oil / biomethane dual fuel operation, compression rate 19:1

In the lower line 100 single cycles are illustrated. The upper line shows the equivalent mean values.

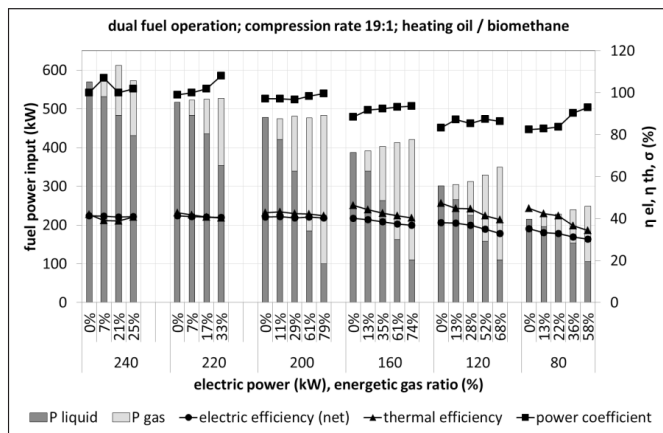


Figure 4: Fuel power input (P_{gas} and P_{liq}), electric (η_{el}) and thermal efficiency (η_{th}) and power coefficient (σ) in flexible dual-fuel mode with heating oil and heating oil / biomethane

In Figure 4 the fuel power input, electric and thermal efficiency and power coefficient in flexible dual-fuel operation with heating oil and varying energetic gas ratios are shown for electric loads from 80 kW to 240 kW. The energetic gas ratio is defined as the percentage of energy input from the gaseous fuel related to the total fuel power input (gas + liquid). The highest admixture of gas could be achieved a medium loads. At high loads engine knocking and peak loads present the limiting factor, as described above, both with heating oil and biofuels. At low engine loads the limiting factor for gas admixture is the minimum injection quantity of liquid fuel, which was fixed at approximately 100 kW fuel power input. This minimum amount was set in the flexible dual-fuel configuration

in order to ensure proper and stable operation under all conditions, even in case of gas supply failure.

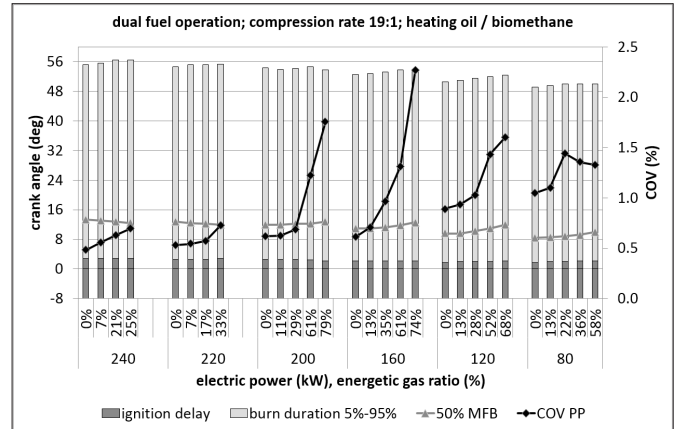


Figure 5: Combustion parameters in flexible dual-fuel mode (compression rate 19:1) with heating oil and heating oil / biomethane

In Figure 5 the combustion parameters for flexible fuel operation with heating oil and biomethane are presented. The ignition delay was defined as the crank angle between injection timing of the liquid fuel (8° before TDC) until 5 % mass fraction burned (MFB) determined from a heat release calculation based on the measured cylinder pressures. The burn duration was defined as the crank angle between 5 % MFB and 95 % MFB. Additionally the crank angle at 50 % MFB was determined, as well as the coefficient of variation (COV) of the peak pressure (PP). The results show that at high loads the main phase of the combustion shifts towards earlier crank angles when admixing gas, whereas the overall burn duration increases slightly. At medium and low loads the combustion generally is somewhat retarded when admixing gas. Ignition delay is only slightly affected by the gas ratio and determined mainly by liquid fuel ignition. The COV at high to medium loads generally increases according to the gas ratio, while at medium to low loads a pronounced peak of COV at medium gas ratios can be observed. The overall combustion stability decreases when admixing gas, showing considerable cycle to cycle variations.

Heating oil operation allows for slightly higher biomethane ratios compared to biogenous liquid fuels under full load. At all load categories, increasing biomethane ratios require a higher total fuel power input and lead to lower electric efficiencies. The maximum electric efficiencies were achieved with biodiesel and palm oil in liquid fuel operation (42.2 % and 42.1 % respectively), while the lowest electric efficiency was observed at minimum load and maximum gas ratio with heating oil and soybean oil (30.2 % and 30.5 % respectively). The power coefficient was in the range of 0.8 (minimum load with soybean oil) to 1.07 (full load with heating oil).

As an overall result it can be concluded that Procedure 1, the flexible dual-fuel mode with compression ratio 19:1, is suited for variable ratios of gaseous and liquid fuels with good electric efficiency in a considerably wide range, especially at mid loads. It is the preferred choice when

flexible operation is required and liquid fuels are the primary fuel source, while allowing to additionally using gaseous fuels whenever available.

3.2 Experimental Results Procedure 2

In Procedure 2 the CHP engine was configured for pilot ignition operation with a compression rate of 16:1 and a fixed injection quantity of liquid fuel equivalent to about 40 kW of fuel power input.

Firstly, different liquid biogenous fuels were investigated and the CHP system was operated with 100 % liquid fuel. Heating oil was again used as reference fuel. The maximum power was limited to 200 kW in liquid fuel operation due to the smaller pressure rating of the 16:1 pistons, which does not allow cylinder peak pressures as high as in Procedure 1. The results show decreasing electrical efficiencies from 41.8 % (200 kW) to 35.2 % (80 kW), regardless of the type of liquid fuel. The thermal efficiencies were nearly constant at 43 % (from 200 kW to 80 kW), thus the power coefficients decreased from nearly 1.0 to 0.8, regardless of the used fuels. Compared to the compression rate of 19:1 (Procedure 1), there is no significant efficiency disadvantage in the observed range of performance, although the compression ratio had been reduced to 16:1.

Secondly, biomethane was admixed to the intake air and the amount of liquid fuel was reduced to the pre-defined minimum of 40 kW (pilot injection). As shown in Figure 6 for operation with rapeseed oil / biomethane the pre-defined liquid fuel ratio is virtually constant at all loads due to the fixed injection quantity. As a consequence, the additional fuel power input P_{gas} is provided from biomethane. The measured electrical efficiency for operation with fossil pilot fuel (heating oil / biomethane) under full load operation was 41.8 % and decreased down to 28.4 % at the minimum applicable electric load of 80 kW. The results when using biofuels as pilot fuel were almost equivalent to heating oil, showing a slight advantage in electric efficiency for the pure plant oils over biodiesel. The respective values of electric efficiency at full load and minimum load were 40.8 % / 28.9 % (biodiesel / biomethane), 41.6 % / 29.3 % (rapeseed oil / biomethane), 42.3 % / 29.6 % (palm oil / biomethane) and 41.8 % / 29.5 % (soybean oil / biomethane). Part load efficiency of the pure plant oils compared to heating oil and biodiesel was generally slightly better, especially at medium loads.

The power coefficients were 1.12 at maximum (heating oil / biomethane) and 0.69 at minimum (heating oil / biomethane), with a slight advantage for the pure plant oils at part load, for which the power coefficient decreased only down to 0.82 (rapeseed oil / biomethane). However, it should be noted that measurement of the thermal power output, which influences the power coefficient, depends on the inlet and outlet temperatures of the heat

sink, which in the considered case is a district heating system. Thus at least some part of the effect has to be assigned to ambient conditions. This has to be better accounted for in future experiments.

As an overall result it can be concluded that Procedure 2 allows significantly higher biomethane ratios than Procedure 1, because of the reduced compression rate of 16:1, which effectively reduces peak pressure and knock, without sacrificing efficiency. Compared to Procedure 1 (flexible dual-fuel mode) the pilot ignition mode shows lower values of electric efficiency under light load, identical values under mid load and significantly better values above 200 kW. It allows for the highest gas ratios combined with the best electrical efficiencies at full load and is thus the optimum configuration when gaseous fuels are to be used as primary energy source.

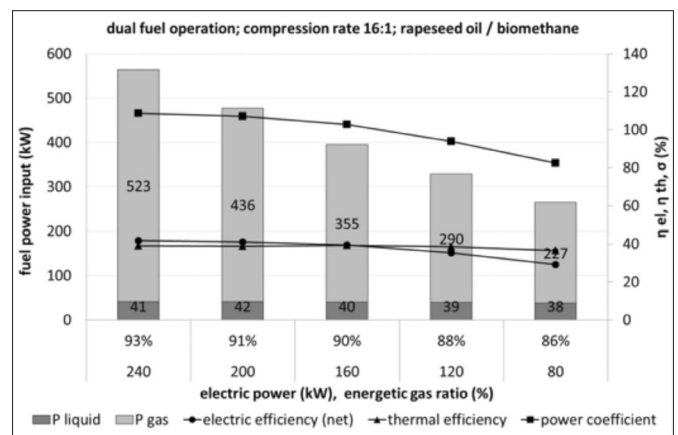


Figure 6: Fuel power input (P_{gas} and P_{liq}), electric (η_{el}) and thermal efficiency (η_{th}) and power coefficient (σ) in pilot injection mode (compression rate 16:1) with rapeseed oil / biomethane

4. Summary and Outlook

Dual-fuel engines can be an interesting option for efficient supply of heat and power in CHP systems, using a variety of both liquid and gaseous fossil and biogenous fuels. Within the scope of ongoing research at the Competence Centre for CHP technologies two different dual-fuel configurations derived from the same base engine were tested with biomethane as gaseous fuel, using heating oil and various biofuels as pilot fuel.

Procedure 1, referred to as “flexible dual-fuel mode”, features a compression ratio of 19:1 with piston geometries optimized for diesel combustion and proved to be suitable for variable ratios of gaseous and liquid fuels with good electric efficiency in a considerably wide range, especially at mid loads. It is the preferred choice when flexible operation is required and liquid fuels are the primary fuel source, while allowing to additionally using gaseous fuels whenever available. Procedure 2, referred to “pilot ignition mode”, features a reduced compression rate of 16:1 and piston geometries optimized for gas engine combustion, helping to effectively reduce peak pressure and knock, without sacrificing efficiency. This configuration allows for significantly higher biomethane

ratios than Procedure 1, but limits the applicable liquid fuel quantities. Compared to Procedure 1 (flexible dual-fuel mode) the pilot ignition mode shows lower values of electric efficiency under light load, identical values under mid load and significantly better values above 200 kW. It allows for the highest gas ratios combined with the best electrical efficiencies at full load and is thus the optimum configuration when gaseous fuels are to be used as primary energy source. In flexible dual-fuel configuration the best efficiency was reached in liquid fuel operation, while in pilot ignition configuration the best efficiency was obtained in dual-fuel operation with maximum share of gas.

In both procedures high electric efficiencies of more than 42 % could be achieved, along with power coefficients of about 1, which proves the good exergetic efficiency of the investigated CHP engines.

The presented results are the basis for further research which will focus more in detail on combustion behaviour and pollutant emissions from dual-fuel engines as well assessment of the ecological impact. Additionally it is planned to investigate further combinations of gaseous and liquid biofuels, concentrating especially on fuels derived from organic residues.

References:

- [1] Brautsch M., Lechner R., Röhl A., O'Connell N.: Experimental Investigation of Dual-Fuel Operation with Biomethane and various Pilot Fuels using different Compression Ratios. Proceedings of the China National Symposium on Combustion 2017. Nanjing, 13-15 October 2017. Chinese Section of the Combustion Institute, 2017.
- [2] Dinçer, I., Zamfirescu, C. Advanced power generation systems. Amsterdam, Netherlands: Elsevier; 2014.
- [3] Brautsch, M., Lechner, R., Meierhofer, T. Innovatives Energieversorgungskonzept für den Standort Weiherhammer: Wissenschaftlich begleitetes Demonstrationsvorhaben der BHS Corrugated. Wellpappe 2008(6):17–20.
- [4] Brautsch, M., Meierhofer, T., Lechner, R. Ganzheitliche Optimierung durch Ringleitungsnetz. Blockheizkraftwerke 2009. Euro Heat & Power;2009:22–5.
- [5] Brautsch, M., Hofer, R. Alternative zum IKSK - Energienutzungspläne als Schlüssel zur Energieeffizienz in der Kommune? Change 2013(7):2–7.
- [6] Brautsch M. Energieeffizienz und Klimaschutz in Wohnungsunternehmen: Ökonomisch sinnvolle Lösungen als Resultat eine wissenschaftlich neutralen Handlungskonzeptes. wohnen;2012(102):204–7.
- [7] Meyer, B., Scholz, R., Daschner, R., Binder, S., Jakuttis, M., Hornung, A., Brautsch, M. Mikro KWK Systeme in Wohnanlagen - Analyse verschiedener Betriebsstrategien. Euro Heat & Power;September 2013:30–6.
- [8] Pant, K. K., Pravakar, M. Biomass, Conversion Routes and Products - An Overview. In: Andreas Hornung, editor. Transformation of Biomass Theory to Practice: Wiley; 2014, p. 1–30.
- [9] Bialkowski MT. Theoretical and Experimental Investigation of a CDI Injection System Operating on neat rapeseed oil - feasibility and operational studies. Edingburgh; 2009.
- [10] Hornung A., Apfelbacher A., Neumann J., Jäger N., Schmitt N., Dascher R. Combined heat and power generation from solid biomass derived bioliquids and syngas by TCR - Upgrade of TCR-liquides by hydrodeoxygenation: Paper presented at 24th European Biomass Conference and Exhibition, EUBCE 2016, Amsterdam, 6-9 June. European Biomass Conference and Exhibiton (EUBCE), 2016.
- [11] Ouadi, M., Yang, Y., Hornung, A. Engines for Combined Heat and Power. In: Andreas Hornung, editor. Transformation of Biomass Theory to Practice: Wiley; 2014, p. 159–173.
- [12] Grünig G. Zündstrahlmotoren: Effiziente Verbrennung von Biogas und Schwachgasen in Blockheizkraftwerken. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie; 2010.
- [13] Hegab, A., La Rocca, A., Shayler, P. Towards keeping diesel supply and demand in balance: Dual-fuelling fo diesel engines with natural gas. Renewable and Sustainable Energy Reviews <http://dx.doi.org/1016/j.rser.2016.11.249>.
- [14] Chintala, V., Subramanian, K.A. A comprehensive review on utilization of hydrogen in a compression ignition engine under dual fuel mode. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017;70:472–91.
- [15] Husberg, T., Denbratt, I., Karlsson, A. Analysis of advanced multiple injection strategies in heavy -duty diesel engine using optical measurements and CFD-simulations. SAE paper 2008;01-1328.
- [16] Eder L, Kiesling C, Pirker G, Wimmer A. Development and Validation of a Reduced Reaction Mechanism for CFD Simulation of Diesel Ignited Gas Engines. In: Leipertz A, editor. Engine Combustion Processes (XIII. Congress): Current Problems and Modern Techniques; 2017, p. 299–312.
- [17] Lechner R., O'Connell N., Brautsch M. Identifikation von Einsatzmöglichkeiten und Potentialen der Zündstrahltechnologie zur Verbesserung der Anlageneffizienz und Wirtschaftlichkeit von BHKW-Anlagen mit experimenteller Überprüfung der Vorteile an einer Pilotanlage unter realen Bedingungen im Praxisbetrieb. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag; 2015.
- [18] Burkhardt GmbH, Energy and Building Technology, Kreutweg 2, 92360 Mühlhausen Germany.

Projektpartner:

Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu Province, China
Institut für Energietechnik (IfE) an der OTH Amberg-Weiden, Amberg

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

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

m.brautsch@oth-aw.de



Raphael Lechner, M. Sc.

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

r.lechner@oth-aw.de



Andreas Röhl, M. Eng.

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

a.roell@oth-aw.de



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

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

n.oconnell@oth-aw.de



weltweit in **80%** aller PKWs und Nutzfahrzeuge vertreten

ca. **6%** Umsatzes investieren wir für Forschung und Entwicklung

über **125** Jahre SCHERDEL-Geschichte

ca. **75.000** Tonnen Stahl werden pro Jahr verarbeitet

jährlich werden ca. **5 Milliarden** Federn und Stanz-Biegeteile produziert



TECHNIK BEGEISTERT.

Seit über 125 Jahren stehen wir für bewegendem Erfolg. Wir profitieren von dem Wissen und den Synergien innerhalb unseres starken, globalen Verbunds und bewegen uns gekonnt in spannenden Zukunftsfeldern.

Beginnen Sie bei einem innovativen Weltmarktführer über ein Praktikum oder eine Abschlussarbeit Ihre berufliche Laufbahn! Bewerben können Sie sich direkt auf www.scherdel.com. Wir bieten Ihnen interessante Themenstellungen in folgenden Bereichen an:

PRODUKTENTWICKLUNG **KONSTRUKTION** **QUALITÄTSWESEN** **PRODUKTIONSSTEUERUNG**
MATERIALFORSCHUNG **LOGISTIK** **VERTRIEB** mehr unter www.scherdel.com

SCHERDEL GmbH, Robert Leyerer, 95615 Marktredwitz, Tel.: 09231 603 144



LANGPATENT

ANWALTSKANZLEI IP LAW FIRM

Ihr Ansprechpartner:
Dr.-Ing. Christian Lang
Hermann-Hesse-Str. 14
92637 Weiden
www.langpatent.com
0961/40 18 5 - 66/ -77 (Fax)

Patente – Gebrauchsmuster – Marken – Designs

Ihr Partner in der Oberpfalz für globalen Schutz Ihres geistigen Eigentums

München - Weiden - Blatten b. Naters (CH)

Development of a tool for passive monitoring a vehicle-to-server communication

Philipp Heß, B. Eng.
Josef Schmid, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt Ko-HAF (Akronym für: Kooperatives hochautomatisiertes Fahren) der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden (OTH-AW) zielt auf die nächsten Schritte in Richtung hochautomatisiertes Fahren bei höheren Geschwindigkeiten ab. Das Hauptziel ist, die Detektionsreichweite eines Fahrzeugs zu erhöhen. Dabei werden Sensordaten vieler automatisierter Fahrzeuge mittels eines Sicherheitsservers fusioniert und aggregiert. Hierfür ist es notwendig, eine Kommunikation über das Mobilfunknetz aufzubauen. Um eine zuverlässige Datenübertragung zu garantieren, ist es wichtig, die Kommunikation stetig zu kontrollieren. Hierfür muss eine passende Software entwickelt werden. Diese Arbeit präsentiert verschiedene Ansätze, um ein Netzwerk passiv zu überwachen. Zu Beginn werden verschiedene Algorithmen vorgestellt, um Qualitätsparameter wie Umlaufzeit und Durchsatz einer Verbindung zu bestimmen. Danach wird aufgezeigt, wie verschiedene mobilfunkbezogene Daten erfasst werden können. Zum Ende zeigt die Arbeit verschiedene Anwendungsfälle, um mittels dieser Daten das automatisierte Fahren signifikant zu verbessern. Zusätzlich wird auch ein Rückblick auf die erfolgreiche Zwischenpräsentation des Projekts im Mai 2017 im Schloss Aschaffenburg geben.

Abstract

The research project Ko-HAF (German acronym for: cooperative highly automated driving) from the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden (OTH-AW) tries to reach the next steps for automated driving at higher speed. The key objective is to extend the detection range of a vehicle by cooperative sensing based on the aggregation of sensor information of many automated vehicles. By means of a so-called Safety Server, data exchange utilizing a wireless wide area network, e.g. 4G, shall be implemented. To guarantee a reliable communication, monitoring the network behavior in real-time is important. Therefore, a suitable software has to be implemented. This paper presents different passive algorithms to monitor the network behavior. First, different methods for measuring network parameters like round trip time (RTT) or throughput (TP) are presented. Second, the process of gathering mobile network parameters is explained. Finally, the paper presents different use cases for utilizing this information to improve automated driving. Additionally, this paper gives a short review of the interim project presentation that took place in May 2017 in the castle of Aschaffenburg.

1 Introduction

All major automotive manufacturers have started their work on automated driving. All their basic approaches have one thing in common - they use onboard sensors to control the vehicle. The typical range of radar and lidar sensors is up to 200 meters, while camera systems can effectively be used up to 100 meters. In case of need for transfer of the driving task from automated mode to the driver, the drivers will need some time, e.g. up to 10 seconds. At lower speeds, the onboard sensor range is suffi-

cient to guarantee safe driving [1]. At motorway speeds of 36 m/s and assuming 10 seconds pre-warning time for the driver this leads to a required sensor range of up to 360 meters, which cannot be guaranteed using only onboard sensors. Cooperative sensing based on the aggregation of sensor information of many automated vehicles, i.e. those driving ahead of the own vehicle, by means of a so-called safety server offers the potential to significantly extend the detection range. This principle is the key objective of the German research project Ko-HAF [2]. To reach this target, all relevant sensor information from the vehicles

is sent to a Safety Server via mobile network. The Server aggregates the data and generates a highly dynamic map. This map is distributed to all connected vehicles. Figure 1 illustrates this principle.

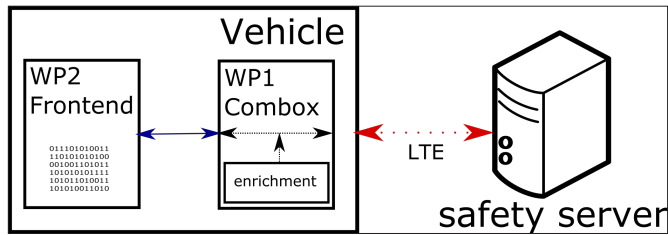


Figure 1: Architecture of the communication system

Every vehicle consists of a Frontend and a communication box (Combox). The Frontend captures the local environment with onboard sensor technology. This information is sent to the communication box over Ethernet. To pass the data to the safety server, wireless communication is needed. In the Ko-HAF system, this communication is realized via a mobile connection (LTE). Once the server has generated the aggregated map, the Combox will receive it and distribute it to the Frontend, again. The data provides now the basis for automated driving. For instance, if a vehicle detects any dynamic hazard, e.g. a moving road work, then the other cars can consider this for their path planning. The task of the OTH-AW is to provide the Combox for each project partner. Therefore, a suitable hardware and software has to be developed. Since automated driving is a time-sensitive process, it is crucial to guarantee a safe and secure communication. It is important to ensure that critical data is sent reliably. To reach this objective, it is necessary to monitor and to analyze the behavior of the mobile network. In particular, a software needs to be developed, which solves this task in real-time. This paper focuses on the development of this software part.

2 Monitoring a communication

To determine the quality of a network, different parameters have to be evaluated. The communication within Ko-HAF is based on TCP and a mobile network, at the best LTE. Typical quality properties for a TCP connection are throughput (TP) and round trip times (RTT).

The throughput of a connection defines the amount of bytes, which are sent within a fixed period. The relation is described with the following equation:

$$TP = \frac{sent_data}{time_frame}$$

The RTT describes the period of time it takes to send a packet to a receiver and to get the corresponding acknowledgement to this packet. Conventional measurement methods like ping inject test traffic into the network. Then, the packets are utilized to calculate the network quality parameters like RTT and throughput [3]. Because all properties of the test traffic are known, it is easy to

determine the needed parameters. However, this measurement has one main side effect – it causes additional traffic and can congest the network. Additionally, ping injects Internet control message protocol (ICMP) messages to the network. Because of the lack in network neutrality, it is not guaranteed that these packets are routed directly through the network. This can cause a higher RTT as it is actually the case. As already mentioned, the communication in Ko-HAF is based on the mobile network. This wireless network is a shared medium and its resources are limited. So with an active measurement, available bandwidth is consumed and the network is slowed down. To avoid loading the network, a passive measurement method needs to be developed and implemented.

2.1 Measurement of RTT and throughput passively

In literature, several algorithms to measure the RTT in a passive way are described [4], [5]. For us, it is necessary to find a method for monitoring the communication at the client side, since we do not have the possibility to get access to the safety server during runtime. All the approaches have one thing in common. They sniff the communication and then analyze the packets. In [4] a method is described which leverages the timestamp option within TCP. The authors determined that in 76.4 percent, from the Alexa Global 500 list [6], the TCP timestamp option is supported. The accuracy of the algorithm depends on the granularity of the TCP timestamps. These are different, depending on the implementation on sender-side. They determined that over 90 percent of the implementations use a granularity bigger than 10 ms. Due to this constraint, this method is not useful to measure RTTs precisely. A second technique is called Slow-Start estimation [7]. This method relies on the assumption that the period between two packet bursts is equal to the connections RTT. To get a precise measurement, it is important that five consecutive segments have the maximum segment size. Consequently, this technique is not usable for flows that only transfer small segments.

Additionally, in [7] a method called SYN-ACK estimation is presented. This algorithm calculated the RTT during the three-way handshake while establishing a connection. In parallel, [8] describes a method to calculate the RTT during the connection close (FIN-ACK method). Figure 2 summarizes both algorithms

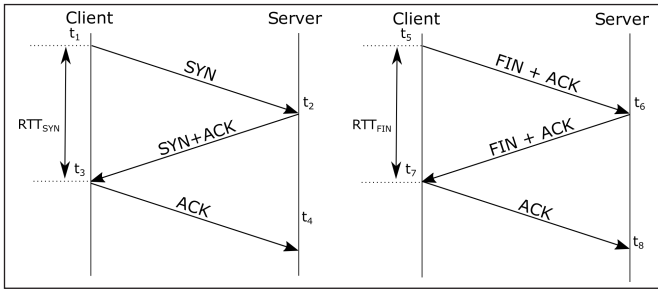


Figure 2: RTT from three-way handshake [7] and during connection close [8]

Because both methods provide accurate results and are easy to implement, the decision was made to use the SYN-ACK and FIN-ACK algorithm for calculating the RTT. To measure the throughput in a passive way, it is just necessary to count the transferred bytes within a fixed period. Own measurements showed that it will need at least flows, which are larger than 1 MB to reach the steady-state throughput of a TCP connection. This behavior is caused by the Slow-Start phase. This needs to be kept in mind when investigating the maximum throughput.

2.2 Capturing mobile network parameters

To analyze the mobile network quality, it is necessary to collect physical network parameters. The following enumeration describes the most important ones. Our analyzer tool gathers these parameters cyclically

- *REFERENCE SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)*: Indicates the average total received power of a LTE connection.
- *REFERENCE SIGNAL RECEIVING POWER (RSRP)*: Indicates the linear average power of a resource element, which carries cell specific reference signals.
- *REFERENCE SIGNAL RECEIVING QUALITY (RSRQ)*: Indicates the quality of the received reference signal. It is used for reliable handover and reselection.
- *CELL IDENTIFIER (CID)*: Unique identifier for the mobile cell. Helps to localize the transceiver station within a local area.

To capture these values, the Qualcomm Mobile Station Modems Interface (QMI) protocol is used. With QMI, it is possible to communicate with a modem and to extract values from it [9].

2.3 Implementation

The tool to monitor the network behavior is named TCPAnalyzer. It is implemented in C++ and consists mainly of three parts as illustrated in Figure 3

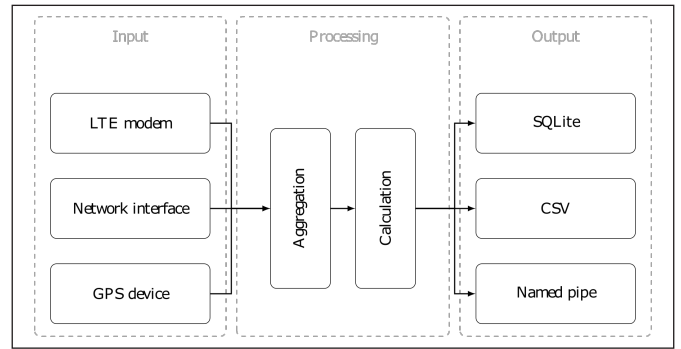


Figure 3: Architecture of the measurement tool

1. Input module: Handles the data acquisition. With the help of the libqmi- and libpcap-libraries, the data from the LTE modem and from the network interface gets extracted. Additionally, with the libgps-library, the current position and speed gets tracked.
2. Processing module: Aggregates the data from the input module and does the actual calculation, e.g. calculate RTT.
3. Output module: The tool can save its result in different data formats, e.g. in a SQLite database. It is also possible to write the results in a JSON format to a named pipe, so another application can process the results from the TCPAnalyzer.

3 Evaluation of the software

To validate the RTT measurement, data are collected during a test drive within our defined test-area around Amberg. To simulate traffic, a script downloads 2 MB files periodically from a server located at the OTH-AW. To get the exact result for the RTT, the traffic is sniffed at the client side (vehicle) and at the server. Figure 4 shows the error distribution of the RTT:

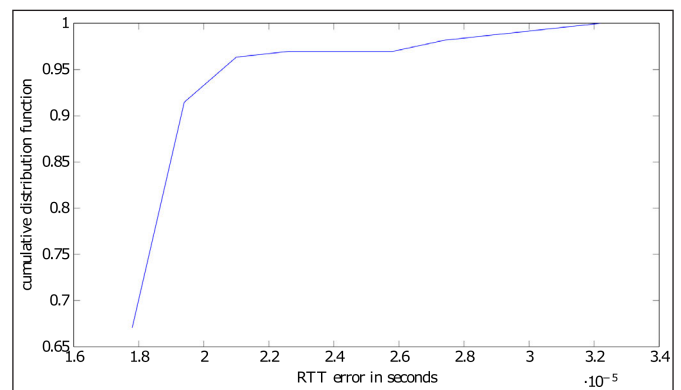


Figure 4: Error distribution of the RTT

The diagram shows that 95% of the measured RTTs have an error smaller than 20 μ s. To validate the throughput functionality, files of different sizes are downloaded and the download sum measured by the tool is compared with the actual download size. Our measurement shows an accuracy of 100%.

4 Conclusion and future work

This paper summarizes the task of the OTH-AW within the German research project Ko-HAF. Mainly, the development of a tool for monitoring a vehicle-to-server communication is explained. The tool monitors on one hand TCP related quality parameters and on the other hand LTE related properties. To avoid slowing down the communication a passive approach is implemented for calculating throughput and RTT. The RTT calculation is based on the SYN-ACK and on the FIN-ACK method. With these methods, it is possible to measure RTT accurately. The LTE parameters, like RSRP, RSRQ or RSSI (see 2.2 above) are extracted from the LTE modem cyclically. All measurement results are made available in either a database or a named pipe.

This software will be rolled out to all project partners and gathers network information while the vehicle is driving. In the future, this data will be used for a deeper analysis of the communication. One objective is to predict the throughput of an LTE connection with the help of a modern machine learning approaches. The prediction shall be used for e.g. scheduling the data transfer to guarantee a more reliable communication.

5 Interim Project Presentation

On May 18th, the interim project presentation of Ko-HAF took place at the Johannesburg Castle in Aschaffenburg. The 15 project partners presented their latest project results [10]. The presentation was structured into two main parts – a session with different lectures on the latest trends in (highly) automated driving and a poster

and demonstration session to show the latest research results. The OTH-AW participated in both sessions. We gave a talk about the requirements on a vehicle-to-server communication and showed our latest research results at our booth. A browser based live demonstrator was implemented to visualize the data exchange between a vehicle and safety server over LTE.



Figure 5: Demo Setup: Simulation of a Ko-HAF vehicle (left), communication box and a browser based visualization of the vehicle to server communication

More than 250 guests visited the conference. We had There were interesting and detailed talks with representatives from different fields - politicians, road authorities, automotive industry and their supplier industry as well as universities and research institutes. It should be emphasized that OTH-AW was the only University of Applied Research, which actively participated at this presentation and OTH-AW is the only University of Applied Research that is involved in this important research project. The positive feedback on our live demonstration, poster and talks was a clear sign to expand our research on predicting the quality of network for vehicle-to-server communication.

References:

- [1] A. Rathore, State-of-the-Art Self Driving Cars, International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology, 2016.
- [2] Zentec Zentrum für Technologie, Existenzgründung und Cooperation GmbH, Das Projekt, <http://www.ko-haf.de/das-projekt/>, accessed 12.09.2017.
- [3] N. V. Mnisi, O. J. Oyedapo and A. Kurien, Active Throughput Estimation using RTT of Differing ICMP packet size, International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Application, 2008.
- [4] B. Veal, K. Li and D. Lowenthal, New Methods for Passive Estimation of TCP Round-Trip Times, Passive and Active Network measurement Conference, 2005.
- [5] A. Gerber et al., Speed Testing without Speed Tests: Estimating Achievable Download Speed from Passive Measurements, ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, 2010.
- [6] Alexa an amazon.com company: The top 500 sites on the web, <https://www.alexa.com/topsites>, accessed 11.09.2017.
- [7] H. Jiang and C. Dovrolis: Passive estimation of TCP Round-Trip Times, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2002.
- [8] A. Moosbrugger and P. Dorfinger, Passive RTT Measurement during Connection Close, IEEE SoftCom, 2010.
- [9] A. Morgado, Qualcomm Gobi devices in Linux based systems, Lanedo, 2013.
- [10] Zentec Zentrum für Technologie, Existenzgründung und Cooperation GmbH, Ergebnisse der Zwischenpräsentation Mai 2017, <http://www.ko-haf.de/zwischenpraesentation/>, accessed 12.09.2017.

Projektpartner:

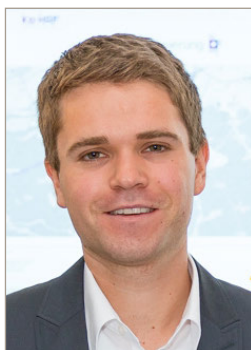
3D Mapping Solutions GmbH, Holzkirchen
Adam Opel AG, Rüsselsheim
Audi AG, Ingolstadt
BMW AG, München
Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
Continental Automotive GmbH, Hannover
Continental Safety Engineering International GmbH, Alzenau
Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt am Main
Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement, Wiesbaden
Robert Bosch GmbH, Hildesheim
Technische Universität Braunschweig – Institut für Fahrzeugtechnik, Braunschweig
Technische Universität München – Lehrstuhl für Ergonomie, München
Universität Passau – Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen, Passau
Universität Würzburg – Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften, Würzburg
Visteon Electronics Germany GmbH, Karlsruhe

Fördergeber:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Kontakt:



Philipp Heß, B.Eng.

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

ph.hess@oth-aw.de



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



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

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

a.hoess@oth-aw.de

Zusammenfassung

Mit dem elektrischen Antrieb in Fahrzeugen wird in den letzten Jahren vermehrt auf eine neue Form der Mobilität gesetzt. Momentan ist die Elektromobilität der breiten Masse zwar bekannt, akzeptiert wird sie aufgrund der geringen Reichweite, der mäßig ausgebauten Ladeinfrastruktur und des hohen Preises jedoch kaum. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars“ – **3Ccar** – sollen weitere Schritte unternommen werden, die Elektromobilität alltagstauglich zu machen. Gefördert wird das Projekt von der Europäischen Union sowie den involvierten nationalen Förderern, in Deutschland dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Die Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden wirkt an dem dreijährigen Projekt mit der Entwicklung eines speziellen Services zur optimierten Routenplanung für Elektrofahrzeuge mit.

Beginnend mit den Herausforderungen der Elektromobilität wird im Anschluss auf das Forschungsprojekt eingegangen. Darüber hinaus wird die Kommunikationsplattform beschrieben, die im Fahrzeug als Schnittstelle zwischen dem internen Fahrzeugnetzwerk und dem Mobilfunknetz dient. Im Anschluss erfolgt die Dokumentation des serverbasierten Dienstes, also des Kernbereichs der Routenplanung für Elektrofahrzeuge. Hierbei spielen neben der technischen Umsetzung der Routenberechnung auch die Bereitstellung des Kartenmaterials und der Informationen zu den Elektrotankstellen eine entscheidende Rolle. Abschließend wird ein Blick auf das Gesamtsystem geworfen und die Vorteile und Potenziale dieses Ansatzes werden aufgezeigt.

Abstract

Since the last few years, the electric drive is playing a major role for a new form of electromobility. Despite the general knowledge about electromobility, it is very little accepted by the general public due to the low range, the moderately developed charging infrastructure as well as high costs. Within the research project „Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars“ - **3Ccar** - these aspects are treated. The 3Ccar project is funded by European Union as well as from the involved national funding authorities, in Germany the Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

The Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden works during the 3 years project time on a special route-planning service for electric vehicles that is taking estimated charging times into account. Beginning with the challenges of electromobility, the research project will be described more detailed. Next, the communication platform in the car will be characterized, which forms the interface between the in-car network and the external cellular phone network. Subsequently, the server-based service gets described, the core section of the route planning for electric vehicles. In addition to the development and technical implementation of the routing algorithm itself, the provision of map data and information about charging stations play a decisive role as components of the service. Finally, the article takes a look at the whole system, including key benefits and potentials compared to state-of-the-art approaches.

1 Einleitung

Die Endlichkeit fossiler Rohstoffe, deren Preisschwankungen und die Belastungen der Städte durch die zunehmende Luftverschmutzung fordern ein Umdenken sowohl in Politik und Industrie als auch der breiten Öffentlichkeit. Um auch in Zukunft einen hohen Komfort bieten zu können, muss sich der Mobilitätsgedanke von heute ändern. Hierzu werden verschiedenste Konzepte entwickelt, bei denen das Thema Elektromobilität eine große Rolle spielt.

Wenn über die Elektromobilität gesprochen wird fallen immer wieder die Begriffe Reichweite, Preis oder Ladeinfrastruktur. Da die Elektromobilität in der Öffentlichkeit zwar bekannt, aber noch nicht vollständig akzeptiert ist, muss vor allem an diesen drei Problemstellen gearbeitet werden. Dies spiegelt auch eine Umfrage aus dem Jahr 2016 wieder, bei der über 60% der Befragten angaben, den Kauf eines Elektroautos in Betracht zu ziehen, wenn sich die Reichweite erhöht, der Preis sinkt und sich die Anzahl der Ladestationen erhöht [1]. Die Entwicklung der letzten Jahre hat auch die Preise für Lithium-Ionen-Batterien fallen lassen, dem Hauptfaktor für die hohen Kosten bei Elektrofahrzeugen [2]. Damit einhergehend hat sich die durchschnittliche Reichweite der Elektroautos erhöht und Prognosen sehen einen weiteren Anstieg der Reichweite voraus [3]. Der Preis und die Reichweite werden, laut den Prognosen und bei gleichbleibender Entwicklung der letzten Jahre, somit auf absehbare Zeit weniger ein Hindernis für den Erwerb eines Elektrofahrzeugs sein.

Am Thema Ladeinfrastruktur muss allerdings noch gearbeitet werden. Die Europäische Union fördert eine Vielzahl von Projekten, um unter anderem die transeuropäischen Verkehrswege, also die Hauptverkehrsachsen in Europa, mit Schnellladestationen auszurüsten [4].

Auch nach der Erhöhung der Reichweite und der Verbesserung der Infrastruktur wird man weiterhin auf Dienste angewiesen sein, um die passende Ladestation für sein Elektrofahrzeug zu finden. Hat man nicht die Möglichkeit, sein Auto täglich zu laden, muss man die entsprechenden Ladesäulen mit dem passenden Steckertyp und der passenden Bezahlfunktion in seinem Umfeld kennen. Services von BMW oder Tesla bieten zwar die Möglichkeit, Elektrotankstellen in der Umgebung oder auf der Fahrstrecke anzuzeigen, jedoch nur von Stationen des Herstellers oder von Kooperationspartnern.

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts „Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars“ – 3Ccar – wird von der OTH Amberg-Weiden an einer Komfortsteigerung bei der Routenplanung für Elektrofahrzeuge gearbeitet. Hierfür wird eine Plattform entwickelt, bei der alle Parameter wie Restreichweite des Fahrzeugs, Bezahlmöglichkeit, Steckertyp oder Entfernung bis zum Ziel in eine optimierte Routenplanung einfließen. Somit kann ein Elektrofahrzeug genutzt

werden, ohne die zeitintensive Planung der Ladehalte durchführen zu müssen.

2 Projektübersicht und Zielsetzung

Das Forschungsprojekt 3Ccar soll ganzheitlich betrachtet die Komplexität von Elektrofahrzeugen reduzieren, was wiederum Auswirkungen auf Kosten, Wartung und Updatefunktionalitäten von Soft- und Hardware hat. Gefördert wird das Konsortium, bestehend aus 50 Projektpartnern aus 12 europäischen Ländern, durch das ECSEL Joint Undertaking der Europäischen Union. Innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit investieren die Partner aus Industrie und Forschung über 54 Millionen Euro.

Zu den beteiligten Partnern gehören neben der OTH Amberg-Weiden auch zwei führende deutsche Automobilhersteller, Daimler und BMW, sowie europäische Halbleiterhersteller wie NXP, ST oder Infineon. Darüber hinaus sind auch Forschungseinrichtungen wie das Fraunhofer IISB und Hochschulen wie die Technische Universität Dresden oder die Technische Universität Graz beteiligt. Abbildung 1 zeigt die Zusammensetzung des Konsortiums.



Abbildung 1: Übersicht der beteiligten Firmen

In insgesamt zehn verschiedenen Bereichen wird an Themen wie Akkumulatorzellen mit integrierten Kommunikations- und Messlösungen, kostengünstigen LIDAR- (Light detection and ranging-)Systemen oder der Verringerung des Kabelbaumes im Fahrzeug gearbeitet, um die Qualität zukünftiger Elektrofahrzeuge zu erhöhen.

Die Bereiche sind [5]:

- Smart Battery Cells
- Functionally Integrated Powertrain
- Smart Semiconductors for Fuel Cells

- Domain Controller and Algorithms
- High Speed Data Communication
- Embedded Power Modules
- MEMS & Sensors as Cyber-Physical Systems
- Robustness and Reliability
- Comfort and Usability
- Cost Effective Technology Platform

Da Firmen aus den wichtigsten Branchenzweigen zur Fertigung von Elektroautos vertreten sind, ergeben sich durch die Forschung direkte Auswirkungen auf die Hersteller in der Automobilindustrie, auf Halbleiterhersteller und auf die Umwelt. Die Projektziele können in sechs Gruppen aufgeteilt werden [5]:

- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobil- und Halbleiterindustrie
- Senkung der Kosten für Komponenten des Automobilsektors
- Kontrolle der Komplexität mit einer neuen Architektur, die eine Aufteilung der Komponenten erlaubt
- Senkung der Wartungskosten von Fahrzeugen
- Steigerung des Anteils von Elektrofahrzeugen der gesamten Fahrzeugflotte (Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sollen immer häufiger durch elektrisch betriebene Fahrzeuge ersetzt werden)
- Verringerung der ökologisch negativen Auswirkungen des Mobilitätssektors auf die Umwelt („Environment Footprint“)

3 Kommunikationsplattform

In diesem Kapitel wird auf die hardwareseitigen Aspekte und die benötigte Software im Fahrzeug eingegangen, die für eine Routenberechnung für Elektrofahrzeuge mit serverbasiertem Ansatz nötig sind.

3.1 Fahrzeugkommunikation

Die OTH Amberg-Weiden arbeitet unter anderem mit den Firmen TTTech, Tecnia und NXP im Bereich der „High Speed Data Communication“ zusammen. Die Projektpartner arbeiten an verschiedenen Problemstellungen, jedoch immer im Hinblick auf Komponentenverringerung, bessere Wartbarkeit und Kostenreduzierung. Ein Ziel ist es, die Kommunikationsnetze und somit den Kabelbaum zu verkleinern. Am Ende sollen die Entwicklungen der Projektpartner über einen speziellen Ethernet-Switch der Firma TTTech miteinander kommunizieren, unabhängig davon, ob kritische Datenpakete (z. B. vom ESP-System) oder nicht kritische Datenpakete (z. B. von der Entertainment-Anlage) übertragen werden.

In Abbildung 2 ist der Aufbau der OTH Amberg-Weiden zu sehen, der zur Demonstration der Anwendung verwendet wird. Neben der Hardwareplattform kommen ein 4G/LTE-Modul mit GPS sowie ein 10-Zoll-Touchdisplay zum Einsatz. Dieses dient der Interaktion mit dem Fahrzeugin-

sassen und zur Anzeige der vom Server bereitgestellten Route. Im Laufe des Projektes wird der Testaufbau durch speziell entwickelte Komponenten der Projektpartner ersetzt.

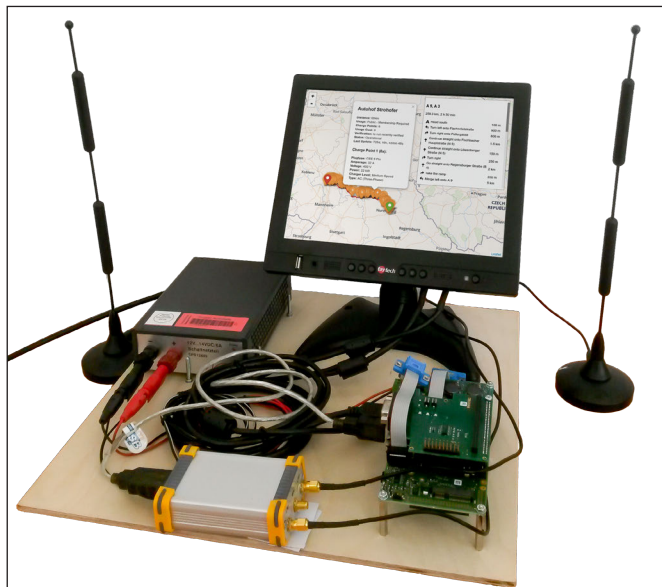


Abbildung 2: Testaufbau für die Routenplanung

Die OTH Amberg-Weiden trägt zum Projekt die Applikation für die Routenplanung von Elektrofahrzeugen bei. Darüber hinaus wird damit auch gezeigt, dass eine Applikation mit hohem Datenaufkommen in dem Gesamtsystem mit verschiedensten anderen Komponenten interagieren kann, ohne dass sie sich gegenseitig beeinflussen.

3.2 Betriebssystem der Hardwareplattform

Aufbauend auf einer mit den Projektpartnern ausgewählten Testhardware und später auf der von einem Partner entwickelten Hardware wird ein entsprechendes Betriebssystem ausgewählt und aufgesetzt. Die Hardwareplattform wird im Laufe des Projektes in ein beispielhaftes Fahrzeugnetzwerk integriert und muss deswegen mit verschiedenen Protokollen wie CAN (Controller Area Network) oder Time-Triggered Ethernet umgehen können. Außerdem ist noch ein 4G/LTE-Modul integriert, um über das Mobilfunknetz die aktuellsten Routeninformationen abzurufen. Neben diesen Anforderungen entschied man sich auch aufgrund des Austestens neuer Entwicklungsansätze in der Fahrzeugkommunikation für das Open-Source-Betriebssystem Linux. Projekte wie das der GENIVI Allianz haben auch schon gezeigt, dass Open-Source-Software im Automotive-Bereich erfolgreich eingesetzt werden kann [6].

Linux als Betriebssystem zu verwenden, hat verschiedene Vorteile. Einerseits hat es eine modulare Struktur und ist sehr einfach zu erweitern, andererseits kann es vollständig auf die Bedürfnisse angepasst werden und einzelne Versionen werden lange gepflegt und mit Updates versorgt [7]. Ein Embedded-Linux-System ist hierbei eine reduzierte Version eines Standard-Linux-Systems und

besteht grundsätzlich aus drei verschiedenen Teilen, die in Abbildung 3 zu sehen sind.

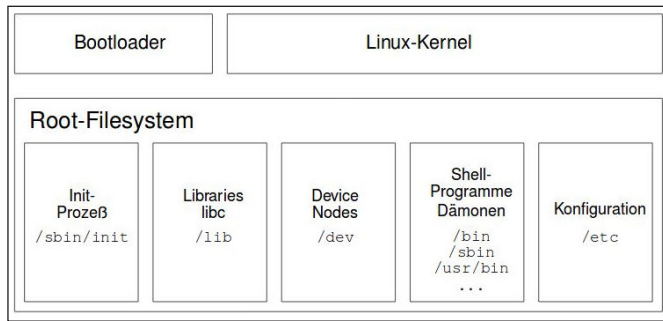


Abbildung 3: Architektur eines Linux-Systems

Für den Bootloader wurden fertige Konfigurationsdateien vom Hersteller verwendet, da dieser sehr hardware-spezifisch ist. Er ist das initiale Startprogramm, das weitere Komponenten innerhalb des Betriebssystems lädt. Der Linux-Kernel ist der elementarste Teil des Betriebssystems. Er stellt standardisierte Schnittstellen für die Software zur Verfügung. Für bestimmte Prozessoren sind schon Konfigurationseinstellungen vorhanden, hierbei werden jedoch nur die grundlegendsten Module bereitgestellt. Um das 4G/LTE-Modul oder die CAN-Schnittstelle in Betrieb nehmen zu können, müssen spezielle Einstellungen getroffen werden.

Ebenso wie für den Bootloader wurde für das Root-Filesystem eine vorgefertigte Software verwendet. Mittels eines selbst angepassten Root-Filesystems ist es möglich, Linux auf sehr kleinen Prozessoren in Betrieb zu nehmen oder auch stark zu optimieren; dies ist aber bei dem im Projekt verwendeten Prozessor nicht nötig. Für das Projekt wurde ein Debian Root-Filesystem verwendet, da es eine große Anzahl an Softwareapplikationen unterstützt und sehr stabil läuft [8].

Die verwendete Hardwareplattform dient aktuell in erster Linie als Schnittstelle zwischen dem internen Fahrzeugnetz, dem Visualisieren der Routeninformationen und der Kommunikation zum Server für die Routenplanung.

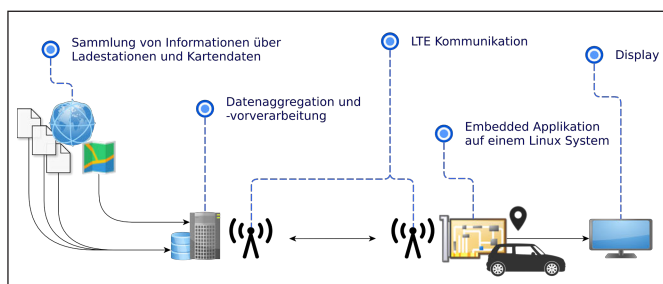


Abbildung 4: Systembeispiel

Abbildung 4 gibt eine Übersicht, wie das Hardwaremodul im Gesamtsystem eines Demonstrationsbeispiels integriert ist. Im nachfolgenden Kapitel wird nun auf die Routenberechnung und deren serverbasierten Ansatz eingegangen.

4 Serverbasierter Dienst

Serverseitig teilt sich der Service in drei Hauptkomponenten auf: die Bereitstellung von Kartenmaterial, eine Datenbank mit Informationen über Elektrotankstellen sowie die optimale Routenberechnung. Der Service wird als Website zur Verfügung gestellt, kann aber auch direkt ins Endgerät integriert werden.

In dem Forschungsprojekt wird hierfür verschiedene Software getestet, evaluiert und ein Gesamtsystem entwickelt, um einen funktionierenden Dienst zur Verfügung zu stellen. Bei den verwendeten Softwaretools handelt es sich um Open-Source-Software in Verbindung mit Kartenmaterial von OpenStreetMap (OSM) [9].

Für jede dieser Hauptkomponenten werden verschiedene Konzepte implementiert und verglichen. Das Gesamtsystem ist durch die Verwendung von Docker-Containern [10] modular und wiederverwendbar aufgebaut.

4.1 Bereitstellung von Kartenmaterial

Als Kartenmaterial werden direkt die Daten von OpenStreetMap verwendet. Diese können über die Website www.geofabrik.de [11] bezogen werden.

Als erstes Konzept werden alle zur Erstellung einer Karte notwendigen Informationen aus den Rohdaten extrahiert und anschließend in eine PostgreSQL-Datenbank [12] mit PostGIS-Erweiterung [13] zur Verwaltung von räumlich bezogenen Daten gespeichert (kurz: PostGIS-Datenbank). Dem Anwender werden die aufbereiteten Karten über die Software GeoServer [14] zur Verfügung gestellt. Die Java-Software unterstützt die Standards Web Map Service (WMS) und Web Feature Service (WFS). Über diese Schnittstellen ist es möglich, sämtliche verschiedenen geografischen Informationen bereitzustellen. Beim WMS-Standard werden dafür sogenannte Kacheln mit einer Größe von je 256 px × 256 px am Server gerendert und gecacht. Die exakte Darstellung der einzelnen Elemente wie Straßen, Wasser oder Wald wird in Styled-Layer-Descriptor- (SLD-)Dateien definiert. Die Kacheln können dann auf einer Website mit JavaScript-Bibliotheken wie OpenLayers [15] oder Leaflet [16] dargestellt werden. Der WFS-Dienst hingegen stellt Daten nicht gerendert bereit, sondern in Vektorform. Einzelne Linien oder Punkte mit Informationen können damit effektiv abgefragt und erst im Browser gerendert werden.

Der große Vorteil dieses Konzeptes ist die extrem hohe Flexibilität. Die genaue Darstellung der Kartendaten ist frei definierbar und Aktualisierungen können direkt in die Datenbank eingespielt und am Server bereitgestellt werden. Jedoch geht mit dieser Flexibilität gleichzeitig ein enormer Aufwand in der Umsetzung einher.

Ein weiteres Konzept stellt die Verwendung von OpenMapTiles [17] in Verbindung mit der Software Tileservers GL [18] dar. OpenMapTiles bietet bereits vorgefertigte Kacheln basierend auf OSM-Daten sowie einige zugehörige Designs, welche über die Tileservers GL bereitgestellt

werden können. Auch hier wird der WMS-Standard unterstützt, wodurch die Karten ebenfalls über OpenLayers oder Leaflet im Browser dargestellt werden können. Zusätzlich besteht hier die Möglichkeit, die gesamten Kartendaten im Vektorformat zu übertragen, was die benötigte Bandbreite reduzieren kann. Die Updateintervalle der vorgefertigten Kacheln können im Bereich von mehreren Wochen liegen und die Flexibilität ist etwas beschränkter. Da es sich um Open-Source-Software handelt, lassen sich die Kacheln bei Bedarf jedoch auch selbst generieren. Der Gesamtaufwand ist um ein Vielfaches geringer als bei der ersten Variante. Die Performanz des Servers ist bei dieser Variante ebenfalls besser. Daher hat sie sich im Projekt durchgesetzt.

4.2 Informationen über Elektrotankstellen

Es existiert bereits eine Vielzahl von verschiedenen Elektrotankstellenbetreibern sowie Kooperationen mit jeweils eigenen Verzeichnissen über ihre Angebote. Ziel dieses Projektes ist es, unabhängig von diesen Organisationen Informationen über sämtliche Ladestationen bereitzustellen. Neben vielen nicht frei verfügbaren Registern existieren auch einige öffentlich verfügbare Datenbanken über Elektrotankstellen. Das gemeinnützige Projekt Open Charge Map (OCM) stellt ein kostenloses und offenes Verzeichnis für Ladestationen auf der ganzen Welt bereit. Es wird unterstützt von verschiedenen Unternehmen sowie öffentlichen Einrichtungen und fusioniert neben diesen Quellen ebenfalls Angaben direkt von Nutzern des Dienstes. [19]

Die Informationen über die Tankstellen sind extrem detailliert und enthalten neben Angaben zu verfügbaren Ladetechnologien auch Nutzerkommentare und Statusinformationen. Um diese Daten selbst nutzen zu können, werden sie am lokalen Server in eine PostGIS-Datenbank gespiegelt und automatisiert synchronisiert.

4.3 Die Routenberechnung

Bei der herkömmlichen Routenberechnung handelt es sich um die effiziente Berechnung der schnellsten Route durch ein Straßennetz. Zu diesem Zweck wird das Netz mathematisch als Graph mit Knoten und Kanten interpretiert. Der Aufwand, von einem Knoten zum anderen zu gelangen, wird über das Gewicht der Kanten dargestellt. Bei der Erzeugung des Graphen werden diese Gewichte aus allen relevanten Faktoren wie Länge und Beschaffenheit der Straße sowie Tempolimits oder Hindernissen und Verzögerungen berechnet. Auch hier kann als Datenquelle OSM eingesetzt werden. Die schnellste Route von A nach B ergibt sich durch die günstigste Verbindung im Graphen. Verschiedene Algorithmen existieren, um dieses mathematische Problem zu lösen. Sie basieren meistens in letzter Form auf dem Dijkstras-Algorithmus [20] mit einigen Optimierungen. Moderne Algorithmen setzen dabei verstärkt auf die Vorberechnung von schnellsten Wegen, was die Performanz extrem erhöht, jedoch die Flexibilität

einschränken kann. Bei vorberechneten Strecken lassen sich die Gewichte der Kanten zur Laufzeit nicht mehr verändern.

Ein Beispiel für einen hochmodernen Algorithmus stellt Contraction Hierarchies (CH) [21] dar. Dieser kommt in der Software Open Source Routing Machine (OSRM) zum Einsatz. Der Algorithmus berechnet in einem aufwendigen Vorverarbeitungsschritt zunächst eine große Tabelle mit Abkürzungen innerhalb des Routing-Graphen. Mithilfe dieser Tabelle ist es im Anschluss möglich, eine optimale Route über ganze Kontinente innerhalb weniger Millisekunden zu berechnen. [22]

Die Software OSRM bietet eine hochmoderne und extrem schnelle Routenberechnung. Bei der Erzeugung des Graphen können verschiedene Routingprofile mit extrem feinen Einstellmöglichkeiten erstellt und benutzt werden, um die Kantengewichte zu berechnen. OSRM bezieht dabei Details wie „Ampel“, „loser Untergrund“ oder „links abbiegen“ ebenfalls in die Berechnung ein. Die resultierenden Ergebnisse haben daher eine sehr hohe Qualität.

Bei der Routenplanung für Elektrofahrzeuge kommt zur benötigten Fahrzeit noch die benötigte Ladezeit hinzu. Diese wird von ganz neuen Faktoren beeinflusst:

- Die Ladeinfrastruktur ist nicht sehr dicht.
- Es kommen unterschiedliche Steckertypen, Ladetechnologien und Bezahlssysteme zum Einsatz.
- Die Ladegeschwindigkeit ist nicht nur von der Technologie, sondern auch vom aktuellen Ladestand abhängig.

Konkret bedeutet dies, dass es günstiger sein kann, das Fahrzeug auf einer zu fahrenden Strecke einmal mehr als nötig zu laden. Bei Betrachtung der Gesamtzeit für die Route ergibt sich hierbei eine Zeitersparnis, da die Ladeleistung auch an Schnellladestationen stark abfällt, wenn der Ladestand über 80% der Kapazität ansteigt. Der naive Ansatz, die Route aus Ladehalten jeweils kurz vor dem Erreichen der maximalen Reichweite zusammenzusetzen, liefert demnach nicht optimale bis hin zu unbrauchbaren Resultaten.

Zur Lösung dieser Problematik werden verschiedene Ansätze betrachtet und entwickelt. Der aktuellste wird hier vereinfacht erläutert:

Beim aktuellen Ansatz kommt OSRM in Form einer Bibliothek in einem C++ CGI-Programm zum Einsatz. Common-Gateway-Interface- (CGI-)Programme werden durch HTML-Anfragen an einen Server aufgerufen und ausgeführt. Die Anwendung ist in der Lage, die OSRM-API zu verarbeiten und weiterzugeben. Die API wird dabei um folgende Parameter erweitert: kompatible Technologien (Stecker- und Ladetypen), maximale Reichweite sowie aktueller Ladezustand.

Der darauffolgende Algorithmus zur Routenfindung ist in Abbildung 5 veranschaulicht.

Bei einer Anfrage zur Routenberechnung wird nun zunächst die schnellste direkte Route mithilfe von OSRM berechnet (Abbildung 5a). Anschließend werden alle kompatiblen Ladestationen im Umkreis der Route aus der PostGIS-Datenbank abgefragt (Abbildung 5b).

Um nun die bestmögliche Route berechnen zu können, ist eine weitere Kürzeste-Wege-Berechnung notwendig. Hierfür wird zur Laufzeit ein weiterer Graph erstellt (Abbildung 5c). Dieser enthält nun alle möglichen Verbindungen zwischen den Wegpunkten und den Ladehalten. In diesem Graphen können keine Verbindungen existieren, die die maximale Reichweite des Fahrzeugs übersteigen. Aus diesem Grund werden zunächst über OSRM alle möglichen und gleichzeitig sinnvollen Routen zwischen allen zuvor angefragten Punkten errechnet. Die hohe Performanz von OSRM ist dabei von großer Bedeutung: Mehrere Tausend Berechnungen können theoretisch nötig sein.

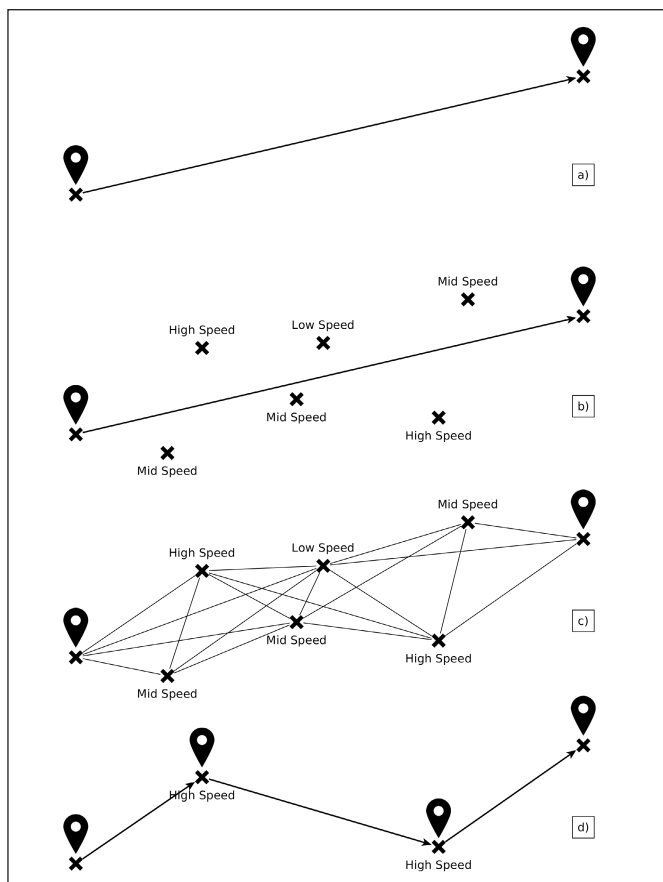


Abbildung 5: Algorithmus zur Bestimmung der besten Route

Das Gewicht der Kanten (in Abbildung 5c) wird nun dynamisch je nach Fahrzeug bestimmt. Dabei wird sowohl die bereits berechnete Fahrzeit in Betracht gezogen als auch die nötige Ladedauer, die mindestens erforderlich wäre, um den nächsten Punkt sicher zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde ein realistisches Ladeprofil, angelehnt an ein Fahrzeug mit 200 km Reichweite, modelliert. Weitere Faktoren wie Bewertungen der Ladestation können ebenfalls mit einfließen.

Im generierten Graphen wird mit den gewichteten Kanten nun erneut der kürzeste Pfad berechnet. Dieser berücksichtigt alle relevanten Faktoren – inklusive der Ladezeiten (Abbildung 5d). Auf dieser Basis wird nun der endgültige Weg mit OSRM berechnet. Die Anfrage enthält nun alle Ladehalte als Via-Punkte. Die Ausgabe wird abschließend um die Informationen über die Elektrotankstellen, Ladedauern und Ladestände ergänzt und an den Nutzer übermittelt. Dieses Vorgehen garantiert ein optimales Resultat.

5 Ergebnisse

Bereits die ersten Resultate der Inbetriebnahme des Gesamtsystems sind sehr positiv. Durch eine Benutzereingabe am Display werden der Start- und der Zielpunkt für die Routenplanung festgelegt. Relevante Informationen wie die aktuelle Restreichweite und kompatible Ladetechnologien werden im Moment noch auf der Website parametrisiert, in Zukunft jedoch automatisiert über die Kommunikationsplattform direkt vom Fahrzeug bezogen.

In Abbildung 6 wurde als konkretes Beispiel eine Route von Hannover nach Nürnberg berechnet. Angenommen wurde eine maximale Reichweite von 200 km, ein Ladestand von 100% bei Fahrtbeginn sowie eine verfügbare IEC-Typ-2- und Combined-Charging-System- (CCS-)Ladekupplung. Drei mögliche Ladearten wurden definiert mit 7 kW AC, 22 kW AC und 50 kW DC. Der Ladestand wird in Abbildung 6 als „SoC“ angegeben (engl.: State of Charge). Des Weiteren lässt sich ebenfalls die minimale Restreichweite als eine Art Notreserve mit angeben. Sie wurde mit 20 km festgelegt.

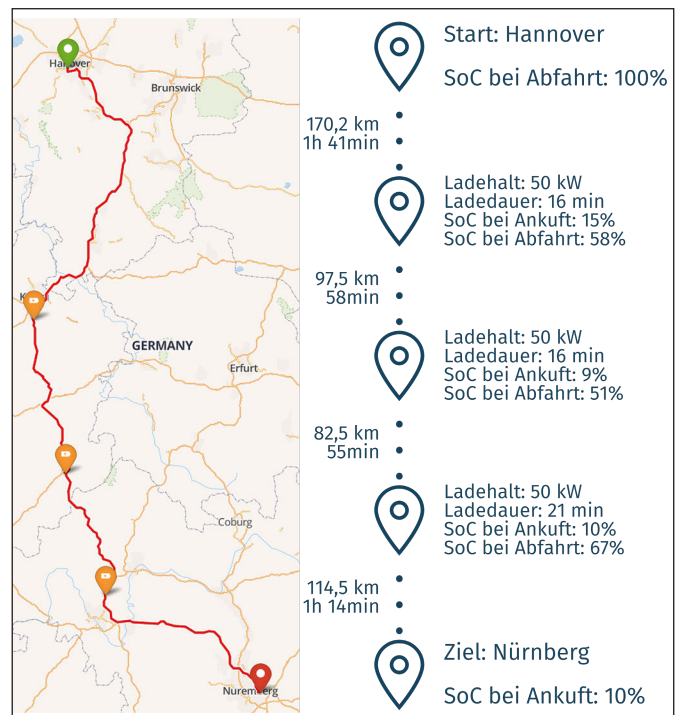


Abbildung 6: Berechnete Route von Hannover nach Nürnberg

Die gesamte Strecke hat eine Länge von knapp 470 km – es sind also mindestens zwei Ladestopps nötig, um das Ziel zu erreichen. Wie in Abbildung 6 zu sehen, hat der Algorithmus zwischen dem ersten und dritten Ladehalt jedoch noch einen weiteren hinzugefügt. Dieser verhindert in diesem konkreten Fall, dass die benötigte Ladezeit beim ersten Halt überproportional ansteigt. Das Fahrzeug müsste hier bis weit über 90% geladen werden, um sicher den letzten Ladehalt zu erreichen.

Die berechnete Route ist anschließend, wie in Abbildung 6 gezeigt, auf der Website dargestellt. Durch einen Klick auf die Elektrotankstellen können dem Nutzer zudem alle verfügbaren Informationen über die Ladesäulen angezeigt werden. Die Anwendung wurde für Anschauungszwecke so optimiert, dass gegenwärtig ein Einsatz auf einem Desktop-Rechner oder auf mobilen Endgeräten möglich ist. Dadurch ist der Service, mit einigen Anpassungen, auch ohne Kommunikationsplattform zu betreiben.

Referenzen:

- [1] „Elektroautos – Bedingungen der Autokäufer in Deutschland 2016 | Umfrage“, Statista. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/631361/umfrage/umfrage-zu-den-bedingungen-fuer-den-kauf-eines-elektroautos/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [2] „Preisentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien | Prognose“, Statista. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [3] „Reichweite von Elektroautos bis 2020 | Prognose“, Statista. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/443614/umfrage/prognose-zur-reichweite-von-elektroautos/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [4] „CEGC – Home“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.cegc-project.eu/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [5] „3Ccar – official website“. [Online]. Verfügbar unter: <http://3Ccar.eu/>. [Zugegriffen: 10-Apr-2017].
- [6] „GENIVI Alliance“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.genivi.org/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [7] K. Yaghmour, Building embedded Linux systems. Beijing: O’Reilly, 2008.
- [8] „Debian – Das universelle Betriebssystem“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.debian.org/>. [Zugegriffen: 05-Sep-2017].
- [9] „OpenStreetMap Wiki“. [Online]. Verfügbar unter: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page. [Zugegriffen: 10-Apr-2017].
- [10] „Docker – official website“, Docker, 14-Mai-2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.docker.com/>. [Zugegriffen: 15-Juni-2017].
- [11] „Geofabrik Data Extracts – Technical Details“. [Online]. Verfügbar unter: <http://download.geofabrik.de/technical.html>. [Zugegriffen: 07-Mai-2017].
- [12] „PostgreSQL: The world’s most advanced open source database“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.postgresql.org/>. [Zugegriffen: 04-Sep-2017].
- [13] „PostGIS – Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL“. [Online]. Verfügbar unter: <https://postgis.net/>. [Zugegriffen: 04-Sep-2017].
- [14] „GeoServer – official website“. [Online]. Verfügbar unter: <http://geoserver.org/>. [Zugegriffen: 07-Mai-2017].
- [15] „OpenLayers – Welcome“. [Online]. Verfügbar unter: <http://openlayers.org/>. [Zugegriffen: 04-Sep-2017].
- [16] „Leaflet – official website“. [Online]. Verfügbar unter: <http://leafletjs.com/>. [Zugegriffen: 10-Apr-2017].
- [17] K. T. GmbH, „World maps you can self-host - powered by free OpenStreetMap vector tiles and open-source software.“, OpenMapTiles. [Online]. Verfügbar unter: <https://openmaptiles.org/>. [Zugegriffen: 04-Sep-2017].
- [18] „TileServerGL“. [Online]. Verfügbar unter: <http://tileserver.org/>. [Zugegriffen: 04-Sep-2017].
- [19] „Open Charge Map – official website“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.openchargemap.org/site/>. [Zugegriffen: 10-Apr-2017].
- [20] E. W. Dijkstra, „A note on two problems in connexion with graphs“, Numer. Math., Bd. 1, Nr. 1, S. 269–271, Dez. 1959.
- [21] R. Geisberger, P. Sanders, D. Schultes, und D. Delling, „Contraction hierarchies: Faster and simpler hierarchical routing in road networks“, in: International Workshop on Experimental and Efficient Algorithms, 2008, S. 319–333.
- [22] „Project OSRM – official website“. [Online]. Verfügbar unter: <http://project-osrm.org/>. [Zugegriffen: 09-Mai-2017].

Acknowledgement:



The project 3Ccar has received funding from the European Union's ECSEL Joint Undertaking under the grand agreement No. 662192. This Joint Undertaking received support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme as well as from Germany, Austria, Czech Republic, Romania, Belgium, United Kingdom, France, Netherlands, Latvia, Finland, Spain, Italy, Lithuania.



Kontakt:



Stefan Stiegler, B. Eng.

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

st.stiegler@oth-aw.de



Sebastian Wieland, B. Eng.

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

se.wieland@oth-aw.de



Heike Lepke, M. Eng.

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

h.lepke@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

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

a.hoess@oth-aw.de

Einsatzmöglichkeiten von Internet-of-Things-Kom- munikationstechnologien in der kontaktlosen Energie- und Daten- übertragung

Zusammenfassung

Für die kontaktlose Energie- und Datenübertragung werden die Einsatzmöglichkeiten von „Green PHY“, einer „Internet of Things (IoT)“-Technologie, untersucht. Bei Green PHY handelt es sich um eine spezielle, störsicherere Variante der „HomePlug“-Kommunikation, die insbesondere für den Datenaustausch bei Smarthome, Smart Power und im konventionellen, leitungsgebundenen Laden von Elektrofahrzeugen entwickelt wurde. Es wird untersucht, inwieweit sie an die Erfordernisse des kontaktlosen Übertragens von Energie und Daten in räumlich ausgedehnten Anlagen mit einer Vielzahl von Verbrauchern angepasst werden kann. Solche Anlagen sind beispielsweise beim simultanen Laden von Elektrofahrzeugen auf Parklätzen und im industriellen Einsatz zu finden. Erste Ergebnisse sind vielversprechend.

Abstract

As a robust powerline communication the „Internet of Things (IoT)“ technology Green PHY is emerging in smart home and smart power. Feasibility of its application to demanding inductive power and data transfer systems is studied. Such system may be simultaneous charging of multiple electric vehicle at car parks or industrial applications such as conveyer systems for intra logistics. Mainly, the physical layer is investigated with respect to electromagnetic noise scenarios that typically arise these installations. First results are promising.

1 Einleitung

Maßgeblich getrieben durch das wachsende Aufkommen von Elektrofahrzeugen, sei es im industriellen oder privaten Umfeld, gewann die kontaktlose Übertragung von Energie und Daten über die vergangenen Jahre zunehmend an Bedeutung. Die Nachfrage nach kontaktlos übertragenden Systemen mehrte sich außer im Bereich der E-Mobility auch in weiteren Anwendungsgebieten und deren Applikationen. Eines dieser Anwendungsgebiete umfasst die Kommunikation und Energieverteilung zwischen Aktoren und Sensoren im industriellen Umfeld, dem Einsatz von Feldbussystemen.

Auch in diesem Bereich ist der Einsatz der kontaktlosen Übertragung sehr interessant. Vorteile sind ein höherer Grad an Flexibilität, weniger Verschleiß, ein geringerer Wartungsaufwand und ein erhöhter Berührungsschutz vor elektrischem Schlag.

Dennoch bringt der Einsatz kontaktloser Bussysteme auch Herausforderungen mit sich. Eine der wesentlichen

Herausforderungen ist die Übertragung von Daten. Bei kontaktlos arbeitenden Systemen treten sehr hohe Störimpulse auf, die in der Regel von steilen Schaltflanken beteiligter Halbleiterschalter, ähnlich wie beim Betrieb von Frequenzumrichtern, herrühren. Hier müssen robuste und störunanfällige Datenübertragungsverfahren eingesetzt werden. Als ein solches Datenübertragungsverfahren kommt eine ggf. modifizierte Variante der „Green PHY“-Kommunikation [1][2] in Betracht.

Um die Einsatzmöglichkeiten beurteilen zu können, werden anhand eines Laboraufbaus die Grenzen und Möglichkeiten evaluiert.

2 Kommunikation

„Green PHY“ ist eine angepasste Variante des „HomePlug“-Standards und stellt eine proprietäre Erweiterung von IEEE-802.3-Technologien für Powerline-Kommunikation dar [3]. Entscheidend ist hier der Physical Layer. Als Übertragungskanal wird ein ungeschirmtes

Aderpaar verwendet. Dieses Aderpaar kann als Live wie auch als Dead Wire verwendet werden. Bei der „Live Wire“-Variante werden die Daten auf ein stromführendes Aderpaar aufmoduliert. Im Gegensatz hierzu wird bei der „Dead Wire“-Variante ein zusätzliches Aderpaar verwendet, das keine Spannung führt [3].

Weiter kommen für den Physical Layer ähnliche Verfahren wie bei der ADSL-Technologie (Asymmetric Digital Subscriber Line) zum Einsatz. Die Daten werden mittels OFDM-Verfahren (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) auf mehrere Trägerfrequenzen „verteilt“. Die zu übertragenden Symbole werden so auf die einzelnen Träger moduliert, dass die Informationen in der Phase und nicht in der Amplitude übertragen werden (QPSK-Modulation). Dies sorgt für eine vergleichsweise robuste Kommunikation, die jedoch zulasten der Datenrate geht. Über sogenannte ROBO-Modes wird durch redundantes Übertragen von Informationen die Störfestigkeit weiter erhöht und damit für das industrielle Umfeld im Prinzip nutzbar. Es lassen sich Datenraten von bis zu 10 Mbit/s realisieren [3].

Protokollspezifische Eigenheiten des HomePlug-Standards, die einen Einsatz aufgrund von hohen Latenzen im industriellen Umfeld unmöglich machen, sind hier „abschaltbar“. Als Beispiel sei die automatische Kanalvermessung des HomePlug-Standards genannt, bei der das gesamte Übertragungsspektrum von allen Teilnehmern in regelmäßigen Abständen gescannt wird, um auf mögliche Störer optimal reagieren zu können.

Für das hier betrachtete kontaktlose Bussystem [4] [5] wird das Datensignal über einen Koppler auf die Übertragungsleitungen eingepreßt und pro Teilnehmer wieder über einen Koppler ausgekoppelt. Das „Green PHY“-System wird dabei so adaptiert, dass keinerlei Steckverbindungen mehr nötig sind, sondern sämtliche Anschaltungen kontaktlos erfolgen können. Die folgende Skizze zeigt das zugehörige Blockschaltbild. Die Übertragungstrecke besteht aus dem rot dargestellten Hin- und Rückleiter und die Koppler sind schematisch mit separat ausgeführten Windungen für Daten und Energieübertragung dargestellt. Wichtig ist die Filterung und Entkoppelung des Datensignals von der Energieübertragung, die hier durch den Filterblock schematisch skizziert ist.

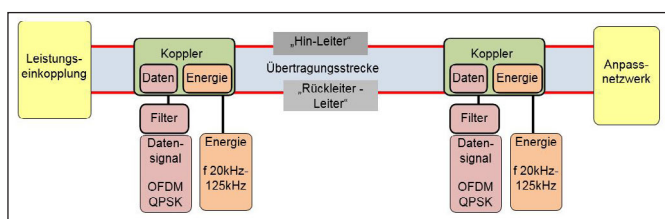


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau der Übertragung

Eine besondere Herausforderung beim Einsatz von „Green PHY“-Kommunikation im Bereich von Felddbusanwendungen ist das Übersprechen zu benachbarten, aber in anderen Segmenten liegenden Kommunikationsmodulen. Dies ist bedingt durch die Leitungsausdehnungen von mehreren 10 bis 100 Metern und die verwendeten Trägerfrequenzen bis in den zweistelligen MHz-Bereich. Auch dämpfen die magnetischen Koppler des kontaktlosen Systems die Datensignale gerade im höherfrequenten Bereich und beeinflussen die Übertragung merklich.

3 Teststrecken zur Untersuchung der Übertragung

Die aufgebauten Teststrecken bestehen aus mäanderförmig verlegten, mehradrigen Mantelleitungen, an denen an beliebigen Stellen magnetische Koppler zum Abgriff oder zur Einprägung von Energie und Daten platziert werden können, wie sie in Abbildung 1 schematisch und stark vereinfacht dargestellt sind. Die Koppler bestehen im Wesentlichen aus zwei E-Kern-förmigen Ferritkernen mit je einer Wicklung zur Daten- und Energieübertragung.

Es wurde zuerst eine Teststrecke zur Übertragung aufgebaut, mit der auch Untersuchungen für das Laden auf Parkplätzen im Rahmen der E-Mobility [4] [5] durchgeführt werden konnten. Abbildung 2 zeigt den Aufbau dieser Teststrecke im Labor Anlagentechnik, bei der die Übertragung mit mehreren Kopplern und einer Übertragungstrecke von 11 x 65 m (Mantelleitung, Ausschnitt dargestellt) realisiert wurde.

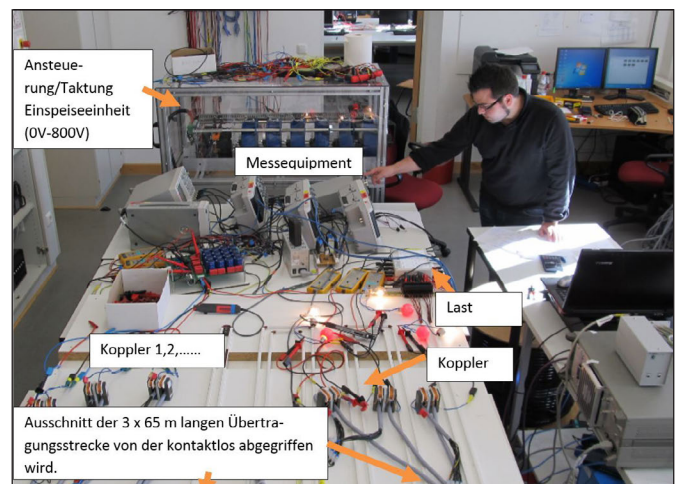


Abbildung 2: Teststrecke zur kontaktlosen Energie- und Datenübertragung für E-Mobility

Eine weitere „kleine“ transportable Teststrecke mit einem drehzahlgeregelten Antrieb wurde im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojektes „KoBus“ (Kontaktloses Bussystem) aufgebaut, wie sie in Abbildung 3 dargestellt ist. „KoBus“ wurde im zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert und in Kooperation mit der MSF-Vathauer Antriebstechnik GmbH & Co KG durchgeführt. Um die Machbarkeit des Einsatzes der Kommuni-

kation beurteilen zu können, wurde diese Teststrecke als Technologiemo­dell entsprechend ausgestattet. An beiden Kopplern wurde ein Kommunikationsmodul angebracht, das mit dem jeweils anderen Modul kontaktlos Steuerdaten für den Frequenzrichter austauscht. Hier wurde erstmals die „Green PHY“-Technologie in einer kontaktlos arbeitenden Feldbusanwendung erfolgreich eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass eine Adaption der Technologien auf ausgedehnte Systeme möglich ist. Am Innovationstag des Mittelstands des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie in Berlin wurden diese Ergebnisse Vertretern von Politik und Wirtschaft präsentiert.



Abbildung 3: a) Demonstrationsmodell zur kontaktlosen Energie- und Datenübertragung
b) Innovationstag Mittelstand in Berlin (v. r. n. l.): Staatssekretärin des Bundeswirtschaftsministeriums, Fr. I. Gleicke, K. E. Vathauer, Geschäftsführer MSF Technik, und Prof. Dr. H.-P. Schmidt, OTH

Für die weiteren Untersuchungen wurde eine Teststrecke im Labor installiert, die eine detaillierte Untersuchung des Kommunikationsverhaltens bei gleichzeitiger Energieübertragung für Übertragungstrecken mit Längen von über 300 m ermöglicht (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4. Mäanderförmig verlegte Übertragungstrecke zur Untersuchung des Kommunikationsverhaltens bei gleichzeitiger Energieübertragung mit Kabelstrecken von über 300 m Länge

4 Testmessungen zur Datenübertragung mit „Green PHY“-Technologien bei geometrischen ausgedehnten Übertragungstrecken

Es wurden erste Testmessungen zum Signalverhalten auf der „langen“ Teststrecke durchgeführt. Dazu wurde je ein Modul am Anfang und am Ende der Teststrecke über einen magnetischen Koppler angebracht. Die Energieübertra-

gung war dabei abgeschaltet, um die Eigenschaften für die Datenübertragung vermessen zu können. Abbildung 5a) zeigt eine Oszilloskop-Aufnahme, auf der die Signalpegel an den beiden Kommunikationsmodulen vom Sender zum Empfänger eine Dämpfung von ca. 40 dB aufweisen. Trotz der Dämpfung des Signals konnten die gesendeten Daten fehlerfrei übertragen werden.

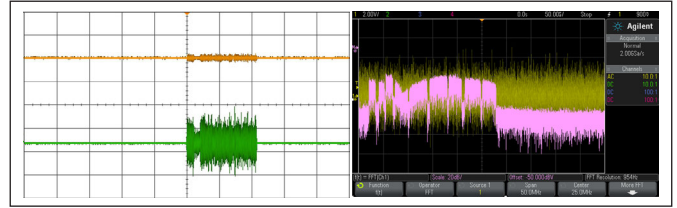


Abbildung 5: a) Pegelunterschiede des Datensignals zwischen Sender (Grün) und Empfänger (Gelb) von ca. 40 dB
b) Spektrum eines fehlerfrei übertragenen „Green PHY“-Datenpakets

In Abbildung 5b) ist die typische spektrale Verteilung des verwendeten OFDM-Signals im Bereich von einigen wenigen kHz bis 50 MHz dargestellt. Klar zu erkennen sind die Bereiche, bei denen keine Träger verwendet werden. Diese Lücken im Bereich unterhalb von 30 MHz sind für die Nutzung rechtlich nicht freigegeben.

Um den Einfluss der Energieübertragung beurteilen zu können, wurden Versuche mit unterschiedlich hohen zu übertragenden Leistungen durchgeführt. Bei diesen Messungen ergab sich, dass schon bei relativ geringen Übertragungsleistungen das Signal gestört wurde, sodass eine Kommunikation bzw. eine Auswertung der übermittelten Testdaten nicht mehr möglich waren. Die Analyse zeigte, dass die Koppler an die Übertragungstrecke und an die verwendeten Frequenzbänder der Energieübertragung [6] deutlich besser angepasst werden müssen, als dies bei den bisherigen Untersuchungen geschah. Insbesondere die breitbandige Dämpfung des Datensignals muss durch besser angepasste Filterschaltungen und optimierte Anschaltungen reduziert werden.

5 Zusammenfassung/Ausblick

Ausgehend von den Technologien der „Green PHY“-Kommunikation erscheint eine Adaption auf die speziellen Bedingungen der kontaktlosen Energie- und Datenübertragung hinsichtlich Störfestigkeit und Datenübertragungsrate vielversprechend. Bereits ohne die als kritisch anzusehende Anpassung und optimierende Filterschaltungen konnten Netto-Datenraten von 1–2 Mbit/s realisiert werden.

Zwar wurde bei ersten Versuchen mit Leistungsübertragung noch keine stabile Datenübertragung erreicht, jedoch scheint dies in erster Linie eine Frage der optimierten, angepassten Schaltungen zu sein.

Im Weiteren ist geplant, die Ankopplung für die Datenübertragung, die Filter und Anpassnetzwerke zu optimieren und damit die Grenzen des Einsatzes zu bestimmen.

Referenzen:

- [1] Green PHY Introduction; HomePlug Powerline Alliance, <http://www.homeplug.org/tech-resources/green-phy-iot/>
- [2] Whitepaper „Home Plug Green PHY The Standard For In-Home Smart Grid Powerline Communications“, HomePlug Powerline Alliance, [https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614\[1\].pdf](https://www.codico.com/fxdata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614[1].pdf)
- [3] HomePlug Green PHY Specification Release Version 1.1, HomePlug Powerline Alliance; https://www.homeplug.org/media/filer_public/18/b1/18b190c9-4ece-41b4-a94e-4a3a75b64c08/homeplug_gp_spec_v111_tocchap1.pdf
- [4] A. Fuchs, A. Gercikow, H.-P. Schmidt, Wireless Power and Data Transfer for Electric Vehicle Charging at Car Parks; IEEE 2nd Southern Power Electronics Conference, Auckland, New Zealand, 5.–8. Dezember 2016.
- [5] H.-P. Schmidt, A. Fuchs; Contactless Power and Data Transfer for Variable Distributed Loads & Contactless Charging at Car Parks ; IEEE Wireless Power Transfer Conference 2014, Jeju, Korea, Proceedings May 7th-9th 2104.
- [6] S. Fuchs, A. Fuchs, H.-P. Schmidt; Saturation Effects at Combined Power and Data Transfer Proceedings ISEF 2015 – XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, Valencia, Spain, September 2015.

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

hp.schmidt@oth-aw.de



Tobias Andersch, Cand. Ing.

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

t.andersch@oth-aw.de



Martin Biehler, Cand. Ing.

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

m.biehler@oth-aw.de

Testautomatisierung für PROFINET-Geräte durch modernes Testkonzept

Einführung

Bei PROFINET handelt es sich um den führenden echtzeitfähigen Industrial Ethernet Standard am Markt. Dieser basiert auf Ethernet, derselben Technologie, die in Büros und IT-Abteilungen eingesetzt und von vielen Geräteherstellern unterstützt wird. PROFINET wird ständig erweitert und weiterentwickelt, um die ständig wachsenden Anforderungen von modernen industriellen Applikationen zu erfüllen.

Um die Interoperabilität von Geräten verschiedener Hersteller zu gewährleisten, existiert ein umfangreiches Zertifizierungswesen, das von der PI (PROFIBUS & PROFINET International) betreut wird. Ein Gerät muss durch ein offiziell akkreditiertes PI-Testlabor erfolgreich geprüft werden, bevor ein Gerätehersteller ein Zertifikat bei der PI erwerben kann. Eine solche Prüfung besteht aus einer Anzahl von genau definierten Tests, die das Gerät bestehen muss. Ein offizielles PROFINET-Zertifikat garantiert damit eine absolute Kompatibilität zu anderen PROFINET-Produkten.

Die Tests bezüglich Interoperabilität und Echtzeitverhalten eines Gerätes werden mithilfe einer Software durchgeführt und decken etwa 70 % der PROFINET-Basispezifikation ab. Diese Software wird an der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden innerhalb der Arbeitsgruppe AUT entwickelt. Das von dieser Arbeitsgruppe entwickelte moderne Testkonzept garantiert eine weltweit einheitliche Zertifizierung.

Abstract

PROFINET is the leading real-time Industrial Ethernet standard on the market. It is based on Ethernet, the same technology which is used in offices and IT departments, supported by many device manufacturers. PROFINET is constantly being extended and developed to meet the increasing demands of modern industrial applications. To ensure the interoperability of devices from different manufacturers, there is a comprehensive certification system, which is supervised by PI (PROFIBUS & PROFINET International). A device must be successfully tested by an officially accredited PI Test Laboratory before a device manufacturer can obtain a certificate from the PI. Such a test consists of a number of well-defined tests that the device has to pass. An official PROFINET certificate guarantees absolute compatibility with other PROFINET products.

The tests for interoperability and real-time behavior of a device are performed by using software and cover approximately 70 % of the PROFINET basic specification. This software is developed at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden within the working group AUT. The modern test concept, developed by this working group, guarantees worldwide standardized certification.

Anforderungen an das Testsystem

Bei der Betreuung und Weiterentwicklung des Testsystems für die Zertifizierung von PROFINET-Geräten legt die PI einige Anforderungen fest. Die wichtigste ist die volle Reproduzierbarkeit von Tests. Um dies zu gewährleisten, wird das Gerät in einer genau definierten Testumgebung geprüft:

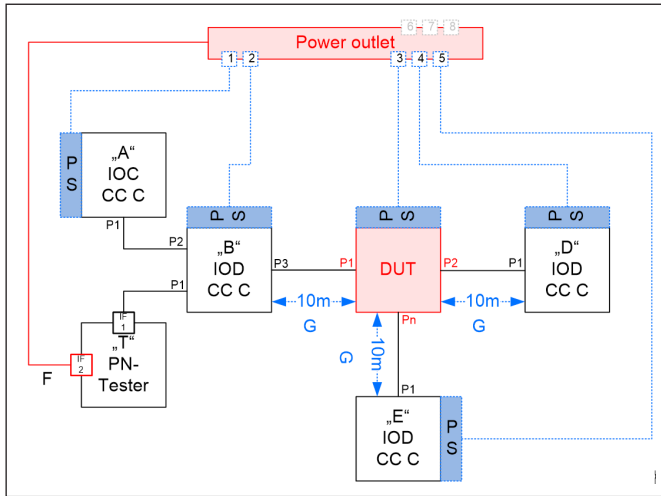


Abbildung 1: PROFINET Standard-Test-Setup

Diese Testumgebung besteht aus mehreren definierten Nachbargeräten für das DUT (Device Under Test) sowie einer über Ethernet gesteuerten Steckdosenleiste. Mit dieser lässt sich jedes einzelne Gerät im Test-Setup automatisch ein- und abschalten. Damit ist es möglich, den kompletten Testablauf vollautomatisch durchzuführen. Von einer solchen Testautomatisierung profitiert das Zertifizierungswesen sehr stark, da es sich bei PROFINET um einen sehr umfangreichen und komplexen Standard handelt. Um solch einen automatisierten Test nachzuvollziehen, muss der Prüfenieur zudem mithilfe eines umfangreichen Testreports und Aufzeichnungen des Netzwerkverkehrs im Detail über Testablauf und eventuell aufgetretene Fehler informiert werden.

Die PI möchte zudem die Gerätehersteller während des Entwicklungsprozesses ihrer PROFINET-Geräte unterstützen. Diese sollen die Testsoftware weltweit sowohl als Unterstützung für die Entwicklung als auch für Pre-Zertifizierungstests nutzen können.

Der Automated RT-Tester

Bei dem Automated RT-Tester handelt es sich um eines der Tools, die für die PROFINET-Zertifizierung genutzt werden. Mithilfe dieser Software wird das Gerät bezüglich Interoperabilität und Echtzeit geprüft (ca. 70% Testabdeckung der PROFINET-Basispezifikation). Die Komplexität der PROFINET-Funktionen wird vollständig vom speziell hierfür entwickelten Framework übernommen. Dieses kann ebenfalls dafür genutzt werden, eigene Testabläufe selbst zu programmieren, um sie in den Automated RT-Tester einzubinden und auszuführen.

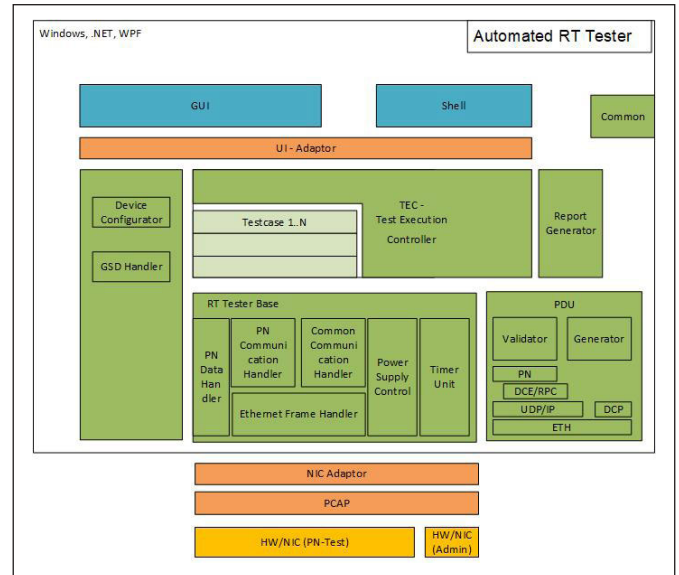


Abbildung 2: Softwarearchitektur des Automated RT-Testers

Entwickelt wird dieses Tool an der OTH Amberg-Weiden innerhalb der Arbeitsgruppe AUT mithilfe der Unterstützung des aia – automations institut amberg GmbH.

Pioniere auf dem Gebiet der Prozessautomation

Die Prozessautomation stellt zusätzliche Anforderungen an die Automatisierung. Hinsichtlich industrieller Kommunikationstechnik müssen Eigenschaften wie Medien- oder Systemredundanz vorhanden sein, um den Stillstand einer Anlage und die damit unter Umständen verbundenen verheerenden Auswirkungen zu verhindern. PROFINET bietet Lösungen sowohl bezüglich Medien- als auch Systemredundanz. Letzteres beschreibt die nahtlose Übernahme eines Gerätes durch einen Backupcontroller bei Ausfall eines Primärcontrollers. Erste Geräte, die dies unterstützen sollen, befinden sich aktuell in der Entwicklung und sollen demnächst zertifiziert werden. Aus diesem Grund unterstützt das Framework des Automated RT-Testers bereits jetzt Funktionen hinsichtlich Systemredundanz. Im Dezember 2017 wird der erste offizielle Test durchführbar sein – noch bevor erste Geräte hierfür am Markt sind.

Weltweite Kooperation

Die OTH Amberg-Weiden arbeitet bei der Entwicklung des Automated RT-Testers eng mit verschiedenen internationalen Firmen zusammen. Um die Qualität der Software sicherzustellen, wird diese mithilfe von Geräten verschiedener Hersteller geprüft. Der Automated RT-Tester wird weltweit eingesetzt. Nicht nur in Europa und den USA, auch in China ist die Zertifizierung von PROFINET-Geräten ein großes Thema. Dort ist PROFINET im Jahr 2014 als nationaler Standard ausgerufen worden. Im Juni 2017 fand in Peking eine weltweite Tagung der PI statt. Die OTH Amberg-Weiden war ebenfalls auf Einladung der PI vertreten und hat einen Workshop zur Handhabung des



Abbildung 3: Teilnehmende des PI-Workshops zum Automated RT-Tester in Peking. Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt und M. Eng. Alexander Gercikow von der OTH Amberg-Weiden führten den Workshop durch.

Automated RT-Testers abgehalten.

Projektpartner:

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., Karlsruhe

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

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

hp.schmidt@oth-aw.de



Alexander Gercikow, M. Eng.

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

al.gercikow@oth-aw.de



Julian Rost, M. Sc.

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

ju.rost@oth-aw.de



*... mit unserem Stromnetz
um die Welt.*

So oft würden unsere Stromleitungen aneinander-
gereiht um die Erde reichen.

Allein unser Straßenbeleuchtungsnetz misst 34.500 km.
Mit 153.000 km Stromverteilnetz und 5.700 km Erdgas-
netz garantieren wir eine sichere Energieversorgung
in Bayern.

www.bayernwerk.de

bayernwerk

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Sebastian Käs, M. Sc.
Alexander Stich, M. Sc.
Christopher Fleischmann, M. Sc.
Sabrina Reiml, M. Sc.
Sabine Gruber, B. Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Hygiene und Medizintechnik – Entwicklung technischer Lösungen zur Reduzierung behandlungsassoziierter Infektionen

Zusammenfassung

Die Verbesserung der Hygiene und Desinfektionsmaßnahmen in Kliniken und Arztpraxen hat große Bedeutung für die Patientensicherheit. Das Bundesministerium für Gesundheit hat 2017 einen 10-Punkte-Plan verabschiedet um die steigende Zahl der behandlungsassozierten Infektionen zu senken. Auch hier wird ein starker Fokus auf die Verbesserung hygienischer Maßnahmen in den Kliniken gelegt. Die ersten drei Punkte der Veröffentlichung befassen sich ausschließlich mit Strategien zur Verbesserung von Reinigungs- und Desinfektionsabläufen, um die Zahl der bis zu 600.000 behandlungsassozierten Infektionen pro Jahr zu senken [1].

Ansätze zur Verbesserung der hygienischen Situation in Krankenhäusern und Arztpraxen sind vielfältig. Abseits der klassischen Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen stellen die Raumluftechnischen Anlagen (RLT) im Operationssaal einen wichtigen Pfeiler zur Vermeidung von Infektionen dar. Diese Anlagen verhindern die Kontamination des Patienten durch luftgetragene Erreger und unterscheiden sich bezüglich ihrer technischen Besonderheiten und Effektivität teilweise sehr stark. Einen weiteren Faktor für die Patientensicherheit bietet die Beschichtung medizintechnischer Produkte mit antimikrobiellen Oberflächen. Auch hier gibt es eine große Zahl unterschiedlicher Technologien und Anwendungsmöglichkeiten. Bei der Durchführung von klassischen Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen können diese Beschichtungen durch ihre keimreduzierende Wirkung einen zusätzlichen Faktor für die Vermeidung behandlungsassoziierter Infektionen darstellen.

Aus diesem Grund beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Hygiene und Medizintechnik der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden mit Lösungsansätzen zur Verbesserung der derzeitigen Hygienestandards. Mit einer Vielzahl an nationalen und internationalen Kooperationspartnern werden neuartige und innovative Techniken und Konzepte erarbeitet und getestet.

Abstract

Improving infection control and disinfection is of great importance with regard to patient safety. The Federal Ministry of Health has adopted an action plan in 2017 to reduce the increasing number of treatment-related infections. A strong focus is set on the improvement of hygienic measures in the clinics in this release. The first three aspects of the publication deal exclusively with strategies for the improvement of cleaning and disinfection procedures in order to reduce the number of up to 600,000 treatment-related infections per year [1].

Approaches for improving the hygienic situation in hospitals and outpatient clinics are numerous. Apart from the classical cleaning and disinfecting measures, the ventilation system (RLT) in the operating room is an important pillar for the prevention of infections. These systems prevent the contamination of the patient by airborne pathogens and the systems differ in terms of their technical characteristics and effectiveness. A further factor for patient safety is the coating of medical devices with antimicrobially active substances. Again, there are a large number of different technologies and applications available. While performing classical cleaning and disinfecting measures is indispensable, these coatings can be an additional factor for the prevention of treatment-associated infections due to their biocidal effect. Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden Working Group on Hygiene and Medical Technology is working on solutions to improve current hygiene standards. With several national and international cooperation partners new and innovative techniques and concepts are developed and tested.

Einleitung

Steigende Infektionsraten stellen weltweit ein großes Problem im Gesundheitssektor dar. Das europäische Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) schätzt, dass pro Jahr ca. 4 Millionen Menschen eine behandlungsassoziierte Infektion erleiden mit ca. 37.000 Todesfällen [2]. In diesem Kontext sind auch die postoperativen Wundinfektionen zu sehen. Um intraoperative bakterielle Verunreinigungen und auch die Folgebehandlungskosten zu reduzieren, hat sich der Einsatz von Lüftungssystemen im OP zu einem hygienischen Standard entwickelt. Mittlerweile ist eine große Zahl unterschiedlicher Firmen und Technologien auf dem Markt erhältlich. Die russische Firma Potok hat ein innovatives Konzept zur Luftdekontamination entwickelt, das flexibel in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden kann. Zusammen mit der OTH Amberg-Weiden wurde das Potenzial dieser Lüftungsanlage untersucht und mit anderen gängigen Technologien verglichen.

Die Infektionsgefahr, die von kontaminierten Oberflächen in klinischen Einrichtungen wie Arztpraxen oder Kliniken ausgeht, wurde bereits in einer Vielzahl von Veröffentlichungen beschrieben. Einen kritischen Aspekt stellt hier die Verunreinigung mit nosokomialen Erregern dar [3–7]. Während die Fälle des Methicillin-resistenten Staphylokokkus aureus (MRSA) in den letzten Jahren wieder rückläufig sind [8], stellen die multiresistenten gramnegativen Stäbchenbakterien (MRGN) eine immer größer werdende Gefahr für die Patienten dar. Die Infektionen mit multiresistenten Erregern erhöhen den Aufwand und die Kosten für die klinische Einrichtung und verschlechtern die Prognose für den Patienten stark [9]. Um dem entgegenzuwirken, werden bereits in einigen Kliniken Anstrengungen unternommen, die Reinigungs- und Desinfektionsprotokolle (R&D) für Risikobereiche (ICU, OP) kontinuierlich zu überarbeiten und zu verbessern [10–11]. Ergänzend zur obligatorischen R&D im medizinischen Bereich kommen zunehmend antimikrobielle Oberflächen zum Einsatz. In einer ersten Untersuchung wurde nun der Effekt einer antimikrobiellen Beschichtung (TiTANO®, HECOSOL) auf die Keimbelastung von Oberflächen in einer orthopädischen Arztpraxis geprüft und bewertet.

Untersuchungen zur Effektivität des Potok-Systems zur Luftdekontamination

Studien der Universität Gießen-Friedberg konnten bereits zeigen, dass diese intraoperativen Infektionen mittels geeigneter Lüftungssysteme erheblich gesenkt werden können [12]. Die DIN 1946/4 (2008) verlangt für einen Operationssaal der Klasse Ia, der für infektionsempfindliche Operationen eingesetzt wird, eine turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV) [13]. Im Gegensatz zu diesem Standardsystem wurde von der schwedischen Firma Avidicare AB [14] ein temperaturgesteuertes Luftstrom-Lüftungssystem (Opragon) entwickelt, das im Lehr- und Forschungs-OP der OTH Amberg-Weiden verbaut ist.

Als weitere Alternative zu den gängigen Lüftungssystemen hat nun die russische Firma Potok ein neuartiges System zur Bioinaktivierung entwickelt [15].

Die Firma entwirft und produziert Luftdekontaminationsgeräte verschiedener Typen, basierend auf der Inaktivierungstechnologie. Diese können als Stand-alone-Geräte und als fest im Lüftungssystem verbaute Einheiten genutzt werden. Ziel dieser Arbeit war es, das Dekontaminierungspotenzial der Potok-Technologie sowohl in einem experimentellen Rahmen als auch im klinischen Umfeld zu untersuchen. Dies geschah im Forschungs-OP der OTH Amberg-Weiden mit eigenständigen Luftdekontaminationseinheiten (Potok 150-M-01) und in einem Operationssaal eines Moskauer Krankenhauses, in dem das laminare Lüftungssystem auf der Potok-Technologie basiert.

Die Messungen wurden während einer einstündigen Operationssimulation nach dem schwedischen Standard SIS-TS 39:2015 durchgeführt (6 Messungen von jeweils 10 Minuten), bei der sieben Personen mitwirkten. Um einen möglichst realitätsnahen Prozess zu simulieren, repräsentieren hierbei vier Personen das chirurgische Team direkt am Operationstisch, eine Person fungiert als Anästhesist und zwei weitere Personen bewegen sich während der OP-Simulation durch den Raum (Abbildung 1).

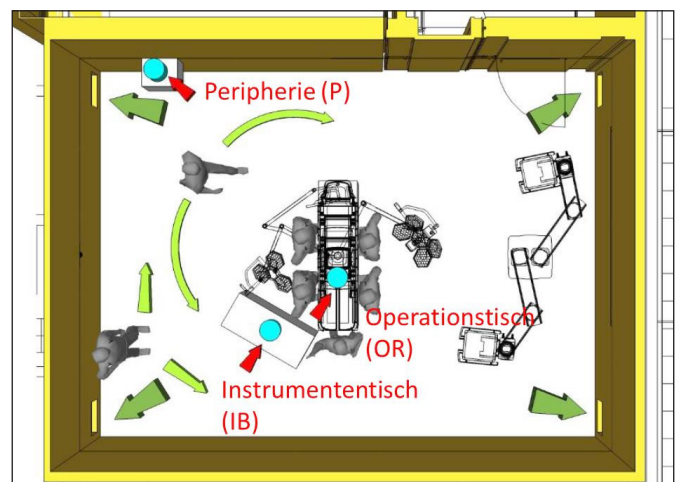


Abbildung 1: Ablauf einer Operationssimulation nach SIS-TS 39:2015 mit eingezeichneten Probenahmestellen der Luftkeimmessung

Unsere Experimente zeigten einen nachweisbaren Einfluss der Potok Air Dekontamination Units (ADU) auf die bakterielle Kontamination der Raumluft. Für die Messungen im Forschungs-OP an der OTH Amberg-Weiden konnte dies durch eine Abnahme der Bakterienbelastung an allen drei Messpunkten gezeigt werden. Es ist zu erwähnen, dass die Bakterienbelastung am OP-Tisch und dem Instrumententisch unter dem Schwellenwert des schwedischen Standards für infektionsgefährdete Eingriffe von ≤ 5 KBE/m³ liegt (Abbildung 2).

Auch die anschließend in einem Moskauer Krankenhaus durchgeführten Messungen bestätigten diese Raumluft-

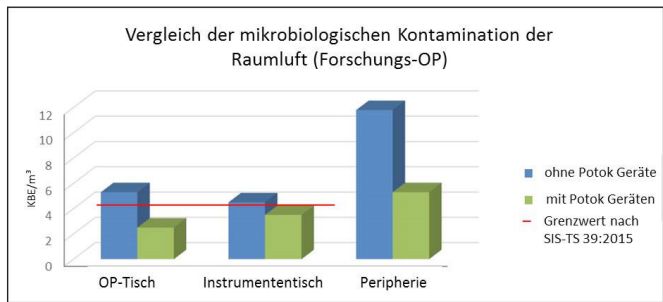


Abbildung 2: Vergleich der mikrobiologischen Kontamination der Raumluft im Forschungs-OP

dekontaminierende Wirkung der Potok-Technologie. Wegen der realistischeren Voraussetzungen des Experiments erscheinen die Ergebnisse dieser Messungen valider. In diesem Fall war der anfängliche bakterielle Hintergrund des Operationssaals höher als im Forschungs-OP in Deutschland. Diese mikrobielle Belastung konnte durch die Verwendung des installierten, auf Potok-Technologie basierenden TAV-Lüftungssystems effektiv verringert werden (Abbildung 3).

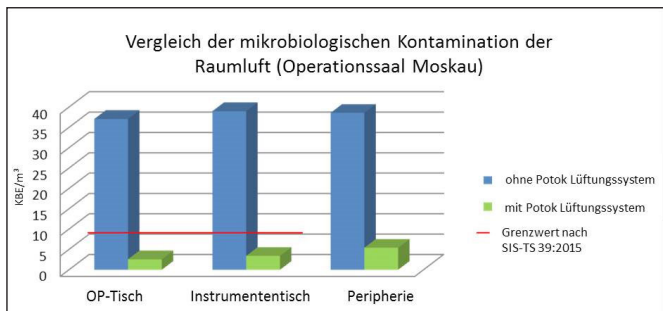


Abbildung 3: Vergleich der mikrobiologischen Kontamination der Raumluft im Operationssaal der Klinik in Moskau

Die Potok-Technologie ist zu vergleichen mit bereits bestehenden Lüftungsanlagen (z. B. temperaturgesteuertes Lüftungssystem (TAF), turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV) oder turbulente Mischlüftung (TML)) mit ähnlichen technischen Voraussetzungen. Die von uns bereits im Vorfeld dieser Arbeit untersuchten Operationssäle (TAF/TML/TAV) wurden nach DIN 1946 4: 2008-12 zertifiziert. Sie sind als Ia und Ib eingestuft und haben einen Gesamtluftwechsel von 4.120 m³/h (TML) und 9.200 m³/h (TAV). Der Operationssaal an der OTH Amberg-Weiden (TAF) hat eine Luftwechselrate von 7.700 m³/h. Alle Operationssäle sind vergleichbar in Bezug auf Raumgröße und Einrichtung. Im Vergleich ist die Potok-Technologie in der Lage, bei identischem Versuchsaufbau eine ähnliche Wirksamkeit wie TAV- und TAF-Systeme zu erreichen [16, 17] (Abbildung 4).

Untersuchung der Wirksamkeit antimikrobieller Oberflächen in der Infektionsprävention

Laut der Empfehlung „Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten“ von KRINKO und BfArM liegt die Verantwortung für die Aufbereitung, die Festlegung von Art und Durchführung der Aufbereitung

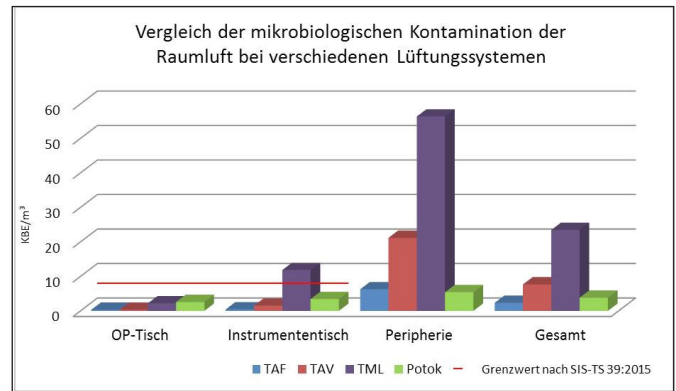


Abbildung 4: Vergleich der mikrobiologischen Belastung in KBE/m³ für gängige Ventilationssysteme

sowie die korrekte Einstufung in unkritisch, semikritisch A/B und kritisch beim Betreiber [18]. Die Situation in den Praxen niedergelassener Ärzte war jedoch bislang nicht im Fokus entsprechender Untersuchungen. Dennoch besteht auch hier die Gefahr einer nosokomialen Infektion, vor allem im Bereich der invasiven medizinischen Versorgung, beispielsweise in orthopädischen Einrichtungen. Mittlerweile hat sich eine Vielzahl an antimikrobiellen Oberflächen etabliert. Die bekanntesten Vertreter sind hier die Silberbeschichtungen. Die antimikrobielle Wirkungsweise wird darauf zurückgeführt, dass lebenswichtige Funktionen von Mikroorganismen durch die Metallionen gestört werden. Die Firma HECOSOL (Bamberg) setzt bei ihrer Oberflächentechnologie TiTANO® auf die Kombination aus wasserlöslichem Titandioxid (<2 Prozent TiO₂), versetzt mit Spuren von Silberionen (<0,03 Prozent). Durch derartige Beschichtungen sollen Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen unterstützt und eine Vermehrung von Keimen auf den Oberflächen zwischen den Reinigungsintervallen dauerhaft verhindert werden. Das bei den Experimenten verwendete TiTANO® der Firma HECOSOL wird mittels eines Elektrosprayverfahrens auf die Oberflächen appliziert. Hierbei lassen sich wässrige Suspensionen von Metalloxiden schnell und zuverlässig auftragen. Im Gegensatz zu anderen Beschichtungen erlaubt dieses Verfahren eine nachträgliche Beschichtung bereits bestehender Objekte. Es findet eine Ladungsübertragung im Sprühkopf des Gerätes statt, die zu einer gleichmäßigen Größe und Verteilung der Tröpfchen im Luftstrom führt (Abbildung 5).

Die Effektivität der derzeitigen R&D-Protokolle der Arztpraxis wurde anhand mikrobiologischer Standardverfahren untersucht. Dafür wurden an jeweils identischen Stellen („high-touch“-Oberflächen, Wartebereiche, Behandlungsbereiche, Bedienelemente u. Ä.) Abklatsch- und Abstrichproben vor Arbeitsbeginn und nach Praxisende sowie nach der täglichen Reinigungsroutine genommen und diese für 72 Stunden bei 35 °C ± 1 °C inkubiert. Das Keimwachstum wurde anschließend dokumentiert und quantitativ ausgewertet. Zusätzlich wurden gramnegative Keime durch Selektionsmedien (McConkey II Agar) ausdifferenziert. Um eine genaue Identifikation der Erreger sowie das pathogene Potenzial erfassen

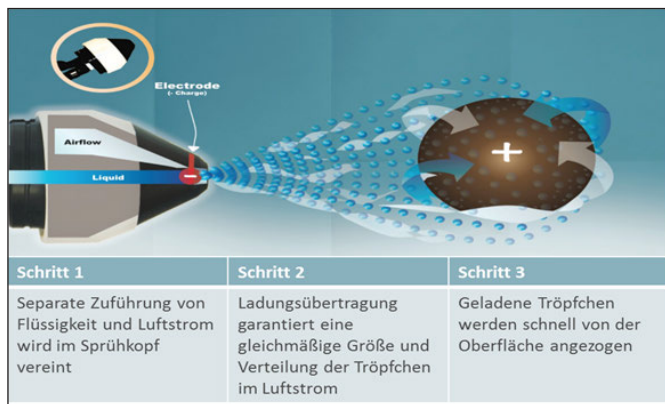


Abbildung 5: Beschichtung mittels Elektro sprayverfahren (schematische Darstellung des Verfahrens)

zu können, wurden für diese gramnegativen Bakterien mittels Vitek2-System (Biomerieux) eine Identifizierung und Resistenzbestimmung durchgeführt. Die Keimzahlen werden analog Kategorie 3 nach den Vorgaben der Firma HYBETA ausgewertet. Diese orientieren sich an der DIN 10113-3 [19].

Die Überprüfung der mikrobiologischen Kontamination vor Praxisbeginn (06:30 Uhr) ergab große Schwankungen bei der Keimbelastung der getesteten Oberflächen. So zeigen z. B. die Patientenliege und die sanitären Einrichtungen im gesamten Wochenverlauf eine niedrige (< 30 KBE) mikrobiologische Kontamination, wogegen beispielsweise am Ultraschallgerät bereits zu Tagesbeginn hohe Keimzahlen festgestellt werden konnten (> 100 KBE/25 cm²). Ebenso weisen die Computertastaturen sowie die Schreibtische und der Anmeldetresen (Anmeldung) eine hohe bakterielle Belastung auf. Die erhaltenen Resultate wurden als „Woche 1 (morgens)“ aufgenommen (Abbildung 6).

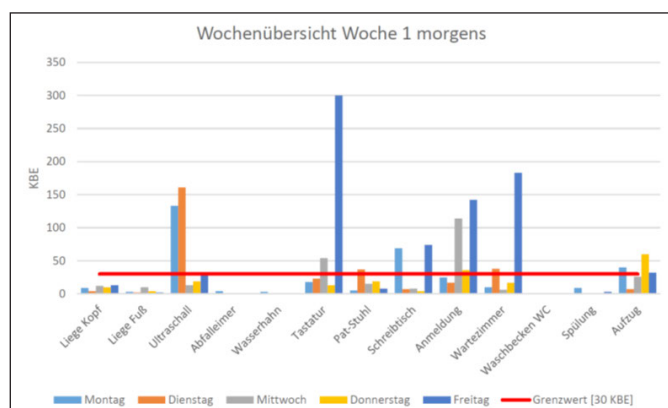


Abbildung 6: Keimbelastung an den beprobten Stellen im Wochenverlauf (Woche 1 morgens)

Im Anschluss an die erste Beprobungswoche wurden an einem Samstagnachmittag alle relevanten Oberflächen der Praxis mit der TiTANO® TiO₂-Beschichtung via Elektro sprayverfahren behandelt. Um eine mögliche Veränderung des R&D-Verhaltens auszuschließen, wurden weder Reinigungs- noch Praxispersonal einbezogen. Analog zu der ersten Beprobungswoche wurden die Probenahme zu

identischen Zeiten wiederholt und die Ergebnisse ausgewertet. Diese Ergebnisse wurden als „Woche 2 morgens“ aufgenommen (Abbildung 7).

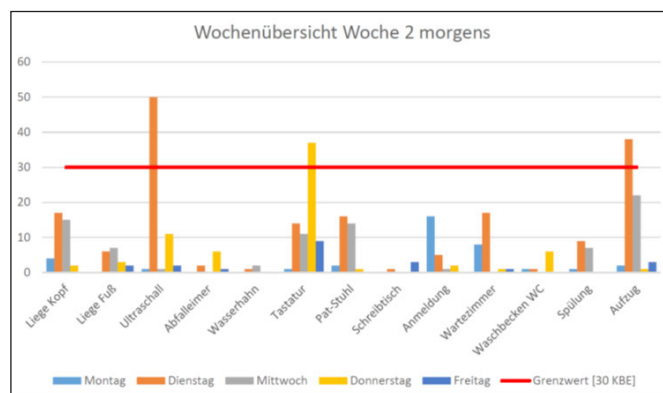


Abbildung 7: Keimbelastung an den beprobten Stellen im Wochenverlauf (Woche 2 morgens)

Es fällt auf, dass in der zweiten Beprobungswoche nur noch drei der Werte über dem angenommenen Grenzwert von 30 KBE liegen, während die anderen Untersuchungspunkte allesamt weniger als 20 KBE aufweisen. Für den Nachweis des keimreduzierenden Effektes der Beschichtung wurden die Tageswerte über drei Beprobungszeiten gemittelt und grafisch gegenübergestellt. Um den Einfluss durch die bereits angesprochene zusätzliche Kontamination bei der Reinigung zu minimieren, wurden die Mittelwerte aus den morgens und abends gewonnenen Werten berechnet (Abbildung 8).

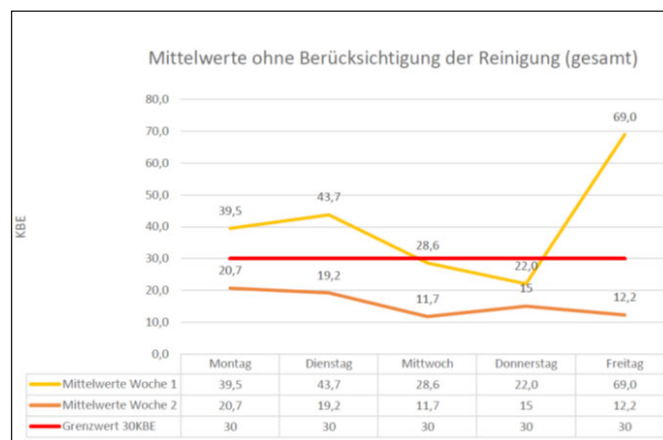


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Tagesmittelwerte und Abnahme der Keimzahlen im Vergleich zu Woche 1

Fazit

Unsere Ergebnisse zeigen eine nachweisliche Wirkung der Potok-Einheiten auf die bakterielle Belastung der Raumluft. In dem experimentellen Setting im Forschungs-OP an der OTH Amberg-Weiden war dieser Effekt aufgrund der minimalen anfänglichen mikrobiologischen Kontamination des Raumes und wegen der Verwendung von mobilen Einheiten eher gering. Allerdings konnte auch hier für jeden Messpunkt eine Abnahme der mikrobiologischen Belastung beobachtet werden. Diese dekontaminierende Wirkung der Potok-Technologie wurde durch die Ergebnis-

se der Messungen in der realen Umgebung des Operationssaals eines russischen Krankenhauses bestätigt. Hier erfolgte durch das Lüftungssystem mit Potok-Einheiten eine starke Abnahme der luftgetragenen Mikroorganismen. Im Mittel konnte die mikrobiologische Belastung für jeden Messpunkt auf ≤ 5 KBE/m³ reduziert werden. Basierend auf unseren Erkenntnissen mit der Potok-Technologie sollte diskutiert werden, ob die Technologie als eine Alternative zu anderen derzeit verwendeten Lüftungssystemen zu betrachten ist und ob sie eine weitere mögliche Lösung für die Infektionsprävention bei luftgetragenen mikrobiologischen Belastungen in Operationsälen darstellt.

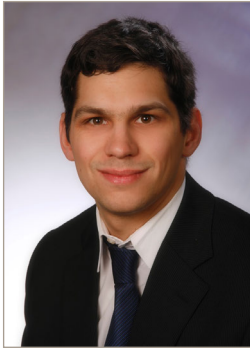
Die Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen der untersuchten Praxis wurden im gesamten Versuchszeitraum nicht geändert. Daher kann angenommen werden, dass der Einsatz einer antimikrobiellen Beschichtung in der

von uns durchgeführten Studie zu einer nachweisbaren Verringerung der Keimzahlen auf den beprobten Oberflächen führte. Jedoch ist zu beachten, dass diese dekontaminierende Wirkung nur im Zusammenspiel mit weiteren Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen zu betrachten ist. Ebenso kann aufgrund des kurzen Zeitfensters der Probenahme nicht ausgeschlossen werden, dass es in der zweiten Woche prinzipiell zu einer geringeren Kontamination der Oberflächen kam. Um dies auszuschließen, sollten weitere und längere Studien durchgeführt werden, um verlässlichere und statistisch auswertbare Daten zu erhalten. Die antimikrobielle Beschichtung von patientennahen und medizintechnischen Oberflächen bietet auf Grundlage dieser Ergebnisse das Potenzial, eine zusätzliche Sicherheit für Patient und Personal zu erreichen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um systematisch zu bewerten, wie groß dieses Potenzial in der Praxis einzuschätzen ist.

Referenzen:

- [1] <http://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/krankenversicherung/stationaere-versorgung/krankenhaushygiene.html>
- [2] Suetens, C.; Hopkins, S.; Kolman, J.; Högberg, D. Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals 2011–2012; European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC): Stockholm, Sweden, 2013.
- [3] Bundesgesundheitsbl. 2014 · 57:696–732 DOI 10.1007/s00103-014-1980-x.
- [4] Bericht des Nationalen Referenzzentrums (NRZ) für gramnegative Krankenhauserreger, Epidemiologisches Bulletin Nr. 25, DOI 10.17886/EpiBull-2016-041.
- [5] Bures S, Fishbain JT, Uyehara CF, Parker JM, Berg BW. Computer keyboards and faucet handles as reservoirs of nosocomial pathogens in the intensive care unit. *Am J Infect Control* 2000; 28:465–471. [PubMed: 11114617]
- [6] Noskin GA, Bednarz P, Suriano T, Reiner S, Peterson LR. Persistent contamination of fabric-covered furniture by vancomycin-resistant enterococci: implications for upholstery selection in hospitals. *Am J Infect Control* 2000;28:311–313. [PubMed: 10926709]
- [7] Zachary KC, Bayne PS, Morrison VJ, Ford DS, Silver LC, Hooper DC. Contamination of gowns, gloves, and stethoscopes with vancomycin-resistant enterococci. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2001; 22:560–564. [PubMed: 11732785]
- [8] http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2015/Ausgaben/31_15.pdf?__blob=publicationFile
- [9] Cosgrove SE, Qi Y, Kaye KS, Harbarth S, Karchmer AW, Carmeli Y. The impact of methicillin resistance in *Staphylococcus aureus* bacteremia on patient outcomes: mortality, length of stay, and hospital charges. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2005;26:166–174. [PubMed: 15756888]
- [10] Byers KE, Durbin LJ, Simonton BM, Anglim AM, Adal KA, Farr BM. Disinfection of hospital rooms contaminated with vancomycin-resistant *Enterococcus faecium*. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1998; 19:261–264. [PubMed: 9605276]
- [11] Goodman ER, Platt R, Bass R, Onderdonk AB, Yokoe DS, Huang SS. Impact of an environmental cleaning intervention on the presence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and vancomycin-resistant enterococci on surfaces in intensive care unit rooms. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2008 Jul; 29(7):593–9. doi: 10.1086/588566
- [12] Hirsch T. et al.; Bacterial burden in the operating room: Impact of airflow systems, *American journal of infection control* (2012) e1-e5.
- [13] DIN 1946 Dezember 2008: Raumluftechnik – Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. 2008
- [14] www.avidicare.de
- [15] <http://en.potok-inter.ru/about-potok1.html>
- [16] Comparison of the effectiveness of different antimicrobial surfaces technologies, S. Buhl, C. Bulitta (Weiden), Jahrestagung der BIOMEDIZINISCHEN TECHNIK und Dreiländertagung der MEDIZINISCHEN PHYSIK 2017 (Dresden).
- [17] „Erste Ergebnisse und Erfahrungen mit einem neuartigen OP-Lüftungssystem auf Basis einer temperaturkontrollierten Luftströmung“, Journal title: Krankenhaus-Hygiene + Infektionsverhütung, Corresponding author: Dr. Clemens Bulitta, First author: Dr. S. Buhl, Available online 6 January 2016.
- [18] Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten – Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) und des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM). In: Bundesgesundheitsbl. 2012 Nr. 55, S. 1244–1310.
- [19] HYBETA GmbH (Hrsg.): Infoblatt: Beurteilung von Umgebungsuntersuchungen. http://www.hybeta.com/_data/IB-LAB-018_C_Beurteilung_Umgebungsuntersuchungen.pdf

Kontakt:



Dr. rer. nat. Sebastian Buhl

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

se.buhl@oth-aw.de



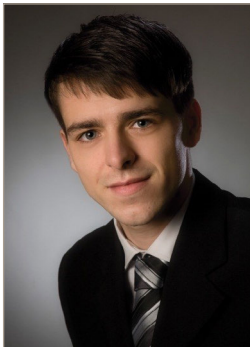
Sebastian Käs, M. Sc.

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



Alexander Stich, M. Sc.

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



Christopher Fleischmann, M. Sc.

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



Sabrina Reiml, M. Sc.

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



Sabine Gruber, 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
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfach-
berater im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Entwicklung einer Vorrichtung zur auto- matisierten Blutproben- entnahme für den akkurateren Einsatz personalisierter Medizin

Marius Kaspers, B. Eng.
Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen

Zusammenfassung

Die medikamentöse Behandlung kranker Menschen stellt einen der wichtigsten Grundpfeiler der modernen Medizin dar. Mit heutigen Medikamenten lässt sich eine Vielzahl von Krankheiten wie auch deren Symptome behandeln und bestenfalls auch heilen. Über 23 % der deutschen Bundesbürger nehmen täglich drei oder mehr Medikamente zu sich [1]. Dennoch tritt häufig der Fall ein, dass Medikamente bei Patienten nicht wirken oder schlimmstenfalls sogar schwerwiegende Nebenwirkungen auftreten. Um dem entgegenzuwirken, entwickelt die pharmazeutische Industrie die personalisierte Medizin. Der Patient wird dabei vorab genau analysiert, um die Wirksamkeit potenziell nutzbarer Präparate zu prüfen und zeitgleich Komplikationen zu vermeiden. Dies wird aktuell jedoch überwiegend vor der Ersteinahme eines Medikaments angewandt. Eine weitere Analyse während des Krankheitsverlaufs ist aufgrund des hohen Aufwands für den Patienten und das Personal oftmals nicht rentabel. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, soll eine automatisierte Vorrichtung entwickelt werden, die dem Patienten in zyklischen Abständen Blut entnimmt. Da diese Vorrichtung in direktem Patientenkontakt steht und über längere Zeit getragen wird, sollen überwiegend Kunststoffe zum Einsatz kommen. Kunststoffe zeichnen sich durch ihre gute Hautverträglichkeit, ihre Eignung zur günstigen Serienfertigung und ihre Designfreiheit aus. Außerdem sind sie ein leichter Werkstoff, was dem Patienten bei längerem Tragen zugute kommt. Die bereits erwähnten Blutproben können anschließend analysiert werden, um den Krankheitsverlauf zu beobachten und Anpassungen an der Dosierung oder der Medikamentierung vornehmen zu können. Dies führt zu einer höheren Heilungsquote für die Patienten und geringeren Kosten für die Krankenkassen.

Abstract

The medicamentous treatment of sick people is one of the most important pillars of modern medicine. Today, medicines can treat a variety of diseases or their symptoms and partly cure them. More than 23 % of the Germans take three or more drugs a day [1]. However, it often occurs that medication does not work in patients or, if at all, side effects occur. To counteract this, personalized medicine rapidly develops. The patient is analyzed in advance in order to check the effectiveness of potentially usable preparations and avoid complications. However, this is currently being used predominantly before a drug is taken. Further analysis during the course of the disease is often not profitable due to the high cost for the patient and the staff. In order to counteract this situation, an automated device is to be developed, which takes blood from the patient at cyclical intervals. Since this device is in direct contact with the patient and is used for an extended period, plastics are used predominantly. Plastics are characterized by their good skin compatibility, their suitability for inexpensive serial production and their design freedom. In addition, they are light materials, which is beneficial to the weight the patient must carry. The blood samples already mentioned can then be analyzed in order to monitor the course of the disease and to make adjustments to the dosage or to the medication. This leads to a higher healing rate for the patients and lower costs for the health insurance funds.

1 Einleitung

1.1 Themenvorstellung

In der heutigen Medizin werden Patienten mit den gleichen Krankheitssymptomen oftmals auch mit den gleichen Medikamenten behandelt. Bei vielen Patienten führt dies zu einer Verbesserung des Gesundheitszustands. Bei einigen Patienten treten jedoch keine Verbesserungen auf, es kann sogar zur Verschlechterung infolge von Nebenwirkungen kommen. Für die optimale Behandlung eines Patienten ist es für einen Arzt entscheidend, die bestmögliche Therapie für den konkreten Krankheitsfall zu finden. Dazu darf die Therapie nicht nur anhand der Krankheitsdiagnose begründet werden, vielmehr müssen auch die spezifischen Charakteristika des Patienten analysiert und beachtet werden. Zu diesen spezifischen Merkmalen gehören neben banalen Daten wie beispielsweise das Alter, die physische Konstitution und gegebenenfalls Familienanamnesen auch genetische, molekulare und zelluläre Besonderheiten eines Patienten. Diese können dank moderner Diagnostik entschlüsselt und für die Überprüfung der Eignung bestimmter Therapien herangezogen werden. Das Sammeln und Auswerten dieser spezifischen Daten ist der Grundstein der personalisierten Medizin. Mit der personalisierten Medizin kann im Vorfeld getestet werden, wie gut ein Patient auf ein Medikament anspricht und in welchem Grad er es vertragen wird. Des Weiteren kann die Dosierung des Medikaments besser eingeschätzt werden [2]. Abbildung 1 zeigt schematisch den Ablauf einer Voruntersuchung vor dem Einsatz von personalisierter Medizin.

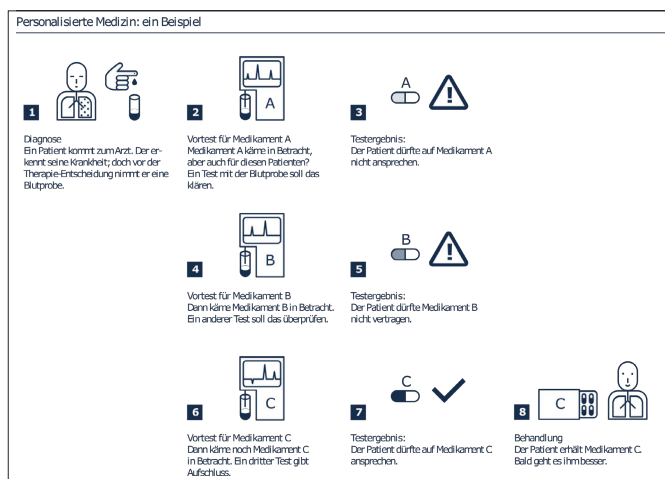


Abbildung 1: Voranalyse eines Patienten für den Einsatz von personalisierter Medizin [3]

1.2 Problemdefinition

Analysen für die Bestimmung von genetischen, molekularen und zellulären Besonderheiten werden vor einer Therapie durchgeführt und legen die möglichen medikamentösen Behandlungsverfahren fest. Für den erfolgreichen Verlauf einer Therapie sind jedoch auch Analysen während der Medikamentierung nötig. Diese zeigen, ob

ein Medikament die gewünschte Verbesserung bringt und wie sich der Therapieverlauf auf die Medikamentierung auswirkt. Des Weiteren nimmt der menschliche Körper bestimmte Stoffe zu bestimmten Tageszeiten besser oder schlechter auf. Aufgrund der Metabolisierung wirkt sich die Einnahmezeit hochkonzentrierter Medikamente stark auf deren Wirkung aus. Somit muss neben dem richtigen Medikament und der richtigen Dosierung auch der richtige Einnahmezeitpunkt für einen Patienten ermittelt werden. Da jeder Mensch einen eigenen Rhythmus für seinen Stoffwechsel besitzt, ist der optimale Einnahmezeitpunkt nur durch eine hohe, zyklisch entnommene Anzahl an Proben zu finden. Damit dem Patienten und dem Personal die Abnahme dieser hohen Probenzahl nicht zur Last fällt, soll ein automatisiertes System entwickelt werden [4].

2 Grundkonzept

2.1 Analyse der Pharmakokinetik

Um einen genauen Wirkungsverlauf des Medikaments in Wechselwirkung mit dem Organismus über den gesamten Tag verteilt zu erhalten, müssen in regelmäßigen Abständen Blutproben entnommen werden. Dies kann bis zu zwölfmal täglich geschehen. Damit auch die Veränderung der Wechselwirkung über eine längere Einnahmedauer betrachtet werden kann, muss diese häufige Blutentnahme über einige Tage bis hin zu Wochen betrieben werden [4].

2.2 Entwurf eines automatisierten Geräts zur Blutentnahme

Der Prototyp soll den Patienten für längere Zeit begleiten, ohne ihn in seinem Alltag zu behindern. Dazu gehören reguläre Arbeiten im Haushalt und im Berufsleben sowie das komfortable Tragen über Nacht. Des Weiteren soll die Blutentnahme für die ersten Tests und kurzzeitige Studien über einen peripheren Venenkatheter realisiert werden. Bei möglichen Langzeitstudien wird ein zentraler Venenkatheter eingesetzt. Der Behälter zur Blutaufnahme soll im späteren Verlauf auch zur intravenösen Verabreichung von Medikamenten nutzbar sein und somit nicht nur als Probenbehälter, sondern auch als Reagenzienbehälter dienen. Weder der Patient noch medizinisch geschultes Personal sollen nach einmaliger Einrichtung der Vorrichtung weiteren Aufwand betreiben müssen. Somit muss die Blutentnahme und Medikamentenzufuhr automatisiert erfolgen.

Um den beschriebenen Anforderungen gerecht zu werden, wird ein Armband für den Unterarm konzipiert. Dieses Armband muss für einen hohen Tragekomfort möglichst leicht und hautverträglich sein. Auch eine einfache Reinigung und Schutz gegen Staub und Wasser müssen gewährleistet sein. Um den individuellen Maßen der Patienten zu entsprechen, muss das Armband in der Größe variabel sein. All diese Anforderungen lassen sich mittels des Einsatzes von Kunststoffen am besten einhalten.

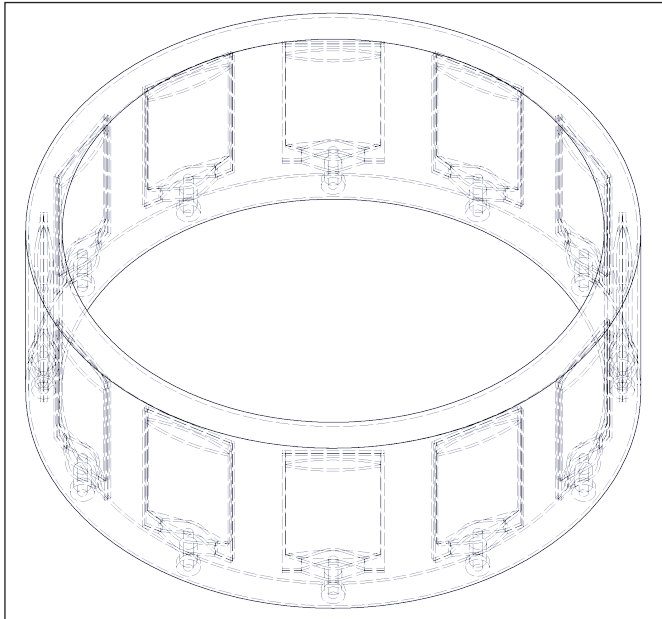


Abbildung 2: Zeichnung des Armbandkonzeptes zur Aufnahme der Blutproben

In Abbildung 2 ist das Grundkonzept für ein am Oberarm tragbares automatisiertes Blutentnahmesystem zu sehen. Die zwölf Reagenzienbehälter sind im Inneren des Armbands gelagert. Die Behälter werden nach der Benutzung automatisch weitergedreht und wieder mit dem fluidischen System verbunden. Mittels Sensorik wird die sichere Verbindung der einzelnen Bauteile überwacht. Eine Peristaltikpumpe für mikrofluidische Systeme sorgt für die Entnahme von Blut und die Zuführung von Medikamenten. Ein Akkumulator dient zur Stromversorgung des gesamten Systems.

3 Entwicklung

3.1 Entwicklungsplan

Im ersten Schritt werden die Reagenzienbehälter entwickelt. Da diese in direkten Kontakt mit dem menschlichen Blutkreislauf gelangen, müssen sie sorgfältig getestet und für den medizinischen Gebrauch freigegeben werden. Die Freigabe kann dabei geraume Zeit in Anspruch nehmen und muss deshalb frühzeitig begonnen werden. Die Peristaltikpumpe für mikrofluidische Systeme von der Firma DNE microtechnology GmbH, Schnaittenbach, steht bereits zur Verfügung und kann für erste Vorversuche mit den Reagenzienbehältern genutzt werden. Während der Versuchsreihen mit den Reagenzienbehältern wird das Armband mit dem integrierten Wechselsystem entwickelt. Später wird eine geeignete Umsetzung für den mobilen Betrieb mittels Akkumulator konzipiert.

3.2 Aufbau des Reagenzienbehälters

Der Reagenzienbehälter dient zur Aufnahme von Blut und Medikamenten und soll bis zu 24 Stunden am Körper des Patienten aufbewahrt werden können. Der Behälter muss dabei dicht sein sowie mindestens einmal mit Blut oder

Medikamenten befüllt und anschließend entleert werden. Als Grundvoraussetzung soll also eine zweimalige Kontaktierung des ansonsten geschlossenen Systems möglich sein. Im ersten Schritt werden ca. 200 Prototypen für Versuchszwecke hergestellt. Im späteren Verlauf sollen die Reagenzienbehälter in großen Stückzahlen mittels Spritzgießen produziert werden.

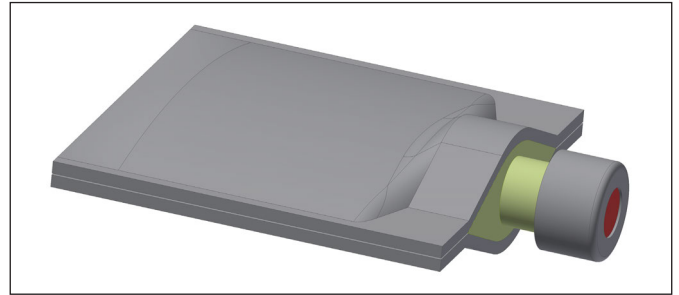


Abbildung 3: Reagenzienbehälter für Blut und Medikamente

Der Reagenzienbehälter, wie in Abbildung 3 zu sehen, besteht als Prototyp aus vier Teilen: der Verbundfolie, dem rautenförmigen Verbindungsstück, dem runden Einfüllstutzen und einer abdichtenden Bördelkappe. Der Prototyp besitzt die Außenmaße von 40,3 mm × 32 mm.

3.3 Verbundfolie

Als eigentliche Behälter für die Reagenzien und Proben dient eine Verbundfolie. Die Folie kann einfach in ihrem Design verändert werden und passt sich flexibel ihrer Umgebung an. Damit die Reagenzien und das Blut in den Behältern keine wichtigen Stoffe verlieren und für eine längere Lagerung gut geschützt sind, muss die Folie über gute Barriereigenschaften verfügen. Dafür werden die Folien auf ihre Sauerstoff- und Wasserdampfdurchlässigkeit hin untersucht. Die Folien durchlaufen zwei unterschiedliche Untersuchungen: zum einen eine Permeationsmessung und zum anderen einen Lagerungsversuch. Bei dem Lagerungsversuch werden gleichzeitig die Schweißnahtparameter betrachtet. Sowohl die Breite einzelner Schweißnähte als auch die Anzahl hintereinanderliegender Nähte werden dabei variiert. Dabei werden gefüllte, vierseitig verschweißte Folien über mehrere Monate bei 4 °C, 20 °C und 40 °C Umgebungstemperatur gelagert. In regelmäßigen Abständen wird das Gewicht der Proben ermittelt. So werden Rückschlüsse hinsichtlich ihrer Permeation gezogen. Neben der Permeation spielt die Verschweißbarkeit eine große Rolle. Die Bindung „Folie auf Folie“ muss ebenso gute Werte aufweisen wie die Bindung „Folie auf Verbindungsstück“. Für die Vorauswahl der Folien werden Zugversuche der Folie-Folie-Verschweißung durchgeführt. Für die Prototypen wird eine 2 mm breite Schweißnaht für die Folie-Folie-Verbindung genutzt.

Durch die vorgelagerten Tests und die zeitgleiche Materialauswahl für die Kunststoffbauteile erweisen sich zwei Folien mit dem Aufbau PET-Alu-PE und OPA-LDPE-Alu-LDPE-LLDPE als geeignet. Die zwei Folien mit dem in

Abbildung 4 dargestellten Aufbau werden für die Prototypenherstellung weiterverfolgt, wobei sich aufgrund der Verarbeitungseigenschaften die PET-Alu-PE-Verbundfolie hervorhebt.

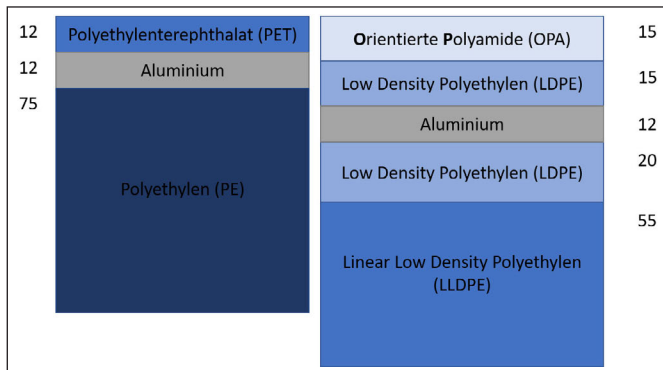


Abbildung 4: Aufbau der Verbundfolien für die Reagenzienbehälter (Einheiten in µm)

3.4 Verbindungsstück und Einfüllstutzen

Für das Verbindungsstück und den Einfüllstutzen werden verschiedene Kunststoffe in Betracht gezogen. Kunststoffe sind wegen der Möglichkeit der freien Formgebung und der kostengünstigen Serienproduktion mittels Spritzgießtechnik für diesen Einsatzbereich prädestiniert. Aus den verglichenen, bei Spritzgießverfahren oft verwendeten Thermoplasten wie beispielsweise PE, POM, ABS etc. wurde Polypropylen gewählt. Ausschlaggebend dafür ist die relativ große Auswahl an medizinisch zugelassenen Typen und deren gute mechanische Eigenschaften. Dieser Werkstoff eignet sich aufgrund seines Schmelzpunktes von ungefähr 160 °C gut zum Verschweißen mit einer beschichteten Aluminiumfolie. Für den Bau der Prototypen wird das rautenförmige Verbindungsstück gefräst und der Einfüllstutzen gedreht. Die beiden Einzelteile, wie in Abbildung 5 zu sehen, werden mit einer Presspassung gefügt.

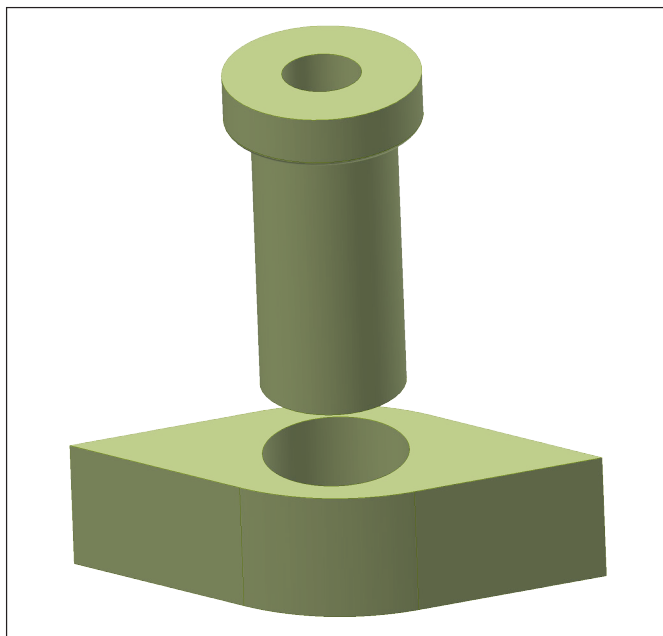


Abbildung 5: Einfüllstutzen und Verbindungsraute aus Polypropylen

Die Passung sorgt bei der Montage für sicheren Halt und dichtet die Verbindung ab. In einer späteren Serienproduktion wird aus dem Verbindungsstück und dem Einfüllstutzen ein einzelnes Spritzgießteil.

3.5 Bördelkappe

Zum Verschließen des Reagenzienbehälters wird eine Bördelkappe verwendet. Die Kappe besteht im Randbereich aus Aluminium und beinhaltet ein mit Polytetrafluorethylen beschichtetes Kautschukseptum. Die Kappe wird mittels Crimpen auf dem Einfüllstutzen fixiert. Für die Serienfertigung soll ein Septum aus Polybutadien direkt im Spritzgießprozess in das Kunststoffteil eingebunden werden, wodurch der Crimp-Prozess wegfällt.

4 Ausblick

Im Weiteren werden die bereits gefertigten Prototypen der Reagenzienbehälter im Klinikum Charité – Universitätsmedizin, Berlin, mit den bereitgestellten Peristaltikpumpen auf ihre Funktionalität getestet. Die Prototypen werden derzeit noch größtenteils händisch hergestellt. Für die größer werdenden Stückzahlen müssen die Produktion der Kunststoffteile durch das Spritzgießverfahren realisiert und eine automatische Fertigungsstraße für die Reagenzienbehälter in einem Reinraum geplant werden. Dazu müssen noch Materialtests für das neue Septum definiert und durchgeführt werden. Von besonderem Interesse ist dabei eine mögliche Anwendung des Mehrkomponenten-Spritzgießens. Dadurch kann das Septum direkt auf der Spritzgießmaschine mit eingespritzt werden. Somit ist ein extra Handlingsystem obsolet. Das Armband mit automatischem Wechselsystem für die Reagenzienbehälter wird zusammen mit einer kooperierenden Firma konzipiert. Die Auswahl geeigneter Kunststoffe für das Armband und für die Einhausung der Elektronik werden dabei die nächsten wichtigen Schritte sein.

Referenzen:

- [1] forsa. 2015. Deutscher Apothekertag 2015 – Probleme mit Polymedikation [Umfrage]. Berlin: forsa main Markt-informationssysteme GmbH.
- [2] Zander T. et al. 2013. Implementation of real-time genetic diagnostics and personalized treatment on non-small cell lung cancer (NSCLC) in a regional screening network. US National Library of Medicine.
- [3] Personalisierte Medizin: ein Beispiel, <https://www.vfa.de/download/schaubild-pers-med1>, zuletzt besucht: 2017.09.04
- [4] Kretz F., Schäffer J. 2001. Anästhesie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie [Lehrbuch]. Berlin Heidelberg: Springer Verlag

Projektpartner:

DNE GmbH, Schnaittenbach
Charité – Universitätsmedizin, Berlin

Kontakt:

Marius Kaspers, B. Eng.

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

m.kaspers@oth-aw.de



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

Different modulation of the descending control during pain and itch

Erschienen in 148.08/DD15. 2016 Neuroscience Meeting Planner. San Diego, CA: Society for Neuroscience, 2016. Online. R. RINGLER¹, V. VIEROW², M. RANK², 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

Keyword(s): CONNECTIVITY, FMRI, PAIN, ITCH, IONTOPHORESIS

Einleitung

Die Verarbeitung von Empfindungen aus Schmerz- und Juckreizen ist ein multidimensionales Verfahren. Daher ist es nicht verwunderlich, dass kein singuläres „Schmerz-“ oder „Juckreiz-Zentrum“ im Kortex identifiziert werden konnte. Aus vielen funktionalen Bildgebungsstudien entwickelte sich ein allgemeiner Begriff, dass die Qualität einer Empfindung in einem „zerebralen Netzwerk“ verarbeitet wird. Eine große Anzahl von kortikalen Arealen, die zu diesem Netzwerk gehören, sind zwischenzeitlich identifiziert worden. Vor diesem Hintergrund ist es von Interesse, mithilfe der funktionalen Bildgebung mit Magnetresonanztomografie (fMRI) zu erforschen, ob Juckreiz und Schmerz in identischen oder verschiedenen zerebralen Netzwerken verarbeitet werden. Weiterhin soll untersucht werden wie sich die Konnektivität innerhalb dieser Netzwerke vom Default-Mode-Netzwerk zu Schmerzen und Juckreiz ändert.

Introduction

The experience of sensations like pain and itch is multi-dimensional. Therefore, it is not surprising that no single central “pain-“ or “itch-center” could be identified. From many functional imaging studies a general notion evolved that the quality of a sensation is processed in a “cerebral network” and a large amount of brain areas belonging to that network meanwhile are identified. On this background it is of interest to explore with the help of functional magnetic resonance imaging (fMRI) whether itch and pain are processed in identical or different cerebral networks and how the connectivity within these networks change from the default mode to pain and itch, respectively.

Materials and methods

In this study 17 healthy persons (7 males and 10 females) participated. Each person participated at two separate fMRI-sessions while the following stimuli A or B were applied to the right lower arm. If stimulus A or B was first to be applied was randomized and the time interval between the two stimuli was at least one week in between.

Stimulus A: Ongoing itch induced by histamin iontophoresis (30 mC). This leads to a flare and wheal after the iontophoresis (figure 1 right).

Stimulus B: Long lasting pain stimuli. Hyperalgesia to heat was induced at the skin by pretreatment with capsaicin (cream containing 0.05% Capsaicin, 30 minutes under occlusion patch). After that pain could be evoked

by temperatures which did not harm the skin. The stimulation was done with a water heated thermode (figure 1 left) which temperature was 2 °C above the individual pain threshold at the pretreated site.

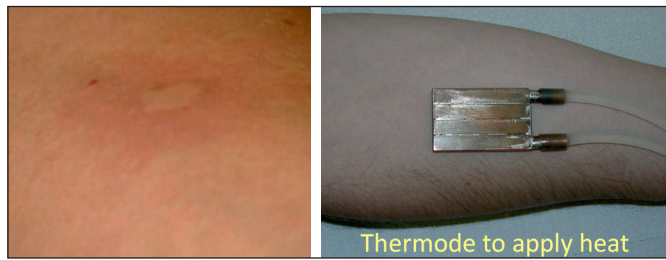


Figure 1: Left: Flare and wheal after histamine iontophoresis; right: Thermal application of heat pain

All persons participated on a two training sessions where the same protocol was performed as in the MRI sessions. In two fMRI session itch and pain was assessed in the same scheme as the training sessions using a classical connectivity fMRI-design with EPI sequences on a 1.5 T Siemens Espree™ MR scanner. fMRI EPI (BOLD) data consisted of 240 blocks, each had 34 axial slices with a slice thickness of 4 mm (TR=3000 ms; 64 × 64 pixel; FOV 220 × 220 mm²; online motion correction). Three fMRI sequences were recorded:

1. No stimulation to determine the default mode network
2. Stimulation itch or heat pain without rating
3. Stimulation itch or heat pain with continuous rating by a VAS outside of the scanner which could be watched and adjusted by the subject via an overhead mirror.

The fMRI sequence 2 and 3 was started when the sensation of itch or pain reached 30% of the VAS rating. The itching or painful sensation lasted during the whole fMRI. After finishing sequence 2 and sequence 3 the experienced sensations of the persons were asked using a short survey. No earlier than 2 weeks the fMRI experiment was repeated with the other stimulus.

For functional MRI standard echo-planar-imaging (EPI) sequences with prospective motion correction by the MRI scanner were used. The fMRI data were analyzed with BrainVoyager QX® applying the standard preprocessing slice scan time correction, 3D motion correction, trend removal and temporal high pass filtering to the MR-data. EPI-data were then co-registered to the person individual 3D-MPRAGE data set which was transformed by a rigid body transformation into the Tailarach space.

The BOLD-fMRI-analysis was restricted to the following regions of interest (ROI) as seedpoints for the analysis A1: Thalamus, Putamen, Caudate, Amygdala, Hippocampus, Frontal areas BA 9, BA 10 and BA 46, Anterior cingulate cortex (ACC, subgenual area), Insular cortex (IC), Operculum (S2), BA40, S1, periaqueductal gray (PAG).

To analyze the connectivity between cortical areas two approaches were computed:

Analysis A1 was a ROI-based: Correlations from defined seed regions to the other ROIs. The time courses used were the mean time courses of all voxels within a ROI. Analysis A2 was a contrast analysis: The voxels mean time course of one ROI (seed) was used as seed and contrasts between itch and pain were calculated to identify brain areas with different connectivity regarding itch and pain.

Results

Figure 2 summarizes the decrease of heat pain threshold due to capsaicin pre-treatment. The pre-treatment of the skin effectively reduced the heat pain threshold in all groups, i.e. men, women and the complete group (all). The ipsilateral threshold was significantly lower as shown by a Wilcoxon matched pair test, with a statistical value of $p < 0.05$. The mean stimulation temperature for tonic heat pain could be reduced accordingly (gray bars).

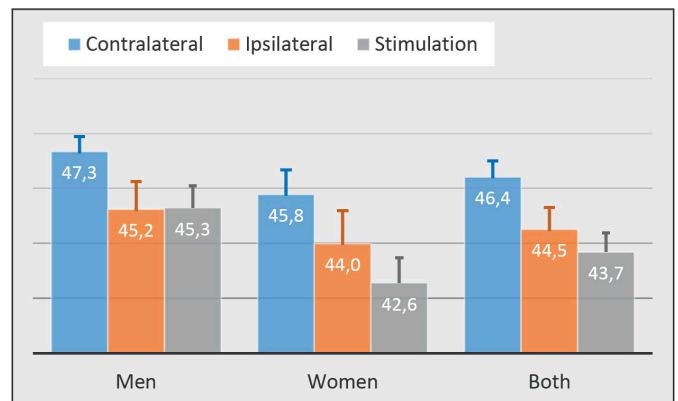


Figure 2: Decrease of heat pain threshold due to capsaicin pre-treatment. Results are shown as mean+SEM

The Pain rating during the 3rd fMRI measurement slightly increases during the 5 minutes of measurement while itch had its peak during the first two minutes after application. Two males were excluded due to low pain ratings (long periods below 30% = threshold for pain). Females gave higher pain and itch ratings as males (figure 3 and figure 4).

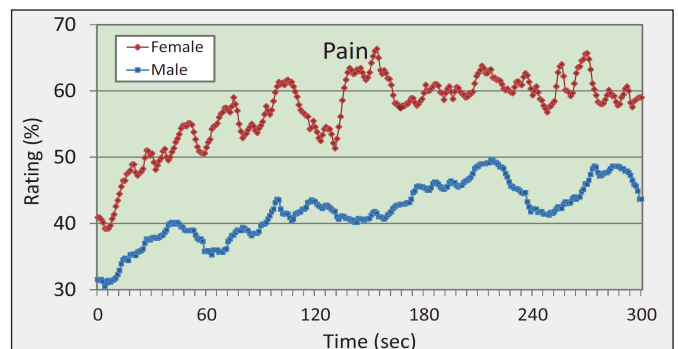


Figure 3: Pain rating during 3rd fMRI experiment for male and female subjects. The 30% marker on the VAS indicate the start of painful experience.

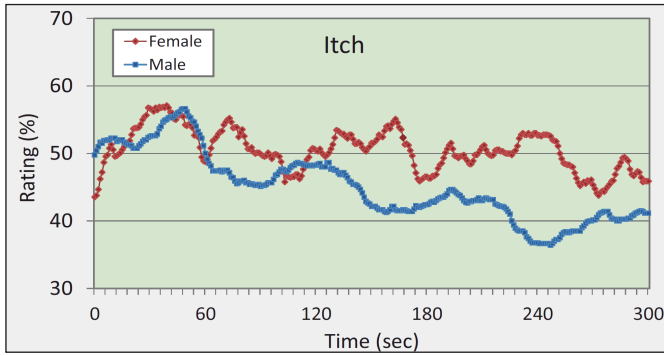


Figure 4: Itch rating during 3rd fMRI experiment for male and female subjects. The 30% marker on the VAS indicate the start of an itch sensation with a desire to scratch.

After the 3rd fMRI run a short survey of the subject to the experienced stimuli where reported as significantly higher burning by females than male even during itch. The items „warm“, „painful“ and „burning“ was rated higher during heat pain than during itch while itching was higher during the histamine stimulation (figure 5 and figure 6).

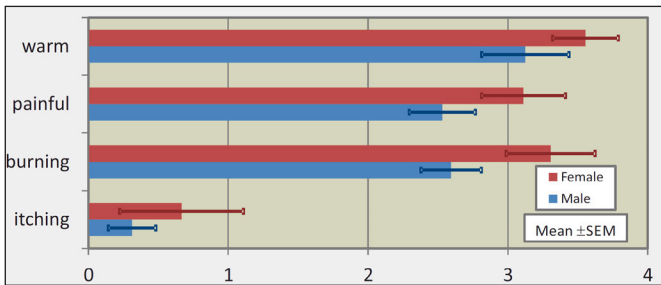


Figure 5: Items given during heat pain

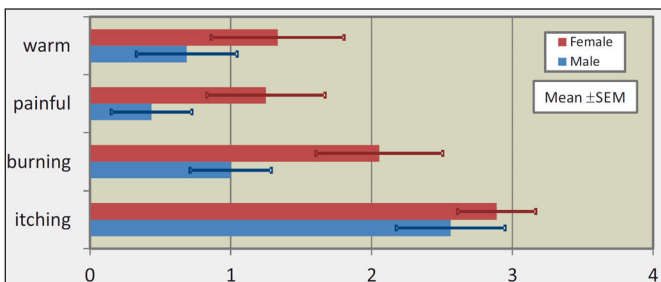


Figure 6: Items given during itch

Changes in the “pain-network” are shown in figure 7 for analysis A1 and the block-fMRI-design A. During stimulation cortical areas like broadman area 47, posterior and anterior insula are no longer activated by the BOLD-effect and vanish. Areas in the cingulate cortex, e.g. pACC behave during the stimulation with a different activation size. That response answer can be found in a similar way during the itch condition.

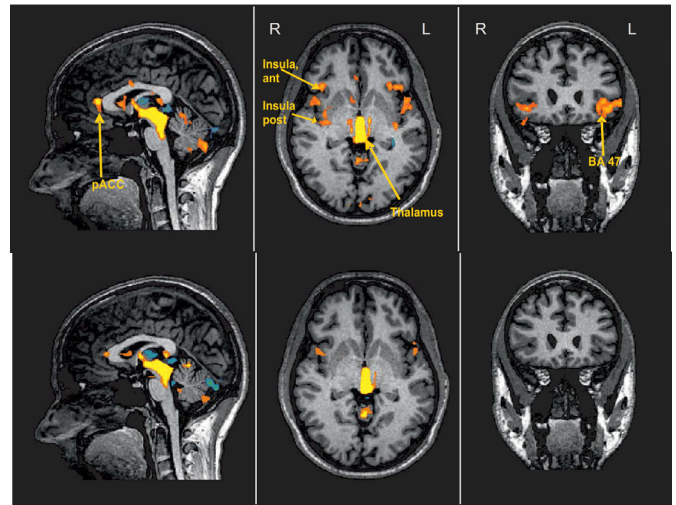


Figure 7: Connectivity to the PAG (periaqueductal gray). The slices show Talairach coordinates of X=2, Z=-2 and Y=23. Upper row resting state, lower row pain stimulus.

Figure 8 displays the result for the contrast analysis A2 of brain regions which are showing significant differences in correlations with the PAG comparing resting state and pain. During pain there is a stronger connectivity to the pACC, BA 10 and left amygdala while the connectivity decreases to the right amygdala and right posterior insula.

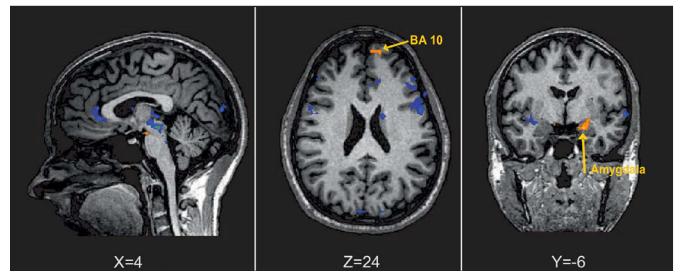


Figure 8: Contrast (stimulation - resting state) analysis A2 during pain sensation. X, Y and Z indicate the corresponding Talairach coordinates.

Figure 9 are brain regions showing significant differences in correlations with the PAG comparing resting state and itch. During itch there is a stronger connectivity to the ACC, the left anterior insula and left amygdala while the connectivity decreases to the right posterior insula, frontal regions and right amygdala. Red to yellow depicts higher connectivity during stimulation, blue to green during resting condition.

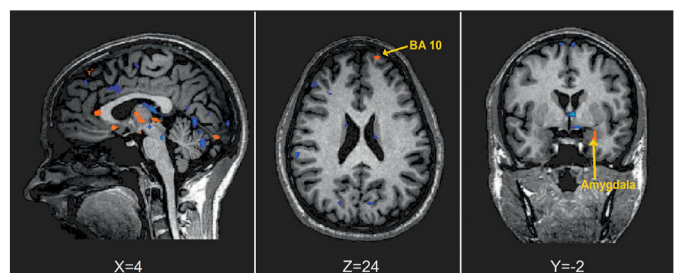


Figure 9: Contrast (stimulation - resting state) analysis A2 during itch sensation. X, Y and Z indicate the corresponding Talairach coordinates.

Table 1 summarizes the Connectivity-analysis A2 of brain regions to the PAG. Given are the t-values of the analysis during the resting state (default), during tonic stimulation by pain or itch, and the changes from resting state to stimulation (contrast). Significant t-values are printed in bold.

Table 1: Connectivity to PAG in selected brain regions.

Brain area	MNI			t-values, Pain			t-values, Itch		
	x	y	z	Pain	Default	Contrast	Itch	Default	Contrast
Thalamus right	1	-7	9	5.82	1.29	3.27	5.57	-1.73	5.15
Amygdala left	-19	-6	-13	16.10	8.54	5.59	9.47	3.94	3.87
Amygdala righth	29	-4	-25	-3.63	3.12	-4.78	-1.82	0.58	-1.69
Front BA10 left	-8	62	24	6.25	0.19	4.34	3.47	-0.61	2.87
Front BA47 left	-29	26	-2	-2.16	6.48	-6.06	-12.71	0.22	-9.11
Insula ant. left	-46	10	6	0.01	8.29	-5.29	4.78	-0.48	3.71
Insula post. right	35	-20	19	-2.85	5.44	-5.84	-1.02	4.18	-3.69
sACC right	4	31	0	-0.67	6.78	-5.21	5.97	-0.76	4.74
pACC	2	28	9	7.18	1.35	4.20	8.31	-0.22	6.01

Conclusion and summary

The pre-treatment of the skin by low dose capsaicin effectively reduces the temperature required to induce long lasting heat pain. The two applied types of sensations, pain and itch, are processed in similar but functionally different cortical networks. Due to the results a network consisting of frontal regions (left BA 10), PACC, left amygdala and posterior insular cortex seems to be involved in the modulation of both sensations pain and itch by driving the activation of the PAG. This is expressed by the changes in the functional connectivity during the stimuli as compared to the resting situation. The changes in connectivity are similar during both stimuli but stronger during tonic pain input, probably due to the stronger input during nociception.

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

forster@physiologie1.uni-erlangen.de

Der Einfluss unterschiedlicher Audiogestaltung bei gleichem Bewegtbild

Zusammenfassung

In einem Hörversuch wurde 240 Probanden jeweils ein Video über Kopfhörer in Stereo in einer Version (Film kombiniert mit Audiotyp) einmal vorgespielt. Dabei handelte es sich um zwei unterschiedliche Filme: um den Animationsfilm „Samuel Goldenberg und Schmuyle“ (Länge 1'47") und um den Realfilm „Die Katakomben“ (Länge 1'12"). Beide Filme wurden vollständig kombiniert mit den vier folgenden Audiotypen: ohne Ton, mit Soundeffekten, mit Musik und mit Sounddesign (Musik und Soundeffekte). Die Musik entstammt der Komposition „Bilder einer Ausstellung“ von Modest Mussorgsky.

Als Erhebungsmethode diente die von der Universität Osnabrück entwickelte emoTouch-App (iPad mit iOS 9), mit der den Probanden neben dem Audiosignal auch das Videobild synchron präsentiert werden konnte. Die Versuchspersonen verschieben beim Betrachten des Videos einen Marker („Smiley“) in einem 2D-Koordinatensystem (Wertebereich -1 bis +1) auf dem Berührungsbildschirm. Dabei implizierte die Bewegung des Markers zum Beispiel in der Horizontalen nach rechts eine starke Immersion, eine Bewegung in der Vertikalen nach oben eine starke Spannungsempfindung des jeweiligen Probanden. Die Auswertung der Experimente zeigt, dass sich die wahrgenommene Immersion und die wahrgenommene Spannung gegenseitig bedingen. Musik und Soundeffekte alleine ließen die Immersion immer steigen (bis auf das 3,6-Fache); die von den Rezipienten empfundene Spannung sank allerdings (bis auf das 0,6-Fache). Erst die Audiomischung von Musik mit Soundeffekten (= Sounddesign) erhöhte neben der Immersion (bis auf das 4,4-Fache) ebenfalls die empfundene Spannung (bis auf das 1,4-Fache). Die Veränderungen waren dabei abhängig von der Filmversion. Die Studienergebnisse zeigen, dass eine ausgewogene Mischung von Musik und Soundeffekten die Immersion und das Spannungsempfinden der Rezipienten steigern kann.

Abstract

In a listening experiment eight video-audio-combinations were presented to 240 subjects wearing stereo-headphones. Every subject watched one video only once. Two different film versions were prepared: An animated movie „Samuel Goldenberg and Schmuyle“ (Length 1'47") and a live action movie „Catacombs“ (Length 1'12"). These two films were combined with four different audio tracks: without audio, with music, with sound effects and with sound design (music and sound effects). The music is an extract of Mussorgsky's „Pictures at an Exhibition“, the original version for piano.

For the experiment, the author used the iPad application emoTouch which allows to present the video on a touch screen. The subjects simultaneously marked their emotions on the same screen by moving a marker in a two-dimensional coordinate system (labeled with relative values from -1 to +1). A movement to the right (x-axis) implicated a strong immersion (envelopment), a movement to the top (y-axis) indicated the subject's perception of intense suspense.

The evaluation of the experiments showed that the perceived immersion and suspense correlated strongly. Music and sound effects alone led the immersion rise up to 3.6 times. However, the perceived suspense dropped by 40%. Only the audiomix of music with sound effects (= sound design) increased the immersion (up to 4.4 times) and the suspense (up to 1.4 times). The alteration of these affects were depending on the film version. The findings emphasize the importance of a balanced audio mix of music and sound effects to intensify the perceived immersion and suspense of the subjects.

1 Einleitung

Seit dem Aufkommen des Tonfilms in den 1920er-Jahren ist die Tonspur und ihr Einfluss auf die Wahrnehmung des Films ein wichtiger Schwerpunkt in der Forschungsliteratur. Dabei stand aber in den vergangenen einhundert Jahren eher der Einfluss der Musik auf die Zuschauerwahrnehmung im Fokus. Die Kraft eines Sounddesigns (d. h. die ausgewogene Mischung von Musik und Soundeffekten) wurde nur vereinzelt in wenigen Veröffentlichungen explizit beschrieben [Brauch 2012, Cohen 2006/2010/2015, Flückiger 2007, Hoekstra 2012]. Zusätzlich fassten Sounddesigner und Filmemacher ihre praktischen (impliziten) Erfahrungen über die Emotionen und Reaktionen von Zuschauern, die durch eine Tonspur ausgelöst werden, zusammen [Chion 2012, Holman 2010, Lynch 1998, Sonnenschein 2001, Raffaseder 2010]. Daher ist weder in der Musikpsychologie noch in der Filmpsychologie noch in den Neurowissenschaften die originäre Kraft des Sounddesigns grundlegend explizit erforscht worden.

Jede von einer Tonspur ausgelöste Emotion ist stark abhängig von dem Filmgeschehen. Zum Beispiel benötigen die Rezipienten eines Animationsfilms eventuell zusätzliche Informationen im Vergleich zu den Rezipienten von real gedrehten Filmen. Ein Animationsfilm ist also nicht unbedingt selbsterklärend. Betrachter dieses Filmtyps benötigen daher Musik und Soundeffekte als zusätzliche Informationsquelle, um die Filmstory und das Filmgeschehen zu verstehen, während Realfilme ihren Informationsgehalt ausschließlich über die Bildebene transportieren können (genauso wie die Stummfilme vor den 1920er-Jahren).

In früheren Studien über den Einfluss von audiovisuellen Medien auf die Emotionen der Rezipienten [Cohen, 2006, 2010, 2015; Hoekstra, 2012] betrachteten die Versuchsteilnehmer dasselbe Video nacheinander mit unterschiedlichen Audioversionen. Nach jedem Test bzw. Versuchsdurchgang beantwortete jeder Teilnehmer einen Fragebogen hinsichtlich der durch Ton und Bild ausgelösten Emotionen. Dieses Versuchsdesign wirft aber zwei Fragen auf: Dadurch, dass jede Versuchsperson erst nach dem Anschauen ihre empfundenen Emotionen standardisiert in einem Fragebogen notiert, ist das sofortige Abbilden der Emotionen, also während des Betrachtens der Videos, nicht möglich. Es werden also keine spontanen Reaktionen gemessen. Zudem können sich die empfundenen Emotionen ändern, wenn eine Testperson dasselbe Video mit unterschiedlichen Tonspuren zwei-, drei- oder viermal anschaut. Es ist fragwürdig, die Reaktionsdaten des Probanden A, der ein Video einmal sieht, mit denen des Probanden B, der dasselbe Video zum dritten Mal anschaut, zu vergleichen. Denn die möglichen Unterschiede können in diesem Fall auch mit der Tatsache erklärt werden, dass sich der Proband B an den Videoinhalt gewöhnt hat.

Es muss daher ein Versuchsablauf entwickelt werden, bei dem nur der erste und einzige Testdurchlauf die Reaktionsdaten generiert, und das nahezu synchron, während der Proband die Audio-Video-Kombination anschaut. Erst dieser Versuchsaufbau kann die Forschungsfrage, wie Musik und Soundeffekte die Emotionen des Zuschauers beeinflussen, angemessen beantworten.

Das Audioelement Sprache wurde bei dieser Studie nicht berücksichtigt, da es in seiner auditiven Funktion speziell ist: Sprache sollte verstanden werden, das heißt, deren immersiver Einfluss ist prinzipiell niedriger als bei Musik und Soundeffekten und daher ist das Sprachelement in einer Audiomischung das lauteste Element und schiebt die beiden anderen Audioelemente in den auralen Hintergrund. Der Zweck von Sprache ist, Information zu übertragen, weniger für Immersion des Zuhörers zu sorgen.

2 Die emoTouch-Applikation als Forschungsinstrument

Die für diese Studie verwendete emoTouch-App ist eine frei verfügbare wissenschaftliche Forschungssoftware, die vom Institut für Musikwissenschaften und Musikpädagogik an der Universität Osnabrück [Scholle, Louven, 2013, 2015, 2017] entwickelt wurde. Sie ermöglicht den Nutzern, ihre wahrgenommenen Emotionen kontinuierlich auf einem Tablet-Touchscreen zu markieren, während sie auf demselben Bildschirm ein Video anschauen. Die Tonspuren (Musik und Soundeffekte) werden dabei über Stereo-Kopfhörer übertragen (Abbildung 1). Die emoTouch-App wurde ursprünglich auf Basis des zweidimensionalen Emotionsraums mit seinen Achsen Valenz (negativ – positiv) und Erregung (aktiv – passiv) entwickelt [Russell, 1980]. Die Versuchsteilnehmer positionieren einen Marker in diesem Emotionsraum intuitiv direkt auf dem Touchscreen des iPads (Abbildung 2). Die emoTouch-App ist für jede mögliche Forschungsfrage konfigurierbar. Videos können einfach implementiert werden, der Touchscreen dient gleichzeitig als Bildschirm und als Eingabewerkzeug.



Abbildung 1: Proband während des Versuchs

Der nächste Schritt war die Konzeption der Stimuli: Da die entstehenden Emotionen sehr stark von der Filmhandlung abhängen, wurden zwei sehr unterschiedliche Versionen, ein real gedrehter Film und ein Animationsfilm, entworfen.

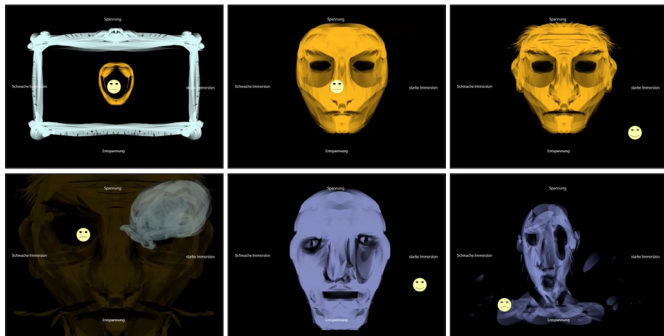


Abbildung 2: Die emoTouch Applikation mit Marker

3 Stimuli und Versuchsablauf

Es wurden zwei Filme produziert: ein Computer-generierter Animationsfilm und ein Realfilm mit Schauspielern, aufgenommen mit Kamera. Beide Videos (Filmtypen) wurden den Versuchspersonen mit den vier unterschiedlichen Audioversionen vorgeführt: ohne Ton, mit Musik, mit Soundeffekten und mit Sounddesign (Musik und Soundeffekte). Um eine Gewöhnung an das Filmgeschehen zu vermeiden, wurde jeder Versuchsperson nur jeweils eine Audio-Video-Kombination präsentiert.

Als Musikspur wurden zwei Kompositionen aus Mussorgskys „Bilder einer Ausstellung“ in der originalen Klavier-version ausgesucht: „Samuel Goldenberg und Schmuyle“ (Länge 1’47”) für den Animationsfilm, (Videorealisation: Sebastian Bockisch; Abbildung 2) sowie „Die Katakomben“ (Länge 1’12”) für den Realfilm (Videorealisation: Robert Neuber; Abbildung 3). Diese Kompositionen waren ideal für den eigentlichen Zweck der Studie: Die Musikspur erzählt die Geschichte weitestgehend lautmalerisch selbst, das heißt, das Drehbuch konnte „aus der Musik“ entwickelt werden. Das Klavier als Instrument bietet aufgrund seiner akustischen Zeitstruktur (Hüllkurve) genügend (Klang-)Raum für die zusätzlichen Soundeffekte (Klaviereinspielung durch den Autor). Während die Versuchsteilnehmer die Videos auf dem iPad betrachteten, markierten sie kontinuierlich ihre wahrgenommenen Emotionen auf dem Tablet-Touchscreen in zwei Dimensionen. Das Koordinatensystem wurde vom Autor an die Forschungsfrage angepasst: Auf der x-Achse wurde die empfundene Immersion notiert, auf der y-Achse die empfundene Spannung, jeweils einheitenlos von -1 bis +1. Auf diese Weise konnten relative Vergleiche vorgenommen werden.

Das Experiment beruhte folglich auf den drei unabhängigen dichotomen Variablen Musik (ja/nein), Soundeffekte (ja/nein) und Filmtyp (Animation/ Realfilm). Die gemessenen abhängigen Variablen waren empfundene Immersion und empfundene Spannung (Abbildung 4).



Abbildung 3: Ausschnitte aus dem Realfilm „Die Katakomben“

Grundsätzlich wurde bei jedem Probanden zuerst ein „Übungsdurchgang“ mit anderem Videomaterial als im Hauptexperiment durchgeführt. So konnte eventuelle Habitualisierung vermieden werden.

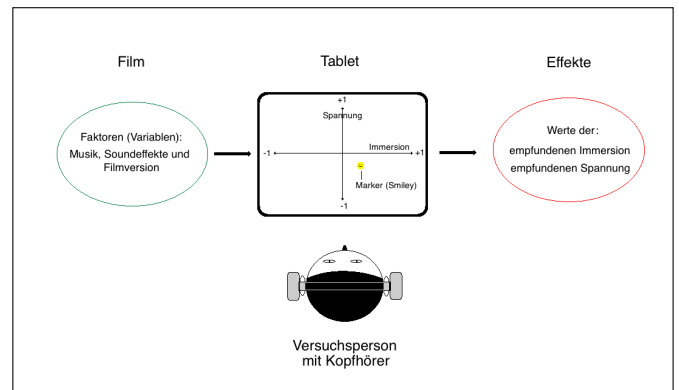


Abbildung 4: Schematischer Aufbau des Experiments

4 Fragebogen nach dem Hauptexperiment

Gleich nach jedem Versuchsdurchlauf des Hauptexperiments beantworteten die Teilnehmer einen Fragebogen mit den folgenden Punkten:

1. Hören Sie gerne und häufig Musik (auch Radio, mehr als eine Stunde pro Tag)?
2. Gehen Sie gerne ins Kino, also häufiger als einmal im Monat?
3. Haben Sie in der Vergangenheit ein Musikinstrument gespielt bzw. spielen Sie ein Musikinstrument?
4. Trägt oder trüge (bei den Vorführungen ohne Ton) die Tonspur zum besseren Verständnis der Filmhandlung bei?
5. Was hilft Ihnen eher beim Verstehen der Filmhandlung: die Geräuschebene (Soundeffekte) oder die Musikebene?
6. Welches der beiden Tonelemente Geräusche (Soundeffekte) oder Musik lässt Sie das Geschehen im Video tiefer und emotionaler erleben?
7. Können Sie die Wirkung der Tonspur auf Ihr audiovisuelles Erleben mit einem dieser vier Begriffe be-

schreiben (Mehrfachwahl möglich): einhüllend, immersiv – eine neue wichtige Ebene der Räumlichkeit bzw. Tiefe des Raums –, dreidimensional, emotional?

- Verändert die Tonspur bei Ihnen eventuell die Wahrnehmung von Zeit? Scheint ein Video mit Tonspur schneller zu vergehen als dasselbe Video ohne Ton?

Mit diesen acht Fragen wurde versucht, die jeweilige Hörhistorie der Probanden zu ermitteln. Es ist zu vermuten, dass diese Erkenntnisse mit den Ergebnissen aus den emoTouch-Daten interagieren.

5 Die Probanden

Insgesamt absolvierten 240 Versuchspersonen (30 VP × 2 Filmversionen × 4 Audioversionen) das Experiment. In einem Vorexperiment nutzten die Probanden eine der beiden Filmversionen, um sich an das Tablet mit der emoTouch-Applikation und die Testsituation zu gewöhnen. In dem folgenden Hauptexperiment wurden dann die Testdaten mit der anderen Filmversion generiert. Der Altersdurchschnitt der Versuchspersonen war bei 25,7 Jahren bei einer Standardabweichung von 7,6 Jahren. Fast 80 Prozent der Versuchspersonen waren Studierende der Medienproduktion und Medientechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden. Obwohl dies eine hohe Medienaffinität als Produzenten und Konsumenten vermuten lässt, kannten nur wenige Probanden die Musik von Mussorgsky vor ihrem Experiment. Ein Drittel der Versuchspersonen war weiblich.

6 Ergebnisse

Die Auswertung (Prüfung der Signifikanz mittels einer 3-faktoriellen Varianzanalyse; Faktoren: Filmversion, Musik, Soundeffekte) ergab folgende Ergebnisse; die Unterschiede der Medianwerte sind immer im Vergleich zur „Nullversion“, d. h. der Version ohne Ton, dargestellt:

- Die Mediane der empfundenen Immersion wurden mehr als verdreifacht ($p < .004$), wenn die Probanden beide Filmversionen mit Soundeffekten sahen. Die empfundene Spannung fiel dagegen um 40 Prozent beim Animationsfilm und um 10 Prozent beim Realfilm (Maxima; $p < .02$).
- Beim Animationsfilm mit Musik vergrößerte sich die empfundene Immersion um mehr als das Dreifache, beim Realfilm um mehr als das Zweifache ($p < .02$). Die empfundenen Spannungswerte waren niedriger, aber diese Änderungen waren nicht signifikant (Maxima beim Faktor „Musik“: $p < .074$).
- Musik und Soundeffekte kombiniert erhöhten die empfundene Spannung beim Realfilm 3,7-fach und 4,4-fach beim Animationsfilm. Die Spannungsmaxima waren höher, aber diese Änderungen waren nur hinsichtlich der Soundeffekte signifikant (Maxima: $p < .02$).
- Es wurde keine signifikante Interaktion zwischen den Antworten im Fragebogen und den Ergebnissen des Experiments festgestellt ($p > .05$).

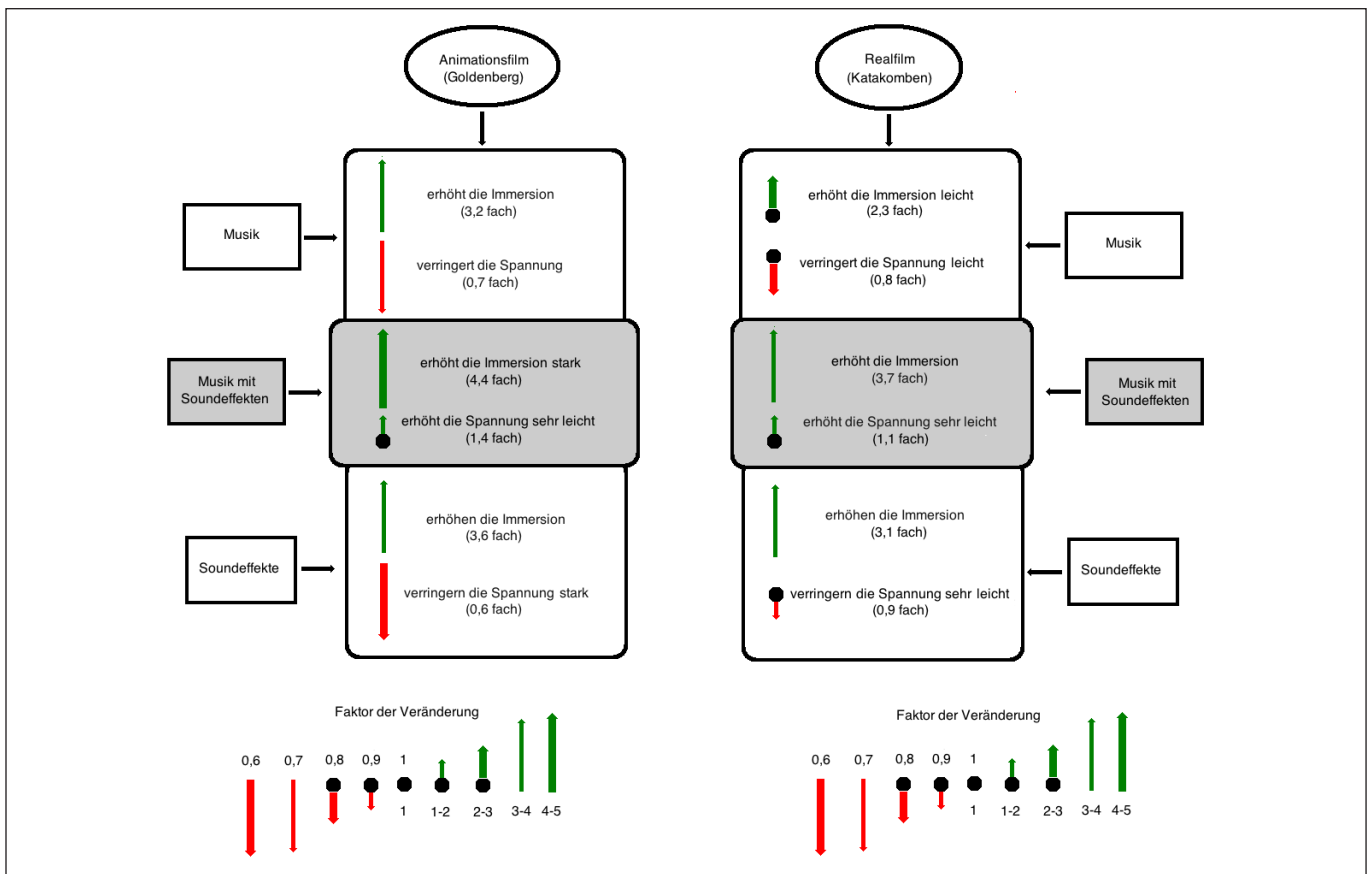


Abbildung 5: Zusammenfassende schematische Darstellung der Versuchsergebnisse

Die Analysen der mittleren Immersion über die Film-
laufzeit zeigen beim Animationsfilm (Abbildung 6) eine
höhere durchschnittliche Immersion bei den Audioversi-
onen im Vergleich zur tonlosen Version, besonders wenn
im Bild die Handlung aktiver wird, z. B. bei 55s. Der rote
Graph (Musik und Soundeffekte) und der grüne Graph
(Soundeffekte) zeigen eine größere Dynamik auf: Musik
(gelber Graph) scheint den Verlauf zu glätten.

Die Darstellung der mittleren Immersion beim Realfilm
visualisiert ebenfalls höhere Werte bei den Audioversi-
onen im Vergleich zur tonlosen Version (Abbildung 7).
Während die Graphen in Abbildung 6 relativ parallel ver-
laufen, sind hier fast keine Synchronpunkte festzustellen.
Die tonlose Version (blauer Graph) und die Musikversion
(gelber Graph) zeigen die geringsten mittleren Immersi-
onswerte.

7 Diskussion

Die empfundene Immersion wird durch eine Tonspur
vergrößert. Das Maß dieser Erhöhung hängt von dem
Bildgeschehen und dem Audiotyp ab. Eine Musikspur
glättet die empfundene Dynamik der Immersion. Sound-
effekte alleine und in Kombination mit Musik verstärken
den Effekt.

Im Gegensatz dazu korreliert die empfundene Spannung
mehr mit dem Bildgeschehen. Soundeffekte alleine erhö-
hen im Allgemeinen nicht deren empfundene Werte, erst
die Audio-Vollversion (Musik und Soundeffekte) vermag
dies.

Welche Schlussfolgerungen können für das praktische
Sounddesign gezogen werden?

- Offensichtlich wird die immersive Kraft einer Musik-
spur in ihrer Bedeutung überschätzt.
- Im Gegensatz dazu sollte der Einfluss von Sound-
effekten auf die Immersion der Rezipienten stärker
berücksichtigt werden. Besonders die Kombination
von Musik und Soundeffekten führt zu größeren
Effekten bei der empfundenen Immersion und Span-
nung.
- Das Sounddesign eines Films sollte mehr dem Kon-
zept eines visuell unabhängigen Hörspiels folgen. So
gelingt es effektiver, den vollen Umfang des mögli-
chen Hörgeschehens zum Zuschauer zu übertragen
und so bei ihm intensivere und stärkere Emotionen
auszulösen.

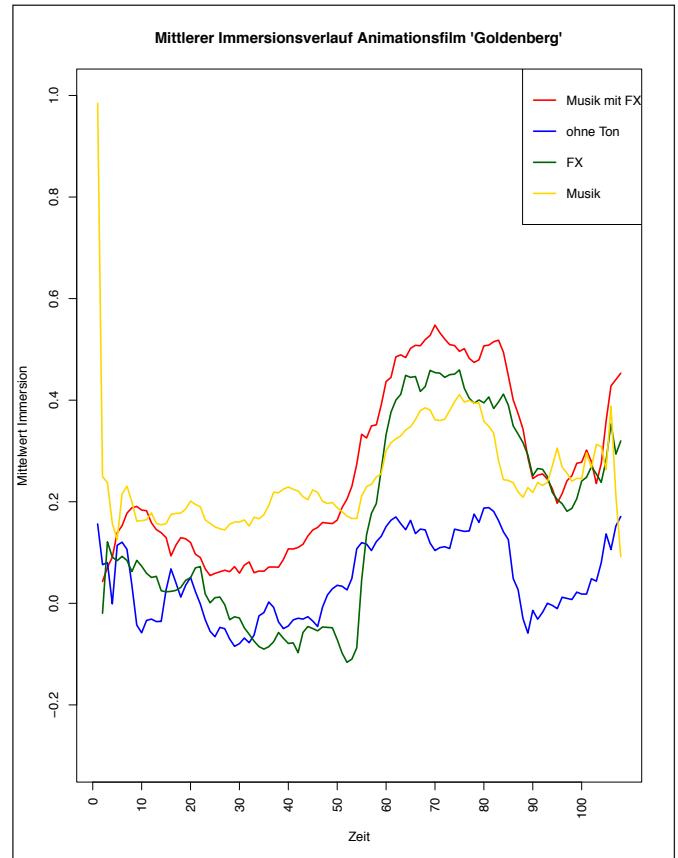


Abbildung 6: Mittlere Mediane der Immersion beim Animationsfilm „Goldenberg“

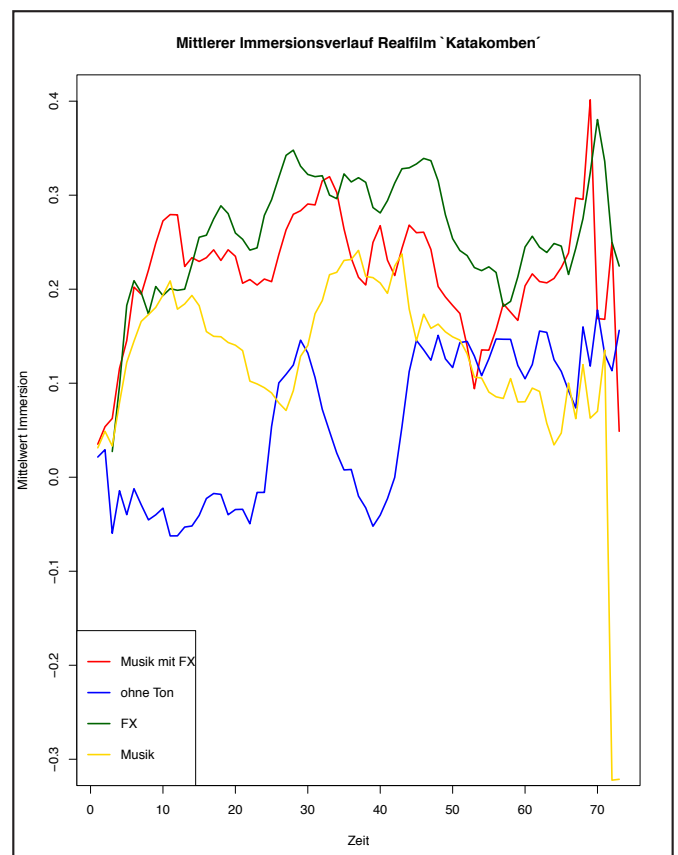


Abbildung 7: Mittlere Mediane der Immersion beim Realfilm „Die Katakomben“

Referenzen:

- [1] Brauch, Mario: Das Sounddesign im deutschen Spielfilm, Tectum-Verlag Marburg, 2012.
- [2] Chion, Michel: Audio-Vision, Schiele & Schön, Berlin 2012.
- [3] Cohen, Anabel J.; MacMillan, Kelti; Drew, Robert: The role of music, sound effects & speech on absorption in a film: The congruence-associationist model of media cognition, Canadian Acoustics, 2006.
- [4] Cohen, Anabel J.: Music as a source of emotion in film, in: „Handbook of Music and Emotion“, Patrik Juslin und John Sloboda, Oxford University Press, 2010.
- [5] Cohen, Anabel J.: Congruence-Association Model and Experiments in Film Music: Toward Interdisciplinary Collaboration, Music and the Moving Image 8.2, Illinois USA, 2015.
- [6] Flückiger, Barbara: Sound Design, Schüren Verlag GmbH Marburg, 2007.
- [7] Hoekstra, Nynke: How to engineer a mood – A study of sound in audiovisual contexts, University of Karlstad, Schweden, 2012.
- [8] Holman, Tomlinson: Sound for Film and Television, Focal Press (Elsevier), Burlington, USA 2010.
- [9] Kock, Maximilian: Der Einfluss unterschiedlicher Audiogestaltung bei gleichem Bewegtbild, Dissertation 2017, erscheint 2018 im Fachverlag Schiele & Schön, Berlin.
- [10] Louven, Christoph & Scholle, Caroline: emoTouch for iPad: A New Multitouch Tool for Real Time Emotion Space Research. In G. Luck & O. Brabant (Eds.), 3rd International Conference on Music and Emotion (p. 70). Jyväskylä, 2013.
- [11] Lynch, David: The monster meets ... Filmmaker David Lynch, Interview, in: „Home Theater Buyer’s Guide“, 1998.
- [12] Raffaseder, Hannes: Audiodesign, Carl Hanser Verlag, München 2010.
- [13] Russell, James A. A Circumplex Model of Affect from Journal of Personality and Social Psychology, Vol 39(6), Dec 1980, Seiten 1.161–1.178.
- [14] Scholle, Caroline & Louven, Christoph (2015): The consistency of continuous ratings and retrospective overall judgements for live performances. In SysMus 15 (p. 43). Leipzig.
- [15] Scholle, Carolin & Louven, Christoph (2017): emoTouch Applikation, 02/10/2017; https://www.musik.uniosnabrueck.de/forschung/musikpsychologie_und_soziologie/forschungsprojekte/emotouch_en.html
- [16] Sonnenschein, David: Sound Design, Michael Wiese Productions, California, USA, 2001.

Abbildungsverzeichnis:

Alle Abbildungen aus: Kock, Maximilian: Der Einfluss unterschiedlicher Audiogestaltung bei gleichem Bewegtbild, Dissertation 2017, erscheint 2018 im Fachverlag Schiele & Schön, Berlin.

Kontakt:



Prof. Dipl.-Ing. Maximilian Kock

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

m.kock@oth-aw.de

ISEK als neuer Weg der kommunalen Entwicklungsplanung – Handlungskonzepte für Kommunen

Zusammenfassung

Ziel von Integrierten Städtebaulichen Entwicklungskonzepten (ISEK) ist, aufbauend auf bisherigen ortsplanerischen Maßnahmen, in einem kooperativen Verfahren unter enger Einbindung der kommunalen Akteure und Entscheidungsträger, insbesondere auch der Bürgerinnen und Bürger, die Weichen für eine nachhaltige kommunale Zukunft zu stellen. In einem ISEK bildet daher ein problemorientierter Ansatz eine entscheidende Rolle als systematische Vorgehensweise, die eine Koordination von Einzelmaßnahmen zum Ziel hat. Damit kommt in einem ISEK neben den stadtplanerischen und stadtentwicklungspolitischen Inhalten bis hin zur Bauplanung und Architektur dem Themenbereich der Wirtschaft – sei dies in der Industrie, im Handwerk, im Zuge des strukturellen Wandels hin zur „Dienstleistungsgesellschaft“ im Tourismus, im Freizeitangebot und vor allem auch im Einzelhandel mit Blick auf die Versorgungsqualität für die Bürgerinnen und Bürger – eine zentrale Bedeutung gerade in Kommunen in den ländlichen Räumen zu.

Der Marktrat des Marktes Eslarn (Bayern, Landkreis Neustadt an der Waldnaab, rd. 2.800 Einwohner) hatte im Einvernehmen mit der Regierung der Oberpfalz, Referat Städtebauförderung, eine ISEK-Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus Prof. Dr. Reiner Anselstetter und Dr. Wolfgang Weber (Institut für Handelsmanagement an der OTH Amberg-Weiden, Weiden), Architekt Dipl.-Ing. (FH) Martin Gebhardt (2G-Architekten, Weiden), Dipl.-Ing. (FH) Werner Heckelsmüller (M-S-H Stadtplanung Meyer-Schwab-Heckelsmüller GbR, Altdorf) und Dipl.-Ing. (FH) Christine Meyer (W. Röth Stadtplaner und Landschaftsarchitekten GmbH, Amberg) mit der Erarbeitung eines „Integrierten Städtebaulichen Entwicklungskonzeptes (ISEK) 2030“ für Eslarn beauftragt, das im März 2017 fertiggestellt worden ist.

Abstract

The objective of Integrated Urban Development Concepts, based on previous planning measures, is to set the course for sustainable local development in a cooperative process, with close involvement of the actors and decision-makers, in particular also the citizens. In an “ISEK”, a problem-oriented approach plays a decisive role, which aims at coordinating individual measures in the sense of a sustainable municipal development policy. In addition to the development policy as well as planning and architecture, an ISEK covers the subject area of the economy - be it in industry, crafts, the service and the retail sector and regional tourism - with importance especially for small towns in rural areas.

The market council of Eslarn (Bavaria, district Neustadt an der Waldnaab, 2.800 inhabitants) commissioned, in agreement with the Regierung der Oberpfalz, Referat Städtebauförderung, an ISEK-team consisting of Prof. Dr. Reiner Anselstetter and Dr. Wolfgang Weber (Institut für Handelsmanagement at OTH Amberg-Weiden, Weiden), Architect Dipl.-Ing. (FH) Martin Gebhardt (2G-Architekten, Weiden), Dipl.-Ing. (FH) Werner Heckelsmüller (M-S-H Stadtplanung Meyer-Schwab-Heckelsmüller GbR, Altdorf) and Dipl.-Ing. (FH) Christine Meyer (W. Röth Stadtplaner und Landschaftsarchitekten GmbH, Amberg) to work out an “Integrated Urban Development Concept (ISEK) 2030” for Eslarn. The concept has been presented in March 2017.

1 Einleitung

Integrierte Städtebauliche Entwicklungskonzepte (ISEK) unterstützen Kommunen vor dem Hintergrund des wirtschaftlichen und demografischen Wandels, ihre Ortsentwicklung konzeptionell und vorausschauend zu bewältigen, verbunden mit neuen Impulsen für die kurz-, mittel- und langfristige Perspektive bis hin zu Visionen für die weitere kommunale Entwicklungsplanung und deren Umsetzung in die Realität. Ziel solcher Konzepte ist es daher, aufbauend auf bisherigen ortsplanerischen Maßnahmen, in einem kooperativen Verfahren unter enger Einbindung der kommunalen Akteure und Entscheidungsträger, insbesondere auch der Bürgerinnen und Bürger, gemeinsam die Weichen für eine nachhaltige kommunale Entwicklung zu stellen. In einem Integrierten Städtebaulichen Entwicklungskonzept bildet damit ein problemorientierter Ansatz eine entscheidende Rolle, also eine systematische Vorgehensweise, die eine Koordination und Abstimmung von Einzelmaßnahmen als Ziel hat, im Sinne der Daseinsvorsorge für die Bürgerinnen und Bürger gerade in ländlichen Regionen wie der nördlichen Oberpfalz.

Damit kommt in einem Integrierten Städtebaulichen Entwicklungskonzept neben den stadtplanerischen und stadtentwicklungspolitischen Inhalten bis hin zur Bauplanung und Architektur dem Themenbereich Wirtschaft – in Industrie, Handwerk, Arbeitsmarkt, Tourismus, Freizeitangebot und Einzelhandel mit Blick auf die Versorgungsqualität für die Bürgerinnen und Bürger – eine zentrale Rolle gerade in Kommunen im ländlichen Raum zu, dem Ansatz zur Erarbeitung eines ISEK 2030 für den Markt Eslarn durch das genannte Planungsteam entsprechend.

2 Ausgangsbedingungen überörtlicher Programme

Die Grundsätze und Ziele, die im Landesentwicklungsprogramm Bayern (LEP) in seiner Fassung vom 22.08.2013 und im Regionalplan für die Planungsregion Oberpfalz-Nord (Planungsregion 6) verankert sind, stellen eine wichtige Ausgangsgröße dar, da beide Planwerke mit dem Rechtsnormcharakter einer Verordnung für die nachgeordneten Planungsträger wie die Kommunen mit Blick auf ihre Ortsentwicklungs- und Bauleitplanung verbindlich im Sinne der Anpassungspflicht sind.

Insbesondere relevant für Eslarn ist § 2 Abs. 2 des LEP 2013 in seiner Aussage, dass die bestehenden Kleinzentren (wie Eslarn), Unterzentren und Siedlungsschwerpunkte als Zentrale Orte der Grundversorgung in Zukunft einem **Grundzentrum** gleichgestellt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das LEP Bayern 2013 nur noch zwei Stufen Zentraler Orte, die Oberzentren und die Mittelzentren, ausweist und die Unter- sowie Kleinzentren zur neuen Kategorie der Grundzentren zusammenfasst. Das LEP betont nach wie vor den Grundsatz der Gleichwertigkeit der Lebens- und Arbeitsbedingungen in allen Teilräumen Bayerns. Ein besonderer Bezug wird auf Arbeitsplätze,

Wohnraum, Einrichtungen der Daseinsvorsorge und die Versorgung mit Gütern hergestellt sowie auf das Prinzip der Nachhaltigkeit und der Ressourcenschonung. Im Vergleich zur vorherigen Fassung des LEP von 2006 wird der demografische Wandel stärker thematisiert, und hier die Verminderung der Abwanderung aus jenen Teilräumen, die hiervon besonders betroffen sind, was insbesondere für das nördliche und nordöstliche Bayern gilt. Dies soll über Arbeitsplätze, die Versorgung mit Einrichtungen der Daseinsvorsorge und attraktive Arbeits- und Lebensbedingungen für alle Altersgruppen erreicht werden sowie über die Standortplanung für staatliche Einrichtungen im Rahmen der Dezentralisierungspolitik. Verstärkt genutzt werden sollen die interkommunale Kooperation, die fachübergreifende Zusammenarbeit, die multifunktionale Verwendung von Einrichtungen sowie ambulante und flexible Versorgungsangebote. Es soll vor allem auch darauf hingewirkt werden, dass die Bevölkerung des Nahbereiches mit Gütern und Dienstleistungen des Grundbedarfs in zumutbarer Erreichbarkeit versorgt wird. Nach wie vor liegt Eslarn im **„allgemeinen ländlichen Raum mit besonderem Handlungsbedarf“**.

Der Regionalplan Oberpfalz-Nord beinhaltet eine Vielzahl von weiteren Aussagen gerade auch für die kommunale Ebene und hier insbesondere auch für die Teilräume in der nördlichen Oberpfalz.

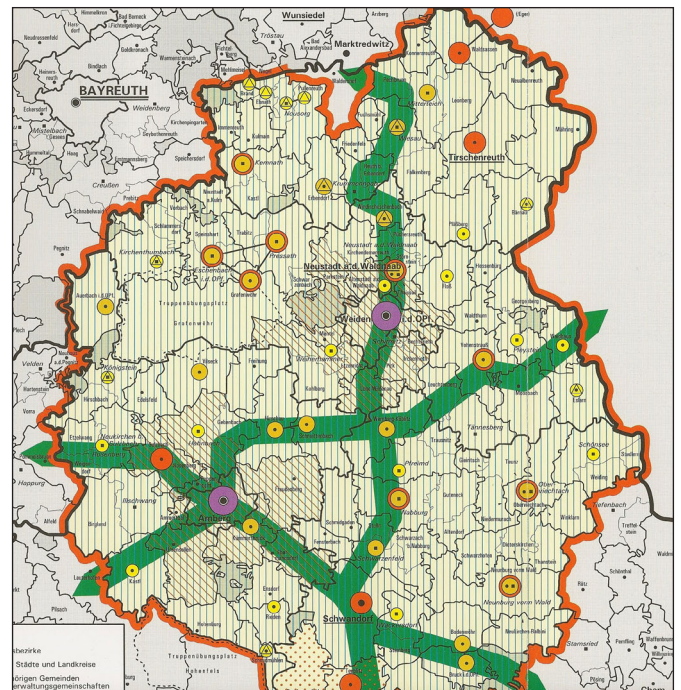


Abbildung 1: Raumstruktur im Regionalplan für die Planungsregion Oberpfalz-Nord (Planungsregion 6)
Quelle: Regierung der Oberpfalz, Regionalplan Region Oberpfalz-Nord (Planungsregion 6), Regensburg 2012

Der Markt Eslarn ist im Regionalplan Oberpfalz-Nord als Zentraler Ort, bisher als „Bevorzugt zu entwickelndes Kleinzentrum“ ausgewiesen, zugehörig zum Mittelbereich Weiden i. d. OPf. (vgl. Regionalplan, Teil A, III, Zentrale Orte). Dies bezieht sich auf die Deckung des Grundbedarfes in Versorgung, Einzelhandel, Arbeit und Dienstleistungen, konkret mit folgenden Zielen für Eslarn verbunden:

- Ergänzung fehlender Grundversorgungseinrichtungen
- Stärkung der Einzelhandelsfunktion
- Stärkung der Arbeitsplatzfunktion

Ein deutlicher Ausbaubedarf für Eslarn wird im Regionalplan in der ärztlichen Versorgung (Gebietsarzt), in der Betreuung der Senioren (Seniorenheim, ambulante Pflegestation) und im Einzelhandel gesehen. Das ISEK setzte insbesondere auch an diesen Zielen an.

3 Bürgerbeteiligung als zentraler methodischer Ansatz

Eine öffentliche Auftaktveranstaltung in der Sporthalle der Grundschule Eslarn diente als einführende Veranstaltung in eine umfassende, kontinuierliche Beteiligung der Öffentlichkeit und der Information der Bürger(innen) im Rahmen der Erstellung des ISEK für den Markt Eslarn. Gleichzeitig wurde ab hier bereits eine frühe Möglichkeit der Bürgermitwirkung im Planungsprozess geboten. Der Termin wurde so gewählt, dass bereits erste Ergebnisse einer vom Planungsteam durchgeführten Befragung aller Haushalte vorgestellt werden konnten. Eine darauf folgende Bürgerwerkstatt diente ebenso dem kreativen Mitgestalten der Zukunft von Eslarn durch die Bürgerinnen und Bürger.

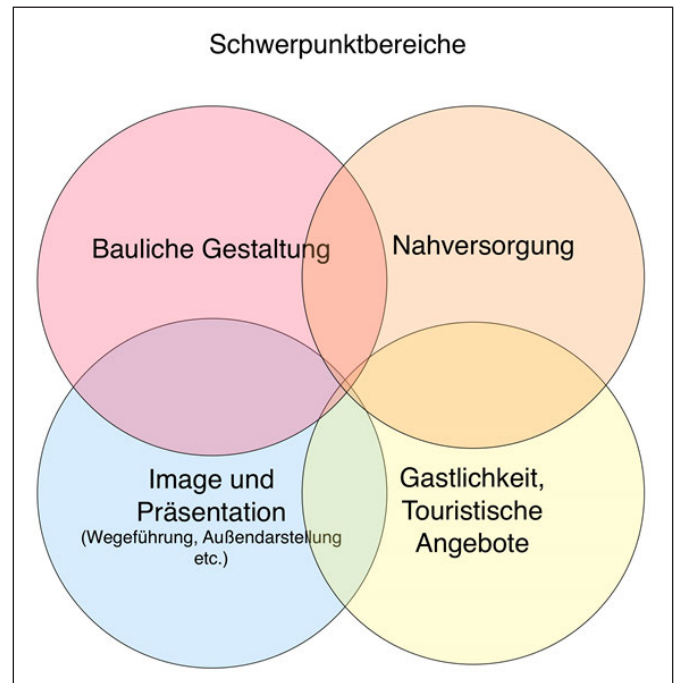


Abbildung 3: ISEK-Schwerpunktbereiche in der Bürgerbeteiligung

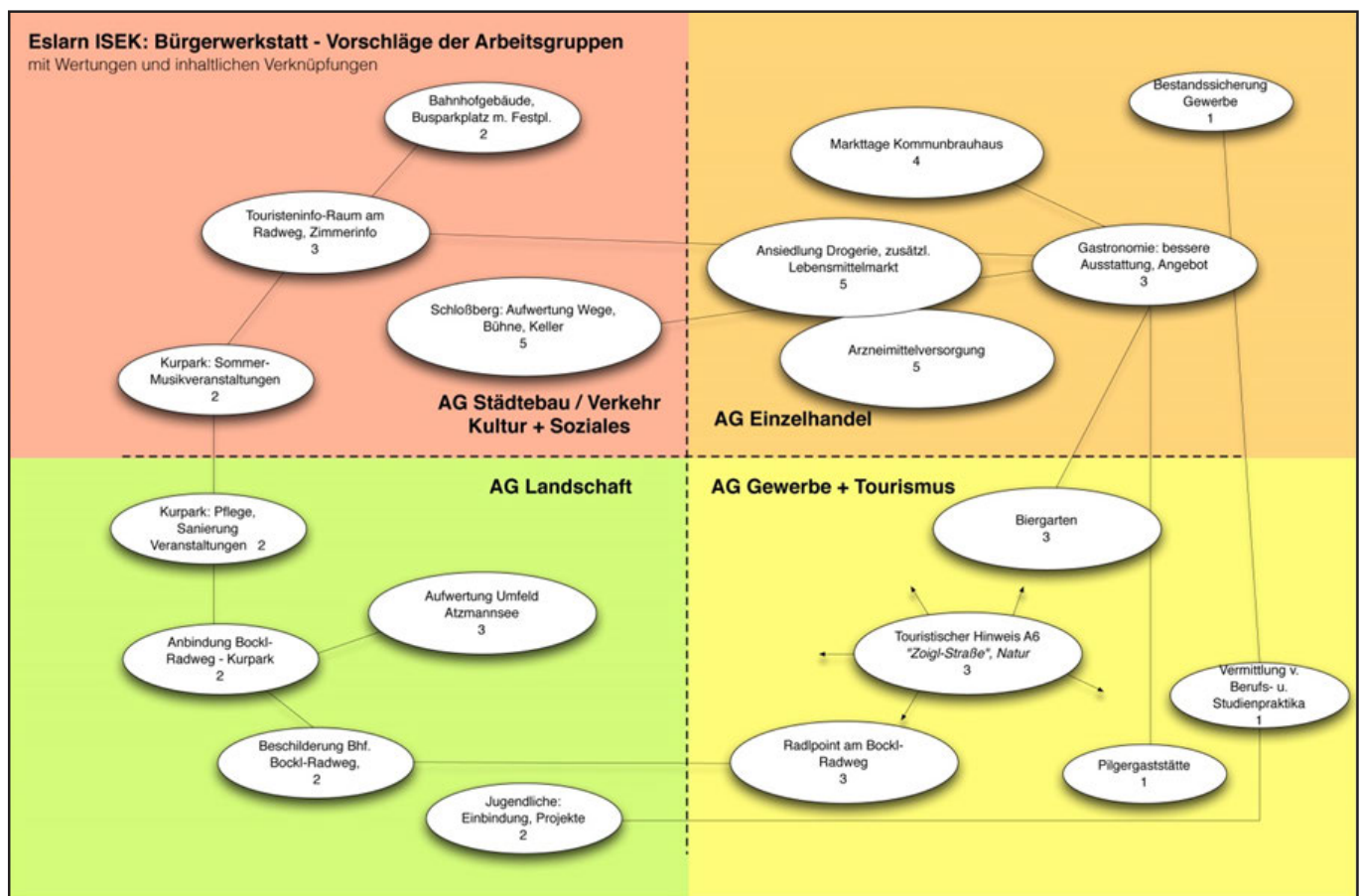


Abbildung 2: Vorschläge der Arbeitsgruppen in der Bürgerwerkstatt Eslarn

Im Anschluss fand eine erste große Bürgerversammlung statt, in der die bisherigen Ergebnisse des Entwicklungskonzeptes der Bevölkerung von Eslarn vorgestellt und diskutiert worden sind. Der Partizipationsprozess

wurde ergänzt um eine Gästebefragung und einen laufenden Austausch zwischen dem Markt Eslarn und dem ISEK-Planungsteam in einer Vielzahl von Lenkungsgruppensitzungen im Rathaus von Eslarn.

4 Ausgewählte ISEK-Strategien: Tourismus und Handel

4.1 Regional orientierter, sanfter Tourismus

Der Markt Eslarn ist ein „Staatlich anerkannter Erholungsort“ mit Lage im „Naturpark Nördlicher Oberpfälzer Wald“. In Eslarn endet der „Bockl-Radweg“, ein 48 km langer Radweg auf der ehemaligen Bahntrasse zwischen Neustadt an der Waldnaab und Eslarn, damit der längste europäische Radwanderweg mit Umnutzung einer früheren Bahnverbindung. Der Bockl-Radweg ist insbesondere auch für Familien überaus geeignet, da er komplett oder in Etappen für Freizeitsportler von der Streckenführung und ihrem Anspruch gut zu bewältigen ist.

Die Hotellerie in Eslarn (Gasthöfe, Pensionen, Privatvermieter) umfasst **24** Quartiere mit insgesamt **38** Betten. 25 Wohnungen bestehen in Ferienhäusern, Ferienwohnungen und Urlaub auf dem Bauernhof. Hinzu kommen die Camping-Stellplätze im Ort (Atzmannsee). Die Übernachtungsquartiere im Markt Eslarn sind von einem Schwerpunkt bei den Kleinvermietern und familiären Strukturen mit weniger als zehn Betten geprägt, was sich auch in der Verteilung der Gästeankünfte und den Übernachtungszahlen ausdrückt. Zusätzlich können für den Tourismus in Eslarn die folgenden Merkmale festgehalten werden:

- Die touristische Nachfrage ist mit rund **12.000 Übernachtungen/Jahr** im Durchschnitt der vergangenen acht Jahre nicht unerheblichen Schwankungen über die Jahre hinweg unterworfen. Hier müssen jedoch auch die Naherholer (ohne Quartier) in die Betrachtungen einbezogen werden, die in ihren Tagesausgaben einen wesentlichen Beitrag zum Einkommen aus dem Tourismus leisten.
- Es besteht – wie im Freizeitverhalten insgesamt zu beobachten – ein Trend hin zu immer kürzeren durchschnittlichen Aufenthaltsdauern der Gäste. In den letzten Jahren sind jedoch stabile Werte in Eslarn festzustellen: **2,2** Tage in den gewerblichen Quartieren und **7,3** Tage bei den Privatvermietern.
- Die Auslastung der Gästebetten beträgt im Durchschnitt der Jahre rd. **9 %**. Sicherlich berechnet sich dieser Wert über alle Quartiere und damit auch unter Einbezug der saisonal belegten Ferienwohnungen bzw. Ferienhäuser. Dennoch ist dies ein Signal, dass die Nachfrage ausbaufähig ist.
- Übernachtungsgäste aus dem Ausland spielen bisher eine eher zu vernachlässigende Rolle im Tourismus des Marktes Eslarn. Dies gilt etwa auch mit Blick auf die benachbarte Tschechische Republik.

Vor diesem Hintergrund wurden in einer Sommersaison 63 Gäste(gruppen) des Marktes Eslarn zu ihrem Urlaubsverhalten und ihrer Einschätzung der Stärken und noch vorhandenen Schwächen des touristischen Angebotes in Eslarn befragt, mit den folgenden wichtigsten Ergebnissen:

- 40 % der befragten Gäste wählten Eslarn zum ersten Mal als Ort für einen Urlaubsaufenthalt. Damit waren 60 % (!) bereits Stammgäste, die sich das zweite Mal für Eslarn entschieden haben (19 %) oder sogar noch häufiger nach Eslarn gekommen sind.
- Der Aufenthalt in Eslarn war weit überwiegend privat motiviert, Geschäftsreisen spielten nur eine untergeordnete Rolle.
- Das wichtigste Verkehrsmittel zum Erreichen von Eslarn war der Pkw, gefolgt vom Wohnmobil und – meist kombiniert – dem Fahrrad. Von geringerer Bedeutung war das Motorrad.
- Alleine im Sinne eines Single-Urlaubs hielten sich nur die wenigsten der befragten Gäste in Eslarn auf (6 %), vielmehr wird mit der Familie (50 %) oder in einer Reisegruppe (44 %) angereist. Bei den Urlaubsgästen, die mit der Familie angereist sind (50 %), setzte sich diese aus zwei Personen, also meist aus einem Ehepaar, zusammen. Eher die Ausnahme bilden Familien mit drei Erwachsenen (etwa mit Verwandtschaft). Auch waren Familien mit Kindern (ein oder zwei Kinder) in der Minderzahl.
- Ein anderes Bild zeigte sich im Falle der Anreise mit einem Freundeskreis oder einer Reisegruppe. In diesem Fall waren Gruppen zwischen zwei und 80 Personen unter den befragten Gästen, darunter eine Reisegruppe aus dem Elsass und der Wohnmobilclub Oberpfalz.
- Die Auswertung des Einzugsbereiches brachte zum Ausdruck, dass dieser in Eslarn keinesfalls regional begrenzt ist, sondern sich vielmehr über ganz Deutschland und mit dem Elsass und Österreich bis in das Ausland erstreckt. Aus dem Elsass kam eine Fahrradgruppe nach Eslarn, die auf dem Paneuropa-Radweg unterwegs war.
- In den Aktivitäten der befragten Gäste kommt der **sanfte Tourismus** deutlich zum Ausdruck. Eine wichtige Rolle spielt das Radfahren, das Wandern, Camping, der Besuch von Sehenswürdigkeiten in der Region (z. B. Parks, Goldlehrpfad, das benachbarte Marienbad und Franzensbad, Museen, Burgen, Städte wie Weiden oder die Landesgartenschau in Tirschenreuth), das Baden und insgesamt die naturnahe, regional orientierte Erholung.

Im Rahmen der Auftaktveranstaltung und der weiteren Beteiligungsrunden erfolgte eine erste Definition von Handlungsfeldern im Tourismus:

- Verstärkte Nutzung des Ankunftspunktes des Bockl-Radweges in seinem touristischen Potenzial sowohl bei Tages- als auch bei Übernachtungsgästen
- Erhöhung der Auslastungsquoten der Übernachtungsquartiere durch den Ausbau des Marketings mit Blick auf zusätzliche Gäste und Gästegruppen und Präsentation der Attraktivität von Eslarn auch für Gäste aus dem Ausland (z. B. Tschechische Republik)
- Ausbau des sanften Tourismus: Wandern, Radfahren, Familienurlaub

- Verstärkte Kooperation im Tourismus mit der benachbarten Tschechischen Republik, insbesondere mit Westböhmen

Im ISEK-Arbeitskreis „Naherholung und Tourismus“ sind diese Handlungsfelder durch Strategien und eine Zeitschiene konkretisiert worden:

- **Priorität 1:** Einrichtung eines **Radpoints** am Ankunftspunkt des Bockl-Radweges in Eslarn im Bereich des früheren Bahnhofes als attraktive Raststation für die Radfahrer. Hiermit verbunden ist eine deutliche Verstärkung des Marketings für die touristischen Angebote in Eslarn von den vorhandenen Übernachtungsquartieren über die Gastronomie, das Kommunbier und das neue Museum bis zum Handel. Zudem Ausschilderung eines Rundweges durch Eslarn unter Einbezug auch der Freizeitanlage Atzmannsee.
- **Priorität 2: Touristischer Hinweis** auf den Markt Eslarn an der Autobahn A 6. Vergleichbar zu Orten wie Pleystein sollte bereits an der Autobahn A 6 eine Information über Eslarn erfolgen, mit Hervorhebung der Tradition als Ort des Zoigls und des Kommunbieres. Hier könnte durchaus der Slogan „Kommunbier-Dorf Eslarn“ genannt werden, ähnlich dem „Glasdorf Arnbruck“ des Unternehmens Weinfurtner im Bayerischen Wald. Vorgeschlagen wurde in diesem Zusammenhang auch die Ausweisung einer **Zoiglstraße** in Kooperationen mit anderen Orten dieser Brautradition, so etwa Neuhaus, Windischeschenbach und Falkenberg. Eine solche Zoiglstraße durch die nördliche Oberpfalz könnte erheblich mehr mit Leben erfüllt werden als eine Glasstraße, die an geschlossenen Unternehmen der früheren Bleikristallindustrie vorbeiführt.
- **Priorität 3:** Wiedereröffnung eines **Biergartens** in Eslarn. Nahezu 95 % der Gastronomie in Eslarn sind in den vergangenen Jahren weggebrochen. Angeregt wurde die Wiedereröffnung des Biergartens der Brauerei Bauriedl in Eslarn und die Eröffnung einer Gastronomie im Zuge der Fertigstellung des **Kommunbier-Museums**.
- **Priorität 4:** Nutzung des Potenzials des **Jakobsweges**. Der Markt Eslarn liegt zusätzlich zu seinem Standort am Bockl-Radweg und am Paneuropa-Radweg auch am Oberpfälzer Jakobsweg. Der zunehmende Trend des Pilgerns könnte daher in Eslarn touristisch genutzt werden, so durch den Ausbau der Infrastruktur für Pilger, eine Spezialisierung eines oder mehrerer Quartiere auf die Gruppe der Pilgerreisenden, eine Pilger-Raststätte oder einen verstärkten Einbezug des Jakobsweges in das touristische Marketing von Eslarn.
- **Priorität 5:** Ausbau der grenzüberschreitenden **ÖPNV-Verbindung** in das benachbarte Westböhmen mit Nutzung für den Tourismus, hier auch zur Partnergemeinde Bělá nad Radbuzou, etwa über einen Shuttlebus als regionales Modellprojekt.

4.2 Sicherung und Ausbau der Handelsversorgung

Fasst man die Situation des Einzelhandels in Eslarn und die damit verbundenen grundsätzlichen Optionen in einem Szenario zusammen, so lassen sie sich wie folgt skizzieren:

Situation und Entwicklung von Angebot und Nachfrage im Einzelhandel in Eslarn

- Örtliche Grund- und Nahversorgung wird durch fehlende Unternehmensnachfolge insbesondere im Bereich Bäcker und Metzger (Handwerkshandel) kurz- bis mittelfristig weiter reduziert.
- Infolge von Geschäftsaufgabe/Schließungen entfallende Angebote der Grundversorgung wie Arzneimittel (Apotheke) und Drogerie-/Körperpflegeartikel können nicht mehr durch Neuansiedlungen kompensiert werden.
- Wohnraumangebote für junge Familien setzen ebenso ein ausreichendes Handelsangebot an Grund-/Nahversorgung voraus wie auch demografische Veränderungen mit einem größeren Anteil älterer Einwohner.
- Zunehmende touristische Erschließung erfordert ein qualitativ gutes Übernachtungs-/Gastronomie-/Serviceangebot und ebenso auch gewohnte Einkaufsmöglichkeiten vor Ort.
- Regionale Besonderheiten und Produktangebote bieten Ansätze zur Eigenversorgung und Profilierung.
- Konsum- und Einkaufsgewohnheiten insbesondere der jüngeren Einwohner unterscheiden sich zunehmend von jenen älterer Mitbewohner.
- Handelsunternehmen treffen Standortentscheidungen primär nach engen wirtschaftlichen Vorgaben und nicht nach „unwirtschaftlichen Versorgungsbedarfen/-lagen“.
- Der „Online-Handel“ nimmt – sortiments- und branchenabhängig – zu und bedrängt zunehmend stationäre Anbieter.

Konsequenzen

- Kaufkraftverlust durch weitere Verlagerung von Kaufkraftströmen der Einwohner Eslarns zu regionalen und überregionalen Anbietern und Standorten
- Weitere Leerstände durch Geschäftsaufgaben
- Verlust an örtlicher/regionaler/überregionaler Attraktivität
- Verstärkung demografischer Problematik

Handlungsfelder und Maßnahmen

- Vorbeugende – auch kommunale – Klärung und Unterstützung bei Nachfolgeregelungen/-planungen im Handwerkshandel zur Stabilisierung/Sicherung der Grundversorgung
- Ausbau und Konzentration des „regionalen Handels“/Handels mit regionalen Produkten, z. B. durch zentrale Marktveranstaltungen im Rahmen „Kommunbrauhaus“, ggf. „Anleihe“ Dorfladen
- Einrichten eines örtlich zentralen Bestell-/Anliefer-/Abholpunktes für online bestellte Waren, z. B. bei fehlendem örtlichen/stationären Händler (Bsp. ehemalige Schlecker-Filiale)
- Sicherung Standort-/Raumauslastung/Reduzierung Leerstände durch „temporäre“ Handelsnutzungen (siehe auch Aktionen „Leerstandsinitiative Brückenland Bayern-Böhmen“)

Leitlinien Einzelhandelskonzept Eslarn

Aus diesem Szenario lassen sich die Anforderungen an die Einzelhandelsentwicklung in Eslarn zu den folgenden **vier Leitlinien** zusammenfassen:

- Sicherung und Stabilisierung der zentralen Grund- und Nahversorgung
- Reduzierung von Sortimentsdefiziten und Kaufkraftabflüssen
- Entwicklung der Bestandsimmobilien/Leerstandsimmobilien und Standortoptimierung
- Nutzen von Potenzialen durch Kooperation Handel, Gastronomie, Tourismus

Sicherung und Stabilisierung der zentralen Grund- und Nahversorgung

Die Analyse der Angebots- und Nachfragesituation zeigte, dass die Grundversorgung in Eslarn ausreichend vorhanden ist und von den Bürgern als gut beurteilt wird. Diese Grundversorgung gilt es zu sichern und zu stabilisieren. Insbesondere durch die Versorgungslagen innerhalb der Stadt sind selbst im fußläufigen Bereich ausreichende, wenn auch qualitativ unterschiedliche Nahversorgungsmöglichkeiten gegeben. Besonders im Bereich der Kleinanbieter des Handwerkshandels kann sich erfahrungsgemäß die Angebotssituation eher kurz- bis mittelfristig ändern, sodass dieser Bereich besonders beachtet werden muss, um rechtzeitig auf mögliche Gefährdungssituationen und Versorgungsdefizite reagieren zu können. Insbesondere gilt dies auch für die Handelsstandorte im innerörtlichen Bereich. Im zentralen innerörtlichen Bereich wäre eine Sortimentsanreicherung in den von den Bürgern bevorzugt angesprochenen Bereichen zwar sinnvoll, der Kaufkraft und Objekt-/Flächenpotenziale wegen aber nur sehr bedingt möglich. Bei der Nutzung von Leerständen/Revitalisierungen von Brachflächen sollten

besonders weitere Ergänzungen/Abrundungen im Dienstleistungsbereich vorgesehen werden.

Folgte man den Ergebnissen der Bürgerbefragung, so ergäben sich insbesondere folgende Ansätze und qualitative Nachfragepotenziale, deren Bedarf aber „subjektiv“ unterschiedlich dringlich erscheint:

Tabelle 1: Sortimentsbedarfe und Nachfragepotenziale in Eslarn

Nachfrage/Potenziale	Bedarf		
	Dringend	Sehr hoch	Hoch
Bekleidung/Textilien			X
Schuhe/Lederwaren			X
Vollsortimenter Lebensmittel	X		
Drogeriemarkt	X		
Apotheke	X		
Bücher/Schreibwaren/Geschenkartikel			X

Nach Meinung der Bürger gibt es auch im Bereich der Grundversorgung (Wunsch nach Vollsortimenter und Drogeriemarkt) Defizite und zusätzliche Bedarfe. Es werden aber auch Angebote im aperiodischen, d. h. längerfristigen Bereich teilweise sehr deutlich vermisst. Deshalb decken die Bürger von Eslarn diese Bedarfe aktuell überwiegend in den Oberzentren, insbesondere in Weiden, oder bei großen überregionalen und weiter entfernt liegenden Anbietern. Diese Lücken lassen sich aber nur in dem Maße schließen, wie Handelsunternehmen aus diesen Branchen in Eslarn ein ausreichendes Potenzial sehen. Dieses müsste punktuell und sortimentsabhängig neben der örtlichen Kaufkraft besonders in Lagevorteilen gesehen werden. Dies wird erfahrungsgemäß bei nationalen/internationalen Handelsunternehmen/Filialisten eher auszuschließen sein. Hinzu kommt, dass vorhandene Flächenpotenziale nicht mit den Anforderungen von Händlern aus diesen Sortiments-/Angebotsbereichen übereinstimmen.

Entwicklung der Bestandsimmobilien/Leerstandsimmobilien und Standortoptimierung

Die Bestandsaufnahme der Handelsflächen in Eslarn zeigte insbesondere auch, dass Anbieter ihre Standortqualitäten verbessern müssen. Besonders auch im Lebensmittelhandel stellen Kunden inzwischen hinsichtlich Warenpräsentation und Ladenlayout/-einrichtung zunehmend höhere Ansprüche. Dies gilt auch für den Discountbereich. Deshalb überprüfen Einzelhändler im

Rahmen vertrieblicher und konzeptioneller Optimierungen z. B. ihre Flächen- und Raumpotenziale sowie alternative Standorte mit besserer Lagequalität. Grundsätzlich empfiehlt es sich deshalb, die Bedarfe der ansässigen Händler insoweit zu unterstützen, als sie in erster Linie der Aufrechterhaltung und Stabilisierung der Grundbedarfe am aktuellen Standort dienen.

Nutzen von Potenzialen durch Kooperation Handel, Gastronomie, Tourismus

Kooperationspotenziale liegen insbesondere in der stärkeren Verbindung und Einbindung der touristischen Angebote in den Markt Eslarn. Dies gilt bevorzugt für Freizeitangebote. Ziel muss sein, Touristen in das Ortszentrum von Eslarn zu „bewegen“ und dort insbesondere ein attraktives Angebot an Gastronomie anzubieten. Entsprechende Ansatzpunkte wurden im Rahmen der Stadtentwicklung und in den Ausführungen zum Thema „Tourismus“ skizziert. Auch die vorhandenen sowie neuen

Handelseinrichtungen müssen bevorzugt auf diesen „Integrations-/Nutzungsaspekt“ achten und ihre Angebote entsprechend profilieren.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Kernaufgabe eines ISEK ist das Aufzeigen von Potenzialen und Entwicklungschancen, verbunden mit Ideen für konkrete Maßnahmen. Das ISEK Eslarn ist auf einen langen Zeitraum ausgelegt: 2030 stand und steht auf allen Unterlagen. In einer solchen Zeitspanne kann vieles geschehen: Wertvolles bewahren und Neues zulassen. Es zeigte sich: Eslarn hat enormes Potenzial und Charme! Monitoring und Evaluation werden eine Schlüsselfunktion zur Umsetzung des ISEK und zur Koordination mit Förderprogrammen, Institutionen und allen weiteren Akteuren haben. Damit wird es dem Markt Eslarn sicher gelingen, seine kommunale, städtebauliche Zukunft auch weiterhin aktiv zu gestalten.

Aktuelle Referenzen im Bereich der kommunalen Entwicklungsplanung:

- [1] Anselstetter, R., Weber, W., Gebhardt, M., Heckelsmüller, W., Meyer, Ch. (Arbeitsgemeinschaft ISEK Eslarn): Eslarn 2030 – Integriertes Städtebauliches Entwicklungskonzept (ISEK) Eslarn, Weiden i. d. OPf. / Eslarn 2017
- [2] Anselstetter, R., Weber, W., Brey, K., Brummer, W.: Integriertes Städtebauliches Entwicklungskonzept (ISEK) für die Stadt Hirschau in der Oberpfalz, Amberg/Dresden/Weiden i. d. OPf. 2014
- [3] Anselstetter, R., Weber, W.: Auswirkungs- und Verträglichkeitsanalyse sowie bauplanungsrechtliche Beurteilung der Ansiedlung eines neuen Einzelhandelsprojektes der Unternehmen Edeka und Rossmann im südlichen Zentrum der Stadt Hirschau (Oberpfalz), Weiden i. d. OPf. 2013
- [4] Anselstetter, R., Weber, W.: Lokale Entwicklungsstrategie (LES) des Landkreises Neustadt an der Waldnaab als Grundlage für den Einbezug in das LEADER-Programm der Europäischen Union 2014–2020, Weiden i. d. OPf. 2014
- [5] Anselstetter, R., Weber, W.: Kreisentwicklungskonzept des Landkreises Neustadt an der Waldnaab: Zukunfts-Strategien des regionalen Managements und regionalen Marketings, Weiden i. d. OPf. 2015

Projektpartner:

2G-Architekten, 92637 Weiden

M-S-H Stadtplanung, Meyer-Schwab-Heckelsmüller GbR, 90518 Altdorf

W. Röth Stadtplaner und Landschaftsarchitekten GmbH, 92224 Amberg

Fördergeber:

Regierung der Oberpfalz, 93047 Regensburg

Markt Eslarn, 92693 Eslarn

Kontakt:



Prof. Dr. Reiner Anselstetter

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Handelsmanagement (IHM)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.anselstetter@oth-aw.de



Dr. Wolfgang Weber

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Handelsmanagement (IHM)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

w.weber@oth-aw.de



Förderverein der OTH Weiden e. V.

Wir sind ein Zusammenschluss von Bürger(innen), Institutionen, Unternehmen und Körperschaften in der Oberpfalz.

Die OTH wird von uns in Bereichen unterstützt, wo öffentliche Mittel nicht oder nicht ausreichend zur Verfügung stehen, vor allen für die Projekte, Studienförderung, Fachzeitschriften oder Exkursionen.

Wir sind gemeinnützig und haben folgende wesentliche Ziele:

- Ideelle und materielle Unterstützung der OTH
- Förderung des OTH-Bildungsauftrages
- Ausbau enger Bindungen zwischen Hochschule und Praxis

Wir freuen uns über Ihren Beitritt!

Notar Dr. Damian Wolfgang Najdecki
1. Vorsitzender
Goethestraße 8, 92637 Weiden
Telefon: 0961/390320
www.foerderverein-oth-weiden.de



» Elektrisierend.
smart electric drive.
Bei Widmann.

widmann

Autohaus Widmann GmbH & Co. KG
Autorisierter smart Verkauf und Service
92637 Weiden i.d.OPf., Am Wörnigraben 2
Telefon 0961.4 8184-0
www.widmannbewegt.de

Anbieter: Autohaus Widmann GmbH & Co. KG, Am Wörnigraben 2, 92637 Weiden



Ostbayerische
Technische Hochschule
Amberg-Weiden



STUDIUM UND BERUF – NA KLAR!

Berufsbegleitende Studiengänge

- › Betriebswirtschaftslehre (B.A.)
- › Angewandte Wirtschaftspsychologie (M.A.)
- › Digital Business Management (MBA)
- › Technologiemanagement 4.0 (MBA)
- › Steuerrecht und Steuerlehre (LL.M.)

OTH
Professional

oth-professional.de



Verein der Amberger Freunde der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Seit 1995 unterstützt der Verein die Entwicklung der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden durch ideelle und finanzielle Beiträge, die durch das Budget nicht abgedeckt sind. Für Prämien besonderer Leistungen der Studierenden, für Zuschüsse bei Forschungsprojekten, für die Realisierung des Technologiecampus.

Mit Ihrem Beitritt als Unternehmen oder Privatperson leisten Sie einen wichtigen Beitrag zur regionalen Stärkung des Standortfaktors Bildung und Ausbildung.

Besuchen Sie unsere Homepage über
www.oth-aw.de/forschen-und-kooperieren/partner-netzwerke

Dr. Erich Voss, 1. Vorsitzender,
Ammerthaler Straße 10, 92260 Ammerthal,
Telefon 09621/25275
E-Mail: freunde.oth-amberg@oth-aw.de

Personalwesen in der Region – quo vadis?

Ibrahim Kaçmaz, M.A. HRM
Dr. Gabriele Murry, MBA (USA), MHR (USA)
Prof. Dr. Bernt Mayer

Zusammenfassung

Als Basis für ein Personalforum der Region wurden Unternehmen bzgl. ihrer Human-Resource- (HR-)Prozesse befragt. Während viele personalpolitische Instrumente von den Unternehmen schon gut umgesetzt und häufig angewandt werden, so scheinen doch einige Bereiche wie z. B. Rekrutierungsmaßnahmen, Employer Branding, Auslandsentsendungen und Personalcontrolling optimierungsbedürftig.

Abstract

As a basis for a Network of Human Resource (HR) Practitioners, companies of the region were asked in reference to their HR processes. While many of the personnel instruments were used quite appropriately, some areas appear to require attention in order to optimize them, such as recruiting, employer branding, foreign deployments, and personnel controlling.

1 Einleitung

Um ein aktives Netzwerk von Personalerinnen und Personalern der Region zusammenzubringen sowie den aktuellen Stand der verschiedenen genutzten HR-Maßnahmen und -Aktivitäten zu erheben, entwickelten die Autorin und die Autoren gemeinsam einen Fragebogen. Zielsetzung war – getreu dem Motto der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden „Aus der Region, für die Region“ –, einen Mehrwert für die regionalen Unternehmen zu schaffen, der durch einen Ausbau des Netzwerks, der hochschulischen Projektarbeit sowie auch durch das Teilen von Best-Practice-Beispielen entstehen kann.

2 Methodische Vorgehensweise

Zur Ermittlung der eingesetzten HR-Tools wurde ein Online-Fragebogen nach wissenschaftlichen Standards auf der Plattform SurveyMonkey erstellt. Der Fragebogen war ab dem 12. Juni bis zum 04. September 2017 freigeschaltet. Die ursprüngliche Einladungsmail ging an ausgewählte Unternehmen in der nördlichen Oberpfalz sowie in Oberfranken. Davon fanden 53 Unternehmen die Zeit, sich mit der Beantwortung der Fragen auseinanderzusetzen; weitere 30 wollen sich aktiv an dem Aufbau eines Personalforums beteiligen und in den Verteiler für einen Newsletter aufgenommen werden.

Der Fragebogen wurde bewusst einfach gehalten, bestand aus insgesamt 13 Fragen und ging hauptsächlich auf eingesetzte HR-Methoden unter Mehrfachbeantwortung ein. Hier ging es primär um die Erfassung und gegebenenfalls um die Sensibilisierung bezüglich weiterer möglicher HR-Tools und Unternehmensstandards.

Die Rubriken des Fragebogens befassten sich mit den genutzten Rekrutierungskanälen sowie auch den eingesetzten Onboarding-Methoden, nachdem eine Rekrutierung erfolgreich stattgefunden hat. Ebenso wurde der Fortschritt der Digitalisierung im HR-Bereich detailliert abgefragt. Weiterhin wurde erhoben, inwieweit Mitarbeiterentwicklungsmaßnahmen sowie auch die Mitarbeiterbindung in den befragten Unternehmen betrieben wird. Ein weiterer wichtiger Punkt der Umfrage betraf die Einbindung von HR in Unternehmensprozesse sowie auch die Begleitung von strategischen Entscheidungen. Letztendlich wurden Personalcontrolling-Aspekte und die Erhebung von HR-Kennzahlen bei den jeweiligen Unternehmen abgefragt.

3 Diskussion der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in den beim Fragebogen dargestellten Rubriken, die gewöhnlich auch dem

Personalkreislauf folgen. Unter den 53 teilnehmenden Unternehmen gab es nur ein Unternehmen mit bis zu 50 Mitarbeitern; alle anderen verteilten sich wie folgt (siehe Abbildung 1):

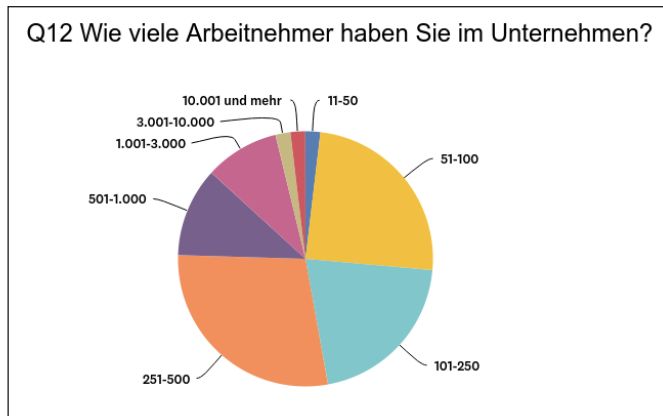


Abbildung 1: Anzahl der Beschäftigten in den befragten Unternehmen

3.1 Rekrutierung

Die 53 befragten Unternehmen nutzen ihren Angaben zufolge unterschiedliche Rekrutierungskanäle, wobei überwiegend traditionelle Kanäle wie die Bundesagentur für Arbeit, Printmedien, Jobbörsen und Karrierewebsites von den Unternehmen genutzt werden. Erstaunlicherweise scheinen die Mitarbeiterempfehlung und die Agentur für Arbeit in den meisten Betrieben eine große Rolle zu spielen; dies mag besonders im gewerblichen Bereich Bedeutung haben. Dagegen spielen Talentpools, unternehmensinternes Talentmanagement sowie Active Sourcing nur eine geringfügige Rolle. Wenngleich Hochschulmessen und Kooperationen mit Hochschulen teils gelebt werden, so besteht auch hier durchaus noch Ausbaufähigkeit, entweder durch das Personalforum oder aber durch aktive Projekte gemeinsam mit Vertiefungskursen in den jeweiligen Studienangeboten (siehe Abbildung 2).

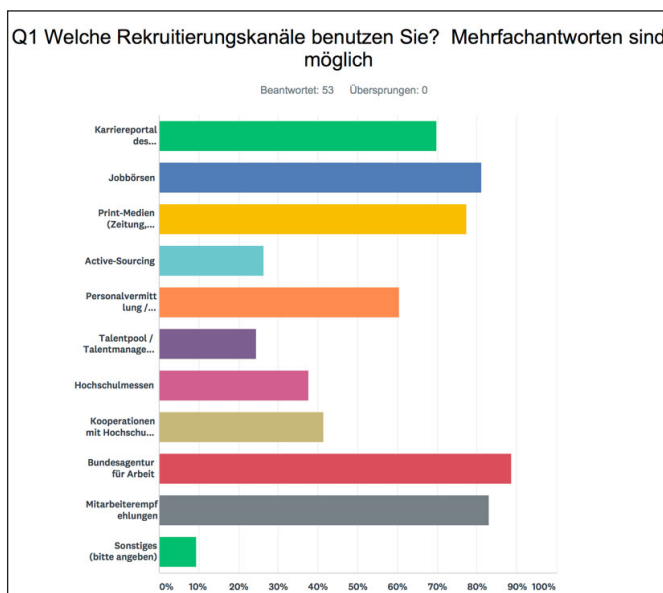


Abbildung 2: Nutzung der Rekrutierungskanäle

Mit der Präferenz der Printmedien in den Stellenausschreibungen lässt sich die hohe Bedeutung des postalischen Bewerbungseingangs erklären (98 %). Auf gleicher Höhe liegt der Bewerbungseingang per E-Mail. Obwohl die Digitalisierung immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist es vor allem in strukturschwachen Gegenden wie der Oberpfalz äußerst empfehlenswert, Bewerbungseingänge über digitale Schnittstellen nicht zu vernachlässigen. Hier zeigt sich allerdings, dass nur 32 % der Unternehmen ein Karriereportal nutzen; nur 16 % nehmen Bewerbungen via XING an.

In Bezug auf Einstellungsverfahren nutzen die befragten Unternehmen insbesondere das offene Einstellungsgespräch sowie auch die Probearbeit mit jeweils 81 %. Strukturierte Interviews, die im Normalfall verhaltensbasiert ablaufen sollten [1], werden mit 58 % erfreulich häufig genutzt. Hier ist allerdings aufgrund der Erfahrung der Autorin und der Autoren davon auszugehen, dass der Begriff nicht ganz trennscharf verstanden wurde und hier unter Umständen noch ein großer Optimierungsbedarf besteht. Arbeitsproben (34 %), Einstellungstests (32 %) sowie Assessment Center (21 %) werden relativ selten genutzt, wogegen kognitive Tests, Persönlichkeitstests sowie auch Diskussionsrunden alle im einstelligen Prozentbereich angesiedelt sind.

3.2 Employer Branding

Die Arbeitgebermarke, die sich mit der Darstellung als Arbeitgeber nach außen sowie innen befasst [2], wird von den befragten Unternehmen über Facebook (68 %) als meistgenutztes Medium kommuniziert. Bewertungsplattformen der sozialen Medien wie Kununu (16 %) und Glassdoor (2 %) werden nur geringfügig genutzt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Employer Branding Maßnahmen

ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
Radio	10,00%
Facebook	68,00%
Kino	10,00%
Xing	22,00%
Plakatwerbung	24,00%
Sponsoring von Sportvereinen	40,00%
Sponsoring von kulturellen Events	34,00%
Sponsoring von sozialen Einrichtungen (z.B. Kindergarten)	30,00%
Hochschulen	46,00%
Bewerbertrainings an Hochschulen	6,00%
Bewerbertrainings an Schulen	14,00%
Projekte mit Hochschulen	30,00%
Projekte mit Schulen	48,00%
Glassdoor (Arbeitgeberbewertungsplattform)	2,00%
Kununu (Arbeitgeberbewertungsplattform)	16,00%
Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen 6,00%
Befragte gesamt: 50	

3.3 Onboarding

Nach einem erfolgreich durchlaufenen Rekrutierungsprozess sollten die neu eingestellten Mitarbeitenden einen Onboarding-Prozess durchlaufen [3]. Hier geben die befragten Unternehmen an, dass strukturierte Einarbeitung (68%), regelmäßige Feedbackgespräche (60%) und Schulungsmaßnahmen (55%) die am meisten genutzten Onboarding-Methoden sind. Im Mittelfeld lagen Patenprogramme (40%) und unstrukturierte Einarbeitung (34%). Obwohl viele Unternehmen den Fokus auf die strukturierte Einarbeitung setzen, wird das klassische Organisationshandbuch nur von 26% der Unternehmen im Rahmen des Einarbeitungsprogrammes gezielt eingesetzt. Somit werden die neuen Mitarbeitenden vorerst nichts anderes machen können, als die neuen Arbeitsabläufe vorerst selbst zu protokollieren. Trotz der zunehmenden Digitalisierung setzen die Unternehmen der Oberpfalz und Oberfrankens noch nicht auf digitale Tools zur Einarbeitung, was sich bei E-Learnings (8%), Webinaren (4%) und Apps (0%) abbildet.

3.4 Mitarbeiterbindung

Da Mitarbeiterfluktuation einen hohen Kostenaspekt darstellt, ist eine zielgerichtete Mitarbeiterbindung eine unabdingbare Aufgabe der HR-Verantwortlichen und Führungskräfte eines Unternehmens [4]. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten, Mitarbeitende an ihr Unternehmen zu binden, wobei zwischen materiellen und immateriellen Anreizen differenziert werden kann [5].

Tabelle 2: Mitarbeiterbindungsmaßnahmen

ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
▼ Gewinnbeteiligung (Prämien, Bonus)	44,23%	23
▼ Work-Life-Balance	26,92%	14
▼ Betriebliches Gesundheitsmanagement	50,00%	26
▼ Familienfreundliche Arbeitsplätze	36,54%	19
▼ Flexible Arbeitszeiten	71,15%	37
▼ Gutes Unternehmensklima	65,38%	34
▼ Gute und gesunde Führung	46,15%	24
▼ Faire Entlohnung	65,38%	34
▼ Moderne Arbeitsmittel	53,85%	28
▼ Umsetzung von Maßnahmen aus Mitarbeiter-Gesprächen und Anregungen	73,08%	38
▼ Aufzeigen von Perspektiven	53,85%	28
▼ Vielseitige Arbeitsaufgaben	75,00%	39
▼ Sabbatical / Sabbatjahr	5,77%	3
▼ Kontakthaltemaßnahmen während der Elternzeit	32,69%	17
▼ Weiterbildungsförderung	80,77%	42
▼ Regelmäßiges, konstruktives Feedback	50,00%	26
▼ House-Keeping (Haushaltsnahe Dienstleistungen; z.B. Einkaufen für den Privatbedarf, Wäsche aus der Reinigung abholen)	1,92%	1
▼ Relaxing-Räume	7,69%	4
▼ Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen	3,85%
Befragte gesamt: 52		

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, stellen die Weiterbildungsförderung (81%), vielseitige Arbeitsaufgaben (75%), Umsetzung von Maßnahmen aus Mitarbeitergesprächen (73%) und flexible Arbeitszeiten (71%) die wichtigsten Mitarbeiterbindungsmaßnahmen bei den befragten Unternehmen dar. Im gering genutzten Spektrum der angebotenen Maßnahmen finden sich Initiativen, welche die Work-Life-Balance unterstützen, z. B. Relaxing-Räume (8%), das Sabbatical (6%) und Housekeeping-Services (2%). Hier ist davon auszugehen, dass besonders Arbeitgeber in einer strukturschwachen Region vermehrt solche Angebote offerieren und aktiv kommunizieren sollten, um sich mittels einer Unique Selling Proposition (USP) als attraktiver Arbeitgeber positionieren zu können.

3.5 Mitarbeiterentwicklung

Wenngleich Mitarbeiterbindung natürlich auch durch Mitarbeiterweiterentwicklung entstehen kann, so wurde diese Rubrik bewusst separat abgefragt, da die Personalentwicklung auch stark in die strategische Personalarbeit und -planung mit einfließt [6].

Hierbei sind die häufigsten Mitarbeiterentwicklungsmaßnahmen Schulungen (94%) und Weiterbildungen (89%). Während die Laufbahntwicklung für Führungskräfte (34%) in den befragten Unternehmen relativ etabliert scheint, so sind die Fachlaufbahn (21%) und die Projektlaufbahn (13%) wesentlich seltener verbreitet. Erstaunlich ist die doch recht hohe Nutzung von Auslandsentsendungen (32%) zum Zwecke der Personalentwicklung; laut Dowling, Festing & Engle Sr. ist zu beobachten, dass gut entwickelte Mitarbeitende vom Auslandseinsatz in das entsendende Unternehmen zurückkehren und ihre neuen Kompetenzen nicht ausschöpfen können bzw. die Entsendung keinen fachlichen Mehrwert liefert [7]. Ebenfalls bieten Mentoring-Programme (17%) durchaus noch Potenzial zur weiteren Nutzung, wogegen Hospitation (4%) und Supervision (2%) in der Region noch nicht recht angekommen zu sein scheinen.

3.6 Personalcontrolling

Auf der Ebene des Personalcontrollings werden verschiedene Kennzahlen (Key Performance Indicators = KPIs) gemessen, wobei insbesondere die klassische Analyse der Krankheitstage (94%) an erster Stelle steht. Eine weitere bedeutsame Kennzahl ist die Mitarbeiterfluktuation (73%). Hier erscheint es offensichtlich, dass die leicht zu erhebenden KPIs standardmäßig von den meisten Unternehmen berechnet werden (z. B. Anzahl der Bewerbungen), aber komplexere KPIs wie z. B. die Trainingstage je Mitarbeiter/-in nicht nachverfolgt werden. Dies mag ebenfalls ein Indiz für eine sehr geringe Digitalisierungsquote sein, da die meisten dieser Kennzahlen sonst relativ einfach per Knopfdruck abgerufen werden könnten.

Tabelle 3: Personalcontrolling

ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
▼ Krankheitstage	94,23%
▼ Interne Besetzungen von Stellen	32,69%
▼ Anzahl der Bewerbungseingänge auf ausgeschriebene Stellen	57,69%
▼ Anzahl der Trainingstage je Mitarbeiter je Jahr	25,00%
▼ Anzahl der geleisteten Mehrarbeit je Mitarbeiter	63,46%
▼ Zeit von der Ausschreibung bis zur Stellenbesetzung (Time-to-Fill)	19,23%
▼ Mitarbeiterfluktuation nach Organisationseinheit	38,46%
▼ Mitarbeiterfluktuation im gesamten Unternehmen	73,08%
▼ Erfolg der einzelnen Rekrutierungskanäle	32,69%
▼ Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen 3,85%
Befragte gesamt: 52	

3.7 Digitalisierung

Diese Annahme der geringen Digitalisierungsquote wird bestätigt, da 86 % der Unternehmen eine Personalakte in Papierform führen. Die digitale Personalakte (32 %) wird im gleichen Umfang für das Bewerbermanagement genutzt, wogegen die anderen Möglichkeiten der Management-Self-Services (MSS, 24 %) und Employee-Self-Services (ESS, 18 %) nur in geringerem Umfang verwendet werden. Wenngleich der Datenschutz besonders in Deutschland die Rahmenbedingungen erschweren mag, so sei den Unternehmen trotzdem geraten, den digitalen Anschluss zumindest ab einer gewissen Größenordnung nicht zu verpassen.

3.8 Durchführung von Change Management

Nach dem HR Business Partner Modell von Dave Ulrich ist eine Rolle von HR die Begleitung von Veränderungsprozessen [8]. In diesem Bereich wurde überprüft, inwieweit die Unternehmen der Region dieses Potenzial der Mitwirkung schon ausschöpfen. Erfreulicherweise gaben hier 58 % der befragten Unternehmen an, dass ihre HR-Abteilungen aktiv von anderen Unternehmenseinheiten angefragt werden, um Change-Prozesse zu begleiten. Bei lediglich 21 % der Personalabteilungen wird die angebotene Unterstützung von Change-Management-Prozessen nicht abgerufen. Insgesamt sind allerdings in nur 8 % der Unternehmen die HR-Abteilungen in die Moderation von Veränderungsprozessen eingebunden.

3.9 Einbindung in Strategieprozesse

Ein weiterer Aspekt nach Dave Ulrich ist die Aufgabe von HR als strategischer Partner [8]; auch diese Rolle wurde durch eine Rubrik im Fragebogen erhoben. Hier bietet sich wieder ein ähnliches Bild wie bei den unterstützten Veränderungsprozessen, da gut 60 % der HR-Abteilungen in strategische Entscheidungen eingebunden sind oder dahingehend beraten. Eine Schwachstelle scheint hier allerdings das noch selten betriebene Trend Scouting (24 %) zu sein, das durchaus dazu dienen kann, frühzeitig auf notwendige Entwicklungen und sich abzeichnende Bedingungen im Unternehmensumfeld aufmerksam zu werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Einbindung in Strategieprozesse

ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
▼ Einbindung der Personalabteilung	61,22%
▼ Beobachtung von Trends durch die Personalabteilung	48,98%
▼ Ableitung neuer Trends oder Bedarfe (Trend Scouting) durch die Personalabteilung	24,49%
▼ Strategische Weiterentwicklung der Belegschaft durch Maßnahmen	48,98%
▼ Beratung der Abteilungsleitungen bzgl. Organisations- und Personalentwicklung	63,27%
▼ Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen 4,08%
Befragte gesamt: 49	

4 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Umfrage stellen sich die teilnehmenden Unternehmen als fortschrittlich und gut aufgestellt dar, was sich vor allem in ihrer soliden HR-Arbeit im Bereich der Mitarbeiterrekrutierung sowie auch der Onboarding-Programme abzeichnet.

Vermeehrt sollten Unternehmen den Fokus auf aktives Employer Branding und dessen Kommunikation setzen und die Kooperationen mit (Hoch-)Schulen in Form von Projekten und Bewerbertrainings forcieren. Auch im Rahmen der Onboardings sollten Unternehmen zur vereinfachten Einarbeitung vermehrt auf die digitalen Methoden des Wissenstransfers zurückgreifen, z. B. in Form von E-Learnings und Apps. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methoden ist die Dokumentation des expliziten Wissens, die dann für alle verfügbar ist.

Bei der Mitarbeiterbindung sind die meisten Unternehmen in Bezug auf die kommunikative Komponente der Führung sowie auch Arbeitszeitmodelle recht gut aufgestellt. Weiterhin sind die unkonventionellen Möglichkeiten durchaus nicht immer die teuersten und können auch von kleineren Unternehmen umgesetzt werden. Somit können diese sich z. B. durch Ruheräume oder Housekeeping-Services ein Alleinstellungsmerkmal sichern.

Tendenziell betreiben die Unternehmen gute Mitarbeiterentwicklungsprogramme; allerdings könnten die Auslandsentsendungen, die als Personalentwicklungsmaßnahmen seitens der Unternehmen angesetzt werden, erfahrungsgemäß kritisch betrachtet werden. Hier ist entsprechend gute Vor- und Nachbereitung sowie ein wertschätzender Umgang mit dem Wissenszugewinn der Mitarbeitenden äußerst wichtig.

Im Personalcontrolling sind diverse KPIs noch überwiegend Neuland und sollten von den befragten Unternehmen durchaus mit erhoben werden.

Nötige Erfordernisse einer digitalen Personalakte sind sicherlich abhängig von den Gegebenheiten und der Größe des Unternehmens.

Wenngleich die befragten Unternehmen sich stark eingebunden in die Veränderungs- und strategischen Prozesse sehen, so bleibt die Frage nach dem Umfang der als Veränderung oder Strategie empfundenen Vorgehensweise.

Referenzen:

- [1] Schuler, H. & Mussel, P. (2016). Einstellungsinterviews vorbereiten und durchführen. Göttingen: Hogrefe.
- [2] Schuhmacher, F. & Geschwill, R. (2014). Employer Branding. Human Resources Management für die Unternehmensführung. (2. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- [3] Brenner, Doris (2014): Onboarding – Als Führungskraft neue Mitarbeiter erfolgreich einarbeiten und integrieren. Wiesbaden: Springer-Verlag GmbH.
- [4] Stockhausen, A. & Scholl, H. (2010/2011). Mitarbeiterbindung: Was wird getan – was kann man tun? Studie, Klausur Personal + Management AG & reflect AG.
- [5] Stock-Homburg, R. (2013). Personalmanagement. Wiesbaden: SpringerGabler Verlag.
- [6] Rosenstiel, L., Regnet, E., & Domsch, M. (2014). Führung von Mitarbeitern. Stuttgart: Schäffer- Poeschel Verlag.
- [7] Dowling, P. J., Festing, M., & Engle, A. D. Sr. (2013). International Human Resource Management. (6th ed.) London: Cengage Learning EMEA.
- [8] Ulrich, D., Younger, J., Brockbank, W. & Ulrich, M. (2012). HR from the Outside In: Six Competencies for the Future of Human Resources. McGraw-Hill Education Ltd.

Kontakt:



Ibrahim Kaçmaz, M.A. HRM

BHS tabletop AG
Personalreferent
Obere Bauscherstraße 1
92637 Weiden



Dr. Gabriele Murry, MBA (USA), MHR (USA)

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

g.murry@oth-aw.de



Prof. Dr. Bernt Mayer

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

b.mayer@oth-aw.de

Zusammenfassung

In Deutschland bricht rund ein Drittel aller Studierenden das Studium vorzeitig wieder ab. Ein Großteil der zum Thema „Studienabbruch“ durchgeführten empirischen Arbeiten fokussiert sich auf die Analyse einzelner Abbruchgründe. Hierbei wird der eigentliche Studienverlauf nicht näher betrachtet. In der vorliegenden Studie wurde der Verbleib von Studierenden, Studiengangwechsler/-innen sowie Studienabbrecher/-innen im Studienverlauf u. a. hinsichtlich kritischer Studienphasen genauer erforscht. Im Zentrum der Analyse standen die MINT-Studiengänge Elektro- und Informationstechnik, Informatik und Maschinenbau an der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg. Basierend auf einem Panel-Studiendesign wurde der Studienverlauf in den ersten vier Semestern des MINT-Studiums seit Beginn der Immatrikulation im Wintersemester (WiSe) 2015/16 untersucht.

Abstract

In Germany about one-third of all students drop out their studies prematurely. A bigger part of the empirical work on the subject of „abandonment“ focuses on the analysis of individual demolition reasons. At this juncture, the actual course of study is not considered in detail. In the following study, the whereabouts of students, course changers and drop-outs during the course of studies, among others, were researched in more detail regarding critical study phases. The analysis was focused on the MINT degree programs: Electrical Engineering and Information Technology, Computer Science and Mechanical Engineering at OTH Amberg-Weiden and OTH Regensburg. Based on a panel study design, the course of study in the first four semesters of MINT study has been analyzed since the beginning of matriculation in winter semester 2015/16.

1 Motivation

In der aktuellsten Studie des Deutschen Zentrums für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW) wird konstatiert, dass die Studienabbruchquote in den Bachelorstudiengängen an Universitäten bei 32 Prozent und an den Fachhochschulen/Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) bei 27 Prozent liegt [1]. Die Verwendung des Begriffs Hochschulen für Angewandte Wissenschaften erfolgt im Rahmen dieser Publikation synonym zu Fachhochschulen. Trotz der bisherigen Bildungsanstrengungen wie zum Beispiel der im Jahr 2008 beschlossenen Zielmarke von 40 Prozent Studienanfängerinnen und -anfängern (Qualifizierungsinitiative für Deutschland) „[...] bleibt die Verringerung der Abbruchquoten im Tertiärbereich eine Herausforderung für die Hochschulen und die Bildungspolitik“ [2].

Aus Sicht der Hochschulen ist eine Differenzierung zwischen Studienabbruch und Studienwechsel nur

eingeschränkt möglich, da der weitere Werdegang einer exmatrikulierten Person nicht bekannt ist [3]. Dies verdeutlicht die in der Fachliteratur gegebene Abgrenzung zwischen Abbruch und Schwund. Daher definiert sich die Schwundquote als die Quote „[...] aller Studierenden eines Anfängerjahrgangs, die an einer Hochschule ohne Abschluss aus einem Studienfach/-gang ausgeschieden sind – gleich aus welchen Gründen (Fachwechsel, Hochschulwechsel, Studienabbruch)“ [4]. Im Gegensatz dazu werden unter Studienabbrecher/-innen „ehemalige Studierende, die zwar durch Immatrikulation ein Erststudium an einer deutschen Hochschule aufgenommen haben, dann aber das Hochschulsystem endgültig ohne (erstes) Abschlussexamen verlassen[,]“ verstanden [5]. Der Studienabbruch bei Bachelorstudiengängen an HAWs beträgt in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern 33 Prozent und in den naturwissenschaftlichen Studiengängen 42 Prozent [1]. Dies spiegelt sich wider in der Anzahl der Studienabbrüche, die sich an Hochschulen in

den mathematisch-naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Bereichen erhöht hat [1]. Um die Anzahl der Studienabbrüche und Studiengangwechsel an Hochschulen zu verringern, müssen sowohl die Motive dafür, als auch die kritischen Studienphasen und Herausforderungen im Studium identifiziert werden. Insgesamt gibt es bisher nur wenige Studien [1] [6] [7], die sich mit dem Studienverlauf in MINT-Studiengängen beschäftigen. Deshalb widmet sich das Projekt „OTH mind“ – Verbundprojekt der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) – unter anderem der zentralen Frage, wie sich der individuelle Studienverlauf sowie der Verbleib von Studiaussteiger/-innen bzw. Studiengangwechsler/-innen in ausgewählten MINT-Studiengängen über die Zeit entwickelt.

2 Forschungsstand

Im Bachelorabsolventenjahrgang von 2014 liegt der Abbrecheranteil an HAW in Maschinenbau bei 32 Prozent, in Elektrotechnik bei 42 Prozent und in Informatik bei 41 Prozent [1]. Studienabbrüche finden nicht nur in der Studieneingangsphase statt, sondern auch zu einem späteren Zeitpunkt. Charakteristisches Merkmal von „Frühabbrecher/-innen“ ist, dass diese Personengruppe wenig oder unzureichend Zeit in die Suche nach einem geeigneten Studienfach investiert hat [8]. Infolgedessen wird der eigentlich im Vorfeld stattzufindende Klärungsprozess in die Studieneingangsphase verlagert. Zur Klassifikation von Studienabbrecher/-innen wird die durchschnittliche Studiendauer von 2,9 Semestern im Bachelorstudium bis zum Studienabbruch herangezogen. Die Klassifikation erfolgt hierbei nach „Frühabbrecher/-innen“ (1.–3. Semester) und „Spätabbrecher/-innen“ (> 3. Semester) [9].

Die Regelstudienzeit eines Bachelorstudiums an einer HAW beträgt sieben Semester, dabei erfolgt ein Studienabbruch in den Ingenieurwissenschaften an HAW durchschnittlich nach einer Studiendauer von 3,8 Semestern [1]. Feldmeier et al. kommen zu der Erkenntnis, dass viele Studierende ihr Studium bereits vor einer Prüfungsanmeldung abbrechen. Die Studierfähigkeit eines Studenten/einer Studentin lässt sich daraus nicht ableiten [10]. Als ausschlaggebende Faktoren eines Studienabbruchs in einem Bachelorstudium wurden Leistungsprobleme und mangelnde Studienmotivation identifiziert. Ein vorzeitiger Studienabbruch erfolgt dabei nach einer durchschnittlichen Fachstudiendauer von 4,5 bzw. 3,6 Semestern [1]. Aus den Erfahrungen zeigt sich, dass dem endgültigen Studienabbruch meist ein längerer Entscheidungsprozess vorausgeht. Dennoch stellen sich die betroffenen Personen häufig die Frage, welchen (beruflichen) Weg sie fortan einschlagen sollen. Letztlich wird diese Entscheidung maßgeblich von der beruflichen Vorbildung beeinflusst [11]. Schindler argumentiert, dass insbesondere Studierende aus den höheren Semestern wertvolle Kompetenzen erworben haben, wodurch ein nahtloser

Übergang in Erwerbstätigkeit möglich sei [8]. Darüber hinaus führen Jahn und Birckner aus, dass auch die in Summe verbrachte Zeit im bisherigen Schul- und Hochschulwesen durchaus motivierend sein kann, das bisherige Bildungssystem zu verlassen, um sich eine Existenz aufzubauen [12]. In der aktuell veröffentlichten Studie des DZHW zeigt sich, dass sechs Monate nach Verlassen der Hochschule 43 Prozent der Studienabbrecher/-innen eine Berufsausbildung aufgenommen haben und 31 Prozent berufstätig sind [1].

Ausgehend von dem dargelegten Forschungsstand stellt sich neben der zentralen Forschungsfrage „Wie gestaltet sich der individuelle Studienverlauf sowie der Verbleib von Studiaussteiger/-innen bzw. Studiengangwechsler/-innen in ausgewählten MINT-Studiengängen über die Zeit?“ u. a. die Frage, welche Motive für einen Studiengangwechsel oder -abbruch entscheidend sein können.

3 Studiendesign und Datengrundlage

3.1 Fragebogen

Um den Verlauf der Studierenden abbilden zu können, war es erforderlich, den Fragebogen in die drei Zielgruppen Student/-innen allgemein, Studienwechsler/-innen und Studienabbrecher/-innen einzuteilen. Bei der inhaltlichen Entwicklung des Fragebogens für die OTH Regensburg und OTH Amberg-Weiden wurde auf Erkenntnisse und Instrumente aus bereits vorliegenden Befragungen zurückgegriffen [6] [13] [14]. Neben Fragen zu soziodemografischen Merkmalen der Teilnehmer/-innen wurden unter anderem auch die Gründe für die Aufnahme eines MINT-Studiums untersucht. Mithilfe einer Filterfrage wurde in der ersten Welle der Status Student/-in oder Nicht-Student/-in der Befragungsteilnehmer/-innen ermittelt. Um den Verbleib der Zielgruppe zu erfassen, hat sich gezeigt, dass eine detailliertere Differenzierung zwischen den Gruppen Studierende, Studiengangwechsler/-innen, sowie Studienabbrecher/-innen in den weiteren Befragungswellen erforderlich ist. Darüber hinaus wurden zusätzlich ab der zweiten Befragungswelle die Gründe für einen Studienwechsel bzw. -abbruch sowie die aktuelle (berufliche) Tätigkeit abgefragt.

3.2 Eckdaten der Erhebung

Die Studie ist als Panel (Längsschnittuntersuchung) aufgebaut. Mittels des gewählten Forschungsdesigns wurden der Studienfortschritt sowie das Wechsel- bzw. Abbruchverhalten in den ersten vier Hochschulsemestern untersucht. Befragt wurden alle 985 Studienanfänger/-innen des WiSe 2015/16, die ein Bachelorstudium in Maschinenbau, Elektro- und Informationstechnik oder Informatik an der OTH Amberg-Weiden, oder der OTH Regensburg begonnen haben. Am Standort Regensburg wird die gesamte Studiengruppe Informatik ohne den Studiengang „Medizininformatik“ berücksichtigt. In Amberg ist es der Studiengang „Angewandte Informatik“. Die da-

bei erhobenen Informationen liegen auf Personenebene vor und ermöglichen Aussagen über den individuellen Studienverlauf.

Die Einladungen zur ersten (WiSe 2015/16) sowie zur dritten Befragungswelle (WiSe 2016/17) erfolgten jeweils im laufenden Semester per E-Mail. Um Studierende, Studienwechsler/-innen und Studienabbrecher/-innen gleichermaßen zu erreichen, wurden die Einladungen zu den Befragungswellen sowohl an die hochschulinternen als auch an die privaten E-Mail-Adressen verschickt. Nach zwei Erinnerungsschreiben – vor und nach der Prüfungszeit – haben 326 Personen an der ersten Befragungswelle und 155 an der dritten Befragungswelle teilgenommen. Der Versand der Erinnerungsmails wurde in der zweiten (Sommersemester (SoSe) 2016) und vierten (SoSe 2017) Befragungswelle einmalig nach der Prüfungszeit verschickt. Die Befragungen zur zweiten und vierten Welle wurden analog durchgeführt. Insgesamt hatten an der zweiten Befragungswelle 317 Personen und an der vierten Befragungswelle 187 Personen teilgenommen. Dies zeigt, dass die Teilnahmebereitschaft der Studierenden über den Zeitverlauf rückläufig war (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Rücklaufquoten

	WS 2015/16	SoSe 2016	WS 2016/17	SoSe 2017
Gesamt	33,1 %	32,2 %	15,7 %	19,0 %

Quelle: SVA 2015–2017 (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg)

3.3 Datenaufbereitung

Im Rahmen der einzelnen Befragungswellen wurde ein eindeutiger Personenidentifikator (ID) generiert, der es ermöglicht hat, alle individuellen Daten der Teilnehmer/-innen über die vier Wellen zu verknüpfen. Insgesamt konnte das Datenmaterial von 40 Personen über vier Semester ausgewertet werden.

Bei der Datenaufbereitung zeigte sich, dass Studienteilnehmer/-innen mehrfach an der Befragung teilgenommen haben. Somit wurde bei doppelten oder mehrfach vorhandenen IDs die zuerst gemachte Angabe im Datensatz belassen. Zur Vorbereitung auf das Datensatzmatching wurden Variablenabgleiche sowie -(um)kodierungen durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden zunächst alle Wellen für den jeweiligen Hochschulstandort in einen Datensatz integriert und anschließend die Einzeldatensätze der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg zusammengespült. Für die nachfolgenden Analysen wurden Studiengangwechsler/-innen und Studienaussteiger/-innen identifiziert. Personen, die ab dem zweiten Semester gewechselt oder abgebrochen haben, wurden fortlaufend als Wechsler/-innen oder Abbrecher/-innen deklariert.

4 Ergebnisse

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse sowohl über den Längsschnitt (Zeitverlauf), als auch über den Querschnitt der einzelnen Erhebungswellen dargelegt. Die Analysen basieren auf den aggregierten Daten der im Verbund arbeitenden Hochschulen.

4.1 Studienverlauf im Längsschnitt

Der Verbleib der MINT-Studienanfängerkohorte aus dem WiSe 2015/16 bildete den Kern der Studienverlaufsanalyse. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Abbruch- und Wechselverhalten über die Zeit. An der Befragung haben sich über den Zeitverlauf insgesamt 40 Personen beteiligt. Diese setzten sich zusammen

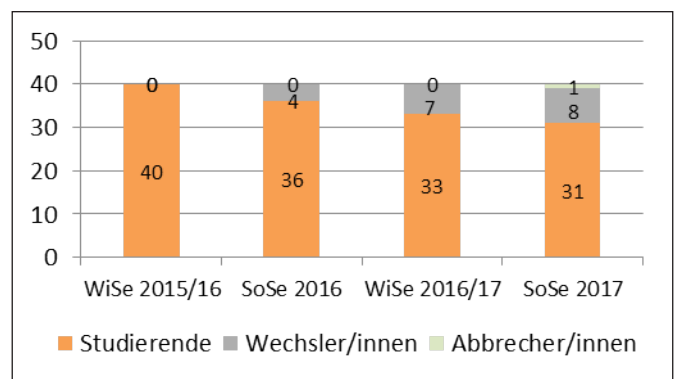


Abbildung 1: Überblick über den Studienverlauf (Quelle: SVA 2015–2017 (Längsschnittbetrachtung), aggregierte Werte (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg); n=40);

aus 17 Maschinenbaustudent/-innen, 14 Informatikstudent/-innen und 9 Personen aus dem Studiengang Elektro- und Informationstechnik. Von den anfänglichen 40 Panelteilnehmer/-innen haben in der vierten Befragungswelle acht Personen das ursprüngliche Studium wieder gewechselt und ein/eine Studienteilnehmer/-in hat das MINT-Studium abgebrochen.

Soziodemografische Merkmale

Zum Zeitpunkt der ersten Befragungswelle waren die Studierenden durchschnittlich 20,7 Jahre alt, wobei die Altersspanne von 18 bis 32 Jahre reichte. Der Frauenanteil in der Stichprobe liegt bei 15 Prozent (n=6) und der Anteil der Student/-innen mit Migrationshintergrund bei 7,5 Prozent (n=3). Personen, die nicht in Deutschland geboren sind, werden hier als Personen mit Migrationshintergrund bezeichnet.

Für knapp 88 Prozent (n=35) der Befragten aus der Panelstudie ist das ausgewählte MINT-Studium ihr Wunschstudium. Zudem zeigen die Analysen, dass 85 Prozent (n=34) der Panelteilnehmer/-innen in der Vergangenheit noch keine Erfahrungen mit dem Hochschulsystem gesammelt haben. Die Hälfte der Studierenden kam von einer Fachoberschule (25 Prozent; n=10) oder Berufsober-schule (25 Prozent; n=10) für ein Ingenieurstudium nach Amberg oder Regensburg. Die Mehrheit der Studierenden

(42,5 Prozent; n=17) hat ihre Hochschulzugangsberechtigung jedoch an einem Gymnasium erworben. Unter den Befragten befanden sich 2,5 Prozent (n=1) beruflich Qualifizierte. Unter dem Begriff „beruflich Qualifizierte“ sind Personen mit Meisterprüfung, Fachschule/-akademie (z. B. Techniker) oder Berufsausbildung mit mind. dreijähriger Berufspraxis zusammengefasst. 40 Prozent (n=16) haben bereits vor ihrem Studium eine Berufsausbildung erfolgreich beendet. Von denjenigen Personen, die bereits über eine abgeschlossene Berufsausbildung verfügen (n=16), stimmten drei Viertel überein, dass zwischen dem aktuell gewählten Studiengang und der zurückliegenden Berufsausbildung ein fachlicher Zusammenhang besteht. Elf Personen haben vor Studienbeginn bereits eine duale Berufsausbildung absolviert.

Motive für die Aufnahme eines MINT-Studiums

Für die Studienwahl können sowohl intrinsische, als auch extrinsische Beweggründe ausschlaggebend sein (siehe Abbildung 2). Es zeigt sich, dass überwiegend intrinsische Motive eine Rolle spielen. Besonders ausgeprägt ist sowohl das persönliche Interesse für ein MINT-Fach, als auch das Interesse an den Studieninhalten sowie die Vertiefungsmöglichkeiten im Studium. Daneben spielen aber auch extrinsische Motive, z. B. die späteren Verdienstmöglichkeiten oder das entsprechende MINT-Berufsprofil, eine Rolle, wenn es darum geht, ein ingenieur- oder naturwissenschaftliches Studium zu beginnen.

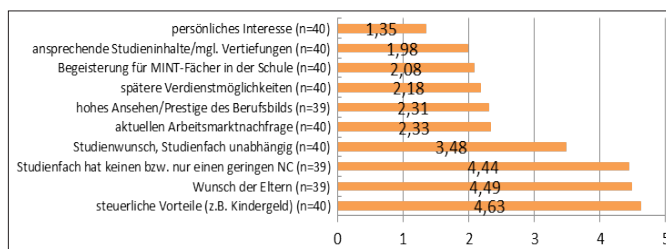


Abbildung 2: Gründe für den Studienbeginn, Skala: 1 = trifft sehr gut zu bis 5 = trifft gar nicht zu (Quelle: SVA 2015–2017 (Längsschnittbetrachtung), aggregierte Werte (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg); Mean-Werte)

Überblick – Studienverlauf

Über den zeitlichen Verlauf zeigte sich, dass sich die Erwartungshaltung der Studierenden hinsichtlich der Studieninhalte, der Studienanforderungen sowie des Berufs- und Praxisbezugs der Lehrveranstaltungen zunehmend besser erfüllt hat. Ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf einen möglichen Studienabbruch oder -wechsel ist die subjektive Einschätzung der Gesamtanforderungen sowie des Studienerfolgs. Im ersten Semester fühlten sich knapp 78 Prozent (n=31) der Studierenden den Gesamtanforderungen im Studium gewachsen. Im Zeitverlauf zeigt sich, dass dieser Wert bis zum dritten Semester auf 70 Prozent (n=23) sinkt, wohingegen im vierten Semester ein Anstieg um rund 14 Prozentpunkte (n=26) zu verzeichnen ist. Weiterhin können fehlende Kenntnisse in Kern-

disziplinen wie Mathematik, Physik und EDV als Indikator für einen frühzeitigen Studienausstieg herangezogen werden. Während bereits nach dem ersten Semester deutlich weniger Studierende fehlende Kenntnisse im Fach „Physik“ aufweisen, trifft dies für die Disziplinen „Mathematik“ und „EDV“ erst nach dem zweiten Semester zu (siehe Abbildung 3).

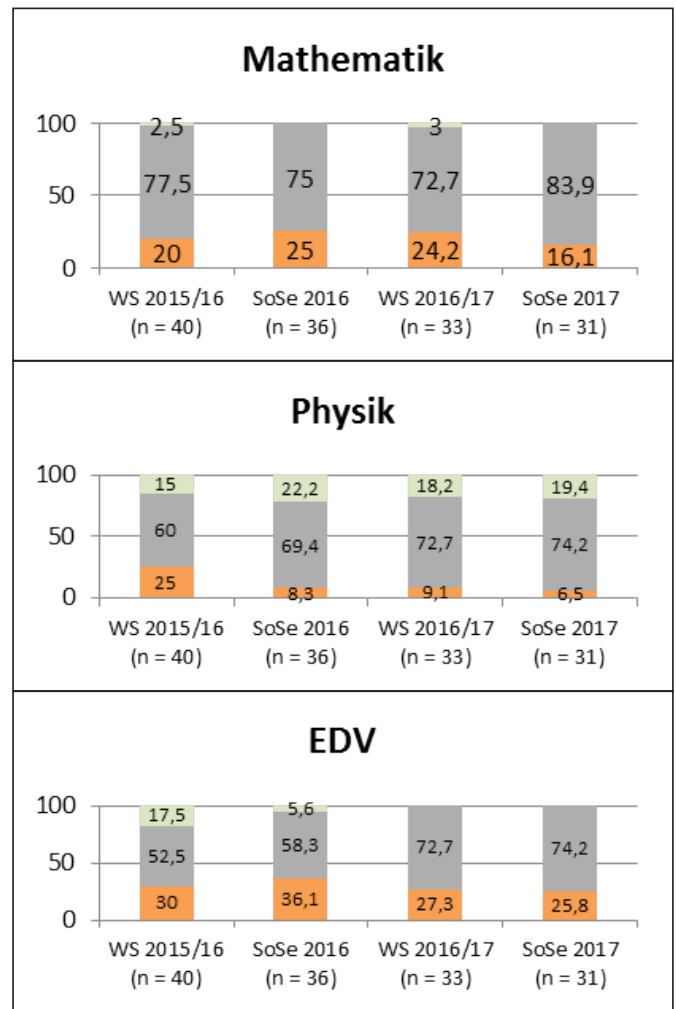


Abbildung 3: Fehlende Kenntnisse, die im Studium erwartet werden (in Prozent) (Quelle: SVA 2015–2017 (Längsschnittbetrachtung), aggregierte Werte (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg))

Es zeigte sich, dass mit zunehmender Studiendauer die Aussichten auf ein erfolgreich abgeschlossenes Studium positiver eingeschätzt werden. Der Besuch der studien-spezifischen Pflichtfächer liegt insgesamt auf einem sehr hohen Niveau (siehe Abbildung 4): Mit rund 73 (n=29) bzw. 78 Prozent (n=28) besuchte ein Großteil der MINT-Studierenden in den ersten beiden Semestern immer die Lehrveranstaltungen. Ab dem dritten Semester konnte ein leichter Rückgang der Lehrveranstaltungsbesuche identifiziert werden.

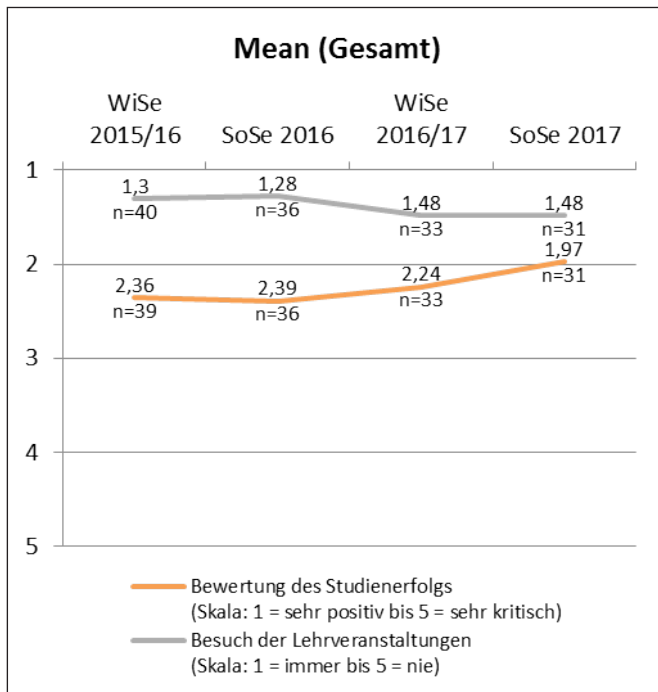


Abbildung 4: Bewertung Studienerfolg und Besuch der Lehrveranstaltung (in Prozent)
(Quelle: SVA 2015–2017 (Längsschnittbetrachtung), aggregierte Werte (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg))

4.2 Studienverlauf im Querschnitt

Zusätzlich wurde das Studienverhalten über alle vier Semester im Querschnitt analysiert (siehe Abbildung 5). Zum einen wurden die Gründe eines Studienabbruchs/-wechsels untersucht und zum anderen der Verbleib von Studienabbrucher/-innen und Studienwechsler/-innen genauer betrachtet.

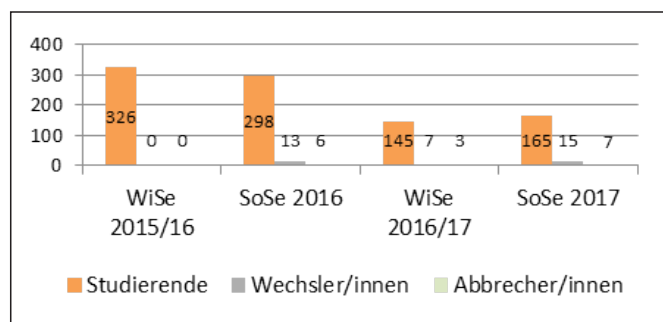


Abbildung 5: Studierende, Wechsler/-innen, Abbrecher/-innen
(Quelle: SVA 2015–2017 (Querschnittbetrachtung), aggregierte Werte (OTH Amberg-Weiden und OTH Regensburg))

Die Situation der Studienwechsler/-innen und der Studienabbrucher/-innen

Zwei zentrale Faktoren, die zu einem Studiengang- bzw. Hochschulwechsel geführt haben, konnten für Studienwechsler (n=29) und Studienwechslerinnen (n=6) identifiziert werden [15]: erstens andere/falsche Erwartungen an das Studium (51,4 Prozent; n=18) und zweitens ein stark nachlassendes Interesse für das Studienfach (42,9 Prozent; n=15). Darüber hinaus wurden auch weitere Wechselgründe, wie Wartezeitüberbrückung oder hohe

Studienbelastung genannt. Hinsichtlich der Gründe für einen Studiengangwechsel lassen sich dabei durchaus erkennbare Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht identifizieren. Gründe wie die Überbrückung einer Wartezeit (24,1 Prozent; n=7 vs. 0 Prozent; n=0), schwierige Studienbedingungen (20,7 Prozent; n=6; vs. 0 Prozent; n=0), sowie ein fehlender sozialer Anschluss (20,7 Prozent; n=6 vs. 0 Prozent; n=0) trafen ausschließlich auf Befragungsteilnehmer zu. Der Großteil der Wechsler/-innen (71,4 Prozent; n=25) verblieb an der Hochschule und hat ein weiteres Studium aufgenommen (Studiengangwechsler/-innen). Hingegen hat rund ein Viertel der Wechsler/-innen (28,6 Prozent; n=10) die Hochschule verlassen und ein Studium an einer anderen Hochschule/Universität aufgenommen (Hochschulwechsler/-innen). Ähnlich wie bei Studienwechsler/-innen lagen die zentralen Gründe von Studienabbrucher/-innen (n=16) in anderen/falschen Erwartungen an das Studium (43,8 Prozent; n=7) sowie einem stark nachlassenden Interesse am Studiengang (37,5 Prozent; n=6).

Dabei zeigte sich, dass Männer vergleichsweise häufiger falsche Erwartungen an den Studiengang als Abbruchgrund nannten als Frauen (60,0 Prozent; n=10 vs. 16,7 Prozent; n=1). Frauen und Männer brachen das Studium aufgrund eines nachlassenden Interesses (50,0 Prozent; n=3 vs. 30,0 Prozent; n=3) ab. Als weitere wesentliche Gründe wurden Zeitprobleme (31,3 Prozent; n=5) sowie ein fehlender sozialer Anschluss (25,0 Prozent; n=4) angeführt [15]. Neben den Gründen für den Studienabbruch war der Verbleib von Studienaussteiger/-innen von Interesse. Daher wurde zum einen die aktuelle Tätigkeit der Abbrecher/-innen untersucht, zum anderen wurden die Zukunftspläne abgefragt. Die Ergebnisse zeigten, dass von 16 Studienaussteiger/-innen mehr als die Hälfte (56,3 Prozent; n=9) in eine Erwerbstätigkeit mündete, wobei vier dieser Personen (44,4 Prozent; n=4) eine Berufsausbildung aufgenommen hatten. Ein Großteil der befragten Abbrecher/-innen (43,8 Prozent; n=7) strebt für die berufliche Zukunft eine Aufstiegsfortbildung (Meister oder Techniker) an. Ein Viertel der Befragten (25,0 Prozent; n=4) beabsichtigte zum Zeitpunkt der Befragung eine Berufsausbildung aufzunehmen. Des Weiteren können sich fast 38 Prozent (n=6) der Studienabbrucher/-innen vorstellen, zu einem späteren Zeitpunkt erneut zu studieren.

5 Zusammenfassung

Ziel der hier vorliegenden Studie war es, den individuellen Studienverlauf sowie den Verbleib von Studienaussteiger/-innen bzw. Studiengangwechsler/-innen in ausgewählten MINT-Studiengängen über die Zeit zu analysieren. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs (n=40) über den zeitlichen Verlauf wurde das Studienverhalten zusätzlich im Querschnitt analysiert. Dabei wurden neben dem Verbleib von Studienaussteiger/-innen und Studiengangwechsler/-innen auch die Gründe für die Exmatrikulation erforscht. Unter Berücksichtigung des kurzen

Befragungszeitraums sowie der daraus resultierenden geringen Fallzahl lässt sich in Bezug auf eine aufgenommene Berufsausbildung nach dem Studienabbruch eine ähnliche Tendenz wie bei Heublein erkennen [1]. Ähnlich verhält sich dies bei den Abbruchgründen. Auch hier zeigte sich sowohl bei Heublein [1], als auch in der vorliegenden Studie, dass u. a. eine mangelnde Studienmotivation sowie fehlende Informationen zum Studium als wesentliche Studienabbruchmotive gelten.

Eine Aussage über den tatsächlichen Studienerfolg ist aufgrund des kurzen Befragungszeitraums sowie der geringen Fallzahlen zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich. Um dezidierte Ergebnisse zum allgemeinen Studienverlauf, sowohl zum Wechsel-/Abbruchverhalten, als auch zum Studienerfolg, zu erzielen, ist eine Betrachtung des Studienverlaufs über vier Semester hinaus notwendig.

Referenzen:

- [1] Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017): Zwischen Studierenerwartungen und Studienwirklichkeit. Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. Hannover: Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.
- [2] Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2017): Fortschrittsbericht 2017 zum Fachkräftekonzept der Bundesregierung.
- [3] Gensch, K. & Kliegl, C. (2011): Studienabbruch – Was können Hochschulen dagegen tun? Bewertung der Maßnahmen aus der Initiative „Wege zu mehr MINT-Absolventen“. München: Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung (IHF).
- [4] Heublein, U. & Wolter, A. (2011): Studienabbruch in Deutschland. Definition, Häufigkeit, Ursachen, Maßnahmen. Zeitschrift für Pädagogik 57 (2), S. 214–236.
- [5] Heublein, U., Richter, J., Schmelzer, R. & Sommer, D. (2014): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012. Hannover: HIS, Forum Hochschule 4|2014.
- [6] Fromm, S. & Weindl, M. (2016): Ergebnisse des Studierendenpanels der TH Nürnberg. Erster Zwischenbericht: Studieneinmündung und erste Prüfungserfahrungen. Nürnberg: Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm Nr. 65.
- [7] Seemann, W. & Gausch, M. (2012): Studienabbruch und Studienfachwechsel in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Bachelorstudiengängen der Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin: Herausgeber der „Schriftenreihe zum Qualitätsmanagement an Hochschulen“.
- [8] Schindler, G. (1997): „Frühe“ und „späte“ Studienabbrecher. Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung. München: IHF.
- [9] Tolciu, A. & Sode, M. (2011): Mehr Studienanfänger: Mehr Studienabbrecher? In: HWWI policy paper, No. 61.
- [10] Feldmeier, G., Garbade, S., Ritzenhoff, P. & Schroter, K. (2015): Studienvorbereitungs- und Studieneingangsphase. In: Handbuch Studienerfolg. Strategien und Maßnahmen: Wie Hochschulen Studierende erfolgreich zum Abschluss führen. Essen: Stifterverband.
- [11] Bundesagentur für Arbeit (BA) (2014): Studienabbruch? Neue Chancen ergreifen! Ausgabe 04/2014, Team akademische Berufe.
- [12] Jahn, R. & Birckner, M. (2014): Studienabbrecher: über die Situation einer (noch) kaum beachteten Zielgruppe innerhalb und außerhalb der beruflichen Bildung. In: Berufsbildungsforschung und -beratung aktuell, Heft 1, 2/2014.
- [13] Heine, C., Egel, J., Kerst, C., Müller, E. & Park, Sang-Min (2006): Bestimmungsgründe für die Wahl von ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen. Ausgewählte Ergebnisse einer Schwerpunktstudie im Rahmen der Berichterstattung zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. Mannheim: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW).
- [14] Thiel, F., Veit, S., Blüthmann, I. & Lepa, S. (2008): Ergebnisse der Befragung der Studierenden in den Bachelorstudiengängen an der Freien Universität Berlin. Berlin: Freie Universität Berlin.
- [15] Rager, B. (2017): Tabellenband zur Studienverlaufsanalyse. Erhebungswellen 1–4.

Projektpartner:

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg, Regensburg

Fördergeber:

für das Verbundprojekt „OTH mind – modulares innovatives Netzwerk für Durchlässigkeit“



Kontakt:



Dipl.-Sozialwirt (Univ.) Bernd Rager

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Verbundprojekt OTH mind
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

Was kostet die Bargeldabschaffung?

Prof. Dr. Gerhard Rösl
Prof. Dr. Franz Seitz
Dr. Karl-Heinz Tödter

Einleitung

Bargeld ist „geprägte Freiheit“, doch für Ökonomen wie Kenneth Rogoff (2016) sind Banknoten und Münzen ein Fluch und kein Segen. Finanzminister Schäuble (2016) versicherte zwar: „*IN KONTINENTALEUROPA KENNE ICH NIEMANDEN, DER DIE ABSICHT HAT, BARGELD ABZUSCHAFFEN*“, doch ein Anfang ist bereits gemacht: Die Europäische Zentralbank (EZB) hat beschlossen, ab Ende 2018 keine 500-Euro-Scheine mehr auszugeben. Und Obergrenzen für Barzahlungen gibt es ohnehin schon in den meisten Ländern der Europäischen Wirtschaftsunion (EWU). Die EU diskutiert eine generelle Obergrenze von 5.000 Euro, der Internationale Währungsfonds (IWF) hat eine Blaupause zur Abschaffung von Bargeld erstellt (Kireyev, 2017) und in Schweden dürfte Bargeld bald nur noch ein Nischendasein fristen.

Im Kartell der Bargeldgegner finden sich Lobbyisten der Fintech-Branche, „Recht und Ordnung“-Aktivisten sowie „Negativzinsler“ unter Ökonomen und Zentralbankern (Mersch, 2016). Letzteren ist vor allem die Nullzinsschranke (*ZERO LOWER BOUND*) ein Dorn im Auge, denn Bargeld legt der Geldpolitik in Krisenzeiten Fesseln an, die verhindern, dass die Nominalzinsen signifikant unter die Null gesenkt werden können. Haushalte und Unternehmen können bei Negativzinsen ihre Einlagen bei Banken abziehen und auf Bargeld ausweichen. Außerdem begünstigt Bargeld kriminelle Aktivitäten wie Korruption, Steuerhinterziehung, Drogenhandel und Terrorismusfinanzierung. Solche Vorwürfe könnten allerdings auch gegen das Internet und andere Einrichtungen vorgebracht werden.

Mit der Bargeldabschaffung (BGA) sind Kosten in Form von substanziellen Einbußen bei den staatlichen Geldschöpfungsgewinnen (*SEIGNIORAGE*) verbunden. Gravierender zu Buche schlugen jedoch die Wohlfahrtseinbußen bei Konsumenten und Bargeldnutzern, die bislang in der Diskussion weitgehend unberücksichtigt blieben. Um diese „geldwerten Verluste“ der BGA geht es in diesem Beitrag (vgl. dazu ausführlicher Rösl, Seitz, Tödter (2017)).

Abstract

To broaden the operational scope of monetary policy, several authors suggest cash abolishment as an appropriate means of breaking through the zero lower bound. However, practically nothing is said about the welfare costs of such a proposal. We argue that the welfare costs of bypassing the zero lower bound can be dealt with properly analytically and empirically by assuming negative interest rates on cash holdings. We gauge the welfare effects of abolishing cash, both for the euro area and for Germany. We take into account the liquidity services of assets included in the monetary aggregates M1 and M3, and we contrast the results for the year 2015 with those for the pre-crisis period 2005. Our findings suggest that the welfare losses of negative interest rates incurred by money holders are large and enduring, notably if implemented in the current low interest rate environment. Imposing a negative interest rate of 3 percent on cash holdings and reducing the interest on all assets included in M3 creates a deadweight loss of €62bn for the euro area and of €18bn for Germany. The annual compensation required by consumers amounts to €228bn and €59bn, respectively. Therefore, stepping into deep negative interest rates turns out to be a very costly economic experiment, leaving aside the potential risks and negative side effects of protracted and intensified unconventional monetary policy.

1 Wege zur Durchbrechung der Nullzinsschranke

In den USA werden kleineren Händlern von Visa Prämien gezahlt, wenn sie kein Bargeld mehr akzeptieren. Dazu der Europachef von Visa, Bill Sheedy (2017): „WIR WOLLEN DIE TEILNEHMER DAZU MOTIVIEREN, OHNE BARGELD AUSZUKOMMEN. ... IN DEUTSCHLAND SIND RUND 600 MILLIARDEN EURO AN BARGELD IM UMLAUF. DARUM GEHT ES.“ Im Jahr 2005 hat MasterCard den „War on Cash“ ausgerufen (Adams, 2006) und namhafte Ökonomen haben sich für eine (stufenweise) BGA ausgesprochen. Ziel ist die Durchbrechung der Nullzinsschranke, Notenbanken sollen unbeschränkten Zugang zu Negativzinsen erhalten.

Selbst wenn dieses kontroverse Ziel grundsätzlich anerkannt würde, sollten klare Vorstellungen über die volkswirtschaftlichen Wirkungen herrschen. Als sozioökonomisches Mega-Experiment wäre die BGA mit hohen Risiken behaftet. So könnte die in einer Krise herrschende Unsicherheit durch Negativzinsen noch erhöht und das Vertrauen von Konsumenten und Investoren weiter unterminiert werden. Eine weniger radikale und zudem reversible Alternative zur BGA wäre die Einführung von Negativzinsen auf die Bargeldhaltung. Damit würde die Nullzinsschranke fallen, doch Bargeld bliebe als Zahlungsmittel erhalten und die Zahlungsmittelfreiheit der Bürger ebenfalls (Krüger und Seitz, 2017). Buiter (2009) diskutiert drei Varianten: 1. Schwundgeld, 2. Steuern auf Bargeld, 3. Wechselkurs zwischen Bargeld und Buchgeld.

1. Mit Schwundgeld wollte Silvio Gesell (1911) gegen das Horten von Bargeld vorgehen und den Konsum anregen. Banknoten sollten zum Erhalt ihres Nominalwertes wöchentlich käufliche Marken aufgeklebt werden, was einer Negativverzinsung gleichkommt. Technisch ließe sich der Geldschwund heutzutage mit Chips auf Banknoten problemlos, wenngleich nicht kostenlos, implementieren.
2. Mit Steuern auf die Bargeldverwendung könnten Barzahlungen belastet werden, während der gleiche Kaufvorgang bei bargeldloser Zahlung von dieser Steuer befreit wäre. Auch dieses System ließe sich relativ einfach umsetzen, etwa als Aufschlag auf die Mehrwertsteuer, wobei die Notenbank die variablen Steuersätze festlegen würde.
3. Durch einen Wechselkurs zwischen Bargeld und elektronischem Buchgeld kann die Nullzinsschranke ebenfalls ausgehebelt werden. Agarwal und Kimball (2015) schlagen eine Entkoppelung der Funktionen des Geldes als Tauschmittel und Recheneinheit vor. Ein von der Notenbank gesteuerter Wechselkurs ist als variable Depositengebühr auf Bargeld von den Geschäftsbanken am Bargeldschalter der Notenbank zu entrichten. Bargeld ist keine Recheneinheit mehr, bleibt aber als Tauschmittel erhalten. Es wird öko-

nomisch zu einer Art internen Fremdwährung. Bei einer Inflationsrate der Güterpreise von π_t und einer Änderungsrate des Wechselkurses zwischen Bar- und Buchgeld von s_t ist die effektive Inflationsrate: $\pi_t - s_t$. Bei Negativzinsen auf Bargeld ($s_t < 0$) ist die Inflation effektiv höher als die konventionell ermittelte Inflationsrate.

2 Wohlfahrtsverluste von Negativzinsen auf Bargeld

Wie oben skizziert, kann die Nullzinsschranke durch Negativzinsen auf Bargeld umgangen werden. Um die damit verbundenen gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsverluste empirisch zu quantifizieren, verwenden wir ein dynamisches Modell mit Geld in der Nutzenfunktion (Sidrauski, 1967), das ähnlich wie in Rösl (2006) um verzinliches Bargeld erweitert wurde. Der Periodennutzen $[u(c_t, m_t)]$ des repräsentativen Haushalts beruht auf dem realen Konsum von Gütern (c_t) und der Nutzung von Gelddiensten, die direkt proportional zum realen Geldbestand (m_t) sind. Die Nutzungskosten des Geldes (*USER COST OF MONEY*) ergeben sich aus dem Zinsverlust von Geld gegenüber Kapital, d. h. aus dem Realzins und der Inflationsrate: $r_t + \pi_t$. Wird Bargeld mit der Rate s_t verzinst, dann sind die Geldnutzungskosten (GNK):

$$(1) \quad z_t = r_t + \pi_t - s_t$$

Ein positiver Geldzins ($s_t > 0$) reduziert die GNK, während sie durch Negativzinsen ($s_t < 0$) steigen. Der Haushalt maximiert seinen diskontierten Lebenszeitnutzen mit einer logarithmischen Nutzenfunktion unter einer intertemporalen Budgetrestriktion:

$$(2) \quad u_t = (1 - \alpha) \ln(c_t) + \alpha \ln(m_t)$$

Darin ist α die relative Präferenz für den Konsum von Gelddiensten. Daraus ergibt sich die reale (Bar-)Geldnachfrage

$$(3) \quad m_t = \beta c_t / z_t$$

als Funktion des realen Konsums und der GNK, wobei $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$. Die Geldnachfrage sinkt proportional zu den GNK. Die relativ zum Konsumniveau gemessene Umlaufgeschwindigkeit des Geldes

$$(4) \quad c_t / m_t = z_t / \beta$$

steigt mit den GNK. Je höher die Negativzinsen sind, desto stärker wird die Bargeldhaltung ökonomisiert. Negativzinsen bedeuten Wohlfahrtsverluste für die Bargeldnutzer. Diese Verluste lassen sich bewerten und in Geldeinheiten ausdrücken, so als Verlust an Konsumentenrente, als äquivalente Variation oder kompensierende Variation (*CV*).

$$(5) \quad CV_t = c_{0,t} [1 - (z_t / z_{0,t})^\alpha]$$

Darin misst CV den Wohlfahrtsverlust, c_0 steht für das zuvor erreichte Konsumniveau und z_0 für die GNK durch Einführung bzw. Erhöhung von Negativzinsen auf Bargeld. In dieser Höhe müssten die Konsumenten mit realen Konsumgütern entschädigt werden, um sie in die Lage zu versetzen, das ursprüngliche Nutzenniveau zu erreichen. Die relative Präferenz (α) wird über empirische Ausgabenanteile für Gelddienste geschätzt, da sie offenbarte Präferenzen für die Nutzung von Gelddiensten sind. Wir verwenden Daten für die EWU und Deutschland (DE) für das Jahr 2015. Alternativkosten (z) sind die Renditen des Geldvermögens.

Tabelle 1 zeigt die Wohlfahrtsverluste für den Fall, dass die Negativzinsen auf Bargeld schrittweise angehoben werden. Dadurch geht die Bargeldnachfrage zurück und die Umlaufgeschwindigkeit steigt. Die forcierte Ökonomisierung der Kassenhaltung verursacht Verluste, die sich bei einem Negativzins von 3 % für die EWU (DE) auf 24 (5) Mrd. Euro belaufen.

Tabelle 1: Wohlfahrtsverluste von Negativzinsen auf Bargeld für 2015

Bargeldverzinsung	%	0	-1	-2	-3	-4	-5	-10
EWU								
Bargeldumlauf/-nachfrage	Mrd. €	1.049	846	708	609	535	476	308
Umlaufgeschwindigkeit relativ		1	1,2	1,5	1,7	2	2,2	3,4
Verlust (CV)*	Mrd. €	0	9	17	24	29	34	53
Verlust pro Kopf der Bevölkerung	€	0	28	51	70	87	102	158
Verlustanteil am BIP	%	0	0,09	0,16	0,23	0,28	0,33	0,51
DE								
Bargeldumlauf/-nachfrage	Mrd. €	244	190	156	132	114	101	64
Umlaufgeschwindigkeit relativ		1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	3,8
Verlust (CV)*	Mrd. €	0	2	4	5	7	8	12
Verlust pro Kopf der Bevölkerung	€	0	26	47	64	79	92	141
Verlustanteil am BIP	%	0	0,07	0,13	0,17	0,21	0,25	0,38

Quelle: Rösl, Seitz, Tödter (2017).

* Absolutbetrag der kompensierenden Variation.

3 Wohlfahrtsverluste von Negativzinsen auf Geldmengen

Negativzinsen auf Bargeld dienen nicht dazu, dem Staat Zinserlöse zu verschaffen. Sie sind Mittel zum Zweck, die Nullzinsschranke zu umgehen und signifikant negative Zinsen auf eine breite Palette von Bankeinlagen zu ermöglichen. Mit welchen gesamtwirtschaftlichen Verlusten wäre zu rechnen, wenn Negativzinsen außer auf Bargeld auch auf sämtliche Komponenten der Geldmenge M1 (Bargeld und Sichteinlagen) sowie M3 (M1 plus Termin-, Spareinlagen und marktfähige Instrumente) erhoben würden? Die Komponenten dieser geldnahen Aggregate sind Zahlungsmittel und leisten Gelddienste, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß. Diese Vermögenswerte (m_i) sind relativ leicht, jedoch nicht perfekt substituierbar. Deshalb werden sie in der Nutzenfunktion des Modells nicht summarisch, sondern separat berücksichtigt.

Die Nutzungskosten der Geldkomponente i messen wir analog zu (1) als Zinsdifferenz zwischen der Nominalrendite des Geldvermögens und dem Eigenzins der Komponente i :

$$(6) \quad z_{i,t} = r_t + \pi_t - s_{i,t}$$

Alternativzins ist wiederum die nominale Rendite des Geldvermögens (ohne M1). Als Eigenzinsen verwenden wir den Tagesgeldsatz (für Sichteinlagen) sowie den Satz für Termingelder mit einer Laufzeit von ein bis zwei Jahren (übrige M3-Komponenten). Die Geldnachfragefunktionen sind

$$(7) \quad m_{i,t} = \beta_i c_t / z_{i,t}, \quad \beta_i = \alpha_i / (1 - \sum_{i=1}^k \alpha_i), \quad i = 1 \dots k$$

wobei α_i die relative Präferenz für die Geldkomponente i ist. Tabelle 2 weist die Wohlfahrtsverluste für den Fall aus, dass die Zinsen auf die Komponenten von M1 bzw. M3 um 3 Prozentpunkte (PP) gegenüber den für 2015 realisierten Werten reduziert werden. Zum Vergleich werden auch Ergebnisse für 2005 ausgewiesen, als die Zinsen noch nicht durch die Krisenreaktionen der Geldpolitik stark nach unten gedrückt waren.

Tabelle 2: Wohlfahrtsverluste einer Zinssenkung um 3 PP auf M1 und M3

		2005		2015	
		EWU	DE	EWU	DE
Privater Verbrauch	Mrd. €	4.765	1.329	5.743	1.636
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. €	8.460	2.301	10.460	3.033
M1					
Bargeldumlauf und Sichteinlagen (M1)	Mrd. €	3.480	869	6.631	2.010
Verlust (CV)*	Mrd. €	81	20	144	42
Verlust pro Kopf der Bevölkerung	€	239	243	427	512
Verlustanteil am BIP	%	1,0	0,9	1,4	1,4
M3					
M1 plus Termin- und Spareinlagen (M3)	Mrd. €	7.117	1.737	10.833	2.897
Verlust (CV)*	Mrd. €	156	38	228	59
Verlust pro Kopf der Bevölkerung	€	463	460	676	720
Verlustanteil am BIP	%	1,8	1,6	2,2	1,9

Negativzinsen durch eine Erhöhung der GNK für alle Komponenten von M1 (M3) um 3 PP würde zu immensen Wohlfahrtsverlusten führen. Diese belaufen sich für die EWU nur für ein Jahr (2015) auf 144 (228) Mrd. Euro und entsprechen 1,4 (2,2) % des BIPs. Pro Kopf der Bevölkerung sind das 427 (676) Euro. Im Niedrigzinsumfeld von 2015 fallen die Verluste noch deutlich höher aus als für 2005. Für Deutschland betragen die Wohlfahrtsverluste für M1 (M3) 42 (59) Mrd. Euro bzw. 1,4 (1,9) % des BIPs. Abbildung 1 fasst die Wohlfahrtsverluste (CV) zusammen, die zu erwarten sind, wenn die Zinsen auf die Geldkomponenten um 3 PP gesenkt werden.

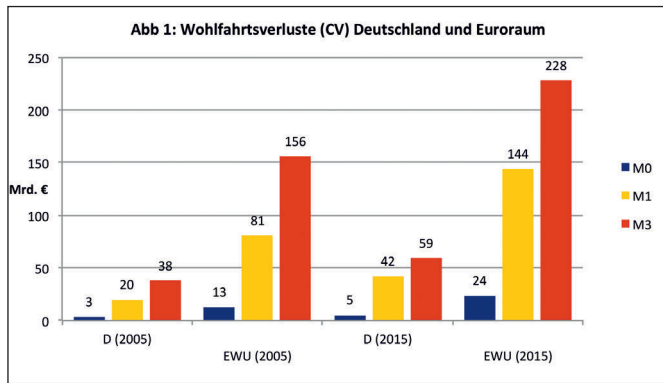


Abbildung 1: Wohlfahrtsverluste (CV) EWU und DE

4 Fazit

Nach unseren Schätzungen würde die Beseitigung der Nullzinsschranke (wie auch die Bargeldabschaffung) bereits bei moderaten Negativzinsen hohe und anhaltende Wohlfahrtsverluste verursachen. So würde eine Reduzierung der Zinsen auf alle Geldkomponenten in M3 um 3 Prozentpunkte für die Konsumenten in der EWU pro Jahr einen Verlust von rund 230 Mrd. Euro bedeuten, allein für Deutschland wären es 60 Mrd. Euro. Das entspricht in beiden Fällen 2% der Wirtschaftsleistung bzw. rund 700 Euro pro Kopf der Bevölkerung.

Alternativrechnungen haben ergeben, dass die Ergebnisse robust auf Parameteränderungen reagieren. Die Beseitigung der Nullzinsschranke für die Geldpolitik hätte einen hohen Preis. Befürworter der Bargeldabschaffung sind den Nachweis schuldig geblieben, dass der postulierte Nutzen – effektiveres Krisenmanagement der Geldpolitik, Eindämmung illegaler bargeldgestützter Aktivitäten – höher wäre als die zu erwartenden privaten wie gesellschaftlichen Wohlfahrtsverluste, von der Erosion bürgerlicher Freiheiten und Rechte wie Anonymität und Datenschutz im Zahlungsverkehr ganz zu schweigen.

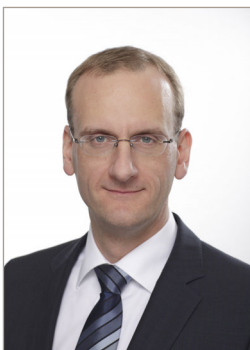
Referenzen:

- [1] Adams, J. (2006), The War on Cash, European Card Review, März/April, 12–18.
- [2] Agarwal, R. und M. Kimball (2015), Breaking Through the Zero Lower Bound, IMF WP/15/224.
- [3] Buiter, W. M. (2009), Negative Nominal Interest Rates: Three Ways to Overcome the Zero Lower Bound, NBER Working Paper 15118.
- [4] Gesell, S. (1911), Die neue Lehre vom Geld, Berlin.
- [5] Kireyev, A. (2017), The Macroeconomics of De-Cashing, IMF WP/17/71.
- [6] Krüger, M. und F. Seitz (2017), Kosten und Nutzen des Bargelds und unbarer Zahlungsinstrumente (Modul 2): Der Nutzen von Bargeld (erscheint demnächst).
- [7] Mersch, Y. (2016), Bares bleibt Wahres, Gastbeitrag auf Spiegel Online, 5. Mai.
- [8] Rogoff, K. S. (2016), The Curse of Cash, Princeton University Press, Princeton.
- [9] Rösl, G. (2006), Regionalwährungen in Deutschland – Lokale Konkurrenz für den Euro?, Deutsche Bundesbank, Diskussionspapier 43/2006.
- [10] Rösl, G., F. Seitz und K.-H. Tödter (2017), Besser ohne Bargeld? ROME DP 17-0.
- [11] Schäuble, W. (2016), <http://www.zeit.de/news/2016-05/26/finanzen-schaeuble-niemand-will-bargeld-abschaffen-26134805>
- [12] Sheedy, B. (2017), Die Deutschen haben ihr Geld gerne in der Hand, Handelsblatt, Nr. 154 vom 13.08.2017.
- [13] Sidrauski, M. (1967), Rational Choice and Patterns of Growth in a Monetary Economy, American Economic Review LVII, 534–544.

Danksagung:

Wir danken Gerhard Ziebarth (Stiftung Geld und Währung) für Kommentare sowie dem Aktionskreis Stabiles Geld (www.aktionskreis-stabiles-geld.de) für die gewährte Unterstützung.

Kontakt:



Prof. Dr. Gerhard Rösl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Regensburg
Fakultät Betriebswirtschaft
Seybothstraße 2
93053 Regensburg

gerhard.roesl@oth-regensburg.de



Prof. Dr. Franz Seitz

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

f.seitz@oth-aw.de



Dr. Karl-Heinz Tödter

Deutsche Bundesbank
Bundesbankdirektor a. D.
Wilhelm-Epstein-Straße 14
60431 Frankfurt a. Main

kh.toedter@t-online.de

Entwicklung eines Modells zur Nachhaltigkeitsberichter- stattung entsprechend der EU-Richtlinie 2014/95/EU

Zusammenfassung

Wie die Entwicklung in der europäischen Gesetzgebung zeigt, wird Corporate-Social-Responsibility- (CSR-) oder Nachhaltigkeitsberichterstattung zu einem wichtigen Thema für Unternehmen. Das hier vorgestellte Forschungsprojekt zielt darauf ab, ein Modell zur Implementierung einer CSR-Berichterstattung für das Kooperationsunternehmen BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH zu entwickeln. Dabei folgt es dem Forschungsansatz der Interventionsforschung.

Abstract

As the EU-legislation shows Corporate Social Responsibility (CSR) or sustainability reporting is becoming an important topic for companies. The goal of the research project, which is presented in this article, is to develop a model for the implementation of a CSR-reporting for the cooperation company BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH. In the course of this, it follows the research approach of intervention research in order to develop a realistic and practically relevant model.

1. Einleitung

Im Jahr 2014 wurde vom Europäischen Parlament und vom Europäischen Rat die Richtlinie 2014/95/EU zur Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen verabschiedet. Diese Richtlinie will die Transparenz der Berichterstattung über ökologische und soziale Themen von Unternehmen in der EU erhöhen [1]. Um sich auf mögliche zukünftige Berichtspflichten in diesem Bereich vorzubereiten, trat BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH (BHS) an das Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden heran. Daraus entstand das Forschungsprojekt „Entwicklung eines Modells zur Nachhaltigkeitsberichterstattung entsprechend der EU-Richtlinie 2014/95/EU“.

Die Umsetzung dieser Richtlinie in deutsches Recht durch das CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz erfolgte am 9. März 2017 [2]. BHS gehört nicht zu den Unternehmen, die von diesem Gesetz betroffen sind. Allerdings sind mehrere Zulieferer und Kunden mit den rechtlichen Vorgaben konfrontiert, sodass das Projekt (Laufzeit: Dezember 2016 bis November 2017) inhaltlich angepasst wurde. Im Zuge dieses Austausches mit der Unternehmensleitung kam man zur Erkenntnis, dass das Unternehmen bereits

vereinzelt in den Berichterstattungsbereichen Soziales und Ökologie aktiv ist, jedoch dies bis dato noch nicht kommuniziert hatte. Man beschloss, ein Modell zur Implementierung einer CSR-Berichterstattung für den Hauptstandort zu entwickeln.

CSR steht für Corporate Social Responsibility und basiert auf dem Prinzip der nachhaltigen Entwicklung. Übertragen auf den Unternehmenskontext definiert Iris Pufé Corporate Social Responsibility als „unternehmerische Gesellschaftsverantwortung“ [3, S. 20]. Es ist jene Selbstverpflichtung von Firmen, gesetzeskonform und über das geltende Recht hinaus ökologische und soziale Anliegen in der Wertschöpfungskette zu verankern. Dieser Definition von CSR hat sich der Projektpartner verschrieben. In seiner CSR-Berichterstattung wird das Unternehmen über seine Performance im sozialen, ökologischen und ökonomischen Bereich berichten. Grundlage dafür ist das bereits erwähnte Modell.

Die Entwicklung dieses Modells verfolgt drei Ziele: Erstens soll eine CSR-Berichterstattung für den Hauptstandort aufgesetzt werden. Zweitens dient der Entwicklungsprozess dazu zu überprüfen, inwiefern das Nachhaltigkeitsmodell von Pufé [3, S. 78] auf die hier zu untersuchende Situation anwendbar ist. Schließlich

besteht das dritte Ziel darin, aus den Erkenntnissen, die durch den Praxistransfer entstehen, ein allgemeines Prozessmodell für die Implementierung einer CSR-Berichterstattung in Unternehmen zu erarbeiten.

2. Methodisches Vorgehen

Aufgrund der fokussierten Anwendbarkeit des Modells in der Praxis und dem sich daraus ergebenden Erfordernis, die Unternehmenskultur genauer zu kennen, wurde im Forschungsteam beschlossen, das Forschungsprojekt qualitativ auszurichten und den Ansatz einer Interventionsforschung zu wählen. Interventionsforschung beschäftigt sich mit zwei verschiedenen Positionen: Zum einen werden Interventionen unterschiedlicher Art betrachtet, zum anderen hat dieser Forschungstyp zum Ziel, selbst Interventionen vorzunehmen, d. h., er will mit einer spezifischen Zielsetzung in bestimmten Systemen wirksam werden bzw. einen Beitrag dazu leisten, diese Systeme weiterzuentwickeln [4, S. 9]. Im vorliegenden Forschungsprojekt wird das Unternehmen als das System begriffen, während die Einführung der CSR-Berichterstattung am Hauptstandort die Intervention darstellt.

Die Wahl dieses Forschungstyps liegt darin begründet, dass Interventionsforschung sich insbesondere als Prozesswissenschaft versteht. Sie bietet die Möglichkeit, gemeinsam mit dem Unternehmen ein verbindliches Forschungsdesign zu entwickeln und bereits im Zuge des Forschungsprozesses Teilergebnisse an die Firma weiterzugeben (Rückkoppelung) [4, S. 26]. Darüber hinaus wurde sie ausgewählt, weil sie zum Ziel hat, zu einer nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft beizutragen [4, S. 94]. Darüber hinaus unterstützt sie, sich ein Bild davon zu machen, wie nachhaltige Entwicklung gelebt, betrachtet und als Thema diskutiert werden kann [5, S. 162].

Der übliche Verlauf eines Interventionsforschungsprojekts ist in Abbildung 1 skizziert. Dieser reicht von der Auftragsklärung über die Datenerhebung bis zum Projektende [4, S. 177]. Diese Schritte wurden bis zur Datenerhebung, teilweise bereits vor Projektbeginn, wie in Abbildung 1 ersichtlich, nacheinander durchlaufen. Ab der Datenerhebung musste jedoch ein leicht veränderter Ablauf entwickelt werden, um möglichst praxisnah arbeiten zu können und damit eine an ein mittelständisches Unternehmen angepasste CSR-Berichterstattung zu konzeptionieren.

In diesem Schritt der Entwicklung wurde zudem das Nachhaltigkeitsmodell von Pufé [3, S. 78] geprüft. Dieses empfiehlt, für die Implementierung eines Nachhaltigkeitsmanagements fünf Schritte in folgender Reihenfolge zu durchlaufen:

1. Situationsanalyse
2. Nachhaltigkeitsstrategie
3. Umsetzung und Maßnahmenkatalog
4. Nachhaltige Kommunikation und
5. Fortschrittskontrolle [3, S. 77–78]

Aufgrund des Ziels des Forschungsprojekts, eine CSR-Berichterstattung zu implementieren, hätten damit alle

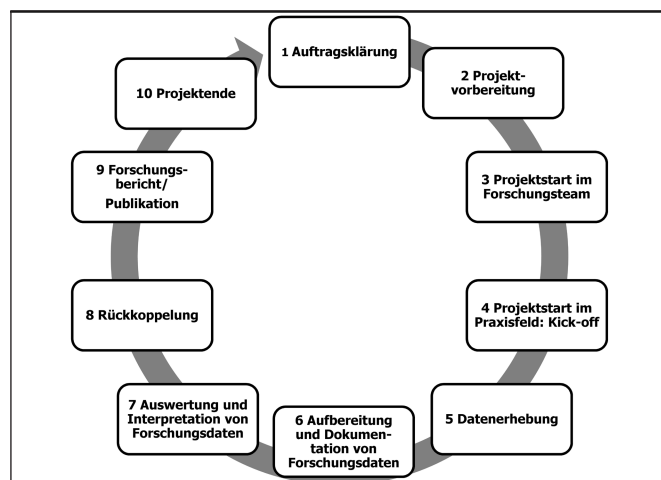


Abbildung 1: Forschungskreislauf (in Anlehnung an Krainer/Lerchster [4, S. 177])

Schritte durchlaufen werden müssen. Da der Projektpartner jedoch im sozialen und ökologischen Bereich mit einzelnen Maßnahmen aktiv ist, konnte über diese Aktivitäten bereits berichtet werden. Die Veröffentlichung des neuen CSR-Berichts ist für das Jahr 2018 geplant. Aufgrund des eng umrissenen Zeitraums ist eine Implementierung von Maßnahmen und die Berichterstattung darüber nicht möglich. Deswegen wurde die von Pufé vorgeschlagene Reihenfolge [3, S. 77–78] abgeändert und im neuen Forschungsablauf in Abbildung 2 und Kapitel 3 „Teilergebnisse und Ausblick“ visualisiert.

Gemäß dem mit der Unternehmensleitung abgestimmten Projektplan wurden folgende Schritte durchlaufen: Um einen Eindruck über die Stellung des Nachhaltigkeits- bzw. CSR-Themas im Anlagen- und Maschinenbau zu erhalten, wurden in der ersten Phase Interviews mit verschiedenen Branchenexperten durchgeführt. Da die Basis eines jeden unternehmerischen CSR-Engagements eine CSR-Strategie ist, wurde dessen Ausarbeitung als Add-on in das For-

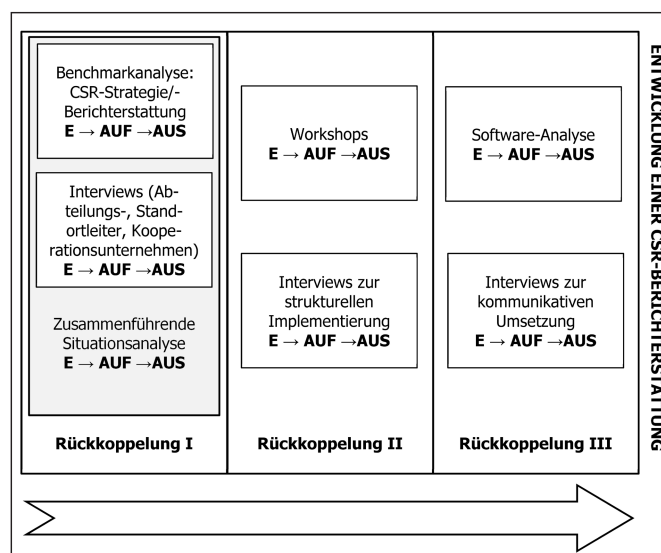


Abbildung 2: Neuer Forschungsablauf CSR-Berichterstattung [eigene Darstellung]

schungsprojekt aufgenommen. Sowohl für die CSR-Strategie als auch für die CSR-Berichterstattung wurden Benchmarkanalysen, qualitative Interviews mit Standort- und Abteilungsleitern als auch Kooperationsunternehmen sowie eine zusammenführende Situationsanalyse durchgeführt.

Insbesondere für die CSR-Berichterstattung wurde ein CSR-Gremium aus Mitarbeitern verschiedener Abteilungen gegründet. Im Rahmen dieses Gremiums wurden mehrere Workshops zur Erstellung einer CSR-Berichterstattung gemäß den GRI-Standards [6] durchgeführt. Die GRI-Standards stellen ein Rahmenwerk zur CSR-Berichterstattung dar und werden von der gleichnamigen Organisation, der Global Reporting Initiative (GRI), herausgegeben. GRI gibt hier nicht nur Vorgaben zu den Berichtsinhalten, sondern stellt auch eine Vorgehensweise zur Verfügung, um die wesentlichen Nachhaltigkeitsthemen im Unternehmen zu identifizieren [7, S. 32–41]. Dieser Leitfaden wurde im Zuge der Workshops genutzt. Nach Abschluss der Workshops wurden zudem Interviews zur strukturellen Implementierung der CSR-Berichterstattung durchgeführt. Zuständigkeiten wurden festgelegt, die Erhebung und Übermittlung von CSR-Daten geregelt.

3. Teilergebnisse und Ausblick

Die Prüfung der Anwendbarkeit des Nachhaltigkeitsmodells von Pufé [3, S. 78] ergab, dass im hier vorliegenden Forschungsprojekt nicht alle Schritte in der empfohlenen Reihenfolge durchlaufen werden müssen. Die Reihenfolge wird von der Ausgangssituation des Unternehmens bestimmt. Im Zuge des Forschungsprojekts haben sich insbesondere zwei Faktoren herauskristallisiert, die die Reihenfolge der einzelnen Schritte bestimmen:

- a) der Entwicklungsstand des Unternehmens im CSR-Bereich,
- b) der zeitliche Rahmen, der für die Umsetzung der CSR-Berichterstattung zur Verfügung steht.

Auf Basis dieser abgeänderten Reihenfolge wurde in Anlehnung an den Forschungskreislauf einer Interventionsforschung [4, S. 177] und des Nachhaltigkeitsmodells von Pufé [3, S. 78] der neue Forschungsablauf entwickelt. Dieser wird in Abbildung 2 gezeigt. Es ist ersichtlich, dass im Laufe des Projekts drei große Rückkoppelungen durchgeführt werden. In diesen Rückkoppelungen sind die Instrumente gebündelt. Innerhalb der Instrumente werden dann die Daten erhoben (E), aufbereitet (AUF) und ausgewertet (AUS). Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die jeweiligen Erkenntnisse mehrmals an das Unternehmen weiterzugeben, zu diskutieren und dementsprechend die weiteren Schritte im Forschungsprozess anzupassen.

Neben diesem neuen Forschungsablauf war eine weitere Erkenntnis die entscheidende Bedeutung der Unternehmenskultur bei der Implementierung einer CSR-Berichterstattung. Der Erfolg der Implementierung der CSR-Berichterstattung hängt wesentlich von den gelebten Werten, den vorherrschenden Denkmustern und dem Handeln im Unternehmen ab. So wurden bestimmte Konzepte wie z. B. Mülltrennung und Energieeinsparung am Arbeitsplatz oder die Entwicklung energieeffizienter Produkte bereits im Unternehmen umgesetzt. Dies vereinfachte die Arbeit im CSR-Gremium, da dadurch bereits ein Bewusstsein unter den Mitgliedern für das Thema Nachhaltigkeit bestand.

In den letzten zweieinhalb Monaten des Forschungsprojekts werden nun noch eine Softwareanalyse im Bereich CSR und Interviews zur kommunikativen Umsetzung durchgeführt. Die Erkenntnisse werden schließlich zusammengeführt und in einem Forschungsbericht an das Unternehmen weitergegeben.

Referenzen:

- [1] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Die neue Richtlinie zur Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen (sog. CSR-Richtlinie) für mehr Unternehmenstransparenz in Europa, o. J. <http://www.csr-in-deutschland.de/DE/Politik/CSR-national/Aktivitaeten-der-Bundesregierung/CSR-Berichtspflichten/richtlinie-zur-berichterstattung.html>, abgerufen am: 27.02.2017
- [2] Deutscher Bundestag: Ausweitung der Berichtspflichten für Unternehmen beschlossen, 2017. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2016/kw42-de-berichtspflichten/472090>, abgerufen am: 02.04.2017
- [3] Pufé, I.: Nachhaltigkeitsmanagement. Pocket-Power. München: Hanser 2012
- [4] Krainer, L. u. Lerchster, R. E. (Hrsg.): Interventionsforschung. Wiesbaden: Springer VS 2012
- [5] Krainer, L. u. Lerchster, R. E. (Hrsg.): Interventionsforschung. Wiesbaden: Springer 2016
- [6] Global Reporting Initiative: GRI Standards, o. J. <https://www.globalreporting.org/standards>, abgerufen am: 28.08.2017
- [7] GRI: G4 Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung. Umsetzungsanleitung, 2015. <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/German-G4-Part-Two.pdf>, abgerufen am: 13.03.2017

Projektpartner:

BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer

Fördergeber:



Kontakt:



Prof. Dr. Bernhard Bleyer

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

b.bleyer@oth-aw.de



Heike Vogel-Pöschl, M. Sc.

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

Hybride Fertigung komplexer Kunststoffteile – Kombination aus „3D-Druck“ und Zerspanung

Zusammenfassung

An der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden wurde eine Vielzahl von generativen Fertigungsverfahren erprobt, analysiert und eine Qualitätskontrolle zur Beurteilung der Genauigkeit der verschiedenen Verfahren entwickelt [1,2]. Die erzielbare Oberflächenqualität vieler Additivverfahren liegt noch immer weit unter den üblichen industriellen Anforderungen, die eine konventionelle Nachbearbeitung der Druckteile erfordern. Diese Herstellungsstrategie wird als Hybridproduktion bezeichnet. Um die Wirtschaftlichkeit und die erzielbare Oberflächenqualität der Hybridproduktion zu analysieren, haben die Forscher des Projektes „Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden“ (ISAC@OTH-AW) eine beispielhafte Prozesskette entwickelt und in die Praxis umgesetzt.

Abstract

A wide variety of generative manufacturing processes have been tested, investigated and a quality control part for the evaluation of the accuracy of the different processes has been developed at the Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) of Amberg-Weiden [1,2]. The achievable surface quality of many additive processes is still well below the usual industrial requirements which necessitates conventional finishing of the printed parts. This manufacturing strategy is called hybrid production. In order to analyze the cost effectiveness and the achievable surface quality of the hybrid production, the researchers of "Industry Software Application Center an der OTH Amberg-Weiden" (ISAC@OTH-AW) project have developed an exemplary process chain and put it into practice.

1 Stand der Technik

Die additive Fertigung, auch „3D-Druck“ genannt, findet heutzutage in unterschiedlichsten Bereichen und Verfahrensausprägungen eine immer breitere Anwendung. Noch vor einigen Jahren war der „3D-Druck“ aufgrund komplexer, unausgereifter und teurer Maschinen hauptsächlich in Bereichen wie Forschung und Prototypenbau verbreitet. Auslaufende gewerbliche Schutzrechte [3] sowie immer günstigere Elektronik-, Steuerungs- und Antriebskomponenten vereinfachen Unternehmen wie auch Privatpersonen den Zugang zur additiven Herstellung von Bauteilen. Insbesondere Desktopsysteme, die nach dem Prinzip der sogenannten Fused Filament Fabrication (FFF) arbeiten, erfreuen sich immer größerer Beliebtheit [4]. Deren zuverlässiges Funktionsprinzip und die einfache Maschinenhandhabung ermöglichen es dem Benutzer, auch ohne umfangreiche Schulungen sowie aufwendige Prozessketten Bauteile aus verschiedenen Kunststoffen zu drucken. Bedingt durch das grundlegende Verfahrensprinzip und

den schichtweisen Bauteilaufbau, die oftmals geringe Steifigkeit der Maschinenstruktur und den Einsatz einfacher Antriebs- und Steuerungskomponenten, z. B. Schrittmotoren mit Arduino-Steuerung, ist die erreichbare Genauigkeit sowie Oberflächenqualität nicht mit der von laserbasierten oder gar hybriden Verfahren vergleichbar [1].

Sind additiv gefertigte Komponenten nicht nur als Anschauungsobjekt oder Prototyp vorgesehen und sollen sie mit anderen Komponenten kombiniert werden, ist es unabdingbar, dass gedruckte Teile funktionsrelevante Toleranzen und Oberflächenqualitäten erfüllen. Hierzu sind jedoch oftmals auch additive High-End-Maschinen nicht in der Lage. Daher ist die Nachbearbeitung der gedruckten Bauteile bzw. ihrer funktionsrelevanten Bereiche über konventionelle Fertigungsverfahren wie Fräsen, Drehen, Bohren oder Schleifen erforderlich. Die Kombination von generativen und subtraktiven Herstellungsverfahren wird als hybride Fertigung bezeichnet und findet insbesondere im Bereich additiv gefertigter

Metallteile wie z. B. bei Werkzeugformen industrielle Anwendung. Die hybride Fertigung kann auf verschiedenen Wegen realisiert werden. Neben der typischen Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen auf separaten Werkzeugmaschinen werden mittlerweile auch spezielle hybride Gesamtkonzepte erforscht [5] sowie von verschiedenen Herstellern angeboten. Dabei wird beispielsweise in einer 5-Achs-Werkzeugmaschine ein Metallbauteil generativ mittels Laserauftragsschweißen erzeugt und in der gleichen Aufspannung spanend bearbeitet [6]. Der Vorteil solcher Systeme liegt zum einen in der hohen Individualisierbarkeit der hergestellten Komponenten und zum anderen in der Einsparung von Rüstvorgängen. Nachteile sind eine komplexe Bedienung und Programmierung hybrider Prozesse sowie die aufwendige Handhabung des Metallpulvers.

Eine geschlossene Prozesskette zur Programmierung komplexer Hybridprozesse bieten momentan nur wenige Softwarepakete. Da diese nicht jedem Unternehmen zur Verfügung stehen, wird im Folgenden anhand einer an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden vorhandenen und digitalisierten Einsteinbüste eine Prozesskette vorgestellt, wie die Herausforderung Hybridbauteil auch mit konventionellen CAM-Programmen zu meistern ist.

2 Prozesskette der hybriden Fertigung

Der additiven Fertigung liegt stets ein dreidimensionales CAD-Modell des gewünschten Bauteils zugrunde, das bei geringen Anforderungen an Genauigkeit oder Oberflächenqualität ohne weitere Modifikationen gedruckt werden kann. Vor der Herstellung wird das CAD-Modell dazu mit einer Preprocessing-Software, auch „Slicer“ genannt, in einzelne Schichten unterteilt und im Anschluss daran werden die Druckbahnen an den Drucker übertragen. Typischerweise sind dabei Prozessparameter wie Temperatur und Vorschub sowie geometrische Faktoren wie Schicht- und Wandstärke oder Füllstruktur einstellbar, um die Qualität, Fertigungsdauer wie auch mechanische Eigenschaften des Bauteils zu beeinflussen [7]. Soll ein additiv gefertigtes Bauteil nachbearbeitet werden, sind entsprechende Aufmaße an den Bearbeitungsflächen vorzusehen. Da die Preprocessing-Tools oftmals nur eingeschränkte Modellmodifikationen wie z. B. eine gleichmäßige oder richtungsabhängige Skalierung bieten, braucht es neben dem CAD-Modell des fertigen Bauteils auch ein spezielles Druckrohteilmodell. Alle nachzubearbeitenden Bereiche müssen dort mit den jeweils notwendigen Aufmaßen ausgestattet sein. Bei einfachen Teilen ist dies ohne großen Aufwand direkt im CAD-System möglich. Bei komplexen Geometrien wie beispielsweise Freiformflächen stoßen diese Tools schnell an ihre Grenzen.

Im Folgenden soll daher eine Prozesskette aufgezeigt werden, die es unter Einsatz branchenüblicher Software-Tools ermöglicht, die Präzision und die Oberfläche von

gedruckten Bauteilen aus Kunststoff mithilfe einer nachträglichen Fräsbearbeitung zu verbessern.

2.1 CAM-basierte Generierung komplexer additiv gefertigter Rohteile

Neben der nachzubearbeitenden Bauteilgeometrie sind auch Durchmesser und Form des eingesetzten Zerspanungswerkzeugs entscheidende Einflussgrößen, wie die Aufmaße einzelner Bereiche zu deren zielgerichteter Nachbearbeitung gestaltet werden müssen. In Abbildung 1 ist ersichtlich, dass insbesondere bei komplexen Geometrien ein konstantes Flächenaufmaß je nach eingesetztem Werkzeug keine vollständige Nachbearbeitung zulässt. Um diese Problematik zu beheben, ist ein geometrie- und werkzeugabhängiges Aufmaß am Rohteil notwendig, was jedoch einen hohen Modellierungsaufwand im CAD mit sich bringen würde. Insbesondere bei Änderungen am Bauteil wäre es notwendig, stets beide Modelle entsprechend zu überarbeiten.

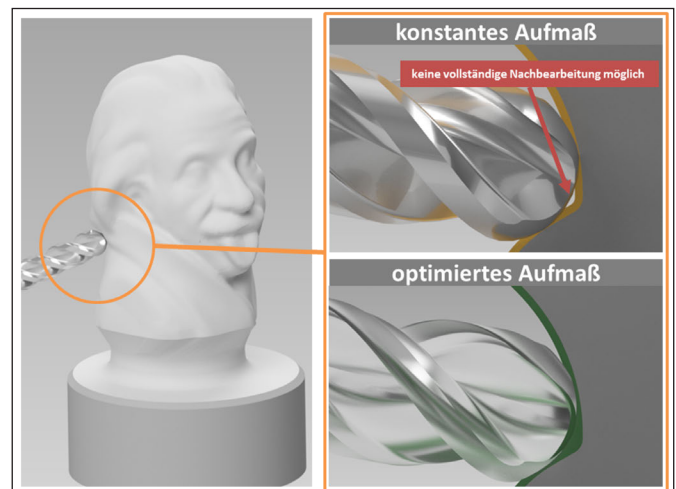


Abbildung 1: Gegenüberstellung eines konstanten und angepassten Aufmaßes zur Nachbearbeitung einer komplexen Geometrie

Eine Möglichkeit, den konstruktiven Aufwand zu reduzieren, ist die direkte Generierung eines Druckrohteils in einer CAM-Umgebung, die auch zur Programmierung der eigentlichen spanenden Nachbearbeitung eingesetzt wird. Um die Vorgehensweise entsprechend visualisieren zu können, wurde eine an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden digitalisierte Einsteinbüste (siehe Abbildung 1) als komplexes hybrid zu fertigendes Bauteil ausgewählt. Für die Programmierung der Fräsbearbeitung fand dabei die CAM-Software hyperMILL Version 2016.1 der OPEN MIND Technologies AG, Wessling, Anwendung.

Im ersten Schritt wird der digitale Zwilling der Einsteinbüste im Maßstab 1:1 als Volumenmodell im STEP-Format an die CAM-Software übertragen. Anschließend werden alle notwendigen Koordinatensysteme definiert sowie die notwendigen Werkzeuge erstellt und parametrisiert. Für die Nachbearbeitung finden einschneidige, speziell für die Kunststoffzerspanung entwickelte Kugelfräser mit ei-

nem Durchmesser von 8 mm zum Vorschlichten und 6 mm zum abschließenden Schlichten Anwendung. Um zum einen eine Materialabtragsimulation des gewünschten Fräsprozesses durchführen zu können und zum anderen dem CAM-System die Berechnung der Eingriffsverhältnisse am Bauteil zu ermöglichen, ist es grundsätzlich notwendig, ein entsprechendes Rohteilmodell zu definieren. Im hier gezeigten Anwendungsfall soll dies mit einem auf das Fräswerkzeug abgestimmten Aufmaß additiv hergestellt werden. Somit ist die tatsächliche Geometrie zu Beginn der CAM-Programmierung noch nicht bekannt.

Der zielgerichtete Einsatz der sogenannten Restmaterialberechnung des CAM-Systems ermöglicht es, die optimale Rohteilgeometrie durch eine vorgeschaltete und rein virtuelle Fräsbearbeitung zu bestimmen. Dazu wird im zweiten Schritt neben dem originalen Modell ein zylindrischer Hüllkörper als Startgeometrie für die Rohteilermittlung definiert. Dessen Durchmesser entspricht dem des Sockels der Einsteinbüste, da in diesem Bereich keine Nachbearbeitung erfolgen soll.

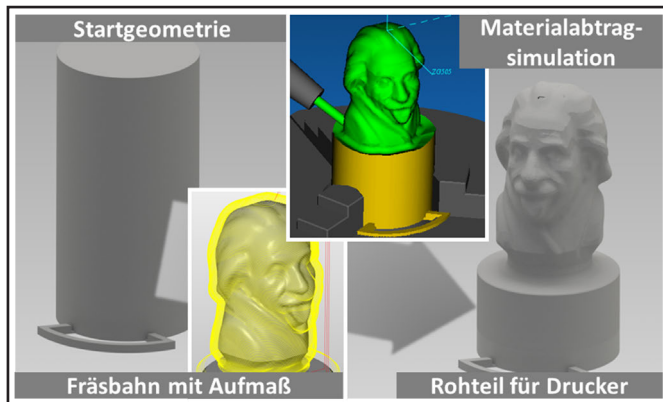


Abbildung 2: Virtuelles Fräsen der Druckrohteilgeometrie

Durch die Programmierung einer 5-Achs-Bearbeitung wird im dritten Schritt eine Fräsbahn erzeugt, mit welcher der zylindrische Hüllkörper unter Einsatz des 8-mm-Kugelfräsers bis auf ein Aufmaß von 1 mm zur Originalgeometrie, wie in Abbildung 2 ersichtlich, rein virtuell bearbeitet wird. Bei dieser Vorgehensweise werden vom CAM-System automatisch die Einflüsse von Werkzeug und Fertigteil auf die Geometrie des Aufmaßes für verschiedene Bereiche berücksichtigt. Auf Basis der erzeugten Fräsbahn oder -bahnen kann anschließend über die Materialabtragsimulation der Software hyperMILL zum einen der Bewegungsablauf der programmierten Fräsbearbeitung visualisiert und zum anderen für alle Zeitschritte das Restmaterial berechnet werden. Nach Fertigstellung der Simulation ergibt sich eine Restmaterialgeometrie, welche mit einem hinsichtlich Werkzeug und Bauteilgeometrie optimierten Aufmaß an den Bearbeitungsflächen versehen ist. Diese Restmaterialgeometrie bildet somit zum einen den idealen Datensatz für die additive Fertigung des Rohteils und zum anderen das virtuelle Rohteil für die folgende Programmierung der spanenden Nachbearbeitung.

Das CAM-System hyperMILL bietet die Möglichkeit, das berechnete Restmaterial als STL-Datensatz zu exportieren. Wie in Abbildung 3 ersichtlich kann dieser direkt an die Preprocessing-Software des Druckers weitergegeben, der Fertigungsprozess vorbereitet und das Rohteil letztendlich gefertigt werden.

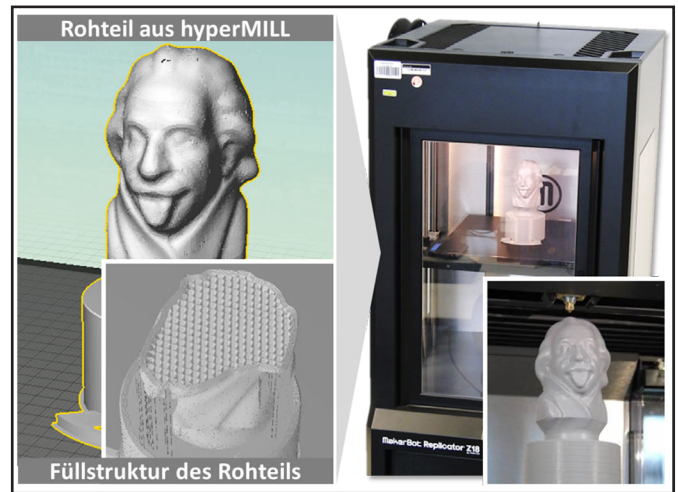


Abbildung 3: Additiver Fertigungsprozess des Rohteils

Im hier beschriebenen Anwendungsfall wurden die Rohteile mit einem FFF-Drucker vom Typ Replikator Z18 der Firma MakerBot Industries, Brooklyn (US), aus dem Kunststoff PLA gefertigt. Dies erfolgte mit einer 0,4 mm Düse, einer Schichthöhe von 0,2 mm und einer Schmelztemperatur von 210 °C. Zur Programmierung wurde die Software MakerBot Desktop Version 3.1 des Druckerherstellers eingesetzt. Um eine ausreichende Steifigkeit des Rohteils zu gewährleisten, wurde eine Wandstärke von 4 mm bei einer hexagonalen Füllstruktur (25 %) gewählt. Die Fertigungsdauer eines Rohteils bei diesen Randbedingungen beläuft sich auf ca. 18 Stunden.

2.2 CAM-Programmierung und praktische Anwendung der Nachbearbeitung

Die Programmierung der tatsächlichen Nachbearbeitungsschritte erfolgt im selben CAM-Projekt, in dem auch die vorgeschaltete Rohteilgenerierung programmiert wurde. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass Rohteilgenerierung und Nachbearbeitung auf derselben Datenbasis beruhen. Somit kann das für den 3D-Druck über eine geeignete rein virtuelle Fräsbearbeitung und deren Materialabtragsimulation bestimmte Rohteilmodell ohne weitere Modifikation als Restmaterial für die Programmierung der realen Fräsoptionen herangezogen werden. Mögliche Änderungen an der Bauteilgeometrie oder eine Veränderung des Aufmaßes werden dadurch in allen CAM-Prozessschritten der hybriden Prozesskette automatisch berücksichtigt.

Insbesondere für moderne Frässtrategien wie beispielsweise das dynamische Fräsen ist es von entscheidender Bedeutung, im CAM-System die richtige Rohteilgeometrie einzusetzen. Andernfalls ist es den Programmen nicht möglich, die korrekten Eingriffsbedingungen der Werk-

zeuge zu berechnen und deren Potenzial durch optimierte, an die jeweilige Bearbeitungssituation angepasste Parameter auszuschöpfen. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls von besonderer Bedeutung, welche Leistungsdaten die eingesetzte Werkzeugmaschine aufweist. Für den hier vorgestellten Nachbearbeitungsprozess wurde das an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden vorhandene 5-Achs-Universalbearbeitungszentrum vom Typ G350 der GROB-WERKE GmbH & Co. KG eingesetzt. Dessen hohe Vorschubdynamik mit maximaler Achsbeschleunigung von $4,5 \text{ m/s}^2$ und einer Spindeldrehzahl von bis zu 30.000 min^{-1} bei 53 kW Antriebsleistung ermöglichen ein breites Einsatzspektrum der Maschine. Um der Gefahr von Schwingungen und hohen Belastungen bei der Nachbearbeitung des weit ausgespannten additiv gefertigten Rohteils entgegenzuwirken, erfolgt diese in drei Prozessschritten. Deren komplexe 5-Achs-Bewegungsabläufe wurden in einem virtuellen Maschinenmodell der G350 simuliert. Die dazu eingesetzte Maschinensimulationssoftware VERICUT Version 8 der Firma CGTech, Irvine (US), ermöglicht es, neben der Kollisionskontrolle eine Vielzahl von Bearbeitungsparametern wie beispielsweise Werkzeugeingriff und Zeitspanvolumen detailliert zu analysieren und somit vorab kritische Situationen zu erkennen und zu optimieren.

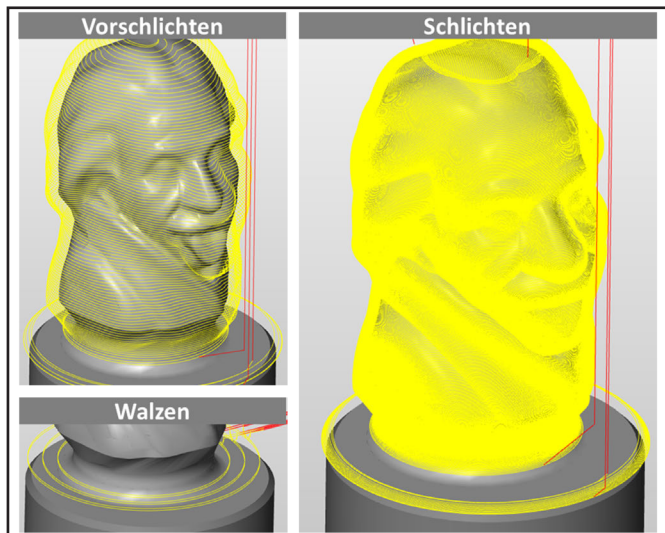


Abbildung 4: Werkzeugbahnen der 5-Achs-Nachbearbeitung

Der erste Schritt entspricht einem Vorschlichtprozess mit einem 8-mm-Kugelfräser, dessen Schneidgeometrie bereits zur Rohteileilgenerierung (Abschnitt 2.1) diente. In diesem Prozess wird der Großteil des Aufmaßes mittels spiralförmiger 5-Achs-Frässtrategie entfernt. Der Einsatz des größeren Werkzeuges ermöglicht zum einen ein größeres Zeitspanvolumen, und zum anderen können im gleichen Zuge auch die Stützstrukturen des Druckprozesses abgetragen werden (siehe Abbildungen 4 und 5). Das Vorschlichten erfolgt mit einer Schnittgeschwindigkeit von 300 m/min und einem Vorschub von 3.500 mm/min . Die Zustelltiefe beträgt $0,7 \text{ mm}$ und die Zustellbreite 1 mm .

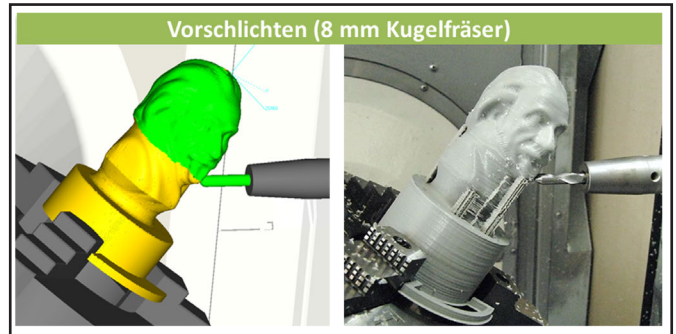


Abbildung 5: Maschinensimulation und Anwendung des 5-Achs-Vorschlichtens

Im zweiten Schritt erfolgt, wie in Abbildung 6 veranschaulicht, die Schlichtbearbeitung der Oberfläche mit einem 6-mm-Kugelfräser. Analog zum Vorschlichtprozess findet dabei eine spiralförmige 5-Achs-Frässtrategie Anwendung, die es in Kombination mit dem kleineren Werkzeug ermöglicht, die feinen Strukturen der Oberfläche herauszuarbeiten.

Das Schlichten erfolgt ebenfalls mit einer Schnittgeschwindigkeit von 300 m/min , jedoch bei 3.000 mm/min Vorschub. Die Zustelltiefe beträgt $0,3 \text{ mm}$ und die Zustellbreite $0,2 \text{ mm}$.

Abgeschlossen wird die Nachbearbeitung durch einen 5-Achs-Walzfräsprozess zum Schlichten der Sockeloberseite mit dem 8-mm-Kugelfräser (siehe Abbildung 4). Die Bearbeitungsparameter entsprechen dabei denen des Vorschlichtens.

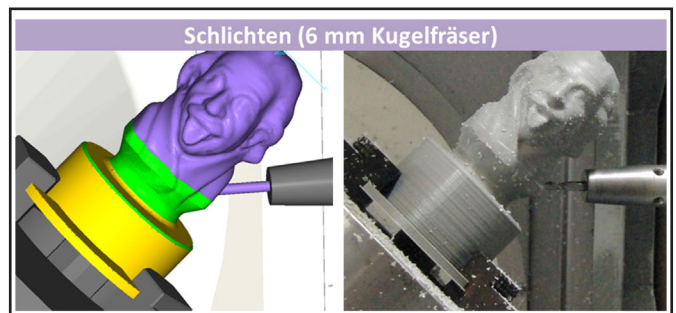


Abbildung 6: Maschinensimulation und Anwendung des 5-Achs-Schlichtens

3 Qualität und Wirtschaftlichkeit eines hybrid gefertigten Bauteils

Um den Einfluss jedes Nachbearbeitungsschrittes auf die Qualität, insbesondere auf die Oberfläche, des Bauteils beurteilen zu können, wurde an einem Rohteil jeweils nur ein Teilbereich vorgeschlichtet bzw. geschlichtet. Die jeweilige Oberflächenstruktur wurde mit einem 3D-Inspektionsscanner vom Typ MikroCADplus der LMI TECHNOLOGIES INC., Delta (CA), erfasst und die dazugehörigen Rauheitskenngrößen bestimmt. Abbildung 7 veranschaulicht anhand dreidimensionaler Detailaufnahmen die Oberflächenstruktur des gedruckten Rohteils sowie der nachbearbeiteten Bereiche. Die Rohteiloberfläche zeigt ausgeprägte Wellen bedingt durch den Schichtauftrag, woraus ein Mittenrauwert $Ra = 18,5 \mu\text{m}$ resultiert.

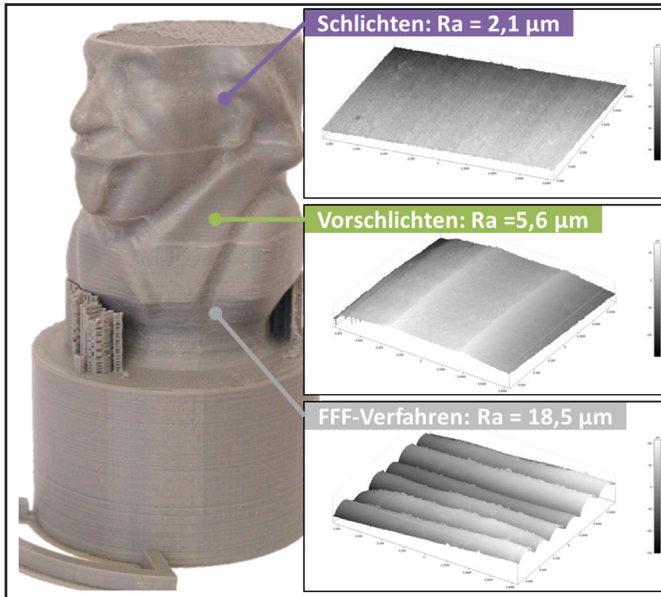


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Oberflächenbeschaffenheit einzelner Prozessschritte

Durch das Vorschlichten wird die Oberfläche des Druckprozesses bereits vollständig entfernt. Bedingt durch eine größere Zustellung bei der Bearbeitung sind jedoch deutlich die Werkzeugbahnen erkennbar, was zu einem Mittenrauwert von $Ra = 5,6 \mu m$ führt. Die abschließende Schlichtbearbeitung resultiert in einer Oberflächenrauheit von $Ra = 2,1 \mu m$. Gegenüber der Ausgangsoberfläche konnte die Oberflächenqualität im Rahmen dieses Beispielprozesses um mehr als das Achtfache gesteigert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bezüglich des Einsatzes der additiven Fertigung ist das Thema der Wirtschaftlichkeit. Dazu wurden detailliert die Prozesskosten der hybrid gefertigten Büste bestimmt und denen einer konventionell aus Vollmaterial gefrästen Einsteinbüste gegenübergestellt. Abbildung 8 zeigt zum einen die Gesamtkosten sowie die jeweiligen Material-, Energie-, Werkzeug- und Maschinenkosten eines Prozesses. Dabei fällt auf, dass die Herstellung der Büste über den hybriden Prozess um 7 Euro günstiger ist. Dies liegt maßgeblich an den geringeren Kosten für Maschine sowie Werkzeug je Teil.

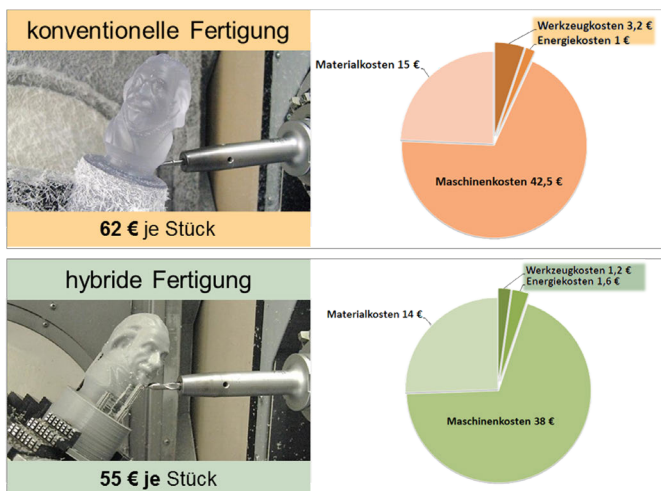


Abbildung 8: Wirtschaftliche Gegenüberstellung von hybrider und konventioneller Fertigung

Ebenfalls interessant sind die Materialkosten. Trotz des geringeren Gewichts eines gedruckten Rohteils sind die Materialkosten für beide Prozesse vergleichbar, da das Filament zur additiven Fertigung teurer ist. Bei der konventionellen Herstellung über Vollmaterial wird jedoch beim Schrumpfen bereits Kunststoff im Wert von 6 Euro abgetragen. Dieser fällt dementsprechend als Spanvolumen im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine an und muss entsorgt werden. Die reine Bearbeitungszeit auf der Werkzeugmaschine konnte von 67 min bei der konventionellen auf 45 min bei der hybriden Fertigung reduziert werden. Des Weiteren ergeben sich Vorteile beim Rüsten der Maschine, da das Rohteil leichter ist und mit individualisierten Ausrichthilfen für den Rüstvorgang, wie in den Abbildungen 2 und 5 ersichtlich, versehen werden kann.

4 Fazit

Aufbauend auf einem umfassenden Know-how im Bereich der Zerspanung, vorhandenen Maschinen und Softwaretools sowie den erarbeiteten Erfahrungen in Bereich der additiven Fertigung konnte erfolgreich eine Prozesskette zur Realisierung einer hybriden Fertigung von Bauteilen aus Kunststoff verwirklicht werden.

Neben einer deutlichen Verbesserung der Oberflächenqualität sowie der Maßhaltigkeit konnten im gleichen Zuge auch die Fertigungskosten reduziert werden. Dem zusätzlichen Modellierungsaufwand zur Generierung eines Druckrohteils steht positiv der kürzere und einfachere Rüstvorgang durch individualisierbare Ausrichthilfen oder Spannflächen am Rohteil entgegen. Weitere Punkte, die den Aufwand und Nutzen der hybriden Fertigung hervorheben, sind in Abbildung 9 aufgeführt.

Dieser Forschungsbericht zeigt, dass die hybride Fertigung ein großes Potenzial zur Optimierung bestehender Fertigungsstrategien bietet. Der Anwender stößt jedoch mit branchenüblicher Software schnell an die Grenzen des machbaren. Um diese im industriellen Umfeld überwinden zu können, bedarf es daher insbesondere der Weiterentwicklung von CAD/CAM-Tools. Diese könnten beispielsweise um Funktionen zur direkten Programmierung additiver Fertigungsanlagen sowie zur zielgerichteten Gestaltung der Rohteileaufmaße erweitert werden.

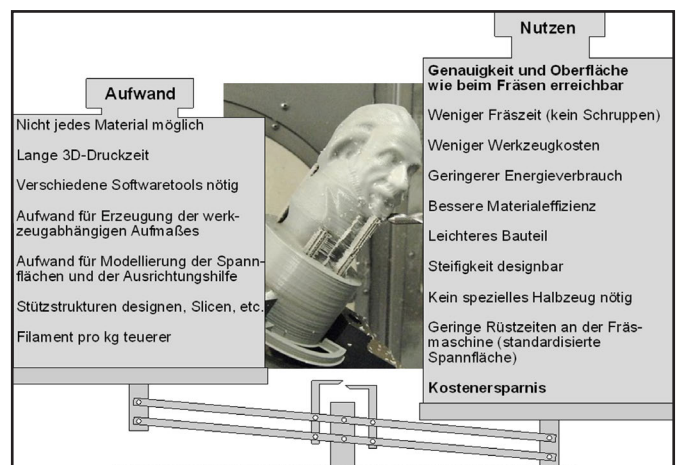


Abbildung 9: Aufwand und Nutzen der hybriden Fertigung

Referenzen:

- [1] Weiß, D.: Projekt Additive Fertigung. Abschlussbericht, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 2016.
- [2] Weiß, D.; Blöchl, W.: Wie genau sind additive Verfahren? Forschungsbericht 2017 der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, S. 115–118.
- [3] STRATASYS LTD: Patentschrift EP000000833237B1, Europäisches Patentamt. Paris: 2001.
- [4] Caviezel, C.; Grüwald, R.; Ehrenberg-Silies, S.; Kind, S.; Jetzke, T.; Bovenschulte, M.: Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck). Innovationsanalyse, BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG. Berlin: 2017.
- [5] Hopmann, C.; Lammert, N.: Hybride Fertigungsstrategie für funktionsintegrierte Einzelteile, Kunststoffe 11/2016, S. 66–69.
- [6] DMG MORI AG: GLOBALER FULL-LINER FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG. TECHNOLOGY EXCELLENCE 2/2017. München: 2017, S. 30–35.
- [7] Hunou, A.; Trojansky, L.; Kipfmüller, M.; Griesbaum, R.: So fest wie möglich, Kunststoffe 5/2016, S. 56–59.

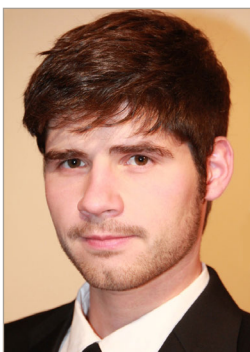
Fördergeber:

für das Projekt ISAC@OTH-AW:

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



Kontakt:



Christoph Haller, M. Eng.

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

ch.haller@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl

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

w.bloechl@oth-aw.de

Zusammenfassung

Es gibt in der heutigen Zeit eine nahezu unüberschaubare Menge an verschiedenen Stahlsorten. Selbst in einer der Stahlsparten – dem Werkzeugstahl – gibt es noch eine nahezu unüberschaubare Menge an verschiedenen Kompositionen. Hierzu zählen auch die Kunststoffformenstähle. All diese Kunststoffformenstähle haben eine Gemeinsamkeit: Sie sind auf starke Beanspruchung ausgelegt und daher oftmals schwer mit mechanischen und erosiven Verfahren zu bearbeiten. Zudem gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Lasersystemen zur abtragenden Bearbeitung, die alle unterschiedliche Wellenlängen, Leistungen, Strahlgüten und weitere Parameter mit Einfluss auf den Materialabtrag aufweisen. Wie bereits bekannt ist, zählt zu den wichtigsten Parametern für den Laserabtrag im Stahl die Pulsdauer. Daher wird in vorliegender Arbeit die Auswirkung von zeitlich unterschiedlich gepulsten Lasersystemen auf den Abtrag im Kunststoffformenstahl untersucht. Die Untersuchung findet dabei anhand von drei konventionell im Kunststoffformenbau eingesetzten Stahlsorten (W300, M368, K110 [1, 2, 3]) statt. Diese Auswahl soll einen Einblick in die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der abtragenden Laserbearbeitung von Kunststoffformenstählen geben. Konkret werden die Oberflächeneigenschaften der abgetragenen Geometrie analysiert. Dazu werden mithilfe eines Kurzpulslasersystems und eines Ultrakurzpulslasersystems Strukturen im Mikrometerbereich erzeugt. Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Evaluation von technischen Struktureigenschaften wie Rauheit, Ausbreitung von Schmelze, Wärmeeinfluss und weitere. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass die geforderten Geometrien leicht und reproduzierbar in verschiedenen Stahlsorten hergestellt werden können. Jedoch variiert dabei die Oberflächengüte stark. Auch unterschiedliche Gefügephasen wie Seigerungen, Karbide und dergleichen beeinflussen den Abtrag.

Abstract

Today, there are a lot of different types of steel. Even in one specific steel section – for example the tool steels – there is still a colossal amount of different compositions. These include the plastics mould steels. All these plastics mould steels have a common feature. They are designed for heavy duty exposure and therefore they are often difficult to handle with mechanical and spark erosion procedures. In addition, there is a number of different laser systems for ablative processing, which all have different wavelengths, power, beam gauges and other parameters, which influence the material removal. As is known, one of the most important parameters for laser ablation in steel is the pulse duration. Therefore, in the present work, the effect of pulsed laser systems on the ablation in the plastics mould steels is investigated. The investigation is carried out on the basis of three steel grades (W300, M368, K110 [1, 2, 3]), which are commonly used in the plastics moulding industry. This selection is intended to give an insight into the similarities and differences of the laser processing of plastics mould steels. Specifically, the surface characteristics of the removed geometry are analysed. For this purpose, microstructures are produced, using a short pulse laser system and an ultra-short pulse laser system. The aim of the research project is the evaluation of technical properties such as roughness, spread of melt, heat influence and others. The results of the work show that the required geometries can be produced easily and reproducibly in different grades of steel. Nevertheless, the surface quality widely varies. Different microstructural phases, such as segregations, carbides and similar, also influence the removal.

1 Introduction

1.1 Problem definition

Tool steels for plastics mould making must satisfy high demands on surface quality, hardness as well as toughness, wear resistance and heat conduction, just to mention a few. In order to comply with these requirements, special alloys in the steel and a high tempering effort, as well as further surface finishings, are necessary. The resulting properties of the plastics mould steel make further processing with tooling machines more difficult. A high-precision machining of the steel, for example, is essential for producing a mould insert for injection moulding processing. In order to integrate microstructures into the surface of an injection mould, laser material processing is therefore a suitable method. Alternative methods, such as ultra-precision milling or electrical discharge machining (EDM), cannot be used for the production of microstructured surfaces in plastics mould steels, or they often do not provide the required quality or are economically not interesting. Even in the case of laser structuring, undesired surface phenomena, such as melt deposits or structural changes in the heat-affected zone of the laser structure, can occur. In order to reduce the temperature influence in the material and to achieve a good surface quality with low technical roughness coefficients in the microstructure, this study investigates the steel processing with ultra-short pulsed lasers (USP lasers). Important parameters, such as the roughness of the initial surface, alloying elements, the formation of carbides, segregations and voids and the material-specific absorption coefficient are to be investigated experimentally and to be proven theoretically. Laser-specific properties such as the effect of wavelength or pulse duration are also discussed.

1.2 Research question

Additional processing to improve functional properties, such as coating and lubrication is under critic in the medical business as it introduces new substances and so complicates the compliance with the regulations (e.g. REACH). Moreover, once billions of parts are produced, it has a severe impact on the production costs, if too many processing steps are required. So structuring the mould in a first step and copy this surficial property to the part during moulding is a promising approach to improve the functionality without introducing additional processes and their risks. These structures can be foreseen to suppress stick effects and thus improve the break-free behaviour of a lancing device or a pen at initial use. Investigating the possibilities of innovative mould surfaces by USP treatment has been the target of this research that has been performed in cooperation with the partner Gerresheimer Regensburg GmbH. For the creation of microstructured mould cavities, the workability of conventional plastics mould steels with USP laser radiation is investigated. An important issue of the investigation is the question, if the thermal conduction in the steel and the melt formation

during the ablation process can be reduced or avoided by USP lasers. Investigations on structural changes in the heat-affected zone of the microstructure should provide information about this. The achievable quality of the microstructure with regard to surface roughness and the repeatability of the laser processing is also discussed.

2 Methodology

2.1 Steel samples

Three plastics mould steels are investigated in the study. These are representatives of the group of tool steels. A cold working steel, a hot working steel as well as a plastics mould steel are examined with regard to the laser workability. Even if the official nomenclature does not state it, all three steel grades are standard in plastics mould making. A powder metallurgical steel with the trade mark M368 of BÖHLER-UDDEHOLM Deutschland GmbH, Düsseldorf, is used as plastics mould steel. For comparison, the hot working steel 1.2343 with the short name X38CrMoV5-1 is used. This steel also comes from the Böhler Company and has the trade name W300. The steel with the material number 1.2379 and the short name X155CrVMo12-1 is used as cold work steel. Once again this steel comes from Böhler and is traded under the name K110. The samples are plate-shaped semi-finished products with a dimension of 80 mm x 80 mm and a sample thickness of 2 mm. In the case of subsequent designation, the steel grades are named by their trade names. First, the steels are brought into two different initial states to compare the effect of the surface roughness on the subsequent laser processing. For this purpose, a highly polished sample ($R_a = 0.033 \mu\text{m}$) and a grinded sample ($R_a = 0.200 \mu\text{m}$ in the grinding direction and $R_a = 0.700 \mu\text{m}$ perpendicular to the grinding direction) are produced from each steel grade.

2.2 Performance data of the laser systems

Ultra-short pulse laser system

The subsequent laser structuring with the ultra-short pulse laser system is carried out in the laboratories of ARGES GmbH, Wackersdorf. The laser system used is a HyperRapid 50 from Coherent Inc., Santa Clara (USA). It is a picosecond laser (ps laser) with a pulse duration of less than 15 ps. The laser can be operated with three different wavelengths 1,064 nm, 532 nm and 355 nm. For the processing of steel, a wavelength of 1,064 nm is ideal and is thus applied in the experiment. The laser has a maximum average power of 50 W at a wavelength of 1,064 nm, which is throttled to about 1 W of average power for the test series. The repetition rate can be varied between 400 kHz and 1,000 kHz and is set to constant 800 kHz for the tests. The pulse energy is therefore 1.276 μJ , which means that the corresponding peak power comes to a value of 85 kW. The diffraction index for the HyperRapid 50 laser system is given by $M^2 < 1.4$ at the standard repetition rate of 500 kHz [4].

Short pulse laser system

The Nd:YAG solid-state laser SL902-TQ from Spectron Laser Systems, Rugby Warwickshire (England), is used for the preparation of the reference structures. This laser system is located in the laboratories of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Amberg. It is a short pulse laser with pulse durations of 90-500 ns. The exact pulse duration, which is characteristic for the power and frequency setting used, is shown in Figure 1. The full duration at half maximum (FDHM) value of the function, which is the usual specification of the pulse duration, is 116.0 ns. The pulse duration is measured with a photodiode and an oscilloscope. The maximal average power is 44.7 W. The average power produced in this case results after the reduction of the laser power to 79%, to approximately 30 W [5]. Thus, the pulse energy is 3.33 mJ. With this pulse energy, a peak power of 28.7 kW is achieved. The pulse frequency used in the experiment is 9,000 Hz with a wavelength of 1,064 nm. Information on the diffraction index is not available, but $M^2 = 1.2$ is a realistic value for this laser system.

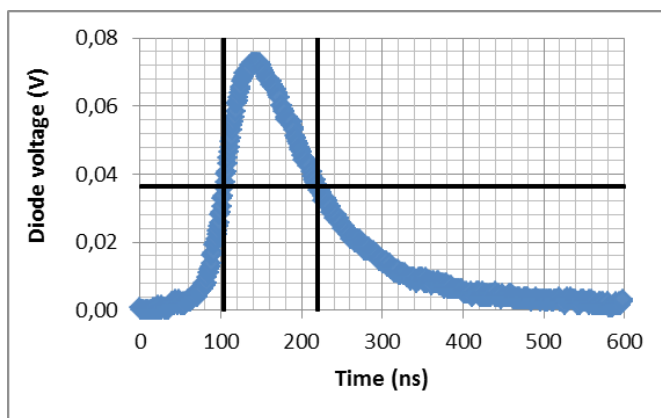


Figure 1: Measurement of the pulse duration via FDHM analysis of an photo-diode-voltage over time graph, recorded with an oscilloscope

2.3 Development of microstructures

Three microstructures are defined prior to the start of the experiment. These microstructures are set-in in each of the two samples of the investigated steel grades. The geometries of the microstructures are shown in Figure 2.

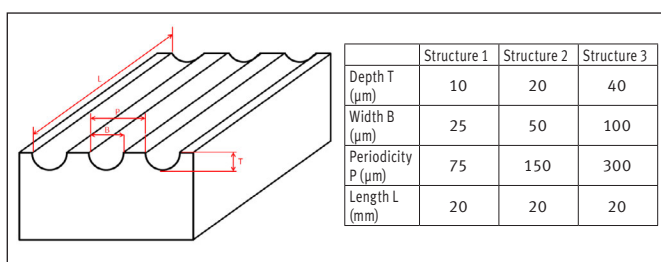


Figure 2: Sketch of the structural dimensions with the width B, the depth T, the length L and the periodicity P

These are semicircular line structures, consisting of several structural trenches with different ratios, as well as different periodicities of the structural trenches. While Structure 1 and Structure 2 consist purely of unidirectional lines, the lines in Structure 3 are arranged in a check pattern. This results in twice the removal rate as in the case of unidirectional lines and thus twice the machining time. The structured area for each structure has the size of 20 mm x 20 mm.

3 Results

3.1 Profile view of the produced USP laser structures

With the already mentioned settings of the USP laser system, an example of the structure geometries is shown in the following. The images were taken with the laser scanning microscope VK-9700 from Keyence Deutschland GmbH, Neu-Isenburg. The dimensions are measured using the software VK Analyzer Version 3.3. For the purpose of smoothing sporadically occurring surface phenomena, a profile section is used for the comparison of the structural dimensions. This profile section shows the average profile over 50 parallel lines in all the illustrations shown. The line spacing is 1 μm. Thus, the structural dimension is averaged over a range of 50 μm in the longitudinal direction of the structure and the result is shown as a two-dimensional profile.

The required structure geometry is created in an iterative process. Thus, after reaching a sufficiently accurate structure dimension, the programming is interrupted. This result in a not fully optimised process, but the settings meet the requirements for the structure for this experiment. For a better understanding, it should be mentioned here that with a higher programming effort the potential for optimisation still exists with the laser system used. This applies to the structural dimensions and to the surface quality, which can be adapted to even narrower tolerances or requirements for surface quality by means of lower ablation rates. This is achieved by using a lower laser power or by varying the focus point as well as by lowering the pulse frequency.

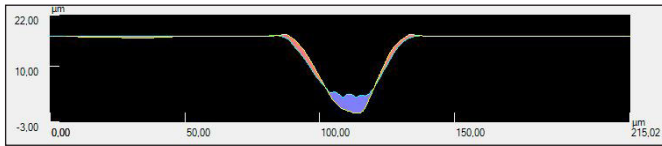


Figure 3: Comparison of Structure 2 in W300 tool steel on a polished surface with M368 tool steel on a polished surface

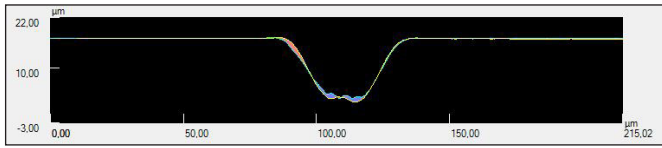


Figure 4: Comparison of Structure 2 in W300 tool steel on a polished surface with K110 tool steel on a polished surface

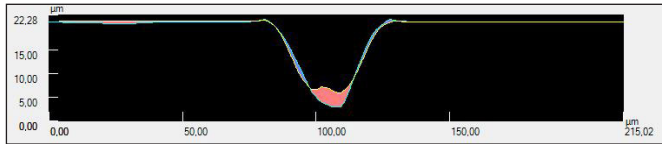


Figure 5: Comparison of Structure 2 in M368 tool steel on a polished surface with K110 tool steel on a polished surface

The comparison of the polished samples shows that the removal in M368 steel is lower than in the comparison steels W300 and K110. In addition, the structural geometry of M368 is a bit narrower, which can be seen in the flank regions in Figure 3 and Figure 5. Figure 4 shows that the flanks of the structure and the depths of the structure are almost identical in W300 and K110.

In summary of the investigations about the profile sections it can be stated, that the surface roughness has no different effect on the structural dimension. A constancy in the examined samples on the effect of the surface on the structural depth or on the flanks of the structure cannot be determined. The steel grades tested here also react equally to the laser system used. This is proved by the fact that, for the tool steels tested, the structural dimensions are all equal, within the scope of the measuring accuracy. There are only isolated deviations, which are not evenly distributed over the structural geometry. As the structural dimensions increase, the partial removal deviation varies more. Whether this is due to the process reliability of the laser system, or whether individual surface phenomena, which arise due to laser processing, are responsible for this, cannot be stated with these representations. Further investigations for the cause of the deviations are presented in the following. Different surface properties of the structural trenches cannot be determined in the profile pictures.

3.2 Examination of the surface quality in the USP laser structure

Since, by regarding the profile sections, no general statements about the distribution of the deviations over the length of the structural trenches can be made, stereomicroscope recordings of Structure 3 are examined in the following. The images were recorded using the stereomicroscope Stemi 200-C from Leica Microsystems

GmbH, Wetzlar. This makes qualitative assessments of the surface quality possible, which allow conclusions on the deviations of the profile sections shown.

First, the photoimages of Structure 3 on the polished samples are shown in Figure 6, Figure 7 and Figure 8. The structures are recorded in fourfold magnification.

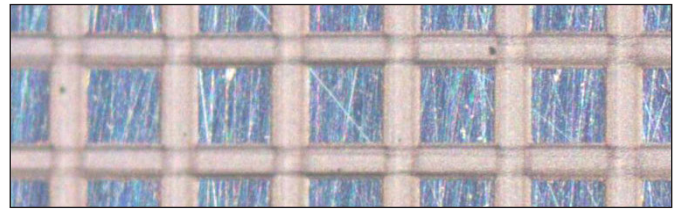


Figure 6: Defects on W300

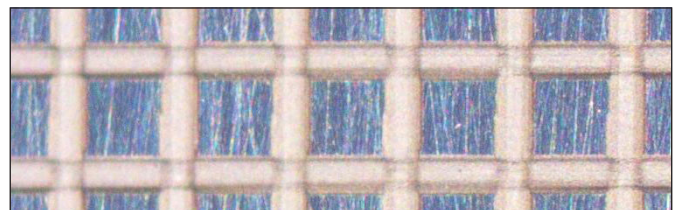


Figure 7: Defects on M368



Figure 8: Defects on K110

It is obvious, that the surfaces in the structural trenches show significant differences. In the case of the W300 sample, isolated defects can be seen, whereas M368 shows a very uniform, almost flawless surface. The K110 sample shows very pronounced defects. In Figure 8 the view shows groove-shaped elevations in the surface of the structure, while the defects at W300 in Figure 6 represent point-shaped elevations. A strong variation of the defect concentration can also be seen. On the one hand, the structural surface of the tool steel W300 is largely uniform with few defects. The steel sample of K110 steel, on the other hand, shows a completely rugged surface. The reasoning of the observations is shown in Figure 9. Because of the observation in Figure 8, different pictures of the surrounding microstructure from the trenches of the USP laser structure in the K110 sample are shown in profile view.

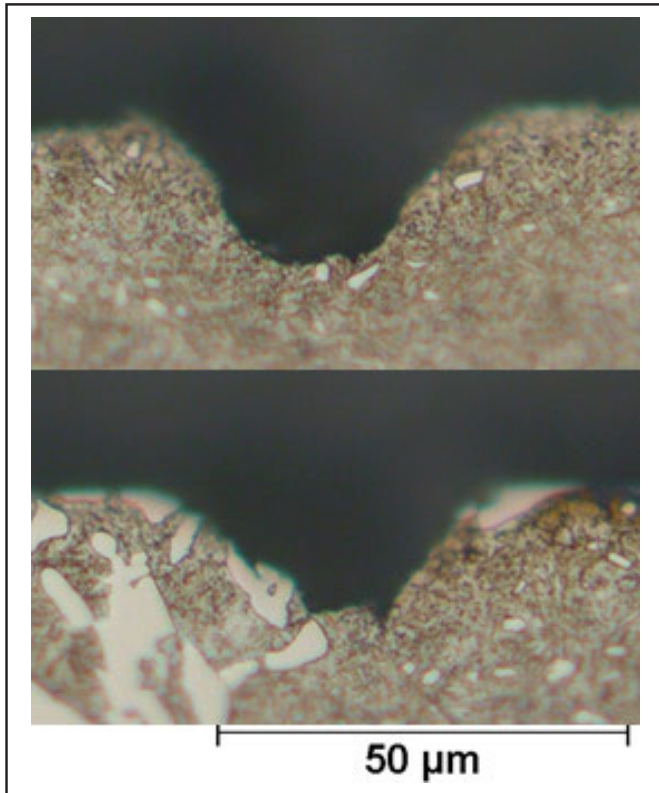


Figure 9: Comparison of USP laser microstructures on different structural phases in the K110 steel sample in 50x magnification

Figure 9 shows, that the carbide networks influence the ablation of the USP laser. In the upper section of the image, the structure trench is uniformly removed and resembles the structural trenches of M368 and W300. In the lower part of the image it can be seen, that the white spot was not removed. This white spot is a chromium-containing, ledeburitic primary carbide. On the structural basis an incomplete removal is observed, which is attributable to a carbide, which is located on the rear side of the cutting front.

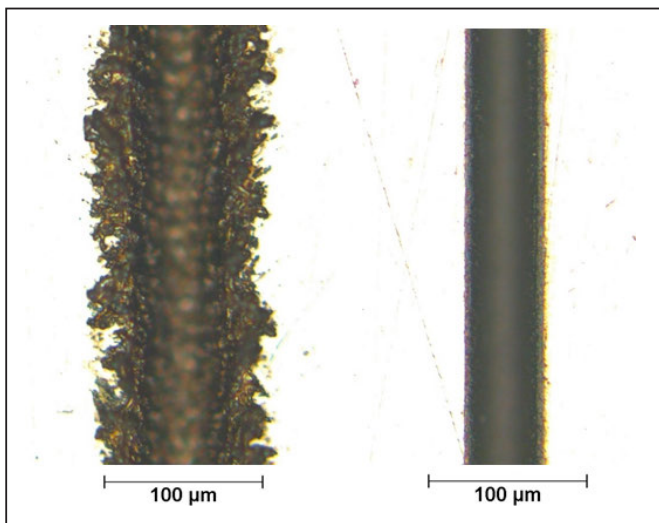


Figure 10: Comparison of the structures produced with a SP laser (left) and a USP laser (right) in top view at a magnification of 20x on a polished M368 tool steel sample

3.3 Comparison of the USP laser structures with the SP laser structures

The generated reference structures of the short pulse laser system are subsequently compared with the USP laser structures. These were recorded with the Olympus BX60M microscope from Olympus Deutschland GmbH, Hamburg. The structures in top view of the steel samples are shown in Figure 10.

On the left-hand side of the figure is a structure section, which was created with the short-pulse laser system shown. Here, the formation of melt, which is deposited on the edge of the structure during processing, is clearly visible. In contrast, a section of the USP laser structure is shown on the right-hand side of the image. Almost no deposit of melt on the edges of the structure can be seen here. As a result, the edges of the structure are also significantly sharper than the edges of the SP laser structure. Thus, a „cold ablation“ with the USP laser system used is proven. Since the pulse duration is not precisely defined, but is given with less than 15 picoseconds [4] and the threshold for heat conduction free processing of different steels varies by a value of one picosecond [6, 7], this result can also be proven theoretically in approximation. The already mentioned throttled average power of the USP laser system is also a significantly important issue for this result.

4 Conclusion and Outlook

4.1 Conclusion

Non-thermal erosion with the ultra-short pulse laser system used in the experiment is obviously possible. The required pulse duration for a non-thermal removal is dependent on the material used. It is proven, that the shorter pulse duration results in a substantially lower spread of melt, or no melt is produced. For now, the creation of a qualitatively comparable laser structure with a short-pulse laser system is not possible without post-processing steps. The depositions of melt as well as the technical roughness of the surface cannot compete with the structure quality produced with a USP laser system. Otherwise, the process times during the production of short-pulse laser structures are significantly lower. A suitable comparison from the steel manufacturing is the different working with a „bastard file“ and a „mill file“. The tool steels tested can generally be treated equally with the laser systems used. The geometries are almost identical in the various steel grades. Only individual structural components make a difference in the surface quality and a marginal difference in the structural geometry. The differences in geometry are only isolated phenomena, which are not constant throughout the structure. An exact definition of absorption is not possible. Depending on the pretreatment of the steels, different structural phases and the laser programming, as well as various additional influencing factors, coupling into the material is different and even varying

during the process. Differences in the coupling in different pre-treated steel surfaces are compensated by the multipass method. For a precise, repeatable microstructure with high quality and smooth surfaces, the combination of USP laser with powder metallurgical steel has shown the best results in the investigations. However, this combination is only economically in the case of high demands on the geometry and surface of a microstructure with a low production quantity.

4.2 Outlook

It is useful in further studies to investigate the achievable structure quality of post-processed short-pulse laser structures and to quantify their expenditure for the production. Abrasion of deposited melt should be a major consideration. Furthermore, it must be clarified, if a heat treatment of carbide steels, which are produced by continuous casting in a conventional production method, results in similarly good structural distributions as in

powder metallurgical steels. Thus, these would also be suitable for ultra-short pulse laser structuring. A reduction of the pulse duration into the femtosecond range is possibly useful for this type of steel processing, because of the very small removal volume per pulse of the throttled picosecond laser. With a higher average power, the picosecond laser used produces melt. A femtosecond laser can be operated at higher power without generating melt [8]. So a higher ablation per time should be realisable with shorter pulse durations.

Referenzen:

- [1] BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, „Datenblatt Warmarbeitsstahl“, Böhler, 2012
- [2] BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, „Datenblatt Pulvermetallurgisch hergestellte Hochleistungsstähle“, Böhler, 2013.
- [3] BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, „Datenblatt Kaltarbeitsstähle“, Böhler, 2010.
- [4] Coherent Inc., „HyperRapid 50 Datenblatt“, 2016.
- [5] A. Federhofer, C. Wiesent and N. Zielonka, „Praktikum Lasertechnik 2011/2012“, Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden, Amberg, 2011.
- [6] A. Ruf, „Modellierung des Perkussionsbohrens von Metallen mit kurz- und ultrakurzgepulsten Lasern“, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2004.
- [7] C. Körner, „Theoretische Untersuchung zur Wechselwirkung von ultrakurzen Laserpulsen mit Metallen“, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1997.
- [8] G. Kremitzl (TRUMPF GmbH + Co. KG), „personal message“, 07-Feb-2017.

Projektpartner:

Gerresheimer Regensburg GmbH, Wackersdorf
ARGES GmbH, Wackersdorf

Fördergeber:

GERRESHEIMER

Kontakt:



Dominik Will, B. Eng.

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



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

Zusammenfassung

Um die Auswirkungen des demografischen Wandels auf die Arbeitswelt zu untersuchen, wurde in dieser Studie die Alterstauglichkeit eines industriellen Montagearbeitsplatzes mithilfe eines Alterssimulationsanzuges analysiert. Diese Studie wurde in Kooperation mit einem Industrieunternehmen aus der Medizintechnikbranche durchgeführt. Zur Alterssimulation wurde der Anzug Senior Suit Delta 2 (SD&C) eingesetzt.

Im Rahmen der Studie führte eine mit den Montageabläufen vertraute Testperson vorgegebene Montageschritte zur Erstellung einer vordefinierten Baugruppe einmal mit und einmal ohne Alterssimulationsanzug durch, während die benötigte Montagezeit und der Puls des Probanden gemessen wurden. Im Anschluss an den Versuch wurde eine qualitative Analyse durchgeführt, indem der Proband einen Fragebogen zu den Arbeitsvorgängen bearbeitete. Durch die Einschränkungen des Alterssimulationsanzuges ergaben sich bei den Montageabläufen deutliche zeitliche Unterschiede. Der Proband benötigte mit dem Alterssimulationsanzug nahezu doppelt so lange für die Montage der kompletten Baugruppe. Zusätzlich zeigte der Anstieg des Pulses eine höhere körperliche Belastung. Weiterhin gab der Proband an, dass fast alle Teilaufgaben durch die Einschränkungen des Alterssimulationsanzuges körperlich deutlich schwerer fallen und zudem mehr Konzentration erforderlich ist. In einer weiterführenden Ausrichtung der Studie werden weitere industrielle Arbeitsplätze wie Fertigungs-, Büro- und auch CAD-Arbeitsplätze mithilfe des Alterssimulationsanzugs analysiert, um die Auswirkungen des Mitarbeiteralters auf die alltägliche Arbeit in unterschiedlichen Bereichen zu erforschen.

Abstract

In order to investigate the effects of the demographic change on the working environments, the age-related suitability of an industrial assembly workplace was analyzed utilizing an age simulation kit. This study was conducted in cooperation with a company from the medical technology sector. For age simulations the Senior Suit Delta 2 kit (SD & C) was used.

In course of the study a test person who is familiar with the assembly procedures performed predefined assembly steps which are necessary for manufacturing a certain assembly with and also without wearing the age simulation kit. During the assembly steps the required assembly time and the pulse rate of the proband were measured. A qualitative analysis was carried out after the experiment, by asking the proband about the work processes.

The age simulation kit caused limitations in the assembly leading to a significant increase of the assembly time.

With using the age simulation kit, the complete assembly of the components takes nearly twice as long. In addition, there was also a higher physical burden due to the increase of the pulse rate. Furthermore, the proband indicated that almost all assembly steps became physically harder and also require more concentration. In further parts of the study, more industrial environments such as manufacturing, office and also CAD workplaces are analyzed in order to investigate the impact of the employees' age on the everyday work in different industrial areas.

Einleitung

Durch den demografischen Wandel wird die Gesellschaft zunehmend älter, was auch bedeutet, dass die Arbeitskräfte im Durchschnitt älter sind als noch vor wenigen Jahrzehnten. Dies wird zudem durch das steigende Renteneintrittsalter verursacht. So schreibt die Bundeszentrale für politische Bildung, dass der Altenquotient im Jahr 2060 etwa das Anderthalbfache bis Doppelte des heutigen Wertes betragen könnte [1]. Das heißt, jeder dritte Mensch in Deutschland wäre somit 65 Jahre oder älter. Gleichzeitig liegt die Geburtenrate in Deutschland mit etwa 1,5 Kindern pro Frau auch deutlich unter dem EU-Durchschnitt. Mit dem zunehmenden Alter der Menschen wird die Anzahl der nicht-erwerbsfähigen Menschen (Rentner) steigen, jedoch wird die Anzahl der erwerbsfähigen Menschen (im Alter von 20 bis 65 Jahre) sinken, da die Geburtenrate zu niedrig ist. In der Ausgabe von „Sozialpolitik 2015/2016“ wird davon ausgegangen, dass bis 2030 etwa 4,4 Millionen Menschen weniger im erwerbsfähigen Alter sind als heute. Nur die Gruppe der Erwerbsfähigen im Alter von 55 Jahren und mehr wächst. In diesem Zusammenhang wird in Zukunft auch die Beschaffenheit eines Arbeitsplatzes an Bedeutung gewinnen, da viele Arbeitsplätze darauf ausgelegt sind, von jungen Arbeitskräften besetzt zu werden. Allerdings wird diese Anzahl junger Arbeitskräfte, wie oben genannt, abnehmen und ältere Mitarbeiter müssen an diesen Arbeitsplätzen arbeiten. An dieser Problematik setzt diese Studie an: Ziel der Arbeit ist die Untersuchung industrieller Arbeitsplätze auf ihre Alterstauglichkeit. In einem ersten Schritt wurde der Einfluss des Mitarbeiteralters im Bereich der Montage analysiert. Mithilfe der Alterssimulation werden Mitarbeiter um bis zu 40 Jahre gealtert, um den Altersbereich von 55 bis 67, also das Renteneintrittsalter, abzudecken.

Der erste Teil dieser Studie wurde mit Pausch Medical GmbH (Erlangen, Deutschland) als Industriepartner durchgeführt. Pausch Medical stellte dabei den Montagearbeitsplatz und einen erfahrenen Mitarbeiter (Proband) aus dem Montagebereich zur Verfügung.

Methoden

In dieser Studie führt der Proband vertraute Montageabläufe aus, welche einmal mit Alterssimulationsanzug und einmal ohne durchgeführt werden. Währenddessen wird die benötigte Zeit der Arbeitsschritte gemessen und dabei der Puls des Probanden ermittelt. Die Pulsmessung erfolgt vor, während und nach der Zeitnahme. Am Versuchsende füllten die Probanden speziell auf die Aufgabe abgestimmte Fragebögen aus, um die Simulation zu bewerten. Der Proband ist 25 Jahre alt, weist keine Refraktionsanomalien auf und hat bereits Erfahrung mit den Montageabläufen.

Der Alterssimulationsanzug SD&C Senior Suit Delta 2 (SD&C GmbH, Schweitenkirchen, Deutschland) wurde in allen Versuchen verwendet und bietet einen großen

Alterssimulationsbereich durch viele herausnehmbare Zusatzgewichte, die sich am ganzen Körper verteilen. Ebenso kann das Gewicht in den Manschetten angepasst werden und eine Brille zur Seheinschränkung bietet zwei Alterungsstufen (20 und 40 Jahre Alterung). Das verminderte Hörvermögen wird mit passiven Dämpfungselementen simuliert (Abbildung 1). Zur Pulsmessung wurde das mobile EKG Beurer ME80 (Beurer GmbH, Ulm, Deutschland) verwendet, da es eine schnelle und unkomplizierte Messung garantiert.



Abbildung 1: (a) Proband mit SD&C Senior Suit Delta 2
(b) Der SD&C Senior Suit Delta 2 und seine Komponenten
[Abbildungen des Herstellers geändert]

Der Versuch behandelt die Montage einer Standardbaugruppe. Die Montage findet sitzend an einem Arbeitstisch statt und einzelne Werkzeuge können aus einem Werkzeugschrank, der auch sitzend erreichbar ist, herausgenommen werden. Vor dem Zusammenfügen der Bauteile müssen diese aus den umliegenden Regalen geholt und auf dem Arbeitstisch platziert werden. Wenn alle Bauteile auf dem Tisch platziert sind, kann mit der Montage begonnen werden. Folgende Komponenten werden für die Montage der Baugruppe benötigt:

- CNC-Scheibe mit vorgebohrten Löchern
- Bolzen zum Einschlagen
- Anschlagschiene
- Schrauben zum Einschrauben in die Bolzen
- Loctite zur Schraubensicherung
- Unterlegscheiben zum Ausgleich
- Reinigungsmittel zur Entfettung der CNC-Scheibe

Die Montage setzt sich aus den folgenden Abläufen zusammen: Zuerst wird die CNC-Scheibe gereinigt, um eine fettfreie Oberfläche zu erhalten. Dann werden die Bolzen mit einem Hammer in die vorgebohrten Löcher eingeschlagen. Auf diese Bolzen wird nun die Anschlagschiene gelegt und mit der Schrauben-Unterlegscheiben-Kombination auf der Scheibe fixiert. Die Schrauben wurden vorher mit etwas Loctite bestrichen, um eine entsprechende Schraubensicherung zu garantieren. Wenn alle Schrauben festgezogen sind, wird noch die Leichtgängigkeit der Anschlagschiene auf der CNC-Scheibe getestet. Abbildung 2 zeigt den Probanden bei der Durchführung der Montageabläufe ohne Alterssimulationsanzug.



Abbildung 2: Proband während der Montage ohne Alterssimulationsanzug

Ergebnisse

Beim Vorbereiten der Werkzeuge und beim Bereitstellen der Bauteile sind schon erste, deutliche Einschränkungen durch den Alterssimulationsanzug erkennbar. Dem Probanden fällt es schwer, die Aufschriften auf den benötigten Verpackungen zu lesen, was das Finden der richtigen

Materialien erschwert. Hier zeigt die Alterssimulation durch die Brille deutlich ihre Wirkung, da das Sehen merklich eingeschränkt wird. Zusätzlich sind manche Bauteile auch zu hoch oder zu niedrig im Regal gelagert und so nicht einfach zu erreichen, da die Gewichte und Versteifungen des Anzugs die Bewegungsfreiheit einschränken.

Das Einschlagen der Bolzen bereitete dem Probanden sehr große Probleme. Für den Probanden ist es nahezu unmöglich, den Bolzen richtig zu halten und sicher einzuschlagen, da sein motorisches Geschick eingeschränkt ist und die Brille die Sicht signifikant verschlechtert. Nur durch leichtes Zusammenpressen des Bolzens am Schraubstock kann der Proband ihn in das vorgebohrte Loch einschlagen.

Eine spürbare Alterung des Sehvermögens durch die Brille gibt es auch beim Einlegen des Anschlags. Es ist nicht sofort erkennbar, ob die Schiene richtig herum auf der CNC-Scheibe liegt.

Die Schrauben sind mit den Handschuhen schwer zu halten, was das Bestreichen mit Loctite erschwert. Auch das Einführen in die Bolzen gestaltet sich kompliziert. Gleichzeitig konnte der Proband die Größe der Unterlegscheiben (0,2 mm bzw. 0,5 mm) kaum unterscheiden. Abbildung 3 zeigt den Probanden bei der Durchführung der Montageabläufe mit Alterssimulationsanzug.



Abbildung 3: Proband während der Montage mit Alterssimulationsanzug

Tabelle 1 (Ausschnitt aus dem Probandenfragebogen) zeigt, dass der Proband keine Schwierigkeiten hat, die gestellte Aufgabe durchzuführen. Nur das Einschlagen der Bolzen erfordert etwas mehr Kraft, motorisches Geschick und Konzentration, da diese nur einen Durchmesser von wenigen Millimetern aufweisen. Zum Vergleich zeigt Tabelle 2 (Ausschnitt aus dem Probandenfragebogen) die Angaben des Probanden nach Durchführung der Montage mit Altersanzug. Dabei fällt dem Probanden das Zusammenfügen der Bauteile deutlich schwerer.

Tabelle 1: Fragebogen ohne Alterssimulationsanzug

	Sehr leicht 1	2	3	4	5	Sehr schwer 6
Vorbereiten der Werkzeuge, etc. Bereitstellen der Teile:	X	○	○	○	○	○
Bolzen einschlagen	○	X	○	○	○	○
Anschlag einlegen	X	○	○	○	○	○
Führungsbolzen einschrauben (Schraubensicherung mit Loctite)	X	○	○	○	○	○
Ausgleichen mit Unterlegscheiben	X	○	○	○	○	○
Prüfung Leichtgängigkeit	X	○	○	○	○	○

Tabelle 2: Fragebogen mit Alterssimulationsanzug

	Sehr leicht 1	2	3	4	5	Sehr schwer 6
Vorbereiten der Werkzeuge, etc. Bereitstellen der Teile:	○	○	○	X	○	○
Bolzen einschlagen	○	○	○	○	○	X
Anschlag einlegen	○	○	X	○	○	○
Führungsbolzen einschrauben (Schraubensicherung mit Loctite)	○	○	○	○	○	X
Ausgleichen mit Unterlegscheiben	○	○	○	○	○	X
Prüfung Leichtgängigkeit	X	○	○	○	○	○

Der Proband benötigte 6:48,1 Minuten für die vollständige Montage ohne den Alterssimulationsanzug. Vor und nach der Zeitnahme (Messpunkte 1 und 3) wurde mit dem mobilen EKG-Gerät „ME80“ der Puls des Probanden gemessen und ein weiteres Mal nach dem Einschlagen der Bolzen während der Zeitnahme (Messpunkt 2).

Beim Versuch mit dem Alterssimulationsanzug erreichte der Proband eine Zeit von 13:28,8 Minuten, d. h., er brauchte nahezu doppelt so lange für die Montage. Allein an dieser Zeit machen sich die Auswirkungen der simulierten Alterung deutlich bemerkbar. Viele Arbeitsschritte müssen mehrfach angesetzt werden, bis sie funktionieren und endgültig ausgeführt werden können. Der Proband muss erst lernen, sich an die neuen Umstände anzupassen, um die Arbeiten ausführen zu können. Da er durch den Alterssimulationsanzug jedoch nicht seine gewohnte Genauigkeit und Fingerfertigkeit erreichen kann, benötigt er mehr Zeit für die Tätigkeiten. Abbildung 4 zeigt den Vergleich der Zeitmessungen ohne und mit Altersanzug (AA). Bei den Pulsmessungen zeigen sich nur relativ geringe

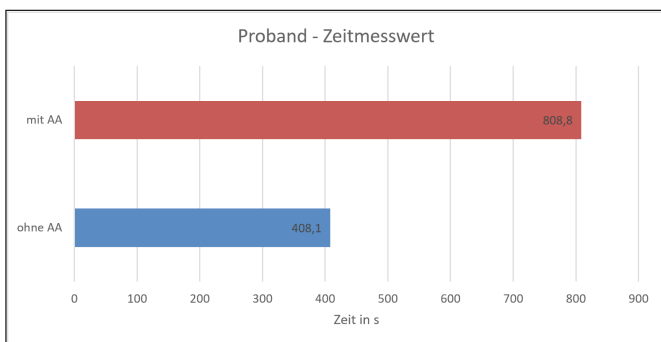


Abbildung 4: Vergleich der Zeitmesswerte mit und ohne Alterssimulationsanzug (AA)

Unterschiede. Der Proband war laut eigenen Aussagen nicht aufgeregt und erledigte die Aufgaben in der gewohnten Geschwindigkeit. Aufgrund der hauptsächlich sitzenden Arbeit, die verhältnismäßig wenig körperliche Anstrengung benötigt, hat sich der Puls selbst mit Anzug nur wenig verändert. So blieb der Proband ruhig, obwohl z. B. das Einschlagen des Bolzens deutlich mehr Konzentration erforderte und mehrere Versuche nötig waren, um diesen Montageschritt erfolgreich durchzuführen. Abbildung 5 veranschaulicht den Vergleich der Pulsmessungen ohne und mit Altersanzug.

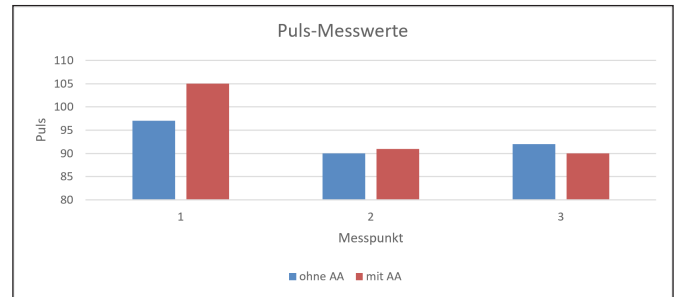


Abbildung 5: Puls-Messwerte mit und ohne Alterssimulationsanzug (AA)

Fazit zum Versuch

Dem künstlich gealterten Probanden sind alle Aufgaben durchweg schwerer gefallen, was auch durch die Zeitnahme bestätigt wird. Wie im Alter zu erwarten ist, war vor allem die Feinmotorik in den Fingern während der Simulation schlechter. Weiterhin war das gealterte Sehvermögen ein großes Problem für den Probanden, da kleine Bauteile nicht genau platziert werden konnten. Zusätzlich verlangsamte den Probanden die fehlende Beweglichkeit im Alter und erschwerte das Herausnehmen von Materialien aus den Regalen. All diese Punkte lassen auf eine erfolgreiche Alterssimulation schließen, welche durch die Zeitnahme und den Probanden bestätigt wird.

Diskussion und Schlussfolgerung

Wie oben beschrieben, zeigt sich ein deutlicher Unterschied in der Gesamtmontagezeit. Mit Alterssimulationsanzug benötigt der Proband fast doppelt so viel Zeit, um die Baugruppe zu montieren. Dieses Ergebnis entsprach jedoch genau den Erwartungen, da diese Aufgabe sehr viel Genauigkeit und Fingerfertigkeit erfordert, was jedoch mit den einschränkenden Komponenten des Anzuges kaum zu erreichen ist. Die persönliche Einschätzung des Probanden im Fragebogen sowie seine Bewertung der Einzelaufgaben bestätigten unsere Erwartungen und das Ergebnis. Um einen größeren Einblick in die Alterstauglichkeit von industriellen Arbeitsplätzen zu geben, sollen im Rahmen dieser Studie noch weitere Arbeitsplätze untersucht werden. Hierzu gehören Fertigungs-, Lager-, Büro- und auch CAD-Arbeitsplätze, sodass ein breites Spektrum der Industrie erfasst werden kann.

Weitere Aussagen lassen sich dann treffen, wenn die Ergebnisse mit älteren Mitarbeitern zur Verfügung stehen. Anhand der Ergebnisse lassen sich jedoch Verbesserungspotenziale für die Herausforderung des demografischen Wandels ableiten und ältere Arbeitnehmer optimal in den Montageprozess integrieren, um von deren Erfahrung zu profitieren.

Referenzen:

- [1] Franka Kühn: Die demografische Entwicklung in Deutschland – Eine Einführung. 29.08.2017 (online Publikation, <https://www.bpb.de/politik/innenpolitik/demografischer-wandel/196911/fertilitaet-mortalitaet-migration/>, letzter Zugriff: 02.10.2017)

Projektpartner:

Pausch Medical GmbH, Erlangen

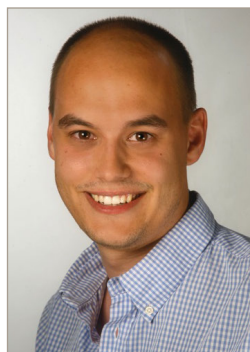
Kontakt:



Philip Bertelshofer, Bachelorand

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

p.bertelshofer@oth-aw.de



Manuel Stich, M. Sc.

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

m.stich@oth-aw.de



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

Zusammenfassung

An ebenen, statisch bestimmt gelagerten starren Tragwerken lassen sich bei einer allgemeinen Beanspruchung überwiegend Kräftepaare nachweisen. Kräftepaare bewirken stets eine freie nicht achsgebundene Dreh- bzw. Momentenwirkung. Dies erlaubt die Herleitung eines auf ungebundenen Momenten basierenden Berechnungsansatzes für unbekannte Kräfte. Im Beitrag wird eine auf einem allgemeinen Momentenansatz basierende Berechnung für Lagerreaktionskräfte an einem Balken vorgestellt.

Abstract

On flat load bearing structures with a general load force couples often occur. Force couples generate free unbound moments. On the basis of free unbound moments, a calculation approach for the calculation of bearing forces is presented in this paper.

1 Einleitung

Für Studierende ingenieurtechnischer Studiengänge zeigt sich, dass bei der Vermittlung von Grundlagen der Statik mitunter Schwierigkeiten beim Verständnis von Kraft- und Momentenwirkungen und den entsprechenden Berechnungsansätzen an starren Körpern bestehen. Im Studium und den aktuellen Lehrbüchern (u.a. Mahnen [1]) liegt der Fokus auf Berechnungsansätzen auf der Grundlage der drei allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen, wie den Kräfteansätzen in horizontaler und vertikaler Richtung und einem Momentenansatz bezogen auf einen beliebigen Punkt der Wirkebene. Lehrinhalte zur Wirkung von Kräftepaaren werden mitunter zu knapp behandelt. Eine höhere Gewichtung der Wirkung von Momenten und Kräftepaaren kann jedoch zu einem tieferen oder schnelleren Verständnis bei der Berechnung von Lagerreaktionen an Tragwerken beitragen. Nachfolgend wird ein auf ungebundenen Momenten und Kräftepaaren basierender Berechnungsansatz vorgestellt.

2 Wirkung einer Kraft auf einen gestellfesten Lagerpunkt

Entsprechend den Vereinbarungen der Starrkörpermechanik kann eine Einzelkraft, die durch Betrag und Wirkrichtung in einer Ebene definiert wird, beliebig auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden. Die Wirkung einer Kraft wird z. B. an gestellfesten Lagerungen durch entsprechende Reaktionen nach dem Prinzip „actio = reactio“ sichtbar. Dies zeigt sich im Fall A (Abbildung 1). Lagerpunkt A liegt auf der Wirkungslinie f_F der Kraft F . Die Lagerreaktionskraft F_A entsteht im Punkt A. F und F_A sind gleich groß, ihre Wirkrichtungen sind jedoch entgegengesetzt.

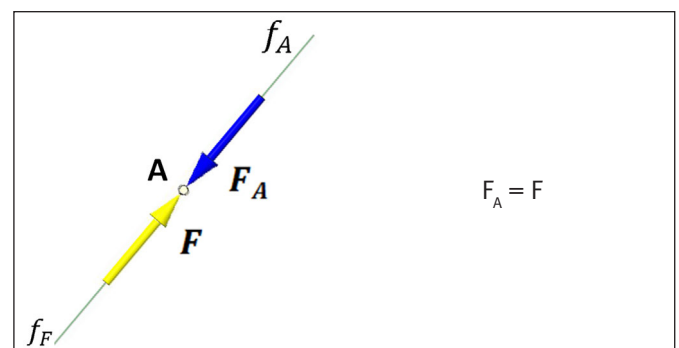


Abbildung 1: Fall A, Gleichgewichtsansatz für Lagerpunkt A, Kraft F wirkt direkt auf A

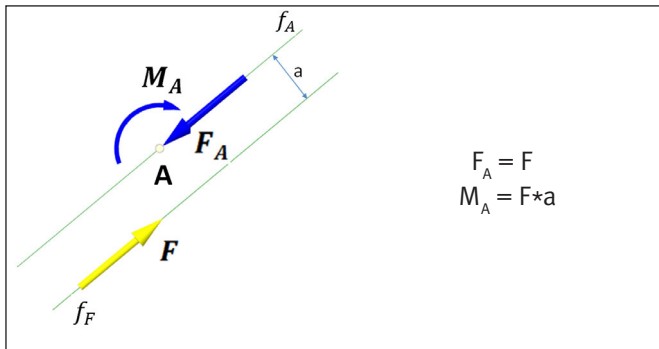


Abbildung 2: Fall B, Gleichgewichtsansatz für Lagerpunkt A, Kraft F wirkt versetzt zu A

Im Fall B (Abbildung 2) befindet sich der gestellteste Lagerpunkt A neben der Wirkungslinie f_F der Kraft F mit einem senkrechten Abstand a zur Wirkungslinie f_A . Hier entstehen als Reaktionen auf die Wirkung der Kraft F im Lagerpunkt A

1. die Lagerreaktionskraft F_A und
2. eine Drehwirkung in der Ebene um den Punkt A mit dem Lagerreaktionsmoment M_A .

Im Fall B wird sichtbar, dass F und F_A wegen der parallel versetzten Lage ihrer Wirkungslinien f_F und f_A , aufgrund gleicher Größe und entgegengesetzter Wirkrichtungen ein Kräftepaar bilden. Dieses Kräftepaar hat eine allgemeine, ungebundene Momentenwirkung M_F (Abbildung 3) bezogen auf die gesamte Wirkebene zur Folge. Das Moment M_F könnte letztendlich an jedem beliebigen Punkt der Wirkebene durch ein Reaktionsmoment bzw. ein anderes Kräftepaar ins Gleichgewicht gesetzt werden. Im dargestellten Beispiel wäre dies der Lagerpunkt A. Hier bildet sich lokal, d. h. gebunden an den Punkt A, das Reaktions- bzw. Gleichgewichtsmoment M_A . Die Wirkung von M_F verlagert sich in den Punkt A. Gleichzeitig bildet sich fiktiv eine Kräftegleichgewichtsgruppe bestehend aus F_R und F_A in Punkt A. Anstelle der eingepprägten Kraft F (Abbildung 2) kann für den Lagerpunkt A eine äquivalente Belastung, bestehend aus F_R und M_F (Abbildung 3), angesetzt werden. Da die äquivalente Kraft F_R die gleiche Größe wie die eingepprägte Kraft F aufweist, wird dies allgemein als parallele Verschiebung einer Kraft bezeichnet.

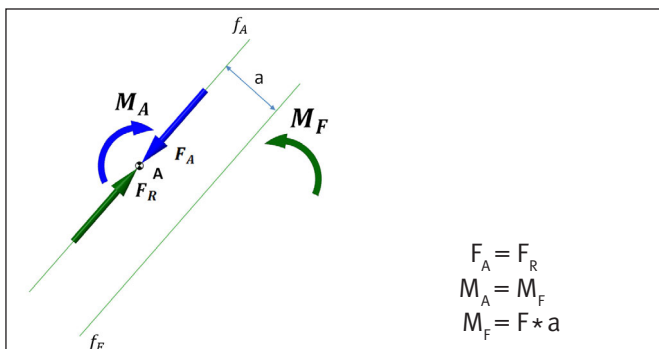


Abbildung 3: Ersatz der eingepprägten Kraft F durch die äquivalente Belastung, bestehend aus der Kraft F_R und dem Moment M_F

3 Kräftepaare an ebenen Tragwerken

Kräftepaare und die daran gekoppelte, nicht an eine Achse gebundene Verdreh- oder Drehwirkung entstehen unter anderem

- durch als Kräftepaar angesetzte eingepprägte Einzelkräfte,
- aus Bestandteilen eingepprägter Kräfte,
- aus Lagerreaktionskräften,
- durch resultierende Reib- und Massenträgheitskräfte,
- abgeleitet aus Biege- oder Torsionsspannungen,
- anteilig aus nichtkonstanten Linienlasten mit Vorzeichenwechsel im Verlauf usw.

Liegt in einem Tragwerk die Wirkung eines Kräftepaars vor, so gibt es in der Wirkebene des Kräftepaars stets eine freie ungebundene Drehwirkung mit einem entsprechenden Moment. Eine besondere Bedeutung für die Ausbildung von Kräftepaaren haben Reaktionskräfte in Form von Lager-, Reib- sowie Massenträgheitskräften, die immer als Wirkung (Reaktion) infolge anderer Kraftwirkungen, z. B. durch eingepprägte Kräfte, entstehen.

4 Berechnung von Lagerreaktionen an einem statisch bestimmt gelagerten Balken anhand eines allgemeinen Momentenansatzes

Dieser Ansatz beruht auf der Überlegung, dass durch

1. einen parallelen Versatz der eingepprägten Kräfte auf geeignete Lagerstellen des Tragwerks und
2. die Abstützung des freien resultierenden Momentes durch ein Kräftepaar in den Lagerstellen des Balkens an den Lagerstellen zentrale Kräftegruppen entstehen.

Mit Gleichgewichtsansätzen können so an den Lagerstellen die gesuchten Lagerreaktionskräfte bestimmt werden. Das schrittweise Vorgehen nach dieser Methode zeigen die Abbildungen 4a bis 4e.

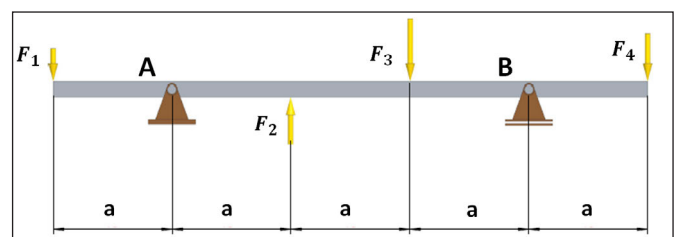


Abbildung 4a: Statisch bestimmt gelagerter Balken, Belastung durch eingepprägte Kräfte F_1 bis F_4

Abbildung 4a zeigt einen mit vier Kräften belasteten Balken. Durch Freischneiden entsteht der vollständige Kräfteansatz mit den Lagerreaktionskräften im Lager A mit F_{AH} und F_{AV} sowie an Lager B mit F_{BV} (Abbildung 4b).

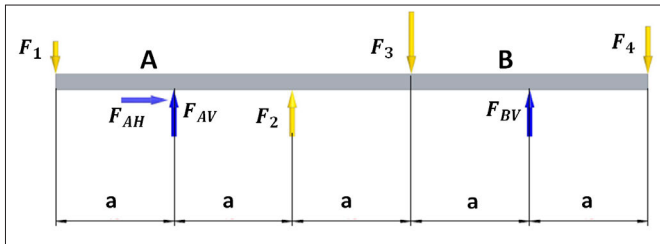


Abbildung 4b: Freigeschnittener Balken mit Lagerreaktionskräften F_{AH} , F_{AV} und F_{BV}

Durch Parallelverschiebung der Kräfte F_1 bis F_4 nach Lager A entstehen in A eine zentrale Kräftegruppe und im Balken allgemein wirkend die ungebundenen Momente M_{F1} bis M_{F4} mit Drehsinn als Produkt des jeweiligen Betrages der Kräfte mal Versatzabstand (Abbildung 4c).

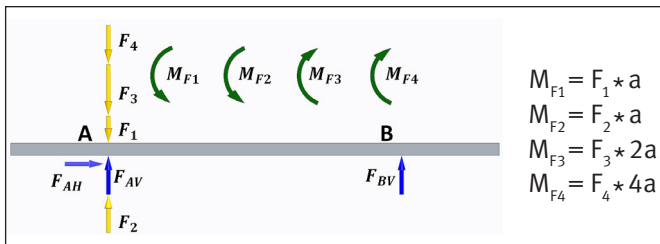


Abbildung 4c: Parallele Verschiebung der Kräfte F_1 bis F_4 nach Lager A und Ansatz der drehrichtungsorientierten, ungebundenen Momente M_{F1} bis M_{F4}

Die Addition der Einzelmomente M_{F1} bis M_{F4} ergibt das für den Balken wirksame Gesamtmoment M_G (Abbildung 4d).

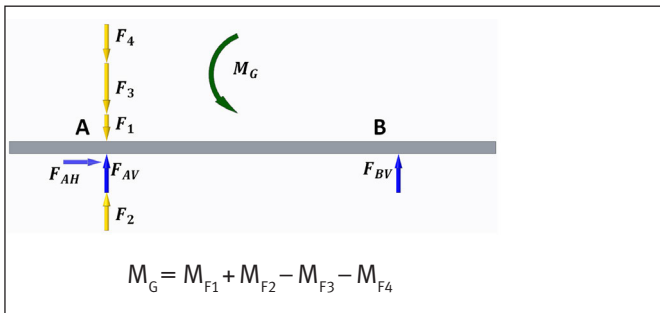


Abbildung 4d: Das Gesamtmoment M_G als drehrichtungsorientierte Summation der Einzelmomente M_{F1} bis M_{F4} .

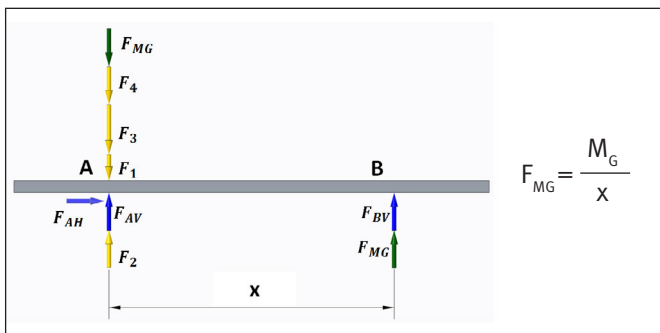


Abbildung 4e: Kräfte F_{MG} des Kräftepaars aus M_G an den Lagerstellen A und B angesetzt (x = Abstand zwischen den Lagern A und B)

Die Lagerreaktionskräfte können nun durch Addition der Einzelkräfte

für Lager A mit

$$\uparrow A: F_2 + F_{AV} - F_1 - F_3 - F_4 - F_{MG} = 0 \quad \text{umgestellt nach}$$

$$F_{AV} = -F_2 + F_1 + F_3 + F_4 + F_{MG} \quad \text{sowie}$$

$$\rightarrow A: F_{AH} = 0$$

und für Lager B mit

$$\uparrow B: F_{MG} + F_{BV} = 0 \quad \text{und}$$

$$F_{BV} = -F_{MG}$$

berechnet werden.

Die Berechnung der Lagerkräfte vereinfacht sich somit auf eine Summation der Einzelkräfte in den Lagern A und B.

Eine Zuordnung der eingepägten Kräfte auf die Lagerstellen kann je nach Ermessen beliebig in verschiedenen Varianten erfolgen.

Durch Einführung eines Koordinatensystems mit Ursprung im Festlager A (Abbildung 5) können allgemeine Beziehungen (Gleichungen (I) und (II)) für die vertikalen Lagerkräfte der Lager A und B für Einfeldträger aufgestellt werden.

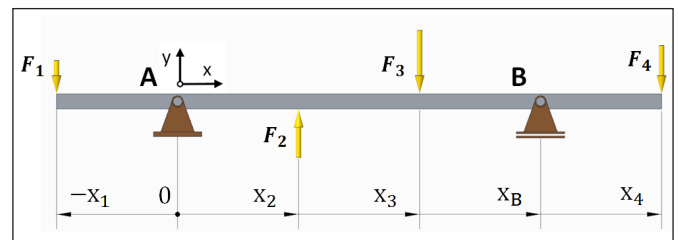


Abbildung 5: Koordinatenansatz, Koordinatenursprung im Festlager A

$$F_{AV} = - \sum_{i=1}^n F_i + \frac{1}{x_B} * \sum_{i=1}^n F_i * x_i \quad (I)$$

$$F_{BV} = - \frac{1}{x_B} * \sum_{i=1}^n F_i * x_i \quad (II)$$

Die Berechnung der Lagerreaktionskräfte kommt somit ohne Gleichungssystem und Umstellung der Grundgleichungen aus.

Das Prinzip des allgemeinen Momentenansatzes lässt sich ebenso für die Berechnung unbekannter Kräfte an starren Tragwerken, einschließlich der Gleichgewichtsbestimmung mit vier Kräften, und von Schnittgrößen anwenden.

5 Zusammenfassung

Der vorgestellte Berechnungsansatz resultiert aus der Anwendung bekannter Grundlagen der Statik. Die Besonderheit besteht in der Ermittlung eines ungebundenen resultierenden Moments für das zu berechnende Tragwerk. Dieses Moment wird durch Addition von ebenfalls ungebundenen Einzelmomenten, die u. a. bei der Parallelverschiebung eingepägter Kräfte auf geeignete Lagerstellen entstehen, gebildet. An den Lagern können, ohne ein Gleichungssystem lösen zu müssen, durch Summation

der angesetzten Kräfte die gesuchten Lagerreaktionen bestimmt werden. Der Ansatz bietet Vorteile im Verständnis für Studierende, da z. B. der parallele Versatz eingepägter Kräfte anschaulich erklärt wird. Weiterhin helfen die damit notwendigerweise tieferen Kenntnisse zum Entstehen und zur Wirkung von Kräftepaaren bei Betrachtungen u. a. zur statischen Bestimmtheit von Lagerungen. Der hier vorgestellte Ansatz kann als eine weitere Variante zur Berechnung von Lagerreaktionskräften verstanden werden.

Referenz:

[1] R. Mahnken, Lehrbuch der Technischen Mechanik - Statik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Andreas Holfeld

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

a.holfeld@oth-aw.de

Zusammenfassung

Zur Diagnose von Schaltlichtbögen in Niederspannungsschaltgeräten wird ein Verfahren vorgestellt, das auf der Erfassung von Magnetfeldern basiert. Zu diesem Zweck wird eine sowohl zeitlich als auch örtlich hochauflösende Magnetfeldkamera entwickelt. Durch Positionierung der Kamera an der Gehäusewand kann die magnetische Flussdichte, die durch die Stromdichteverteilung im Schaltgerät verursacht wird, aufgezeichnet werden. Das so gemessene Feld wird mit einer Feldverteilung verglichen, die durch eine 3D-FEM-Simulation des Lichtbogens berechnet wird. Abweichungen zwischen den Feldern werden zur iterativen Anpassung des Modells verwendet, um daraus die Bewegung des Lichtbogens und der Kontaktstücke während des Schaltvorgangs zu rekonstruieren. Erste Ergebnisse zeigen, dass aus dem vom Lichtbogen erzeugten Magnetfeld Informationen über das Lichtbogenverhalten gewonnen werden können.

Abstract

An approach for the diagnosis of low-voltage switching devices based on magnetic field detection is presented. First results show that the arc's magnetic field can be used to obtain information on its behavior. For this reason, a purpose built magnetic field camera combining a high spatial and a high temporal resolution is developed. By placing the camera on the case of the switching device, the magnetic flux density, caused by the current path inside the device, can be recorded. These measured fields are compared to field distributions, which are obtained by 3D finite element analysis (FEMA) of a model arc. Deviations are used in an iterative way to reconstruct the movement of the arc and contact pieces during the switching operation.

1 Introduction

The switching behavior plays a central role in the development of low-voltage switching devices. Especially, the knowledge of arc movement is of particular interest. It allows to evaluate the effectiveness of the arc chamber optimization. A common approach for detecting this motion is based on optical observation of the arc. For this purpose, either a transparent housing is used or optical fibers are placed in the housing wall to provide optical access to the arc, as shown in Weaver and McBride [1]. However, due to these modifications, an influence on the behavior of the arc cannot be ruled out. In order to avoid such modifications and the resulting influences on the arc's behavior, an approach based on magnetic field measurement is pursued. Previously in Laurent et.al [2] was shown, that conclusions on the arc's behavior can be drawn based on its magnetic field. For this purpose,

a magnetic field camera has to be developed. Additional, in order to acquire information on the arc's behavior from the magnetic field, reconstruction algorithms have to be developed [3].

2 Sensor Requirement Analysis

In the first step, the requirements for the sensor head of the camera were specified. The job of the sensor head is to detect magnetic flux density distributions in a plane outside of the switching device. For this purpose, experimental measurements and FEMA simulations were conducted in order to determine the temporal as well as spatial resolution capabilities. The results of this requirement analysis are then used in the next step of selecting the sensor system and the design of the first camera prototype.

2.1 Spatial Resolution

Purely static studies were carried out to determine the requirement for the spatial resolution of the camera. Within this studies, measurements were conducted on the switchching device. These were accompanied by three-dimensional finite element analysis in order to be able to verify the results. A three-axis scanning device was used for the measurements of the three components of the magnetic flux density in a plane outside the device. In addition to the studies with the switching contact closed, studies with different opening angles of the switching piece were carried out. The arc was modeled by a piece of flexible copper wire. Applying a constant DC current, the magnetic field distribution was generated. Based on these investigations, and especially from the calculation of the field gradients, the requirements for both the spatial and as well as the amplitude resolution of the sensor system could be determined.

2.2 Temporal Resolution

Dynamic measurements of the circuit breaker, with actual current breaking, were necessary to determine the required temporal resolution of the sensors. Therefore, a test setup, which can generate a 50 Hz half sine-wave, has been installed in order to carry out realistic switching and current breaking tests. The switch off scenario was implemented with a capacitor discharge over a choke triggered by a thyristor, whose ignition is synchronized with the opening of the switch.

In order to be able to determine the required temporal resolution of the camera, the transient magnetic field had to be measured with as much bandwidth as possible. For this reason, purpose-built pickup coils were used. A diameter of 0.8 mm was selected for the pickup coils, to minimize the influence of the spatial averaging of the magnetic flux density across the coil cross-section. Highly dynamic measurements with approximately 2 MHz bandwidth could be carried out. A bandwidth of about 25 kHz could be specified for the required temporal resolution.

3 Sensor Selection

On the one hand, the goal is to build a sensor array of more than one hundred single magnetic field sensors for the later magnetic field camera in order to meet the required high demands on spatial resolution. On the other hand, high temporal resolution is also required. For this purpose, a suitable sensor had to be selected.

The previously defined requirements made it possible to select a sensor for the magnetic camera. Highly integrated Hall Effect sensors [4] were selected. This Hall sensor offers the possibility to simultaneously measure all three components of the magnetic flux density in one package at two different points in space. Due to the high

integration of the sensor, the complete analog signal processing including the analog to digital conversion and the measurement sequence control is performed internally. This allows easy measurements controlled by a host computing device via a digital serial interface.

The sensor can perform internal data processing to meet the needs for commonly used applications like positioning and angle detection via permanent magnets. Hence, an adoption was needed for the use of this sensor system in the context of switching arc diagnosis. By bypassing the bandwidth limiting internal low level sequence control and providing this sequence from the host device, the maximum sampling rate could be brought to a level which fulfills the requirements.

In conclusion, we are now able to design a very tightly packed two dimensional sensor array because of the small footprint and the simple digital interface of the chosen 3D Hall sensor while the adaption of the sequence control provides high temporal resolution.

4 First Sensor Head Prototype

In a first step, a prototype of the later sensor head was developed. This prototype uses only six sensors of the selected type, arranged in a 2×3 matrix. Later, the final sensor head will be equipped with more than one hundred sensors (Figure 1 shows an image of the manufactured and assembled prototype).

By evaluating this prototype, feasibility is demonstrated and experience with printed circuit board design and production can be gained. In addition, this first sensor array is used to develop the FPGA-based firmware, to control the sensors. In particular, the partially sequential and partially parallel control of the sensors with the chip select and daisy chain method has to be implemented. A later enlargement of the sensor matrix has already been taken into account in the layout and routing of the printed circuit board, so that the later sensor head is only a scaled up version of this first prototype.

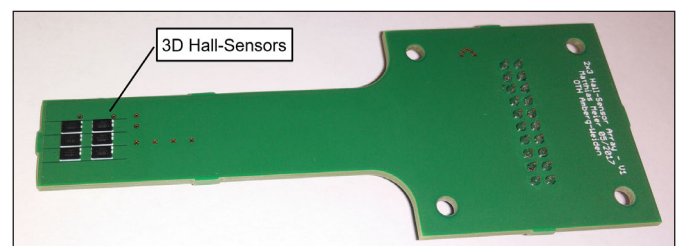


Figure 1: 2×3 Hall-sensor array

5 Reconstruction

In addition to the detection of the transient magnetic field of the arc, a second essential aspect for the success of the project is the extraction of information on the arc be-

havior from magnetic field measurements. For this reason approaches have to be developed, which make a reconstruction of the arc's behavior possible.

5.1 Proof of Feasibility

The feasibility of the project was demonstrated with the help of the test setup for performing switch off scenarios. For this purpose, a single Hall sensor probe was positioned on the case of the switching device, in the region between the contact system and the quenching plates, making it possible for measurements to be carried out. By rotating the sensor, measurements of different components of the flux density could be performed. In addition, the position of the sensor being varied in order to obtain magnetic field curves, which are as revealing as possible for the arc behavior.

Figure 2 shows such a measurement. The Bz component of the magnetic flux density, which is directed perpendicular to the case, was recorded. The current curve and the arc voltage are also shown in figure 2. Dips in the voltage curve, which correlate well with the course of the magnetic field, can be seen. Since the arc voltage largely depends on the path of the arc, conclusions from the magnetic field on the arc behavior should be possible.

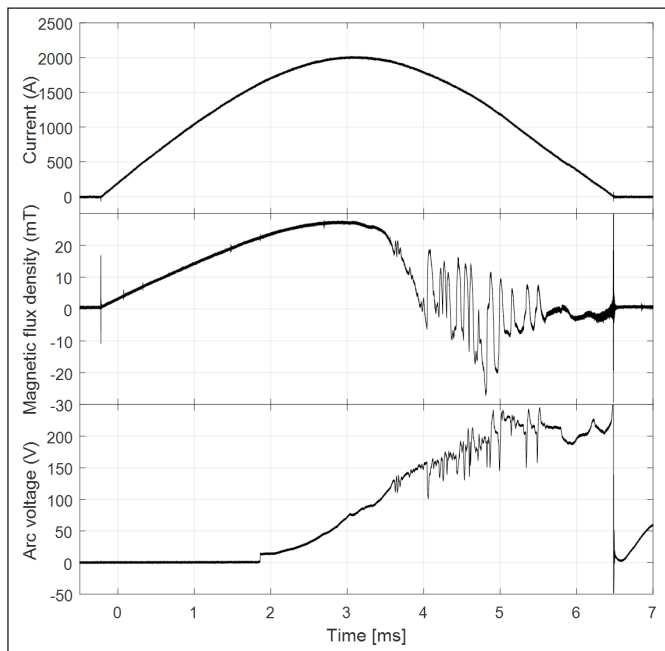


Figure 2: Results of the Bz Hall-probe-measurement, top to bottom: arc current, magnetic flux density, arc voltage

5.2 Reconstruction Algorithm

The experiments carried out with the single magnetic probe show the fundamental relationship between magnetic field and arc behavior. However, in order to obtain precise information on the arc movement, it is necessary to develop a special reconstruction algorithm.

An iterative reconstruction approach is followed. The idea is to iteratively adjust a current distribution so that the simulated magnetic field produced by this current distribution matches the measured magnetic field. For this, an algorithm is required which updates the current path from the comparison between the measured and the simulated magnetic field. Also a magnetic field simulation is required for calculation of the magnetic field from a given current distribution. By coupling the simulation and the updating algorithm and combining them with a priori information such as static current paths caused by the switch gear geometry, a reconstruction appears feasible [5].

The basis of the magnetic field simulation is a 3D model of the circuit breaker geometry. With this model, a three dimensional FEA is carried out to calculate the vector potential based on Ampere's law. The magnetic flux density was investigated in a plane outside of the breaking chamber, where the sensors are also placed later in the measurements. Figure 3 shows the result of such a simulation. Based on these simulations, a reconstruction approach is developed, which translates the measured magnetic field into the current distribution within the switching device [6] [7].

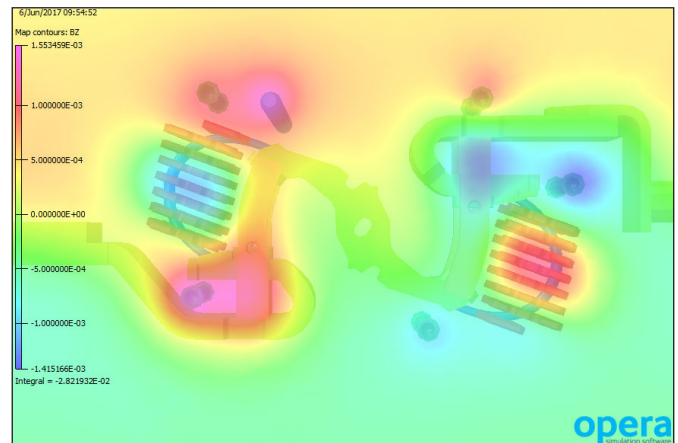


Figure 3: 3D FEA model of the breaking chamber, overlaid with simulated Bz component of the magnetic flux density, in a plane outside of the chamber

6 Conclusion and Outlook

Based on the requirement analysis carried out, a sensor system has been selected. With this sensor system it is possible to build a tightly packed sensor array to achieve a high spatial resolution. By dropping the sensor's internal low level sequence control, greatest flexibility with regard to the measurement sequence is given. For example, it is possible to increase the sampling rate while decreasing the measuring accuracy almost arbitrarily, or to increase the accuracy by dropping one or two of the three components of the magnetic flux density from the measurement.

With the first prototype completed, measurements on the switch gear can be performed to gain experience with this prototype that will be incorporated into the development of the actual magnetic camera.

Feasibility of the magnetic field based diagnosis has been demonstrated by measurements with a single sensor probe. In addition, an iterative method of reconstruction was presented.

It is now necessary to develop this approach into a corresponding reconstruction algorithm, which includes further refinement of the model for the 3D FEMA.

References:

- [1] P. M. Weaver, J. W. McBride, Arc Motion In Current Limiting Circuit Breakers, 16th International Conference on Contacts, Loughborough (UK), 1992.
- [2] A. Laurent, F. Gary, D. Cajal, G. Velleaud, M. Mercier, A magnetic camera for studying the electric breaking-arc, Meas. Sci. Technol. 4, pp. 1.043–1.049, 1993.
- [3] C. Brdys, J.-P. Toumazet, A. Laurent, J. L. Ponthenier, Optical and magnetic diagnostics of the electric arc dynamics in low voltage circuit breaker, Meas. Sci. Technol. 13, pp. 1.146–1.153, 2002.
- [4] HALLinONE with 3D Hall Fraunhofer; IIS; <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/sens/leist/es/magnetfeldsensorik.html>
- [5] H.-P. Schmidt, S. Kosse, A. Anheuser, Simulation assisted diagnostics of switching arcs, Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics Vol 35, Electromagnetic Nondestructive Evaluation XIV, IOS Press, 2011.
- [6] B. Roth, N. G. Sepulveda, J. P. Wikswo, “Using a magnetometer to image a two-dimensional current distribution”, J. Appl. Phys. 65 (1), 1989.
- [7] C. Sumi, K. Hayakawa and N. Koike, Reconstruction of 3-dimensional distribution of tangential current density components from magnetic vector measurement, International Journal of Bioelectromagnetism Vol. 9 No. 2, 2007.

Fördergeber:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kontakt:



Christian Reil, M. Eng.

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

ch.reil@oth-aw.de



Matthias Meier, B. Eng.

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

ma.meier@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

hp.schmidt@oth-aw.de



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

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

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir

Werkstudenten (m/w)

Praktikanten (m/w)

Absolventen (m/w)

Studienrichtungen

- Elektroingenieurwesen
- Bauingenieurwesen
- Maschinenbau



MAX BÖGL

Fortschritt baut man aus Ideen.

IGZ®
DIE SAP® INGENIEURE

BAYERN'S
BEST 50



Bewerben Sie sich – Starten Sie in eine erfolgreiche Zukunft mit IGZ!

Hochschulabsolventen (m/w)

- **Wirtschaftsingenieure – Schwerpunkt Logistik & Produktion**
- **Informatiker / Informatiker**
- **Betriebswirtschaftler – Schwerpunkt SAP**
- **Elektrotechniker – Schwerpunkt IT**

Wir freuen uns darauf, Sie kennenzulernen und Ihnen einzigartige Karrierechancen zu bieten. Auf Sie warten spannende Aufgaben beim erfolgreichsten SAP Projekthaus für Logistik und Produktion Europas.

SAP Factory – Lehr und Forschungsplattform für die Digitale Fabrik

IGZ unterstützt die Hochschule OTH Amberg-Weiden beim Aufbau einer Lehr- und Forschungsplattform für die Digitale Fabrik auf Basis betriebswirtschaftlicher SAP Standardsoftware.

Schwerpunkte bilden dabei die Zukunftsthemen digitale Logistik und digitale Produktion (Industrie 4.0). Ziel von IGZ ist die Förderung von hoch innovativen, praxisnahen und zukunftsweisenden Studieninhalten in der Region.



IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH

Logistikweg 1
95685 Falkenberg
jobs@igz.com - www.igz.com

Prototypenentwicklung eines pH-Sensors auf Basis protonenleitender Metalloxide

Helmut Hartmann, M. Eng.
Sebastian Chalupczok, M. Eng.
Prof. Dr. Peter Kurzweil

Zusammenfassung

Seit der Einführung der pH-Wert-Skala vor über 100 Jahren gab es allein praktikable Ansätze zur Ermittlung des pH-Werts auf Basis von Standardpufferlösungen. Alle etablierten Verfahren, ob Glaselektrode oder ISFET (Ionensensitive Feldeffekttransistoren), weisen für den Anwender limitierende Nachteile auf, welche die Entwicklung neuartiger, einfach handhabbarer Messsysteme seit Jahrzehnten überfällig machen. Als preiswerte Alternative zum Stand der Technik versprechen protonenleitende Metalloxide Langzeitstabilität, geringen Wartungsaufwand und Miniaturisierbarkeit.

Abstract

Since the introduction of the pH scale over 100 years ago, there have been feasible approaches for the determination of pH values solely based on standard buffer solutions. All established methods, such as the glass electrode or ISFETs (ion-sensitive field-effect transistor), exhibit shortcomings for the user, so that the development of novel, easy-to-handle measurement systems are overdue by decades. As a low-cost alternative to the state-of-art, proton-conducting metal oxides promise long-term stability, low maintenance requirements and miniaturization.

1 Einleitung

Dem Prototypbau voran gingen Versuchsreihen zur Auswahl geeigneter Materialien und reproduzierbarer Herstellungsverfahren. Wichtig für praktische Applikationen ist ein funktionales Sensordesign, das kostengünstig in Serie gefertigt werden kann. Das OTH-Forscherteam entschied sich für eine Siebdruckvorrichtung der Firma OLBRIICH, um Leiterbahnen und pH-sensitive Pasten aus eigener Herstellung auf vielfältige Substrate aufzubringen. Verschiedene Elektrodendesigns wurden mittels Impedanzspektroskopie, Ruhepotenzialmessung und Zyklovoltammetrie in unterschiedlichen Medien auf ihre pH-Empfindlichkeit geprüft.

2 Elektrodendesign

Das grundsätzliche Sensordesign verfolgt unterschiedliche Ansätze (Abbildung 1), um neue Anwendungsgebiete und Messprinzipien zu erschließen. Zum Einsatz kommen flache Drei- und Vierelektrodenanordnungen mit unterschiedlichen Beschichtungen, aus denen ein Sensorarray aufgebaut werden kann. Interdigitalstrukturen erlauben die pH-Messung in flüssigen und gasförmigen Medien.

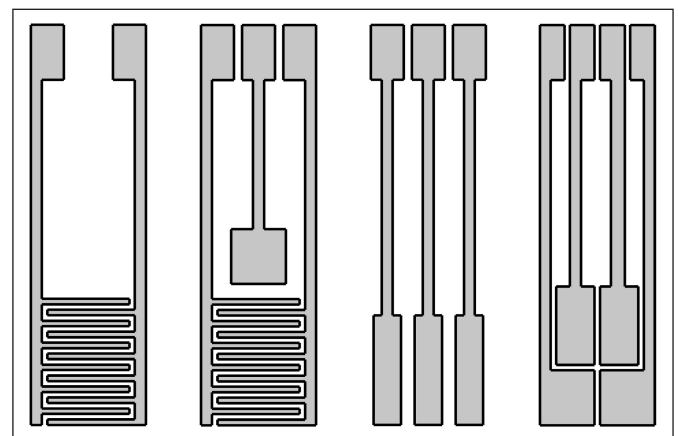


Abbildung 1: Elektrodendesigns: Interdigitalstruktur ohne und mit Bezugselektrode, Drei- und Vierelektrodenanordnung im Fächerdesign

3 Herstellung von Rohlingen

Rohling (engl. „blank“) bezeichnet einen zum Beschichten vorbereiteten Grundkörper mit eingebrannten Silberleiterbahnen. Aus Kostengründen kamen kommerzielle Träger aus Natron-Kalk-Glas zum Einsatz, die im späteren Entwicklungsverlauf durch höherwertige Substrate wie PES, Aluminiumoxid oder LTCC-Materialien ersetzt werden.

Das Aufbringen der Leiterbahnpaste auf Silber-Palladium-Basis (ESL ElectroScience) erfolgt mittels Siebdruck direkt auf dem gereinigten und mit Aceton entfetteten Substrat. Die Leiterbahnstruktur wurde nach 10-minütigem An-trocknen für 15 Minuten auf 125 °C erwärmt und abschließend bei 600 °C eingebrannt. Wichtig ist eine niedrige Aufheizrate des Ofens, damit durch Überspringen der Temperaturregelung nicht die Erweichungstemperatur des Substrats überschritten wird und sich die Kanten der Träger durch mechanische Spannungen nach oben wölben (Abbildung 2).

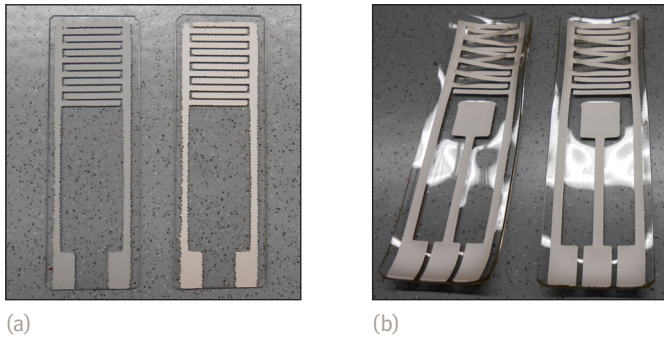


Abbildung 2: Mittels Siebdruck beschichtete Prototypenrohlinge: (a) nach 15 min Vortrocknen und Einbrand, (b) verzogene Substrate beim schnellen Aufheizen

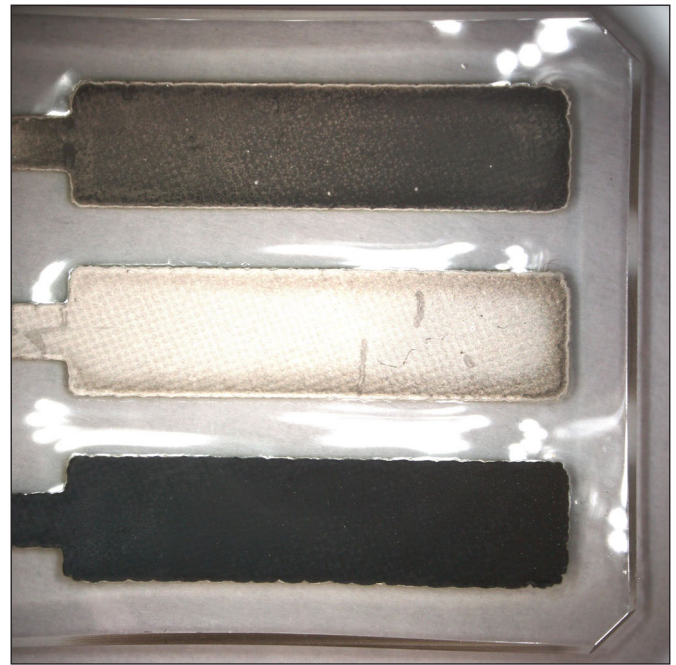
4 Referenzelektrode

In der Elektrochemie werden Elektrodenpotenziale gegen eine inerte Bezugs-elektrode gemessen, die nicht vom Zellstrom zwischen Arbeits- und Gegenelektrode durchflossen wird. Aus unseren Vorarbeiten ging Glaskohlenstoff [1] als Erfolg versprechendes Elektrodenmaterial hervor. Bekannt ist das Ag|AgCl-Bezugssystem für Sensoren [2, 3].

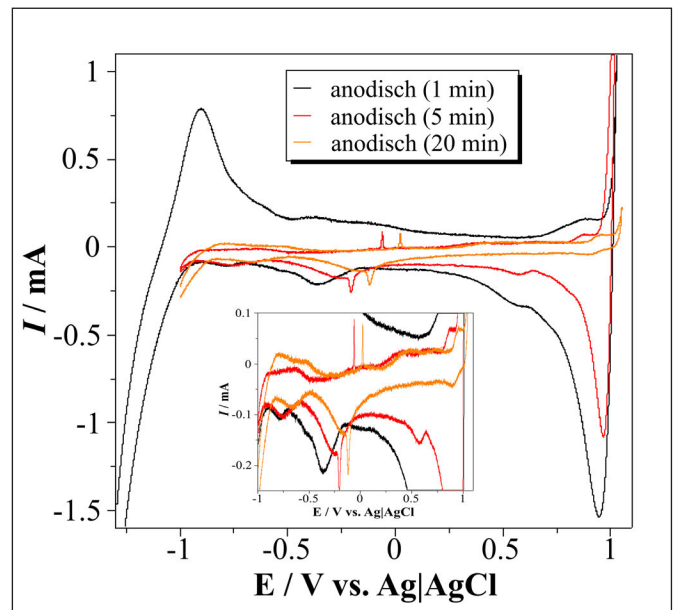
Chlorierung der Silberleiterbahn

Die Herstellung einer Silberchlorid-Schicht für die Referenzelektrode gelingt durch anodische Oxidation der metallischen Silberleiterbahn in Salzsäure mittels Zyklovoltammetrie [2] oder unter konstantem Strom [3]. Das elektrolytische Verfahren ist preiswert und gewährleistet den Verbund zwischen Leiterbahn und Deckschicht. Die Leiterbahn wurde in 1-molarer KCl-Lösung bei einer Stromstärke von 50 nA gegen eine Platin-Gegenelektrode behandelt. Schon bei den ersten Versuchen zeigte die so hergestellte Elektrode eine stabile Schicht und mit konventionellen Ag|AgCl-Elektroden vergleichbare Eigenschaften (Abbildung 3).

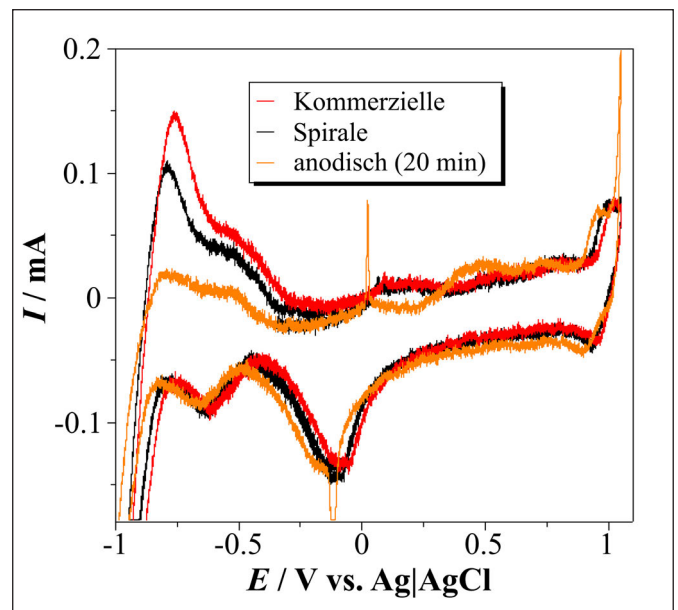
Abbildung 3: (a) Sensor mit Ag|AgCl-Schicht (weiß), (b) Zyklovoltammogramme der bei unterschiedlichen Haltezeiten galvanostatisch gewachsenen AgCl-Schichten (Arbeits- und Gegenelektrode: Platin, Spannungsvorschub 100 mV/s, 1-molare KCl-Lösung), (c) Vergleich mit einer kommerziellen Ag|AgCl-Elektrode



(a)



(b)

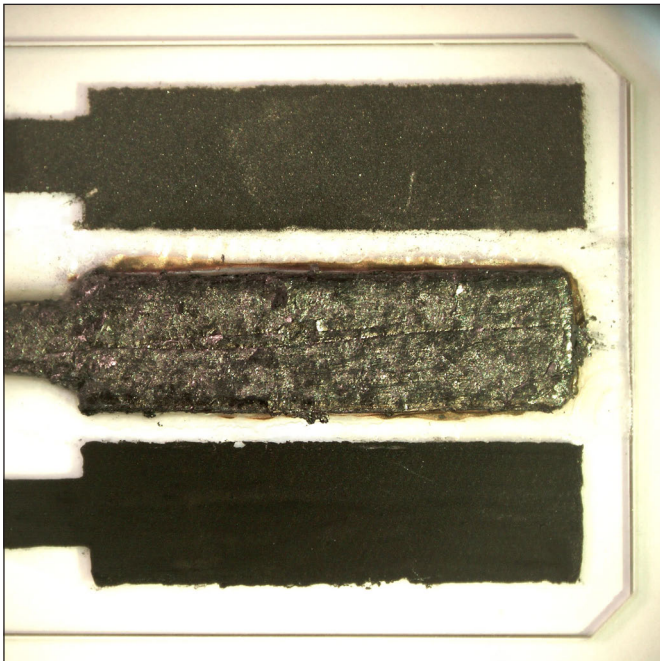


(c)

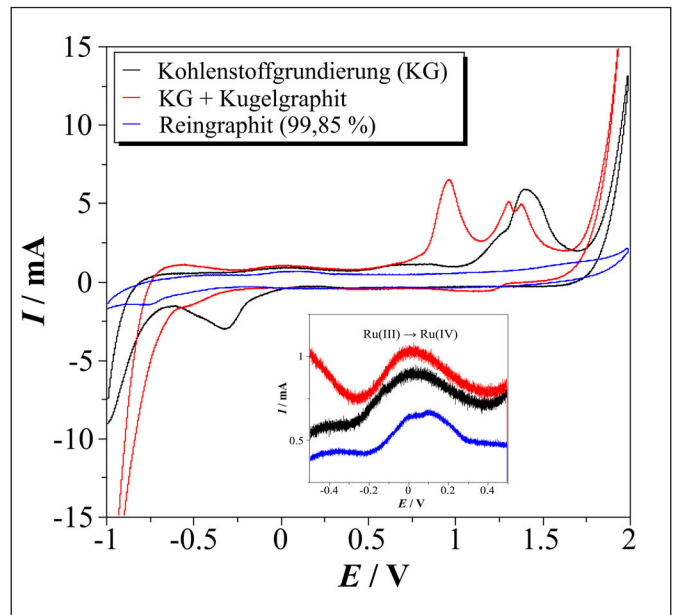
Grafit-Referenz

Beschichtungen mit Glaskohlenstoff sind technisch aufwendig. Daher wurden einfacher realisierbare Kohlenstoffmodifikationen getestet. Auf eine feuchte, kohlenstoffbasierte Grundierung als Haftvermittler wurde Kugelgraphit ($D_{50} = 10 \mu\text{m}$) gepackt und anschließend Reingrafit im Gemisch mit Leitsilberlack aufgebracht. Die so gewonnenen Elektroden wurden direkt mit einer Titan-Rutheniumdioxid-Elektrode zu einer Zelle verschaltet. In eine Dreielektrodenanordnung mit zusätzlicher Gegenelektrode aus Platin wurde ferner die Eignung als Referenzelektrode geprüft (Abbildung 4).

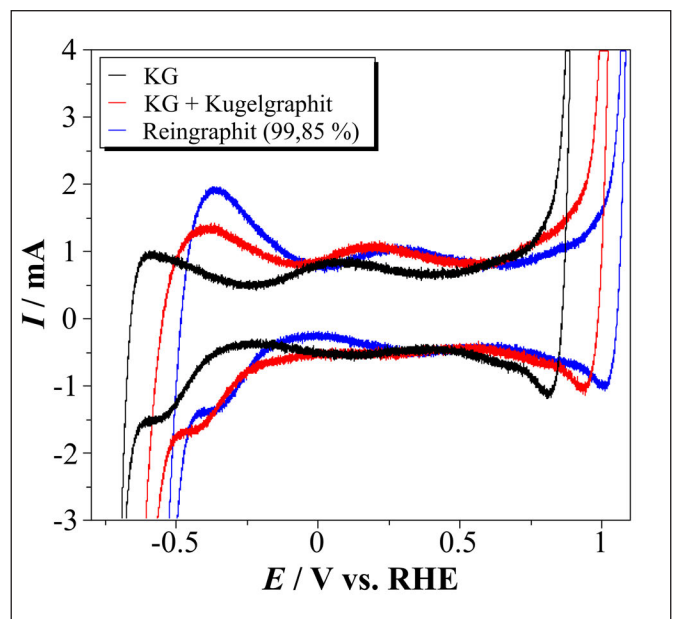
Das Grafitssystem zeigt bei gleichen Potenzialgrenzen das gewünschte Verhalten ähnlich der Glaskohlenstoff-Elektrode aus vorangegangenen Versuchen. Sowohl in der Zwei- als auch in der Dreielektrodenanordnung ist der für den Sensor wichtige Ru(III)→Ru(IV)-Redoxübergang (bei $E \approx 0 \text{ V}$) sichtbar. Die Reingrafit-Elektrode zeigt eine stärkere Wasserstoffadsorption als Glaskohlenstoff. Die für Kohlenstoff typischen Oxidations- und Reduktionspeaks werden in der Zweielektrodenanordnung ebenfalls bei allen Beschichtungen sichtbar, wobei Reingrafit ausgeprägte Redoxpeaks zeigt, welche die Eigenschaften der Rutheniumdioxid-Elektrode überlagern.



(a)



(b)



(c)

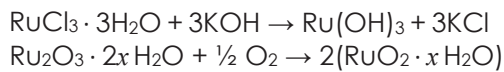
Abbildung 4: (a) Sensor mit Kohlenstoffelektroden, (b) Zyklovoltogramm: Zweielektrodenanordnung mit Ti/RuO₂, 100 mV/s, 1-molare KCl-Lösung), (c) Dreielektrodenanordnung mit Ti/RuO₂-Arbeitselektrode und Platin-Gegenelektrode

5 Metalloxid-Elektroden

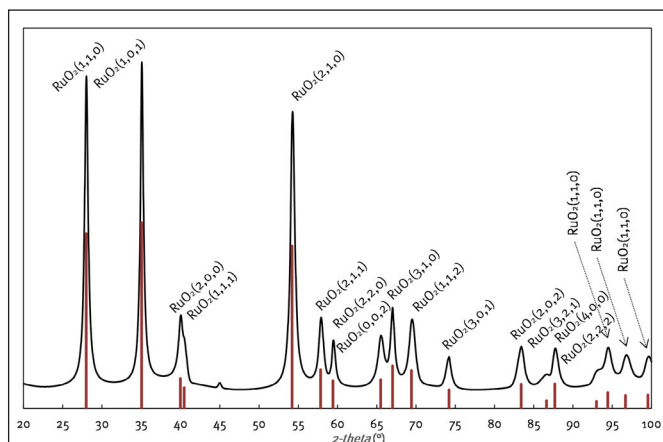
Die pH-sensitive Arbeitselektrode, deren Oberfläche aus einem unlöslichen Hydroxid besteht, stellt das Herzstück des Sensors dar. Sie wird mit der Referenz- und Gegenelektrode verschaltet. Die OTH-Forschergruppe konzentrierte sich auf Oxide der Platingruppenmetalle, speziell des Rutheniums und Iridiums [4].

Sol-Gel-Verfahren

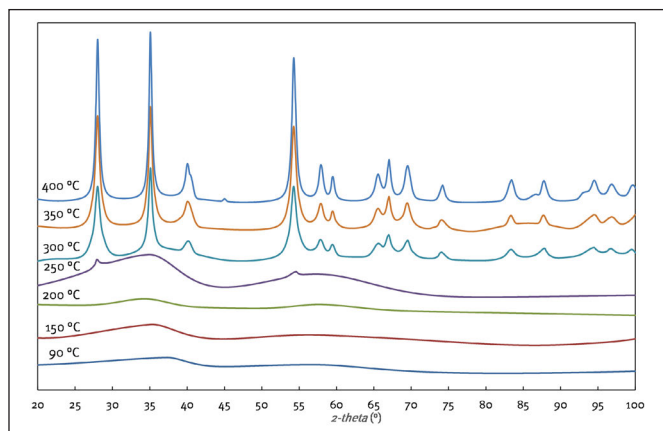
Im Gegensatz zu thermisch gewonnenen Metalloxiden, die überwiegend kristallines RuO₂ enthalten, entsteht beim Sol-Gel-Verfahren auch Ruthenium(III)-hydroxid, das in ein wasserhaltiges Oxid übergeht. Das elektroaktive Oxidhydrat ist amorph und nicht stöchiometrisch zusammengesetzt, wodurch es sich ausgezeichnet zur Detektion des pH-Werts eignet.



Bei der Sol-Gel-Synthese wird Ruthenium(III)-chlorid-hydrat in Ethanol gelöst, langsam mit Kalilauge auf pH 8 titriert und das kolloide Oxid im vortemperierten Wasserbad ausgerührt. Anschließend wird das Produkt in mehreren Schritten abzentrifugiert, neutral gewaschen und behutsam bei 90 °C getrocknet. Durch weitere Trocknungsschritte kann der Einfluss der Temperatur bei der Umsetzung von der amorphen zur kristallinen Struktur nachgestellt werden. Abbildung 5 zeigt die Röntgendiffraktometrie (XRD) der erhaltenen Oxide [5].

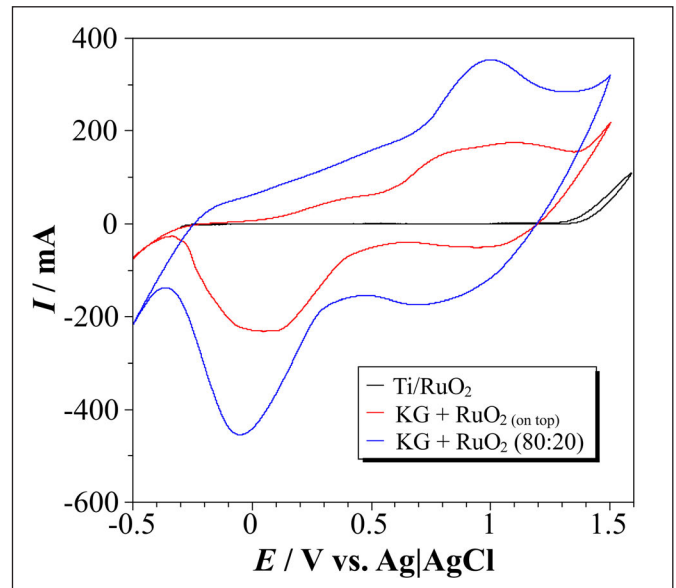


(a)

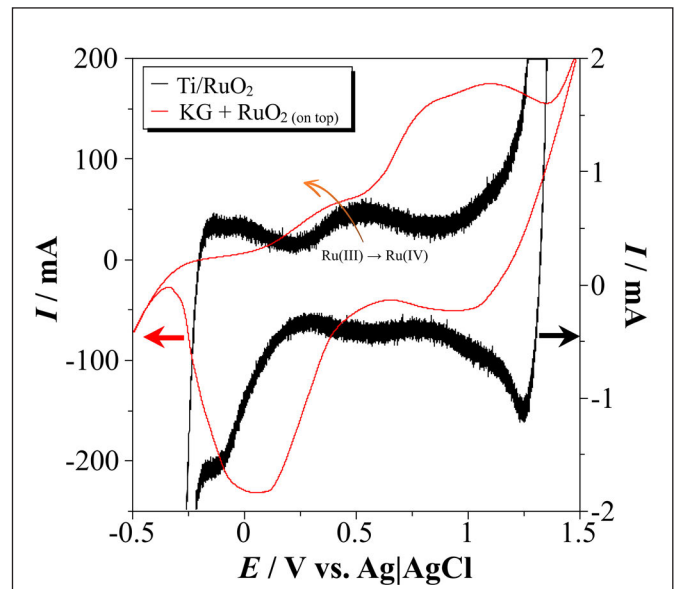


(b)

Abbildung 5: XRD-Messung getrockneter Rutheniumdioxid-Gele: (a) amorphes und kristallines Rutheniumdioxid, (b) abgeschlossene Kristallisation bei 400 °C mit Erläuterung der Kristallflächen



(a)



(b)

Abbildung 6: Zyklovoltagramme von Rutheniumdioxid-Elektroden mit und ohne Binderschicht in 1-molarer Schwefelsäure (100 mV/s, Referenz: Ag|AgCl, Gegenelektrode: Platin)

Bindersystem

Die chemische und mechanische Langzeitstabilität der pH-sensitiven Schicht soll ein Binder auf Basis von Epoxidharz, Acryllack oder Dicköl gewährleisten. Die Problematik besteht darin, dass die Schicht außer der erforderlichen Abriebfestigkeit einen geringen elektrischen Widerstand aufweisen muss. Der Binder darf die Oberflächenreaktionen des Metalloxids in variierenden Messmedien nicht behindern. Bindersysteme auf Kohlenstoffbasis weisen sehr gute elektrische Leitfähigkeit auf, adsorbieren aber stark Sauerstoff und maskieren dadurch wichtige Reaktionen des Rutheniums (Abbildung 6).

6 Folgerungen

Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Entwicklung eines neuartigen pH-Sensors stellt das Bindersystem der Arbeitselektrode dar. Kohlenstoffbasierte Systeme zeigen einwandfreies elektrisches Verhalten, allerdings werden durch O₂-Adsorptionsvorgänge wichtige Redoxreaktionen des Rutheniums maskiert. Ethylcellulose mit Terpeneol als Lösemittel zeigt in Vorversuchen vielversprechende Ergebnisse bezüglich der Oberflächenhaftung und Stabilität.

Referenzen:

- [1] H. Hartmann, Entwicklung eines neuartigen pH-Sensors auf Metalloxidbasis, Masterarbeit, OTH Amberg-Weiden, 2016.
- [2] A. Lale, A. Tsopela, A. Civelas, L. Salvagnac, J. Launay, P. Temple-Boyer, Integration of tungsten layer for the mass fabrication of WO₃-based pH-sensitive potentiometric microsensors, *Sensors and Actuators B* 206 (2015) 152–158.
- [3] J. Wang, M. Yokokawa, T. Satake, H. Suzuki, A micro IrO_x potentiometric sensor for direct determination of organophosphate pesticides, *Sensors and Actuators B* 220 (2015) 859–863.
- [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] J. Schottenbauer, Bau eines flachen pH-Sensors auf Basis von amorphen Metalloxiden, Bachelorarbeit, OTH Amberg-Weiden, 2017.

Kontakt:



Helmut Hartmann, M. Eng.

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

h.hartmann@oth-aw.de



Sebastian Chalupczok, M. Eng.

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

s.chalupczok@oth-aw.de



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

Zusammenfassung

Mit modernen instrumentell-analytischen Methoden haben wir untersucht, in welchem Ausmaß sich im Labormaßstab ein Stoffübergang von Fremdstoffen aus Karton- und Blechverpackungen in Lebensmittel und Modellfluide nachweisen lässt.

Handelsübliche Lebensmittel durchlaufen strenge Kontrollen bezüglich Hygiene, Inhalts- und Fremdstoffen. Flüchtigen Verpackungsbestandteilen, insbesondere aus dem Papier- und Metallrecycling, gilt erst in jüngerer Zeit verstärkte Aufmerksamkeit [1]. Dieser Beitrag belegt die instrumentell-analytische Ausbildung in der Studienrichtung Umwelttechnik für berufliche Einsatzmöglichkeiten in der chemisch-pharmazeutischen Industrie, Lebensmittel- und Medizintechnik. Die beschriebenen Ergebnisse wurden im Labor für Umweltanalytik im Rahmen zweier Bachelorarbeiten im Zeitraum von drei Monaten erzielt.

1 Migranten aus Kartonagen

Kommerzielle Kartonverpackungen von tiefgekühltem Seelachsfilet, Weichkäse und Speisesalz wurden thermoanalytisch und molekulspektroskopisch charakterisiert. Für die Massenspektrometrie dienten Extrakte aus zerkleinerten Papierschnipseln, die mit Ethanol, Hexan und Toluol über eine Standzeit von 28 Tagen bei 40 °C eluiert wurden.

Die ATR-FTIR-Analyse (Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie durch abgeschwächte Totalreflexion) der nicht bedruckten Papieroberflächen weist auf Polymere und Schwefelverbindungen hin (Abbildung 1). Polyethylen wird in der Papierherstellung als Barrierschicht und Imprägniermittel sowie zur Erzeugung glatter Oberflächen eingesetzt. 1-Dodecanthiol ist ein Stabilisator bei der Papierveredelung. Weiterhin wurden Laurin- und Stearin-

Abstract

Using modern instrumental analytical screening methods, we investigated to what extent the mass transfer of contaminants from cardboard and metal packaging into food products and model fluids can be proved on a laboratory scale.

säure auf der Außenseite der Fischverpackung, Decyl- und Dodecylbenzolderivate auf der Käseverpackung sowie Palmitin- und Hydrozimtsäure auf der Salzverpackung detektiert.

Laurinsäure erleichtert das Ablösen der Druckfarben im Deinking-Prozess bei der Papierherstellung. Alkylbenzolsulfonate werden als Tenside eingesetzt, unter anderem bei der Reinigung von Altpapier. Palmitinsäure, sofern nicht aus tierischen Fetten aus dem Lebensmittel eingetragen, ist ein Entschäumer bei der Papierherstellung, oder ein Deinking- oder Schmierölzusatz. Stearin- und Hydrozimtsäure (3-Phenylpropansäure) finden als Lebensmittel- und Kosmetikzusatzstoffe Verwendung [2,3].

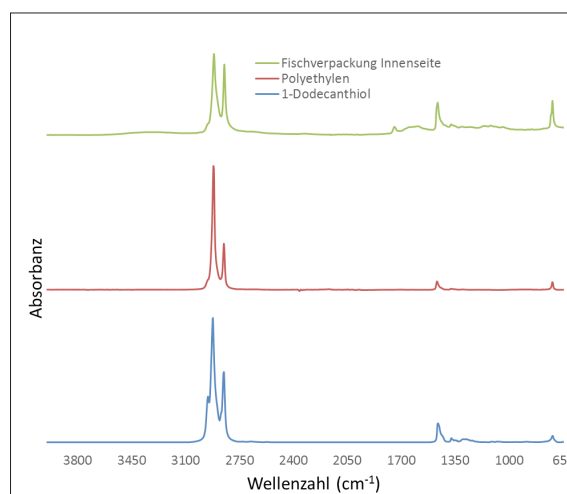


Abbildung 1: ATR-FTIR-Spektrum einer Papierverpackung von „Seelachsfilet im Bierteig“ zur Lebensmittelseite sowie Referenzspektren

Die TGA-IR-Analyse (Kopplung aus Thermowaage und IR-Spektroskopie) verdeutlicht, welche Substanzen beim Erwärmen der Papierproben freigesetzt werden. Die Käseverpackung (Abbildung 2) setzt beim Erwärmen Wasserdampf, Kohlenstoffoxide ($2400\text{--}2050\text{ cm}^{-1}$) und Fettsäuren frei.

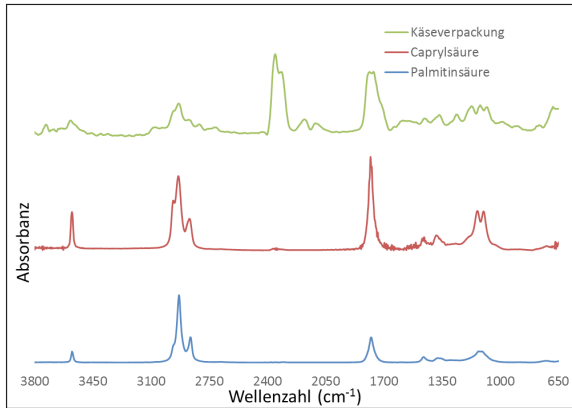


Abbildung 2: FTIR-Spektren flüchtiger Substanzen, die in der Thermowaage bei 226 °C aus einer Papierverpackung für Camembert-Weichkäse ausgasen, sowie Referenzspektren

Caprylsäure (Octansäure) wird beispielsweise als Hilfsstoff zum Entfärben und Austragen von Druckfarben in der Papieraufbereitung eingesetzt. In der Fischverpackung treten Capryl- und Laurinsäure auf, in der Salzverpackung Stearinsäure.

Gesättigte Fettsäuren sind toxikologisch unbedenklich und können grundsätzlich aus tierischen Fetten im Lebensmittel stammen, was jedoch bei Speisesalz äußerst unwahrscheinlich ist.

2 Chromatografische Analyse

Für die GC/MS-Analyse (Kopplung aus Gaschromatografie und Massenspektrometrie) wurde der Stoffübergang von der Papierverpackung auf das Lebensmittel durch die vierwöchige Einwirkung hydrophiler und lipophiler Lösemittel nachgestellt.

In den Papierschnitzeln finden sich typische Lösemittel und Hilfsstoffe der Druckindustrie [3,4,5]. Im Ethanol-extrakt dominieren langkettige Carbonsäuren, insbesondere Palmitinsäure, sowie Alkohole und Stickstoffheterozyklen. Das aus der Fisch- und Käseverpackung nachgewiesene Hexadecanol (Cetylalkohol) wird als Tensid, Verdickungsmittel und Emulgator eingesetzt. Fumarsäure, im Extrakt der Salzverpackung, ist als Säuerungsmittel und Lebensmittelzusatzstoff E 297 zugelassen, findet aber auch Anwendung bei der Herstellung von Polyesterharzen, beispielsweise für Klebstoffe auf der Verpackung oder im Recyclinganteil.

Die TDS-GC/MS-Analyse (Kopplung aus Thermodesorption, Gaschromatografie und Massenspektrometrie) erfasst flüchtige Substanzen, die beim Erwärmen der Probe in einem TENAX-Adsorptionsröhrchen angereichert und ausgetrieben werden. Es finden sich in allen Kartonagen

druckereitypische Lösemittel wie Hexan, Heptan und Toluol. Butylglycol fiel in der Fischverpackung auf, Aldehyde (Hexanal, Benzaldehyd) in den anderen Kartons. In der Salzverpackung war 2-Pentylfuran nachweisbar, das aus Mohnöl (halbtrocknendes Öl für Farben) stammt, sowie Isoocten, ein Grundstoff für Tenside und Weichmacher.

3 Migranten aus Dosen

Getränkedosen aus Weißblech und Aluminium wurden auf migrationsfähige Bestandteile wie Bisphenol A und Metallsalze untersucht.

Die ATR-FTIR-Analyse legt eine Beschichtung aus Epoxidharz auf der Innenseite der Aluminiumdose nahe, vermutlich ein Polymer des Bisphenol-A-Diglycidylethers [6] (Abbildung 3).

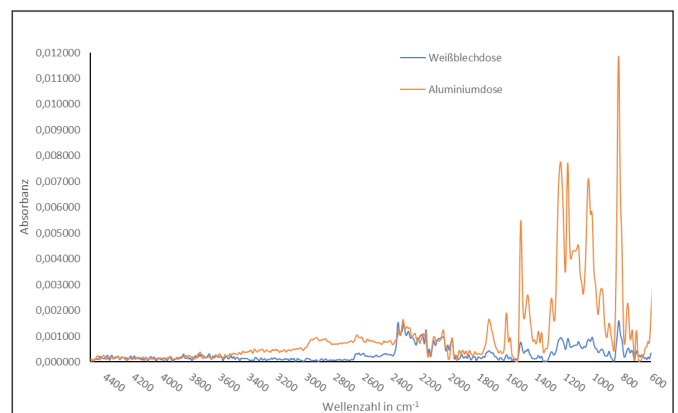


Abbildung 3: ATR-FTIR-Spektren der Innenseite von Getränkedosen

Beim Ausheizen der zerkleinerten Blechproben in der Thermowaage (TGA-IR) konnten neben Wasser, CO_2 und CO aufgrund der geringen Signalintensität keine spezifischen Verbindungen identifiziert werden.

Im Soxhlet-Extraktor (Abbildung 4) wurden die zerkleinerten Dosen über sechs Stunden im Lösemittelstrom aus siedendem Acetonitril (82 °C) gespült. Die GC/MS-Analyse der Extrakte ergab mit hoher Signifikanz Getränkebestandteile, die an beiden Dosenmaterialien anhaften, insbesondere Terpene (Limonen, Terpinen, Bisabolen) aus Zitrusfrüchten und Myristicin (aus Muskatnuss).

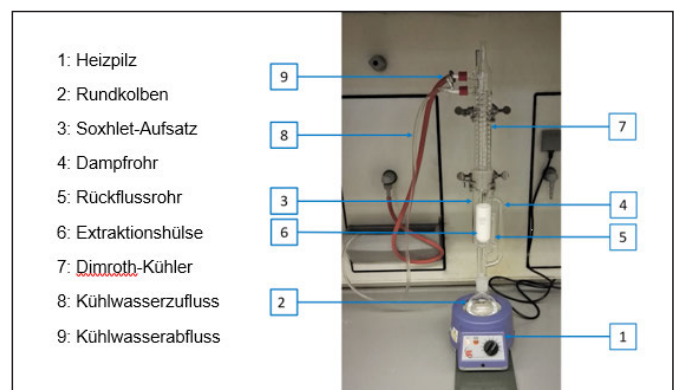


Abbildung 4: Aufbau eines Soxhlet-Extraktors

Phthalsäure- und Adipinsäureester (Weichmacher) waren nachweisbar. Laurinsäureester spielen als Zusatzstoff in Walzölen in der Aluminiumindustrie eine Rolle, kommen aber auch in Pflanzenfetten und Ölen vor. Benzophenon wird als UV-Absorber sowie in Tinten und Beschichtungen der Druckindustrie verwendet. In einer Dose fand sich bedenklicherweise eine organische Zinnverbindung.

Die GC/MS-Analyse von Metallschnipseln, die 28 Tage bei 40 °C extrahiert wurden, ergab ebenso den Befund Terpene und Weichmacher neben Fettsäureestern.

In einem Langzeitversuch wurden 3 cm × 5 cm große Blechstücke aus den Getränkebehältnissen ausgeschnitten, in 0,002-molarer Phosphorsäure eingelegt und im Trockenschrank bei 40 °C für vier Wochen gelagert. Wöchentlich wurden die Proben auf der unbedruckten Seite mithilfe der Röntgendiffraktometrie (XRD) untersucht. Abgesehen von einer farblichen Veränderung konnte keine Ausbildung von Metallphosphaten nachgewiesen werden. Die XRD-Analysen zeigen deutlich, dass es zu keiner Bildung von Salzen kam.

Die lackierte Dosenoberfläche widersteht korrosiven Medien demnach ausreichend und kontaminiert das Getränk nicht signifikant.

Referenzen:

- [1] J. Blechschmidt (Hrsg.), H. Holik. Altpapier. München: Carl Hanser Verlag, 2011.
- [2] W. Baumann, B. Herberg-Liedtke. Papierchemikalien. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1994.
- [3] W. Baumann, T. Rothardt. Druckereichemikalien. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- [4] A. Harling, R. Helling, T. Simat, K. Grob. Ausmaß der Migration unerwünschter Stoffe aus Verpackungsmaterialien aus Altpapier in Lebensmittel. Fellbach: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BELV), 2012.
- [5] E. Droth, S. Hermann, T. Simat. Einflussfaktoren auf die Migration von optischen Aufhellern. Dresden: Technische Universität Dresden, 2015.
- [6] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). Spectral Database for Organic Compounds, <http://sdb.db.aist.go.jp>

Danksagung:

M. Eng. Helmut Hartmann und Dipl.-Phys. Christian Schell haben die experimentelle Arbeit an TGA-IR und GC/MS maßgeblich unterstützt, sodass diese Ergebnisse in kurzer Zeit erzielt werden konnten.

Kontakt:



Prof. Dr. Peter Kurzweil

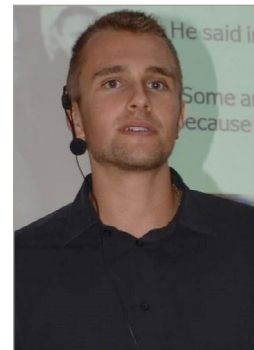
Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Dominik Strobel, M. Eng.

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



Bastian Stierstorfer, B. Eng.

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

Flüchtige organische Schadstoffe im Shisha-Rauch: eine umweltanalytisch- toxikologische Studie

Zusammenfassung

Wasserpfeifen aus dem arabischen Raum erobern auch hierzulande eine breite Anhängerschaft. Ein Studententeam hat Tabak und Kohle unter verschiedenen Abbrandbedingungen mit thermoanalytischen, spektroskopischen und chromatografischen Methoden untersucht und die nachgewiesenen Stoffklassen nach ihrer Gesundheitsgefährdung bewertet.

Abstract

Water pipes from the Arab region have found a large number of fans even in this country. A team of students investigated tobacco and coal under various combustion conditions by the help of thermoanalytical, spectroscopic and chromatographic methods. The identified substance classes were evaluated with respect to health hazards.

1 Einleitung

Der Rauch der Wasserpfeife stammt aus mit Molasse angefeuchtem Tabak auf glühender Kohle, der im Wasserbehälter abgekühlt und über einen Schlauch inhaliert wird. Nicht nur im arabischen Raum, auch hierzulande ist das auch als Narghile und Hookah bekannte „soziale Phänomen“ Shisha unter den 16- bis 25-Jährigen populär [1, 2]. Weitverbreitet herrscht die Ansicht, der Nikotinhalt des Rauches sei gering, das Wasserreservoir wirke als Schadstofffilter, und damit sei die Wasserpfeife wenig gesundheitsschädlich [3, 4].

Eine Wasserpfeife besteht aus vier Komponenten: Kopf, Rauchsäule, Wassergefäß und Schlauch (Abbildung 1). Größe und Design variieren mit dem Preis. Den Tabak im Kopf trennt eine gelochte Aluminiumfolie oder ein Kaminaufsatz von der glimmenden Kohle. Die Molasse verdampft in der Hitze und der Tabak verbrennt langsam. Beim Ansaugen erzeugt der Konsument einen Unterdruck; die Verbrennungsprodukte ziehen vom Kopf durch Rauchsäule und Wasserbad über den Schlauch in die Lunge.

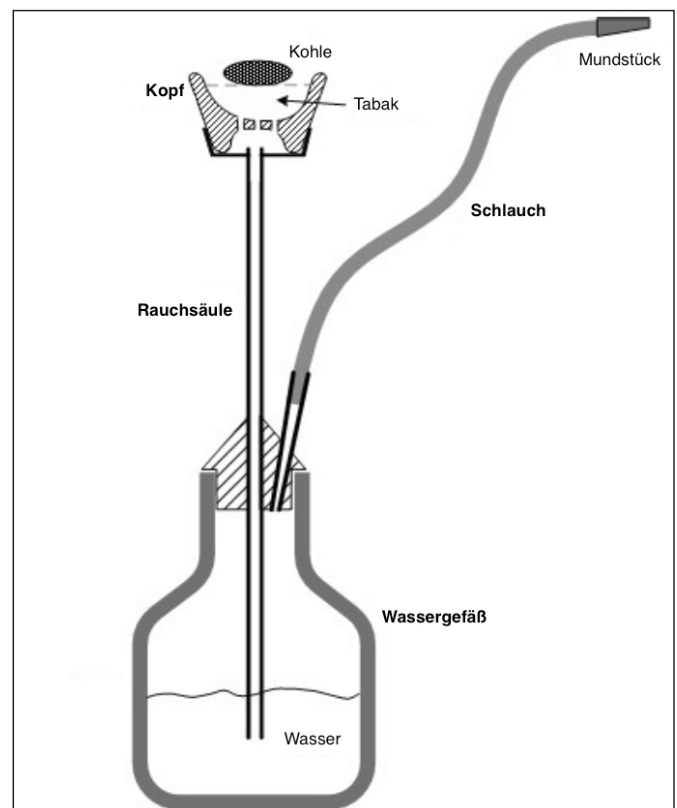


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Wasserpfeife

2 Vorstudien

Tabakrauch enthält über 4800 Stoffe, davon 69 bekannte Kanzerogene und etliche krebsfördernde Stoffe [5]. In der Wasserpfeife herrschen Nikotin, Teer, Kohlenmonoxid, Chrysen, Phenanthren, Fluoranthren, flüchtige Aldehyde und Schwermetalle (Arsen, Chrom, Blei, Kobalt, Nickel) aus der Kohle sowie Spuren von radioaktiven Stoffen aus dem Tabak vor [4, 6]. Feinstäube schädigen nachweislich Herz und Atemwege [7]. Den Schadstoff-Cocktail bestimmt wesentlich die Temperatur in der Pyrolyse-Phase der Tabakverbrennung [8]. Unterhalb von 950 °C bilden sich maßgeblich Kohlenwasserstoffe, Terpene, Alkohole, Ketone und Säuren. Zu den Verbrennungsprodukten des Tabaks kommen die Reaktionsprodukte der zugesetzten Molasse und der Aromastoffe. Im Urin von Shisha-Rauchern steigen Nikotin, Cotinin, tabakspezifische Nitrosamine, Benzol, Butadien und Acrolein mit zunehmender Zahl von Lungenzügen an.

Typisch werden während einer Sitzung ca. 200 Züge mit einem Volumen von 500 ml konsumiert. Die Zusammensetzung des Rauchs variiert; gegenüber dem Zigarettenrauch beträgt der Feinstaubanteil ein Drittel [4].

3 TGA-IR-Analyse

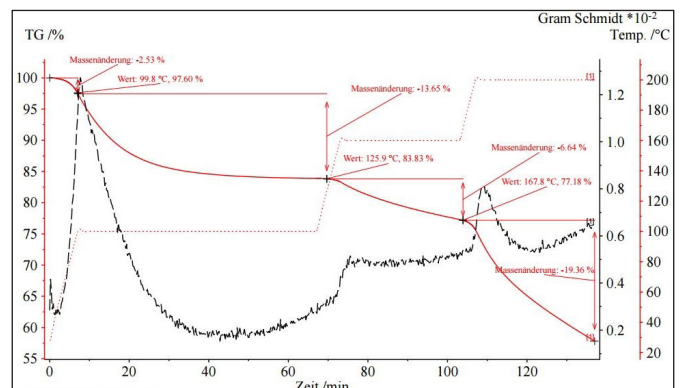
Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine kommerzielle Wasserpfeife im Labor für Umweltanalytik untersucht mit Tabak der Marke „AL WAHA“, Geschmacksrichtung JLT (Inhaltsstoffe: Tabak, Honig, Glycerin, Geschmacksstoffe), Kohle der Marke „COCOBRICO“ (Ascheanteil $\leq 2,5\%$, Feuchte $\leq 8\%$, flüchtige Bestandteile $\leq 9,5\%$, Brennwert 31 MJ/kg) und Amberger Leitungswasser.

Die Tabakproben wurden sieben Tage bei 65 °C getrocknet, etwa 7–9 mg in einem Aluminiumtiegel verpresst und mit der Kopplung aus Thermowaage (NETZSCH TG 209F1 Libra) und FTIR-Spektrometer (Bruker Tensor 27) unter Luftzutritt zwischen Raumtemperatur und 200 °C (Tabak) bzw. 600 °C (Kohle) gemessen.

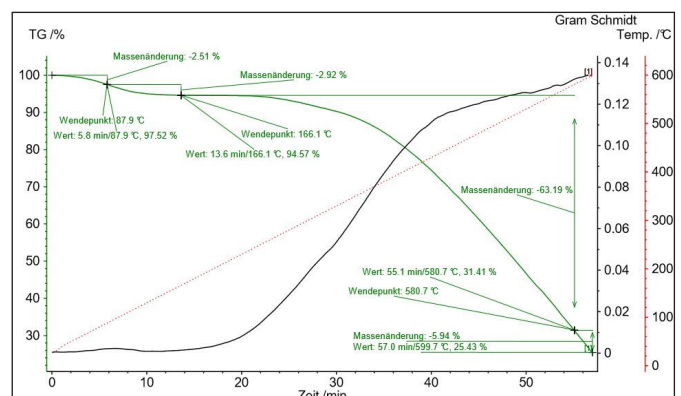
Der Tabak verliert beim Erwärmen auf 100 °C zunächst 2,5 % Masse und nach 30 min 13,7 % flüchtige Bestandteile; es folgen Zersetzungsschritte von 6,6 % (126–168 °C) und schließlich die Oxidation (Verbrennung). Im Infrarotspektrum treten deutlich die Peaks für Alkohole, Kohlenwasserstoffe und Kohlenstoffoxide auf. Mit zunehmender Temperatur nimmt die CO-Belastung zu (1850–1650 cm^{-1}) und Kohlenwasserstoffe zersetzen sich.

Bei 160 °C ist deutlich das ausdampfende Glycerin erkennbar (3600, 3000, 1000 cm^{-1}), das als Trägermaterial für Geschmacksstoffe und Raucherzeuger dient. Carbo-nylverbindungen, etwa aus Aromastoffen, zeigen starke Signale um 1700 cm^{-1} . Moderate Peaks deuten auf Acetale hin, die wässrigen Zersetzungsprodukte der Aldehyde.

Die Kohleprobe gibt beim Erhitzen auf 260 °C etwa 5,4 % flüchtige Bestandteile frei, ehe der Abbrand einsetzt. Das FTIR-Spektrum zeigt drei Banden. Bei 100 °C gast hauptsächlich Wasserdampf aus. Bei 500 °C bestimmt CO_2 das Spektrum. Kleine Ausschläge bei 2100–2200 cm^{-1} zeigen Spuren von Kohlenmonoxid an.

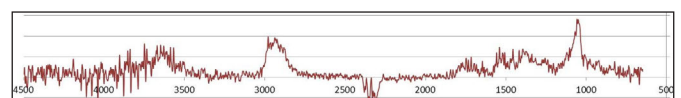


(a)

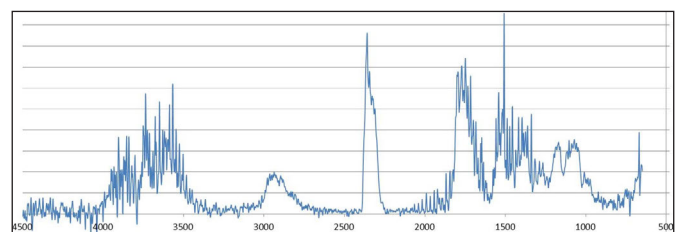


(b)

Abbildung 2: TGA-Analyse von (a) Shisha-Tabak bei stufenweiser Temperaturerhöhung auf 200 °C, (b) Kohle beim Erhitzen auf 600 °C mit 10 K/min



(a)



(b)

Abbildung 3: FTIR-Spektren der flüchtigen Ausgasungsprodukte von Tabak bei (a) 160 °C und (b) 200 °C

4 GC/MS-Analyse

Mit der Kopplungsmethode aus Gaschromatograf, Massenspektrometer (Agilent Tech.) und Thermodesorber (Markes UNITY2) wurden Wasser, Tabak und Rauch untersucht. Die Wasser- und Rauchproben wurden realitätsnah

aus der mit Tabak und drei Kohlestücken betriebenen Wasserpfeife (Behältervolumen 680 ml, Wasservolumen 480 ml, Tauchrohr Ø 12 mm, Tonkopf mit Aluminiumlochfolie) nach einer Nutzungsdauer von 30 Minuten entnommen.

Tabelle 1: GC/MS-Ergebnisse wichtiger Inhaltsstoffe

Probe	Stoffklasse	Beispiele
Shisha-Rauch und Tabakextrakt	Kohlenwasserstoffe und Terpene	methyliertes Dodecan, Alkene, α -Pinen, Limonen, Terpinen, Citral, Trimethylbicyclohepten
	Alkohole und Phenole	Butanol, Propandiol, Glycerin, Diglycerin, BHT
	Ester	Pentadecansäureester u. a.
Tabak (Thermodesorption)	Kohlenwasserstoffe und Terpene	Trimethylbicyclohepten, Alkylbenzole, p-Cymol, Cyclohexenderivate, Limonen, α -Pinen, Caryophyllen, Nonadienderivate
	Amide	Formamiderivate
	Heterozyklen	Thiazol, Furfural, Piperidin-/Nicotinderivate, Furanderivate, Pyranonderivate
	Säuren und Ester	Essigsäure, Butansäureester
Shisha-Wasser	Kohlenwasserstoffe, Terpene, Steroide	Squalan, Octadecan, Eicosan, Tetracosan, Heptadecan, Hexacosen, Nonacosan, Cholestanderivate
	Heterozyklen	Piperidin- und Nicotinderivate, auch Oxim
	Ester	Fettsäureester, auch halogeniert

(a) Der Tabakextrakt in Aceton/Methanol (1 : 1) und das Shisha-Wasser wurden direkt einem Temperaturprogramm (50 °C für 5 min, 10 K/min bis 280 °C, Split 1 : 10) unterworfen. Das Wasserpfeifen-Wasser enthält langkettige Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und Naturstoffe (Pteridine, Sterine, Triterpene). Der Tabakextrakt zeigt monoterpene Kohlenwasserstoffe, terpenoide Aromastoffe und Glycerin neben anderen Alkoholen.

(b) Der sieben und elf Tage bei 65 °C getrocknete Tabak wurde im Thermodesorber untersucht (300 °C, 15 min, Total Split ca. 1 : 100). Auffällig sind heterozyklische Aldehyde, Terpene und andere zyklische Kohlenwasserstoffe, Carbonsäuren, Amide und Ester, Stickstoffheterozyklen und Alkylbenzole. Deutlich sind Essigsäureester vorhanden. Die meisten Kohlenwasserstoffe, Carbonsäureamide und Acetate verschwinden nach elf Tagen Trocknung

(c) Die Rauchprobe wurde durch eine Laborpumpe (200 ml/min, 5 min) in ein TENAX-Röhrchen aufgenommen und anschließend durch Thermodesorption in den Gaschromatografen überführt (320 °C, 5 min, Trap-Temperatur bis 280 °C, Total Split 1 : 42). Neben mono-, bi- und azyklischen Monoterpenen sind bicyklische Kohlenwasserstoffe, Stickstoffheterozyklen, mehrwertige Alkohole und aromatische Kohlenwasserstoffe (Toluol) im Rauch nachweisbar.

5 Bewertung und Fazit

Die Verbrennungsgase (CO₂, CO) führen zu den beim intensiven Konsum beschriebenen Schwindelgefühlen [9]. Die Verbrennungsprodukte des Tabaks sind je nach Betriebsweise außerordentlich vielfältig und enthalten eindeutig reizend wirkende Aldehyde sowie kanzerogene Substanzen, wozu auch viele als Aromastoffe bekannte Terpene zählen. Im Wasser kondensieren höhere Kohlenwasserstoffe und Nicotinderivate, aber keineswegs der größte Teil der Schadstoffe, wie gemeinhin vermutet. Deutlich ist der Effekt des verhältnismäßig kalten Wassers auf die Rauchzusammensetzung. Abhängig von der Blasengröße entweichen weitgehend ungefiltert Terpene, ungesättigte Kohlenwasserstoffe und Alkohole. Bei größeren Blasen werden oftmals nur Stoffe in unmittelbarer Nähe zum Wasser abgekühlt, während die Verweilzeit für die meisten Komponenten zu kurz für eine wirkungsvolle Absorption ist.

Die Filterwirkung könnte durch Temperaturabsenkung und Wassereintritt durch einen Diffusor zur Minimierung der Blasengröße verstärkt werden. Wie die Messungen weiter zeigen, ist trotzdem ein Großteil der Verbrennungsprodukte inhalierbar und wirkt damit direkt auf die menschliche Gesundheit. Unter den nachgewiesenen Stoffen sind potenziell kanzerogene Terpene und Alkene, Glycerin und narkotisch wirkende Alkohole, Butylhydroxytoluol und andere gesundheitsschädliche Aromaten. Falschinformation und Halbwissen in der Bevölkerung werden langfristig nicht verhindern, dass sich, dem Beispiel der Zigarette folgend, ein maßvoller Umgang mit Wasserpfeifen durchsetzen wird.

Referenzen:

- [1] L. N. Brockman, M. Pumper, D. Christakis, M. Moreno, Hookah's new popularity among US college students: a pilot study of the characteristics of hookah smokers and their Facebook displays. *BMJ open*, 2 (2012) 1–8.
- [2] J. B. Jukema, D. E. Bagnasco, R. Jukema, Waterpipe smoking: not necessarily less hazardous than cigarette smoking. *Netherlands Heart Journal* 22 (2014) 91–99.
- [3] M. A. Griffiths, T. R. Harmon, M. C. Gilly, Hubble Bubble Trouble: The Need for Education About and Regulation of Hookah Smoking. *Journal of Public Policy & Marketing* 30 (2011) 119–132.
- [4] H. M. Aslam, S. Saleem, S. German, W. A. Qureshi, Harmful effects of shisha: literature review. *International Archives of Medicine* 7 (2014) 16.
- [5] K. M. Sajid, K. Chaouachi, R. Mahmood, Hookah smoking and cancer: carcinoembryonic antigen (CEA) levels in exclusive/ever hookah smokers. *Harm Reduction Journal* 5 (2008) 1–14.
- [6] M. A. Rashidi, A. Shihadeh, N. Saliba, Volatile aldehydes in the mainstream smoke of the narghile waterpipe. *Food Chem Toxicol*, 46 (2008) 3.546–3.549.
- [7] C. Monn, P. Kindler, A. Meile, Ultrafine particle emissions from waterpipes. *Tobacco Control* 16 (2007) 390–393.
- [8] R. R. Baker, Smoke generation inside a burning cigarette: Modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health. *Progress in Energy and Combustion Science* 32 (2006) 373–385.
- [9] W. Elias, N. Assy, I. Elias, T. Toledo, M. Yassin, A. Bowirrat, The detrimental danger of water-pipe (Hookah) transcends the hazardous consequences of general health to the driving behavior. *J. Transl. Med.* 10 (2012) 1–14.

Danksagung:

Dipl.-Phys. Christian Schell und M. Eng. Helmut Hartmann gilt Dank für die großartige Betreuung und Unterstützung der Projektarbeit zu diesem aktuellen Thema.

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



Christoph Pöhlmann, B. Eng.

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



Leonhard Waldmüller, B. Eng.

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

Zusammenfassung

Seit Juli 2016 befassen wir uns im Zuge eines Projekts, gefördert durch die VolkswagenStiftung, mit den pH-sensitiven Eigenschaften von Ruthenium(IV)-oxid. Um die elektrochemischen Prozesse besser zu verstehen, die an RuO₂-Oberflächen in alkalischen und sauren Medien ablaufen, haben wir ein neues Messverfahren eingeführt. Mit der Quarzmikrowaage in Kombination mit gleichzeitig aufgenommenen Zyklovoltogrammen ist es möglich, die infolge elektrochemischer Reaktionen stattfindenden Massenänderungen zu beobachten. Dies lässt detaillierte Rückschlüsse auf die an der pH-sensitiven Elektrode ablaufenden Prozesse zu.

Abstract

Since July 2016 we have been working on the pH-sensitive properties of ruthenium(IV) oxide within a project granted by the VolkswagenStiftung. In order to understand the electrochemical processes on RuO₂ surfaces in alkaline and acidic media, we introduced a new measuring method. In combination with simultaneously recorded cyclic voltammograms, the quartz crystal microbalance enables the observation of mass changes which are caused by electrochemical reactions. This allows drawing detailed conclusions on the processes taking place at a pH-sensitive electrode.

1 Einleitung

Die Quarzmikrowaage (QCM) ist eine In-situ-Messtechnik, mit der Oberflächenprozesse an der Fest-Flüssig-Grenzfläche mit mikroskopischer Auflösung verfolgt werden können. Massenänderungen werden durch die piezoelektrischen Eigenschaften von Quarz bestimmt. Der mit dem Elektrodenmaterial beschichtete Quarzkristall wird durch Anlegen einer Wechselspannung zu Schwingungen bei dessen Resonanzfrequenz angeregt. Ändert sich die Masse und damit der Dämpfungsfaktor, tritt eine Frequenzänderung Δf nach der Sauerbrey-Gleichung auf:

$$\Delta f = -\frac{2f_0^2}{A\sqrt{G\rho}}\Delta m$$

Δf = Frequenzänderung; f_0 = Resonanzfrequenz des Quarzes; A = Fläche; G = Schermodul Quarz; ρ = Dichte von Quarz, Δm = Massenänderung

Dies gilt auch für Quarzresonatoren mit einseitigem Kontakt zu Flüssigkeiten. Damit bietet sich die Möglichkeit, die mit dem Elektrodenmaterial beschichtete

Oberseite des Quarzkristalls als Arbeitselektrode in eine elektrochemische Zelle einzubauen und simultan die Strom-Spannungs-Kennlinie und damit verbundene Massenänderungen zu beobachten. Kombiniert man die Sauerbrey-Gleichung mit dem Faraday'schen-Gesetz, ist eine Zuordnung der Messdaten zu spezifischen Vorgängen im Phasengrenzbereich möglich [1, 2, 3].

$$Q = z \cdot F \cdot n \quad \text{und} \quad m = M \cdot n$$

$$\Rightarrow \Delta m = \frac{M}{z \cdot F} \Delta Q$$

n = Stoffmenge, M = molare Masse der elektroaktiven Spezies; z = elektrochemische Wertigkeit, F = Faraday-Konstante, ΔQ = Änderung der elektrischen Ladung

2 Probenvorbereitung und Versuchsaufbau

Um die Reaktionen an der Oberfläche einer Ruthenium-Elektrode im sauren Medium besser zu verstehen, wurde ein mit Rutheniummetall beschichteter Quarzkristall in einer elektrochemischen Zelle untersucht.

Beschichtung des QCM-Kristalls

Ein üblicher 5-MHz-QCM-Kristall mit polierter Oberfläche wurde galvanisch mit Ruthenium beschichtet (Abbildung 1). Die Goldoberfläche wurde als Minuspol in eine 0,04-molare Ruthenium(III)-chlorid-Lösung getaucht. Als Gegenelektrode diente ein Platinblech. Mithilfe eines Galvanostaten wurde für 20 min ein konstanter Strom von 5 mA/cm² angelegt. Abbildung 2 zeigt die langsame Ruthenium Abscheidung auf der Goldelektrode. Dabei nimmt der Widerstand der Elektrode zu. Nach 20 min befinden sich 35,6 µg/cm² Ruthenium auf der Goldelektrode. Mit einer Dichte von 12,45 g/cm³ für Ruthenium ergibt sich eine Schichtdicke von ca. 28,6 nm.

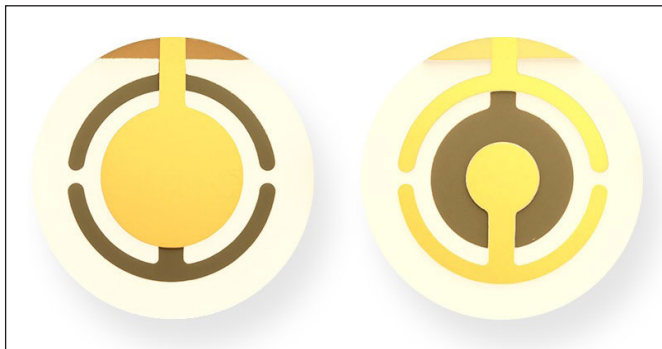


Abbildung 1: QCM-Kristall mit Chrom-/Goldoberfläche, Größe: 1 inch, Resonanzfrequenz: 5 MHz

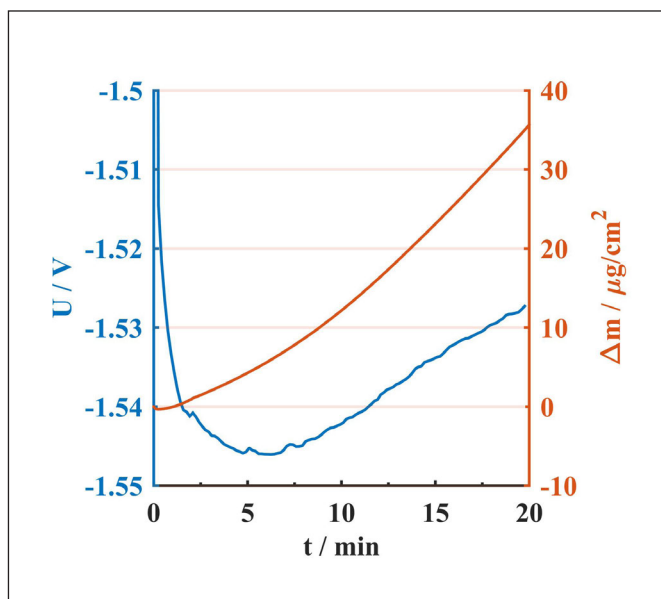


Abbildung 2: Galvanostatische Beschichtung des QCM-Kristalls: blau: Verlauf der Spannung mit wachsender Schichtdicke, rot: Änderung der Elektrodenmasse

Messaufbau

Der mit Ruthenium beschichtete Kristall wurde in die Halterung der Quarzmikrowaage montiert und als Arbeitselektrode in eine elektrochemische Zelle mit 0,5-molarer Schwefelsäure eingebaut (Abbildung 3). Als Gegenelektrode diente ein 20 mm × 20 mm großes Platinblech und als Referenz eine Ag|AgCl-Elektrode (0,21 V NHE).

Über einen Potentiostaten wurde an der Arbeitselektrode ein dreieckförmig ansteigendes und abfallendes Potenzial mit einem Spannungsvorschub von 50 mV/s angelegt und der fließende Strom gemessen. Gleichzeitig wurde mit der Quarzmikrowaage die Massenänderung an der Ruthenium-Elektrode beobachtet.

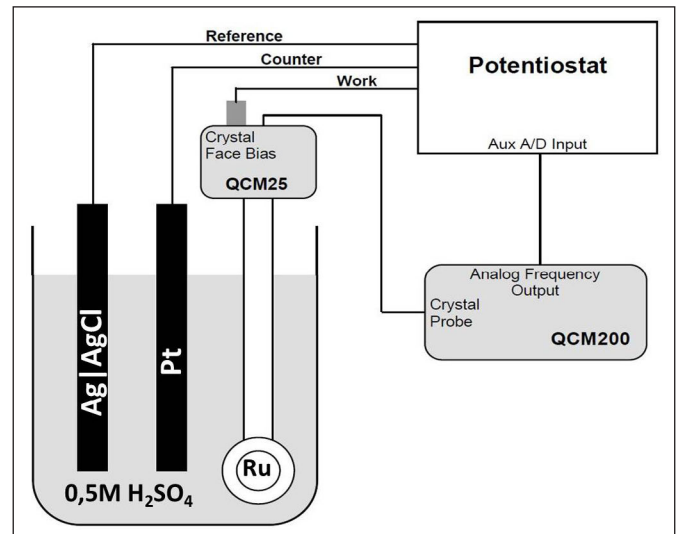


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Quarzmikrowaage

Um die empfindliche Elektrode nicht durch ein zu groß gewähltes Spannungsfenster zu beschädigen, wurde der Spannungsbereich schrittweise von 0,2 V bis 1,1 V erweitert (Abbildung 4). Später wurden 10 Zyklen am Stück über den gesamten Spannungsbereich gemessen (Abbildung 5).

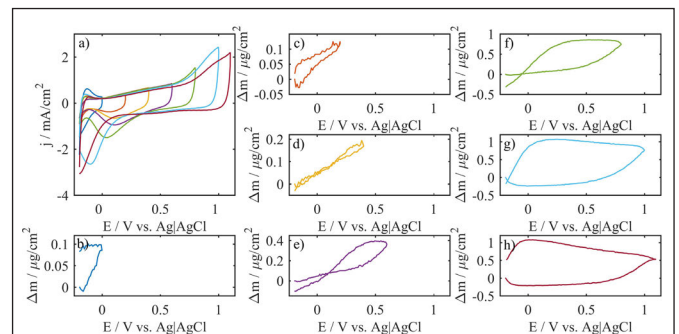


Abbildung 4: Zyklovoltogramm und zugehörige Massenänderungen bei schrittweiser Vergrößerung des Spannungsfensters. Vorschub: 50 mV/s. (b–d) Ru–H, Ru–OH, (e–f) Ru^{III}/Ru^{IV}, (g–h) Ru^{IV} → Ru^{VI}

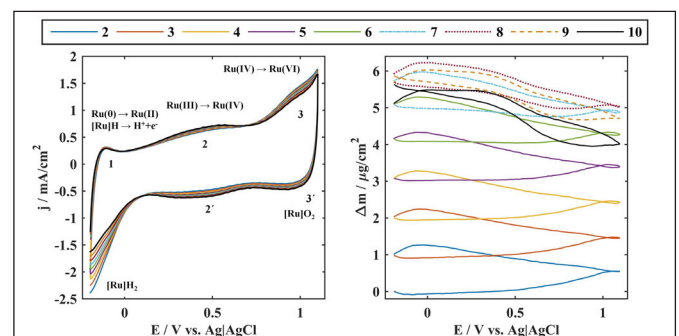


Abbildung 5: Zyklovoltogramm an einer Ruthenium-Elektrode in Schwefelsäure (10 Zyklen, 50 mV/s). Massenzunahme durch Wassereinklagerung; Massenabnahme ab Zyklus 8 durch Protonenabgabe in den Elektrolyten

Tabelle 1: Peakpotenziale, Ströme, Ladungen, Massenänderungen und berechnete Strommengen ($n = Q/zF$): P = Peak, DS = Doppelschicht, OX = Oxidation ($Q_{ox} = Q_p - Q_{DS}$).

Peak	E_p vs. RHE / V	I_p / mA	Q_p / mC	Q_{DS} / mC	Q_{ox} / mC	Δm / μg
Zyklus 2 in Abb. 5						
1	0,112	0,294	1,162	0,942	0,220 = 1,1 nmol ($z = 2$)	0,020 = 1,1 nmol H_2O
2	0,670	0,618	5,448	4,938	0,510 = 5,3 nmol ⁺ ($z = 1$)	0,168 = 5,3 nmol O_2
3	1,161	1,328	3,480	2,377	1,103 = 5,7 nmol ($z = 2$)	0,093 = 5,5 nmol OH
2'	0,633	-0,492	-4,060	-3,773	-0,287	0,302
3'	1,140	-0,360	-1,670	-1,425	-0,245	0,153
Zyklus 10 in Abb. 5						
1	0,107	0,291	0,902	0,705	0,197	-0,172
2	0,655	0,683	7,254	6,147	1,107	-0,616
3	1,172	1,206	2,430	1,789	0,641	0,018
2'	0,627	-0,614	-5,912	-5,157	-0,755	0,683
3'	1,139	-0,473	-2,490	-2,206	-0,284	0,431

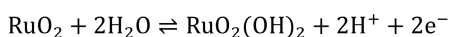
3 Ergebnisse und Diskussion

Durch Kombination der Messdaten aus der Quarzmikrowaage lassen sich den in der Zyklovoltammetrie (CV) beobachteten Peaks verschiedene Prozesse zuordnen. Peak 1 (Abbildung 5 links) ist bedingt durch die dissoziative Adsorption von Wasser [4], in deren Verlauf adsorbierter Wasserstoff zu solvatisierten Protonen oxidiert wird. Die Adsorption von Wasser erklärt die in Abbildung 4 b) bis d) erkennbare Massenzunahme der Elektrode. Die gleichzeitige Oxidation des Rutheniums $\text{Ru(0)} \rightarrow \text{Ru(II)}$ ist in der Literatur umstritten. Im Bereich von 0,4 V bis 0,6 V (Peak 2 Abbildung 5) kommt es zur Oxidation des dreiwertigen zum vierwertigen Ruthenium, die mit einer weiteren Massenzunahme verbunden ist, weil die entstehenden H^+ -Ionen im Oxid verbleiben und nicht an den Elektrolyten abgegeben werden.



Nach Vukovic et al. [4] diffundieren die Protonen bei abnehmendem Potenzial in die Ruthenium-Schicht. Im Laufe mehrerer Zyklen kommt es dadurch zur Sättigung, sodass sie nach sieben Zyklen doch in den Elektrolyten austreten. Das erklärt die in Abbildung 5 beobachtete deutliche Massenabnahme ab dem achten Zyklus in Verbindung mit dem Oxidationsschritt $\text{Ru(III)} \rightarrow \text{Ru(IV)}$. Möglicherweise kam es dabei auch zu leichten Beschädigungen und zum Materialabtrag an der Elektrode.

Peak 3 repräsentiert höhere Oxidationsstufen des Rutheniums ($\text{Ru(IV)} \rightarrow \text{Ru(VI)}$) und geht nahezu nahtlos in die Sauerstoffabscheidung über [5].



Die spiegelbildlichen Peaks 2' und 3' im kathodischen Ast des Zyklovoltagramms bilden die entsprechenden Reduktionsvorgänge ab [6].

4 Folgerungen

Nach Beendigung des Quarzmikrowaagenversuchs wurde der mit Ruthenium beschichtete QCM-Kristall mittels Röntgendiffraktometrie (XRD) zerstörungsfrei auf oberflächennahe Strukturveränderungen untersucht.

Das Metall wurde eindeutig zum Metalloxid oxidiert. Im Diffraktogramm (Abbildung 6) sind neben Gold Peaks von Ruthenium und Ruthenium(IV)-oxid zu finden. Dies belegt, dass die galvanische Beschichtung der Goldelektrode mit Ruthenium erfolgreich war und dass im Laufe der 10 CV-Zyklen eine elektrochemisch aktive RuO_2 -Schicht erzeugt wurde.

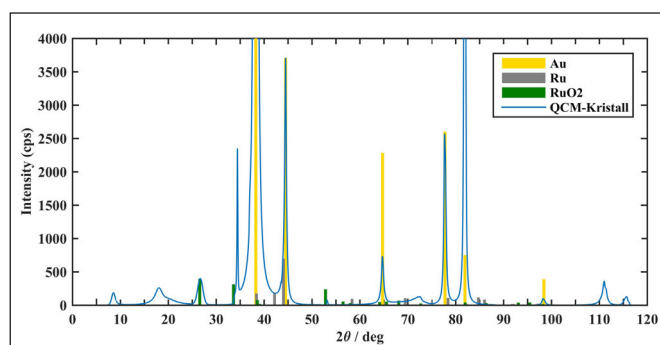


Abbildung 6: XRD-Analyse des beschichteten Quarzkristalls nach dem Versuch

Referenzen:

- [1] D. A. Buttry, M. D. Ward, Measurement of Interfacial Processes at Electrode Surfaces with the Electrochemical Quartz Crystal Microbalance, Chem. Rev. 92 (1992) 1355–1379.
- [2] R. Schumacher, Die Quarzmikrowaage: Eine neue Messtechnik zur in-situ-Untersuchung des Phasengrenzbereiches fest/flüssig, Angew. Chem. 102 (1990) 347–361.
- [3] G. Sauerbrey, Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung, Zeitschrift für Physik 155 (1959) 206–222.
- [4] M. Vukovic, D. Cukman, Electrochemical quartz crystal microbalance study of electrodeposited ruthenium, Journal of Electroanalytical Chemistry 474 (1999) 167–173.
- [5] R. Kötz, H. J. Lewerenz, P. Brüesch, S. Stucki, Oxygen evolution on Ru and Ir Electrodes: XPS-Studies, J. Electroanal. Chem. 150 (1983) 209–216.
- [6] M. Vukovic, H. Angerstein-Kozłowska, B. E. Conway, Electrocatalytic activation of ruthenium electrodes for the Cl_2 and O_2 evolution reactions by anodic/cathodic cycling, Journal of Applied Electrochemistry 12 (1982) 193–204.

Fördergeber:



Kontakt:



Dipl.-Phys. Christian Schell

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

c.schell@oth-aw.de



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

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der minimale Detektionsabstand zweier Aktivitätsanreicherungen in gleicher Tiefe und in verschiedenen Tiefenlagen ermittelt. Dazu wurden in einem Lymphknoten-Phantom die mit Technetium Tc-99m gefüllten Vials in unterschiedlichen Abständen und in unterschiedlichen Tiefen positioniert und mittels einer Gamma-Handsonde (Crystal Probe) detektiert. Somit wurde ein wichtiger Schritt für die Bestimmung des Einflusses weiterer aktiver Strahlungsquellen im Operationsgebiet auf die Detektierbarkeit der gesuchten Lymphknoten im Phantom untersucht.

Abstract

In this work, the minimum detectable distance between two radioactive substances was determined at the same depth and in different depth positions. For this purpose, two vials filled with Technetium Tc-99m were positioned at different distances and at different depths in a lymph node phantom and were scanned by means of a gamma hand probe (Crystal Probe). A first step was taken towards investigation of the influence of additional radioactive sources in the vicinity of the investigated lymph node.

1 Einleitung

Der Befall von Wächterlymphknoten bestimmt maßgeblich die Prognose und die Wahl einer Tumorthherapie. Für den operierenden Arzt ist es beim Vorhandensein mehrerer aktivierter Wächterlymphknoten vor der Operation nicht einfach, die Entscheidung zur Position des ersten „Schnitts“ zu treffen, um eine möglichst geringe Wundgröße zu erhalten. Mit der Wächterlymphknoten-Szintigrafie unter Zuhilfenahme einer Gamma-Handmesssonde werden intraoperativ die radioaktiv markierten Wächterlymphknoten lokalisiert und vom Operateur operativ entfernt. Liegen die SLN (sentinel lymph node) tiefer im Gewebe, ist die Differenzierung mittels einer Gamma-Sonde tiefenabhängig begrenzt. Die Differenzierung kann nur im Verlaufe der Operation selbst durch die schrittweise Verringerung des Abstands zur Quelle wieder erreicht werden. Außerdem müssen die einzelnen Lymphknoten gegenüber dem Untergrund und gegenüber weiteren Aktivitätsanreicherungen abgegrenzt werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Lymphknoten-Phantom

Zur Durchführung der Messungen wurde ein gewebeäquivalentes Lymphknoten-Phantom (Schwächungskoeffizient bei 140 keV) erstellt (Abbildung 1). Für das gesamte Phantom wurde das Material Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) gewählt, da dieses aufgrund seiner Materialeigenschaften optimal zur Simulation von menschlichem Gewebe geeignet ist. Das Phantom besteht aus sechs 50 mm langen Aussparungen in verschiedenen Tiefen. Diese befinden sich jeweils in 10-mm-Abständen, beginnend bei einer Tiefe von 8,5 mm, ausgehend vom Rand des Phantoms. In diese Aussparungen können die Vials wie auf Schienen platziert werden, um damit den Abstand der Aktivitätsquellen zueinander möglichst frei variieren zu können. Für die Versuche wurde das Phantom mit brustgewebeäquivalentem Material gefüllt.

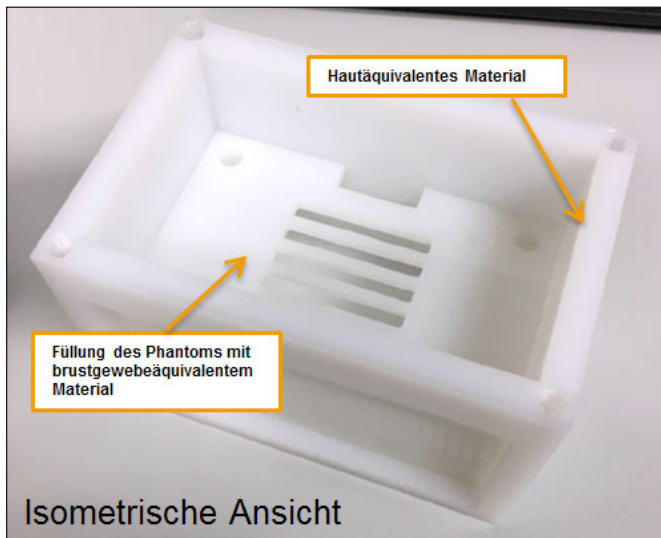


Abbildung 1: Lymphknoten-Phantom

2.2 Versuchsaufbau

Die Lokalisierung der Aktivitätsquellen im Lymphknoten-Phantom erfolgte über die Gamma-Handmesssonde Crystal Probe der Firma Crystal Photonics mit einem Standardkollimator und einem Kollimatoröffnungswinkel von 40° FWHM (Full Width at Half Maximum). Die Messsonde besitzt eine hohe Empfindlichkeit, die größer als 20.000 cps (counts per second) ist.

Über eine 2D-Verschiebeeinheit (Abbildung 2), angesteuert über LabVIEW, wurde die SLN-Sonde automatisch horizontal in 1,5-mm-Abständen verfahren. Dazu wurde die Messsonde auf der Lineareinheit befestigt und das Phantom direkt vor der Sonde positioniert (Abbildung 3).

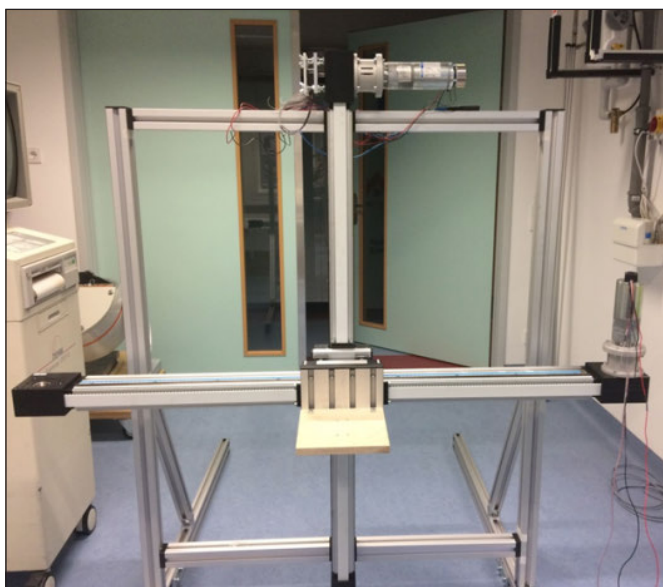


Abbildung 2: Zweiachsige Lineareinheit

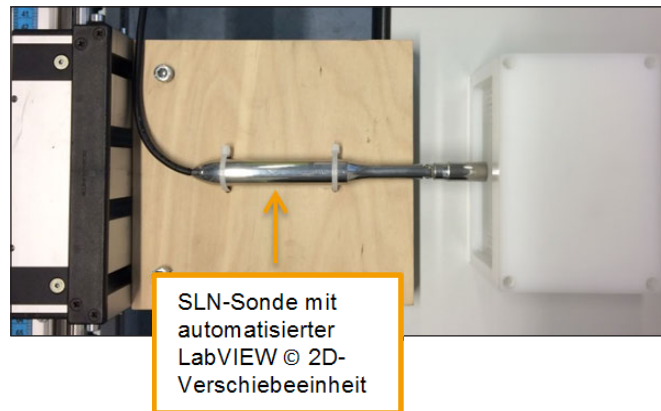


Abbildung 3: Messaufbau

2.3 Versuchsplanung

Die Vials wurden jeweils mit 300 kBq Tc-99m gefüllt und in dem Lymphknoten-Phantom positioniert. Analog zur Wächterlymphknoten-Szintigrafie ist damit eine kleine punktförmige Quelle gegeben.

Die Positionierung der Aktivitätsanreicherungen (Abbildungen 4 und 5) für die Ermittlung des minimalen Detektionsabstands erfolgte bei:

- A) gleichbleibender Tiefe mit Variation des Abstandes,
- B) verschiedenen Tiefen der Quellen.

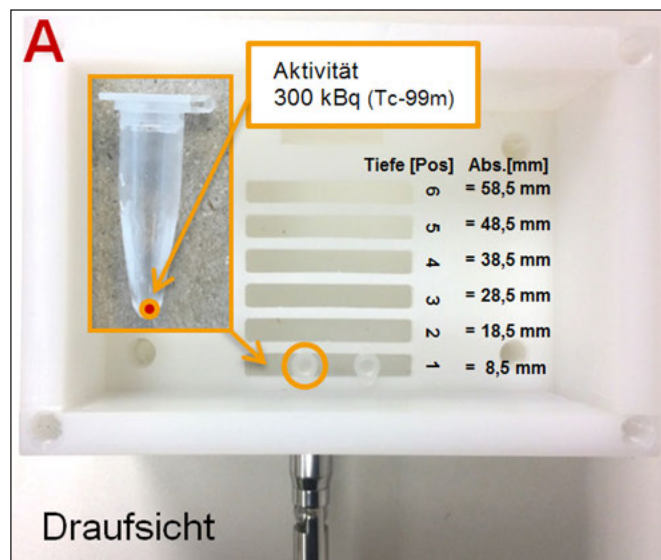


Abbildung 4: Messaufbau A mit Aktivitätsanreicherung und SLN-Sonde

3 Ergebnisse

3.1 Messaufbau A – Gleichbleibende Tiefe bei Variation des Abstandes

In Abbildung 6 wird für die sechs verschiedenen Tiefenlagen im Phantom der minimale Abstand zur Detektion zweier Aktivitätsquellen bei gleicher Tiefe dargestellt. Während in der Tiefe von 8,5 mm zwei Nuklidanreicherungen in einem Abstand von 9 mm noch klar zu trennen sind, ist dies bei einer Tiefe von 18,5 mm nicht mehr möglich. In der Tiefe 28,5 mm ist ein minimaler Abstand von mindestens 22 mm und in Tiefe 38,5 mm von mindes-

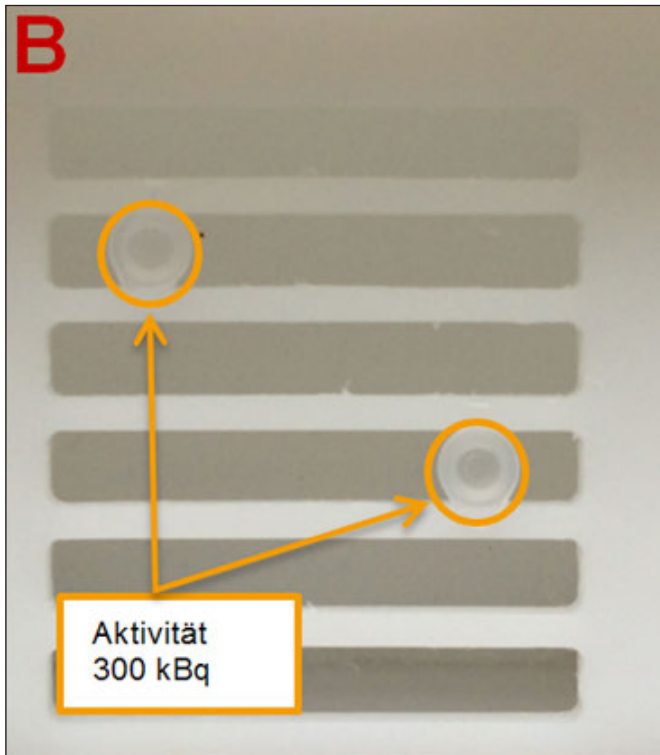


Abbildung 5: Messaufbau B mit Aktivitätsanreicherung

tens 28 mm zu wählen. Ab der Tiefenlage von 58,5 mm im Phantom ist eine Differenzierung zweier Aktivitätsanreicherungen bei dem größtmöglich einstellbaren Abstand von 45 mm nicht mehr möglich.

Bei einer gleichbleibenden Tiefe und der Variation des Abstandes der Aktivitätsquellen ist die Detektion zweier Nuklidanreicherungen gut abzugrenzen. Abbildung 7 stellt den Detektionsabstand der cps-Rate gegenüber und zeigt das Ergebnis der Detektion zweier Aktivitätsquellen, die sich beide in der Tiefe 1 (8,5 mm) und in einem Abstand von 15 mm befinden. In dieser Einstellung lässt sich eine gute Detektierbarkeit und Abgrenzung der Quellen verzeichnen, wohingegen bei einem Abstand von 9 mm in gleicher Tiefenlage das Limit in der Detektierbarkeit erreicht ist (Abbildung 8).

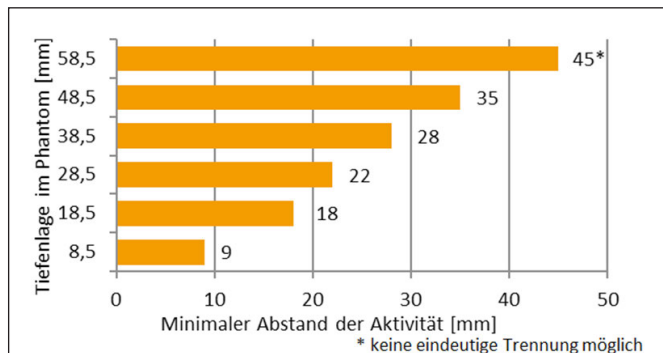


Abbildung 6: Minimaler Abstand zur Detektion zweier Aktivitätsquellen

3.2 Messaufbau B – Verschiedene Tiefen der Aktivitätsquellen

In Abbildung 9 wird der minimale Detektionsabstand für die verschiedenen Tiefenlagen der Aktivitätsanreicherungen angegeben. Bei einer Tiefe von 18,5 mm der Quelle 1 und 28,5 mm der Quelle 2 beträgt der notwendige Abstand 30 mm. Befindet sich die Quelle 1 weiterhin in einer Tiefe von 18,5 mm, die Quelle 2 jedoch bei 48,5 mm, ist ein Abstand größer als 40 mm zu wählen. Sobald die Aktivitätsquelle 2 in der Tiefe 6 (58,5 mm) positioniert ist, kann sie unabhängig von der Position der Quelle 1 nicht mehr als eine Aktivitätsanreicherung detektiert werden.

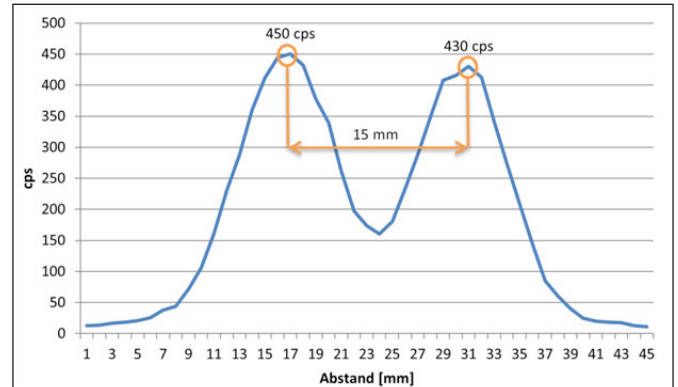


Abbildung 7: Gute Detektierbarkeit zweier Aktivitätsquellen in Tiefe 1

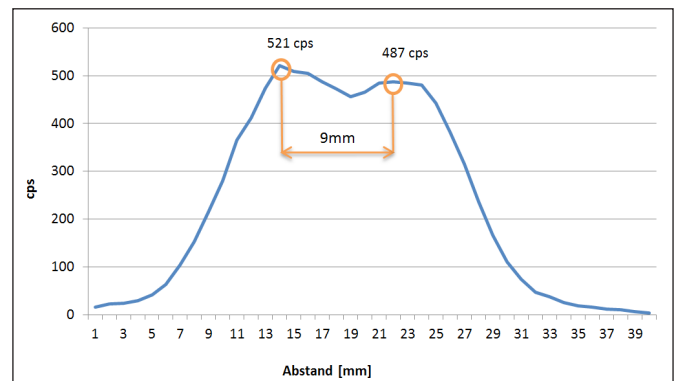


Abbildung 8: Limit in der Detektierbarkeit zweier Aktivitätsquellen in Tiefe 1

Pos. Quelle 1 [mm]	Pos. Quelle 2 [mm]	min Abst. [mm]
8,5	18,5	15
8,5	28,5	20
8,5	38,5	25
8,5	48,5	> 30
8,5	58,5	>> 35
18,5	28,5	30
18,5	38,5	33
18,5	48,5	> 40
18,5	58,5	>> 45
28,5	38,5	34
28,5	48,5	43
28,5	58,5	>> 45
38,5	48,5	45
38,5	58,5	>> 45
48,5	58,5	>> 45

Abbildung 9: Zusammenfassung der minimalen Abstände für verschiedene Tiefenlagen der Aktivitätsanreicherungen

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Je näher zwei Aktivitätsanreicherungen an der Hautoberfläche liegen, desto besser können diese bei geringem Abstand zueinander detektiert werden. Je tiefer sich diese Aktivitätsanreicherungen im Gewebe befinden, desto größer ist der Abstand zwischen ihnen zu wählen, um sie als getrennt detektieren zu können. Außerdem besteht eine maximale Tiefe, bei der keine Detektion mehr möglich ist. Bei zwei unterschiedlich tiefen Aktivitätsquellen kann die Quelle 2 in einer Tiefe von 58,5 mm unabhängig von der Tiefe der Quelle 1 nicht mehr als eine Aktivitätsanreicherung detektiert werden.

Eine Verbesserung der Detektierbarkeit ist über den 20°-Kollimator denkbar, der in weiteren Untersuchungen v. a. hinsichtlich seiner Sensitivität getestet werden soll.

3.3 Winkelauflösung der Kollimatoren

In Abbildung 10 wird die normierte Winkelauflösung für einen 40°-Standardkollimator und einen 20°-Kollimator der Gammasonde dargestellt. Die FWHM ist bei dem 40°-Standardkollimator immer kleiner als 40°, bei dem 20°-Kollimator immer kleiner als 20°. Mit einem Kollimator mit einem Öffnungswinkel von 20° kann somit auch bei großen Tiefen eine lokale Differenzierung ermöglicht werden.

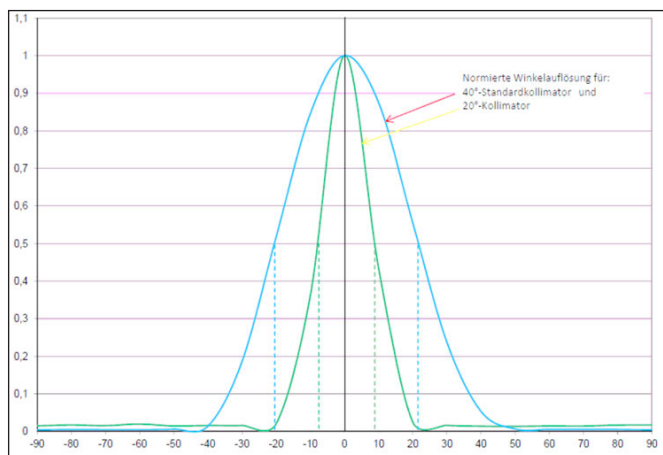


Abbildung 10: Winkelauflösung 40°- vs. 20°-Kollimator (Crystal Photonics)

Referenzen:

P. Hammer. Automatisierte Bestimmung der Auflösung und Sensitivität einer Wächterlymphknoten-Sonde mit Hilfe eines Lymphknoten-Phantoms. Bachelorarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 2016.

Projektpartner:

Crystal Photonics GmbH, Berlin

Kontakt:

Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Medizintechnik/Medizinische Physik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

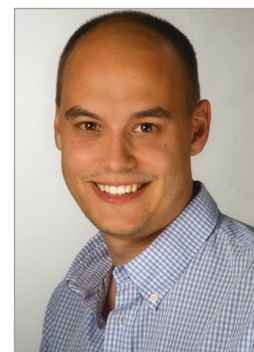
r.ringler@oth-aw.de



Katharina Gmey, B. Eng.

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

ka.gmey@oth-aw.de



Manuel Stich, M. Sc.

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

m.stich@oth-aw.de



Bachelor-Studiengänge

Betriebswirtschaft
Elektro- und Informationstechnik
Erneuerbare Energien
Handels- und Dienstleistungsmanagement
Handels- & Dienstleistungsmanagement
berufsbegl.
Industrie-4.0-Informatik
Internationales Technologiemanagement
Kunststofftechnik
Maschinenbau
Medieninformatik
Medienproduktion und Medientechnik
Medizintechnik
Patentingenieurwesen
Umwelttechnik
Wirtschaftsingenieurwesen

Master-Studiengänge

Applied Research in Engineering Sciences
Digital Business
Innovationsfokussierter Maschinenbau
Interkulturelles Unternehmens- und
Technologiemanagement
IT und Automation
Medientechnik und Medienproduktion
Medizintechnik
Umwelttechnologie

Weiterbildungsmaster

Angewandte Wirtschaftspsychologie
Digital Business Management
Steuerrecht und Steuerlehre
Technologiemanagement 4.0

www.oth-aw.de/studieren



HORN GLASS INDUSTRIES AG	26
F.EE Industrieautomation GmbH u. Co. KG	26
DEPRAG SCHULZ GmbH & Co.	26
Lang Patent Anwaltskanzlei.....	61
SCHERDEL GmbH.....	61
Bayernwerk AG.....	82
Amberger Freunde der Hochschule	113
Autohaus Widmann GmbH & Co. KG	113
Förderverein Weiden	113
OTH Professional.....	113
Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG	161
IGZ Die SAP Ingenieure	161
Gerresheimer Regensburg GmbH.....	U3
Herding GmbH Filtertechnik.....	U4

U = Umschlag

Impressum

Herausgeber:

Präsidentin
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Prof. Dr. Andrea Klug

Redaktion:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF

Titelgestaltung:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF

Inhalt/Bildmaterial/Copyright:

Die Verantwortung für Inhalt und Bildmaterial der Beiträge
sowie das Copyright liegt bei den jeweiligen Autoren.

Gesamtherstellung:

Frischmann Druck & Medien GmbH, Sulzbacher Straße 93, 92224 Amberg

Erscheinungstermin:

Februar 2018

ISSN-Nummer:

2365-1997



Ostbayerische Technische Hochschule
Amberg-Weiden

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



Ostbayerische Technische Hochschule
Amberg-Weiden

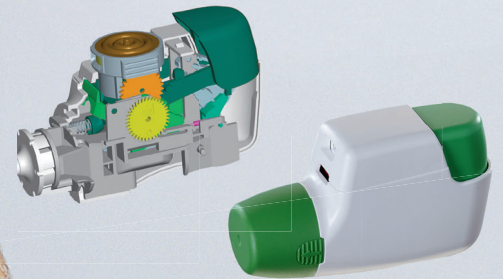
Standort Weiden:

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/forschen-und-kooperieren/aktuelles-in-der-forschung/forschungsberichte

„Werde Ingenieurin 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
Carmen Kullmann
Oskar-von-Miller-Straße 6
92442 Wackersdorf
Telefon: +49 9431 639 6675
Email: C.Kullmann@gerresheimer.com

Aktuelle Angebote finden Sie unter:
jobs.gerresheimer.com/stellenangebote/offene-stellen.html



Natalie Weigelt, Dual Studierende bei Herding GmbH Filtertechnik
Walter Herding, Firmengründer und Inhaber der Herding GmbH Filtertechnik

GESTALTEN SIE IHRE ZUKUNFT MIT UNS!

Wir sind ein global erfolgreiches, unabhängiges Familienunternehmen. Wir steigern die Produktivität unserer Kunden im Fertigungsprozess und schützen sowohl Mensch und Maschine als auch Produkte und Umwelt durch Filtration von Luft und Gasen. Mit weltweit 400 Beschäftigten liefern wir als Technologieführer komplette Filtersysteme aus einer Hand.

Als Partner der ersten Stunde arbeiten wir eng mit der OTH Amberg-Weiden zusammen. Studierenden und Absolventen bieten wir Möglichkeiten für:

- » DUALE STUDIENGÄNGE
- » PRAKTIKA UND WERKSTUDENTENTÄTIGKEIT
- » ABSCHLUSSARBEITEN
- » DIREKTEINSTIEG

Starten Sie Ihre Karriere mit uns und nutzen Sie das internationale Umfeld des Technologieführers, der die Filtrationstechnik revolutioniert.



Beachten Sie unsere aktuellen Stellenangebote unter www.herding.de/de/karriere.html