

Liebe Leserin, lieber Leser,

Forschung bedeutet für uns angewandte Forschung und Entwicklung, in engem Schulterschluss mit unseren Partnern in Wirtschaft und Gesellschaft – eine ausgewiesene Stärke der HAWs im Allgemeinen und der OTH Amberg-Weiden im Besonderen. Als Hochschule in der Region und für die Region sind wir fest in der nördlichen Oberpfalz verankert, was zahlreiche Kooperationen und nicht zuletzt unser PartnerCircle, der Kreis von Unternehmen, die unsere Hochschule sehr in Forschung und Lehre unterstützen, zeigt.

Die Entwicklungen der Region erleben und erfahren wir auch insbesondere in unserer Forschung: den demografischen Wandel verbunden mit Fachkräftemangel einerseits, aber auch den Standort vieler Unternehmen, die in ihrer Branche zu den Marktführern und damit zu den sogenannten „hidden champions“ zählen.

Vor diesem Hintergrund müssen wir uns gemeinsam den globalen Herausforderungen unserer Zeit stellen. Zwei seien als Beispiele genannt: die Digitalisierung in allen ihren Facetten sowie die Nachhaltigkeit, die sich eben nicht nur im verantwortungsvollen Umgang mit Energie und Ressourcen zeigt. Die trennscharfe Betrachtung dieser Bereiche aus den klassischen Disziplinen der Ingenieur- und Naturwissenschaften bzw. Wirtschaftswissenschaften heraus ist dabei nicht mehr alleinig zielführend.

Um Themen und Projekte ganzheitlich und erfolgreich angehen zu können, ist ein interdisziplinäres Arbeiten über Fachbereiche hinweg nötig. Dies ist nicht neu, weshalb wir auch diesen Forschungsbericht wieder entlang unserer Leitthemen gestaltet haben: Energie und Mobilität, Information und Kommunikation, Produktion und Systeme sowie Lebenswissenschaften und Ethik. Die beiden Querschnittsthemen Digitalisierung und Sensorik runden das Themenspektrum ab.

Gerade das Querschnittsthema Digitalisierung prägt die Forschung an unserer Hochschule. Der Aufgabe, die KMUs erfolgreich in die digitale Produktion zu integrieren, nimmt sich sehr erfolgreich das fakultätsübergreifende Projekt ISAC@OTH-AW an. Im Kontext europäischer Partner und zusammen mit Global Playern leisten unsere Forscherinnen und Forscher einen Beitrag beim Vorankommen des autonomen Fahrens. Zentrale Aufgabe ist dabei eine zuverlässige Kommunikation verbunden mit maximaler Sicherheit.

Die Datenübertragung in industriellen Kommunikationssystemen ist Gegenstand weiterer Projekte. Aspekten des maschinellen Lernens und Fragen der künstlichen Intelligenz (KI) widmen sich weitere wesentliche Teile unserer Forschungsarbeit. Datenübertragung in Echtzeit, KI in dezentralen Anwendungen und maschinelles Lernen sind essenzielle Themen, die wir in Verbindung mit dem verantwortungsvollen Umgang mit Daten und der Ethik in der Technologiefolgenforschung weiterentwickeln. Diese Themen verstärken zudem passgenau unser erfolgreiches Konzept „Digitaler Campus“ – mit weiteren Bausteinen in der Lehre und Weiterbildung, wie der Weiterführung der Kooperation mit der Fraunhofer Gesellschaft in unserem Lernlabor Cybersicherheit.

Ausbauen werden wir auch die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit unseren Nachbarn in Mittel- und Osteuropa. Themenorientiert laufen bereits zahlreiche gemeinsame Initiativen und Forschungsprojekte. Das kürzlich eröffnete Kompetenzzentrum Bayern – Mittelosteuropa (MOE) wird die Arbeiten in der Forschung und Lehre bündeln, weiterhin verstärken und auf eine hochschulübergreifende Ebene heben. Das Kompetenzzentrum Bayern – Mittelosteuropa (MOE) ist damit ein wesentlicher Baustein in der Erweiterung unserer gesamten Strategie zur Internationalisierung.

Doch Forschung alleine reicht nicht aus, um unser Land und damit auch unsere Region dauerhaft voranzubringen. Nicht zuletzt deshalb haben die Hochschulen – neben Forschung und Lehre – den Transfer ihrer Leistungen in die Wirtschaft und Gesellschaft als dritte Säule angenommen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung ist aber die Kenntnis des Bedarfes. Hier setzt das im Januar 2018 gestartete Projekt TRIO (Transfer und Innovation Ostbayern) an. Zentrales Ziel ist die Stärkung der strategischen Rolle aller Hochschulen in Ostbayern im regionalen Innovationssystem mit der Profilierung im Ideen-, Wissens- und Technologietransfer. Die OTH Amberg-Weiden wird u. a. ein Innovationslabor aufbauen, in dem zusammen mit den Akteuren in Wirtschaft und Gesellschaft neue Verfahren und Produkte entwickelt, getestet und angewendet werden können. Weiterhin wird die Zusammenarbeit in TRIO die Sichtbarkeit der Hochschule in Ostbayern und darüber hinaus erhöhen, Impulse für das Transfergeschehen liefern sowie mit neuen Dialog- und Austauschformaten bedarfsgerechte Lösungen für die Zusammenarbeit insbesondere mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) entwickeln.

Diese wenigen ausgewählten Höhepunkte aus unserer jüngsten Forschung zeigen, dass der Wert von Wissenschaft und Forschung für unsere Gesellschaft unumstritten bleibt. Aber Erkenntnisaustausch ist keine Einbahnstraße. Die Rückkopplung in die Lehre gewährleistet eine hoch qualifizierte und bedarfsgerechte Ausbildung und trägt wesentlich zur Sicherung des Fach- und Führungskräftenachwuchses bei.



Prof. Dr. Andrea Klug

Präsidentin der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Vizepräsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden/
Wissenschaftlicher Leiter
Institut für Angewandte Forschung IAF

Insgesamt gesehen ist es unsere Aufgabe, aus den Bedarfen unserer Partner neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu generieren, kritisch zu diskutieren und so Lösungen und Handlungsoptionen aufzuzeigen. Damit leisten wir einen zentralen Beitrag, Antworten auf drängende Fragen unserer Zeit zu geben und die Zukunft mitzugestalten. Dass wir diese Aufgabe nicht nur aktiv angenommen haben, sondern umfassend erfüllen, zeigt der vorliegende Forschungsbericht eindrucksvoll. Allen Forscherinnen und Forschern sowie allen Beteiligten danken wir herzlich für ihre beständige Neugier, ihr Engagement neues Wissen zu generieren und für die Bereitschaft, dies in Form dieses Forschungsberichts uns allen verfügbar zu machen. Allen Leserinnen und Lesern wünschen wir eine spannende Lektüre und freuen uns, wenn auf diesem Weg neue forschungsbasierte Zusammenarbeit entsteht.



Ltd. RD Ludwig von Stern

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



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Technologietransferbeauftragter
der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Dear Reader,

For us, research means applied research and development in close cooperation with our partners in business and society – a proven strength of Universities of Applied Sciences in general and OTH Amberg-Weiden in particular. As a university in the region and for the region, we are firmly anchored in the northern Upper Palatinate, which is shown in the numerous cooperations and not least in our PartnerCircle, the circle of companies which give our University of Applied Sciences a great deal of support in research and teaching.

Our research mirrors our region's development: demographic change combined with a shortage of skilled workers on the one hand, but also the location of many companies which are among the market leaders in their sector and thus among the so-called "hidden champions".

Against this backdrop, we must face together, the global challenges of our time. Let me mention two examples: digitalisation in all its facets and also sustainability, which is not only reflected in the responsible use of energy and resources. The clear-cut consideration of these areas from the classical disciplines of engineering, natural sciences and economics is no longer the only way to achieve our goals.

For a holistic approach regarding topics and projects, interdisciplinary work across departments is necessary and successful. This is not new, which is why we have again designed this research report in keeping with our guiding themes: energy and mobility, information and communication, production and systems as well as life sciences and ethics. The two cross-cutting topics of digitalisation and sensor technology complete the spectrum of topics.

It is precisely the cross-cutting topic of digitalisation has a great impact on research at our university. The cross-faculty project ISAC@OTH-AW successfully takes on the

task of effectively integrating SMEs into digital production. In the context of European partners and together with global players, our researchers are making a contribution to the advancement of autonomous driving. The central task being reliable communication combined with maximum safety.

Data transmission in industrial communication systems is the subject of further projects. Aspects of machine learning and questions of artificial intelligence (AI) are also addressed in other essential parts of our research work. Data transfer in real time, AI in decentralized applications and machine learning are essential topics that we further develop in connection with the responsible handling of data and ethics in technology impact research. These topics also strengthen our successful "Digital Campus" concept – with further building blocks in teaching and continuing education, such as the continuation of cooperation with the Fraunhofer Gesellschaft in our Cyber Security learning laboratory.

We will also expand scientific cooperation with our neighbours in Central and Eastern Europe. Numerous joint initiatives and research projects are already underway. The recently opened Competence Centre Bavaria – Central-Eastern Europe (CEE) will bundle the work in research and teaching, further strengthen it and raise it to an cross-university level. The Competence Centre Bavaria – Central and Eastern Europe (CEE) is thus an essential component in the expansion of our overall strategy for internationalisation.

However, research alone is not enough to advance our country and thus our region in the long term. This is not the least of the reasons why universities – in addition to research and teaching – have adopted the transfer of their achievements to industry and society as the third pillar. A prerequisite for successful implementation, however,

is precise knowledge of the demand. This is where the TRIO (Transfer and Innovation East Bavaria) project, launched in January 2018, comes in. Its central objective is to strengthen the strategic role of all universities and Universities of Applied Sciences in Eastern Bavaria in the regional innovation system by raising their profile in the transfer of ideas, knowledge and technology. OTH Amberg-Weiden will, among other things, set up an innovation laboratory in which new processes and products can be developed, tested and applied together with business and society. Furthermore, the cooperation in TRIO will increase the presence of the university in Eastern Bavaria and beyond, provide stimuli for the transfer process and develop needs-based solutions for cooperation, especially with small and medium-sized enterprises (SMEs), with new dialogue and exchange formats.

These few selected highlights from our latest research show that the value of science and research for our society remains undisputed. But the exchange of knowledge is not a one-way street. Feedback into teaching ensures highly qualified and needs-based training and makes a significant contribution to securing the next generation of specialists and managers.

All in all, it is our task to generate new scientific findings from the needs of our partners, to discuss them critically and thus to identify solutions and options for action. In this way, we make a central contribution to providing answers to pressing questions of our time and to helping shape the future. This research report shows impressively that we have not only actively taken on this task, but have also fulfilled it comprehensively.

We would like to thank all researchers and all those involved for their constant curiosity, their commitment to generating new knowledge and their willingness to make this available to all of us in the form of this research report. We wish all readers an exciting read and look forward to new research-based cooperation emerging along this path.



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 IAF



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

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

| | | | |
|---|-----------|--|-----------|
| Vorwort..... | 1 | Aufbau eines CAE-Prozesses für die Simulation verbrennungsmotorischer KWK-Anlagen..... | 41 |
| | | Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer | |
| | | Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch | |
| | | Raphael Lechner, M.Sc. | |
| | | Daniel Hummel, M.Sc. | |
| | | Max Becker, M.Eng. | |
| | | Tom Goßner, B.Eng. | |
| | | Peter Stüber, B.Eng. | |
| Digitalisierung | | | |
| Industrie-4.0-Technologie-Demonstrator für Forschung, Entwicklung und Lehre | 8 | Sicherheitsprobleme und -herausforderungen beim autonomen Fahren | 47 |
| Andreas Fuchs, M.Sc. | | Nicholas Jäger | |
| Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt | | Prof. Dr. Andreas Aßmuth | |
| Applied machine learning: predicting behaviour of industrial units from climate data | 12 | Kommunikation zwischen Fahrzeug und Server beim kooperativen hochautomatisierten Fahren im Projekt Ko-HAF | 57 |
| Prof. Dr. Dieter Meiller | | Josef Schmid, M.Sc. | |
| Analysis of the Internet Security Protocol TLS Version 1.3..... | 19 | Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß | |
| Ahmed Alqattaa | | EU-Forschungsprojekt „3Ccar“ – Elektrofahrzeuge der nächsten Generation | 61 |
| Prof. Dr. Andreas Aßmuth | | Sebastian Wieland, B.Eng. | |
| Globalisierung und IT-Services – Trends im IT-Outsourcing nach Mexiko | 26 | Stefan Stiegler, B.Eng. | |
| Prof. Dr. Frank Schäfer | | Heike Lepke, M.Eng. | |
| Dipl.-Kffr. Cornelia Schäfer | | Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß | |
| Energie und Mobilität | | Die Aerodynamik am Rennwagen der OTH Amberg-Weiden | 68 |
| Bewertungskriterien für die Effizienz, den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Kältetechnologien in der Industrie | 35 | Christian Fröhlich | |
| Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch | | Prof. Dr.-Ing. Horst Rönnebeck | |
| Raphael Lechner, M.Sc. | | | |
| Matthias Koppmann, M.Eng. | | | |
| Tom Goßner, B.Eng. | | | |

Information und Kommunikation

Modellierung der Datenübertragung für den Einsatz in industriellen Kommunikationssystemen..... 75

Alexander Gercikow, M.Eng.
Maximilian Bauer, M.Sc.
Andreas Fuchs, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Programmierbare Systeme für Intelligenz in Automobilen 79

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

PROFINET – Einsatzszenarien und Kompetenzen in Entwicklung und Zertifizierungen86

Tristan Schönfelder, M.Sc.
Julian Rost, M.Sc.
Benedikt Etzold, M.Sc.
Alexander Gercikow, M.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Einsatzmöglichkeiten von Low-Cost-Mikro-Rechner „Raspberry Pi“ im industriellen Umfeld: Raspberry Pi als PROFINET-IO-Device90

Sebastian Schaffenroth, M.Eng.
Sebastian Zach, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Schmidt

Lebenswissenschaften und Ethik

Modulation of itch in the brainstem monitored by fMRI compared to pain 95

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

Biomechanische Validierung eines gerontologischen Testanzugs.....99

Irina Leher, B.Eng.
Christopher Fleischmann, M.Sc.
Moritz Wachtler, B.Eng.
Prof. Dr. med. Stefan Sesselmann

Kompetenzzentrum Gesundheit im ländlichen Raum (KZGLR) 105

Prof. Dr. rer. pol. Steffen Hamm
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Transfer und Innovation Ostbayern – Medical Innovation Laboratory 109

Sabrina Reiml, M.Sc.
Christine Katharina Raps, M.Sc.
Anna Hautmann, M.Sc.
Karina Schuller, M.Sc.
Dr. Matthias Schöberl
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Transferdimensionen: von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis 113

Katharina Koller, M.A.
Anja Wurdack, M.A.

Probit Models and the Global Business Cycle..... 120

Ursel Baumann
Ramón Gómez Salvador
Prof. Dr. Franz Seitz

Hygiene und Medizintechnik – Management und technische Lösungen für hygienerrelevante Oberflächen im klinischen Umfeld..... 125

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Alexander Stich, M.Sc.
Sabine Gruber, B.Eng.
Jeannine Vogt, B.Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Über Vielfalt wird gesprochen, gelebt wird Monotonie 131

Ibrahim Devrilen
Christina Stigler
Charlotte Schlodder
Marcella Wallis
Katharina Stör
Catarina Cook
Dr. Gabriele M. Murry

Für den ersten Eindruck gibt es keine 2. Chance! Oberpfälzer Karrierewebsites auf dem Prüfstand..... 137

Ibrahim Kaçmaz, M.A.
Dr. Gabriele M. Murry

Produktion und Systeme

Untersuchung zum System on Chip (SoC) – Ansatz für digitale Wechselrichter 142

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Frenzel

Transiente und stationäre CFD-Simulationen von Luftschleieranlagen..... 149

Prof. Dr. Franz Magerl

Kann der Vergleich zweier Konfidenzintervalle einen Zweistichprobentest ersetzen? 154

Prof. Dr. Benjamin R. Auer
Prof. Dr. Horst Rottmann

Prüfstand Photomultiplier: Funktionstest für „refurbished systems“ 157

Jonas Habrich, B.Eng.
Agnes Pöllmann, M.Sc.
Leonhard Ruppert, B.Eng.
Theresa Maiß, B.Eng.
Prof. Dr. Ralf Ringler

| | | | |
|---|------------|--|------------|
| Spritzprägen mikrostrukturierter Oberflächen in der Medizintechnik..... | 162 | A tissue-equivalent phantom for detection of malfunctions of active medical implants and electronic devices due to ionizing radiation | 183 |
| Dr. Bernhard Schmitt Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen | | Larissa Blümlein, M.Sc. Manuel Stich, M.Sc. Anne Slawig, M.Sc. Prof. Dr. Ralf Ringler | |
| Sensorik | | | |
| Geschützte Referenzelektroden für pH-Sensoren mit Metalloxiden | 169 | Magnetfelderfassung von Schaltlichtbögen in Niederspannungsschaltgeräten | 187 |
| Josef Schottenbauer, B.Eng. Sebastian Chalupczok, M.Eng. Dipl.-Phys. Christian Schell Prof. Dr. Peter Kurzweil | | Matthias Meier, B.Eng. Christian Reil, M.Eng. Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt | |
| Chemische Analytik von Fetten und Ölen: Charakterisierung umweltverträglicher Trafoöle..... | 173 | Optische Kohärenztomografie in der Medizintechnik: ein System für Forschung sowie Lehre und Ausbildung in Technischer Optik und Lasersysteme..... | 190 |
| Dipl.-Phys. Christian Schell Verena Brandl, B.Eng. Josef Schottenbauer, B.Eng. Prof. Dr. Peter Kurzweil | | Stefan Hofmeister, B.Eng. Agnes Pöllmann, M.Sc. Prof. Dr. Ralf Ringler | |
| Mass spectroscopy of decomposition products in double-layer capacitors during lifetime testing | 179 | Studienangebote der OTH Amberg-Weiden..... | 194 |
| Prof. Dr. Peter Kurzweil Dipl.-Phys. Christian Schell | | Inserentenverzeichnis | 195 |
| | | Impressum..... | 196 |

Zusammenfassung

Im Teilprojekt „Industrie 4.0 mit kostengünstigen Echtzeit-Ethernet und Kleinsteuerungen“ des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Industry Software Application Center“ (ISAC) wird in der Arbeitsgruppe AUT an dem Auf- und Ausbau eines I4.0-Technologie-Demonstrators gearbeitet. Mit dieser Anlage sollen industrielle Kommunikationstechnologien und der Einsatz von Kleinsteuerungen für den Mittelstand so aufbereitet werden, dass sie im Industrie-4.0-Umfeld einfacher, zugänglicher und nutzbar gemacht werden.

Neuartige Hard- und Softwarelösungen für die Anlagen- und Maschinenautomatisierung können mit dieser Anlage auf ihre Tauglichkeit hin untersucht und ihr Einsatz demonstriert werden. Anhand erster Anwendungen in Forschung, Entwicklung und Lehre werden der Aufbau und der Funktionsumfang des Demonstrators beschrieben. Die Einsatzmöglichkeiten werden aufgezeigt.

Abstract

As a part of the research project “Industry Software Application Center (ISAC)” an Industry 4.0 Demonstrator is build and extended by the work group AUT. ISAC is a project to foster Industry 4.0 technologies in small and mid-sized companies. New soft- and hardware solutions are investigated and applications are demonstrated. It is used for research and development projects and education in Electrical Engineering, Informatics. The scope and first applications are given to show the capabilities of this R&D and testing facility.

1 Das F&E Projekt Industry Software Application Center (ISAC)

Das Forschungsprojekt ISAC (Industry Software Application Center), das in 2016 begonnen wurde, ist ein fakultätsübergreifendes F&E Vorhaben mit dem Ziel, die Vorteile von Industrie-4.0-Technologien gezielt mittelständischen Unternehmen näherzubringen bzw. zugänglich zu machen. Das Forschungsprojekt gliedert sich in vier Teilprojekte, die in den beiden Fakultäten „Elektrotechnik, Medien und Informatik“ und „Maschinenbau/Umwelttechnik“ unter den jeweiligen Kompetenzträgern bzw. Arbeitsgruppen aufgeteilt wurde.

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

- Teilprojekt 2 – Entwicklung von Methoden zur Effizienzsteigerung in der Modellerstellung für die digitale Fabrik
- Teilprojekt 3 – Industrie 4.0 mit kostengünstigen Echtzeit-Ethernet und Kleinsteuerungen
- Teilprojekt 4 – Entwicklung neuartiger Bedienkonzepte zur Steuerung und Überwachung von digitaler Produktion

(www.isac-oth.de)

2 Demonstrator-Aufbau

Der Aufbau des Demonstrators besteht aus zehn sehr ähnlichen mobilen Einzelmodulen und einer fest installierten „Lagereinheit“, die ein Hochregallager nachbildet. Die zehn Module sind jeweils mit neuester Steuer- und Bedientechnik ausgestattet, wie sie in der Industrie zum Einsatz kommt. Des Weiteren sind Module mit steuer-

baren kompakten Lastabzweigen und einer Vielzahl von Aktoren und Sensoren bestückt. Der Ausbaugrad wird beständig erhöht und den jeweiligen Anforderungen angepasst.

Mit diesem Aufbau können je nach Ausbaugrad pro Modul an die 100 Ein- und Ausgänge (IOs) angesteuert bzw. gelesen werden und es können zwei Lastabgänge mit bis zu 11 kW elektrischer Leistung geschaltet werden.

Jedes der zehn Module hat Anschlussmöglichkeit an weitere Module über PROFINET und an die Cloud via Ethernet/WLAN. Jedes Modul ist mit Steuerungen, die wahlweise als SPS vom Typ S7 1500 und/oder über echtzeitfähiges Linux mit PC oder Raspberry PI realisiert sind, einem Bedien-Beobachten-Panel und einer Vielzahl von Sensoren und Aktoren aufgebaut. Einfache Sensoren und Aktoren sind über digitale und analoge Ein- und Ausgangsbaugruppen (IOs) und Remote IOs angeschlossen. Frequenzumrichter werden über PROFINET, Kompaktabzweige, Spannungs- zu Strommessungen über IO Link gesteuert und parametrierbar.

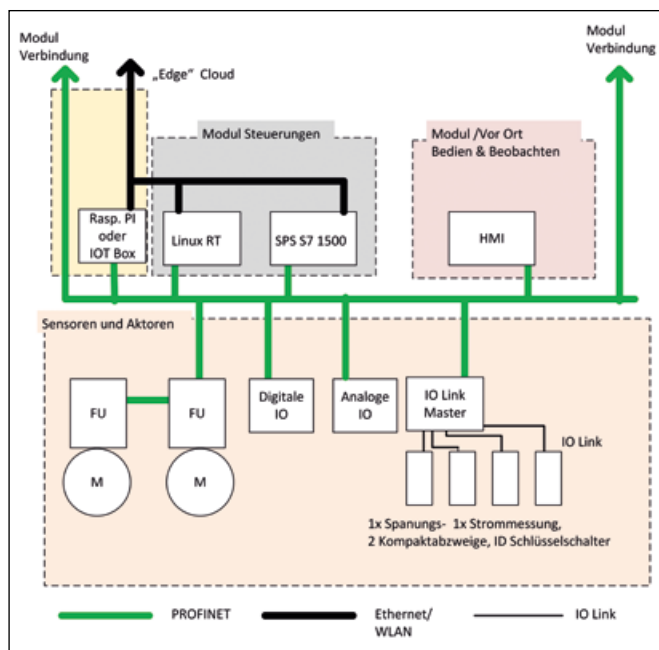


Abbildung 1 a: Schematischer Aufbau der Steuerungs- und Kommunikationsstruktur eines Moduls

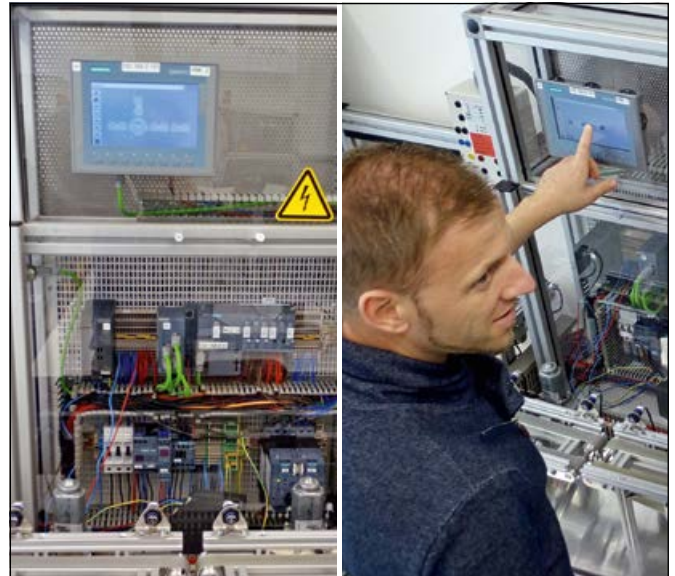


Abbildung 1 b: Hardwareausführung der Modul-Ausstattung mit Steuer- und Bedientechnik

3 Einsatzmöglichkeiten für Forschung und Entwicklung

Durch den mobilen Aufbau können die Module nahezu beliebig kombiniert und positioniert werden und somit eine Vielzahl industrieller Anlagenkonfigurationen untersucht und getestet werden. Dieser variable Aufbau erlaubt es, unterschiedlichste Kommunikationstechniken und Energieverteilungstechnologien zwischen den einzelnen Modulen zu erproben. Dadurch lassen sich ebenfalls Techniken wie „Plug & Produce“ und „Selbstorganisation“ untersuchen und verbessern.



Abbildung 2: Frei positionierbare mobile Module

Über verbaute Frequenzumrichter und Motoren können reproduzierbar elektromagnetische Störpegel erzeugt werden, mit denen die Robustheit von neuartigen Datenübertragungsverfahren einsatznah vermessen wird. Die folgende Grafik zeigt diesen Aufbau, die zugehörige schematische Darstellung sowie die Oszilloskop-Aufnahme der 400-V-Spannung des Hausnetzes mit überlagerter Störeinkopplung.

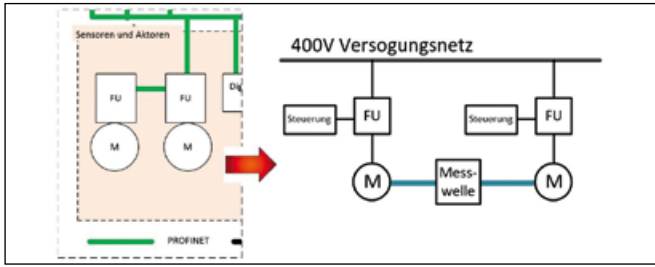


Abbildung 3 a: Schematischer Aufbau einer Antriebseinheit: links: Steuerung; rechts: elektrisch-mechanischer Netzplan

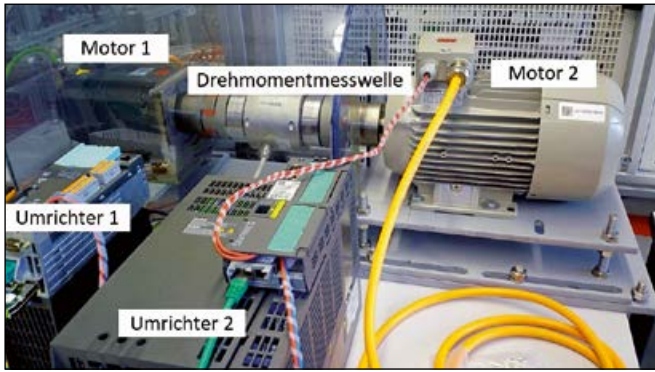


Abbildung 3 b: Antriebseinheit I4.0-Demonstrator

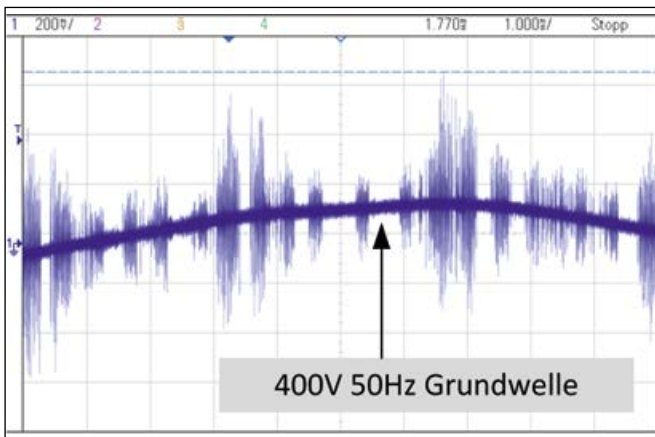


Abbildung 3 c: Oszilloskop-Messung einer typischen Überlagerung der 400-V-Versorgungsspannung des Hausnetzes mit Störeinkopplungen durch Umrichter

Für die Nachbildung und Untersuchung typischer Intra-logistik-Anwendungen wird eine Lagereinheit, eine eingebaute 3-Achs-Positioniereinheit, derzeit auf- bzw. umgebaut. Sie wird wie die Module mit neuester industrieller Steuerungs- und Kommunikationstechnik ausgestattet. Nach Fertigstellung soll die Lagereinheit die Module bei Bedarf mit bspw. Dummy-Werkstücken versorgen oder aber solche entgegennehmen und einlagern.

Der Demonstrator bietet damit eine gut nutzbare Basisplattform für Entwicklungs- und Langzeittests in Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Die Vielzahl an Sensoren, Aktoren und die Modularität erlauben es, eine breite Palette von Anwendungsapplikationen abzudecken.

Neben den Thematiken „Plug & Produce“ und „Selbstorganisation“ können vor allem neue Kommunikations- und Übertragungstechniken zügig und praxisnah untersucht und getestet werden.



Abbildung 4: Blick auf die Lagereinheit des I4.0-Demonstrators

4 Einsatz in der Lehre und Forschung

In mehreren studentischen Projekt- und Abschlussarbeiten kamen die I4.0-Module zum Einsatz. Hier haben Studenten, Bacheloranden und Masteranden die verbaute Hardware zur Umsetzung von gestellten Programmieraufgaben verwendet.

Auch beim Auf- und Ausbau der Module sind Studierende als studentische Hilfskräfte oder Projektstudenten eingebunden. Sie unterstützen die Weiterentwicklung des Demonstrators und können eigene Ideen einfließen lassen. Zudem haben die Studierenden die Möglichkeit, den Umgang mit aktuellster Technik zu erlernen, um sich optimal auf die industrielle Praxis vorzubereiten.

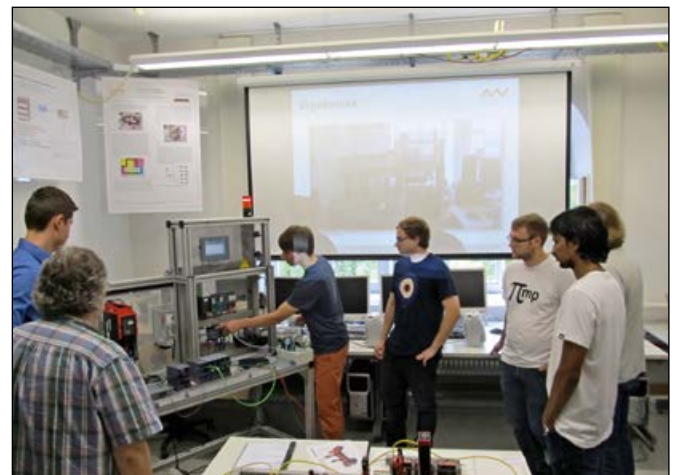


Abbildung 5: Einsatz in Projekt- und Abschlussarbeiten

Die Studenten können anhand des Demonstrators mit neuesten Steuerungs- und Bedienkomponenten arbeiten, wie sie auch in der Industrie Stand der Technik sind. Begleitend zu den Vorlesungen nehmen die Studenten im Praxisunterricht mehrere Module in Betrieb und programmieren diese. Daran schließt sich die Programmierung einer Steuerungsanwendung mit „Nicht-Industrie-Hardware“ mittels Raspberry Pi und einer Fischertechnik-

Anlage an. Somit können die Unterschiede zwischen Industrie- und konventioneller Hardware im direkten Vergleich erarbeitet werden.

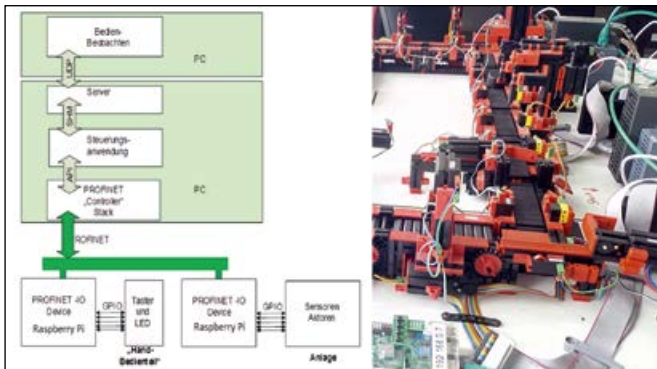


Abbildung 6: Skizze des Aufbauschemas einer Steuerungsanwendung und Ausschnitt des realisierten „Fischertechnik“-Anlagenmodells mit „Raspberry Pi“ als Steuerungsrechner.

5 Ausblick

Es sollen weitere Förderstrecken realisiert und die Palette an verbauten Sensoren und Aktoren erweitert werden, um mehr industrielle Produktionsanlagen nachbilden zu können. Auch die Varianz der verbauten Umrichter und Antriebe soll gesteigert werden, um möglichst viele gebräuchliche Antriebstypen abzudecken und somit die Varianz an elektromagnetischen Störern zu erhöhen, um letztendlich eine bessere Abdeckung von praxisrelevanten EMV-Störszenarien zu erhalten.

Bei diesem Ausbau der Anlage ist es auch Ziel, weiterhin Studierende beim Aufbau mitarbeiten zu lassen, um sie mit praxisbezogenem I4.0-Technologieeinsatz vertraut zu machen.

Fördergeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



Kontakt:



Andreas Fuchs, M.Sc.

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

Applied machine learning: predicting behaviour of industrial units from climate data

Prof. Dr. Dieter Meiller

Abstract

The goal of this project was to develop a model and a working prototype for the evaluation of energy consumption of a factory in connection with climate data. The factory produces corrugated card board. This product is very susceptible to climate influences. At the end of the project, it should be clear what options there are for using data from the factory in conjunction with climate data and deriving a correlation between them. The following questions should be clarified: Which possibilities of prognosis and evaluation are there? Which data are needed? How big is the effort?

Keywords: Machine Learning, Virtual Sensor, Climate Prediction, Industry 4.0

Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines Modells und eines funktionierenden Prototypen zur Bewertung des Energieverbrauchs einer Fabrik in Verbindung mit Klimadaten. Das Werk produziert Wellpappe. Dieses Produkt ist sehr anfällig für Klimaeinflüsse. Am Ende des Projekts sollte klar sein, welche Möglichkeiten es gibt, Daten aus der Fabrik in Verbindung mit Klimadaten zu nutzen und eine Korrelation zwischen ihnen abzuleiten. Die folgenden Fragen sollten geklärt werden: Welche Möglichkeiten der Prognose und Bewertung gibt es? Welche Daten werden benötigt? Wie groß ist der Aufwand?

1 Course of the project

It is assumed that climate has a strong influence on production processes. Humidity and temperature do not only have an influence on the quality of products, but also on the energy consumption of industrial plants. In the project a model for the evaluation of plant data in connection with climate data was developed, which shows the possibilities to derive correlations between these data.

After starting the project, measurements of humidity and temperature values at the production site for corrugated board should be started soon. Data should be recorded for as long as possible and should be measured at intervals of one minute. For this, about ten data loggers were installed on site. We decided to construct complete new data loggers by our own. Reasons were: Commercial data loggers are either very expensive and must be configured extensively, or they are cheap devices that do not meet the requirements. The components for the data

logger are: Arduino Pro Mini, a humidity sensor, a real-time clock with better accuracy than the clock on the board, and a NTC thermistor, which has a temperature accuracy of 0.05 degrees Celsius. The housing was made using a 3D printer. Then the data loggers were installed at different places at the factory. The company itself provides the data of the power consumption of single machines for the period of the measurement. After six weeks, the first data were collected, so we could start with our first analysis. The following describes the implementation and results of the data analysis.

2 Data engineering

First, the available data sets are described briefly. On the one hand, it is climate data: humidity and temperature values from inside the factory-hall. Then, there are weather data from outside, also temperature and humidity values. Humidity values are measured as relative humidity (RH) in percent (labeled as humidity in the diagrams). Further, we have data sets with values for

power consumption (watts) of individual parts of the plant. We analyzed two kinds of data: Long-term (over four months) and short-term (six weeks). In the first step, the data sets were preprocessed. This step was necessary to get data with consistent time frames and without recording errors. For data analysis, we used Python programming language in the Anaconda environment. This free collection of open source libraries offers many opportunities in the field of data engineering and data science. The software is constantly being developed by an active community. Individual processing sessions can be performed in so-called “Jupyter-Notebooks” (Kluyver et al. 2016). All our processing and analysis steps were executed in such notebooks. For pre-processing, several notebooks were created using the Pandas library (McKinney 2011). This library can read data from different sources and offers many possibilities for processing, cleansing, analysis and visualization. In the first step, climate-data were merged with energy-data and brought to a uniform time scale: two-minute intervals in a uniform period. The plot shows the result of a short-time dataset for a single part of the factory (Fig. 1).

3 Data science

The following analysis steps are devoted to the development of a forecast model. For this purpose, methods of machine learning were used. The technical basis was Python library Scikit-Learn (Pedregosa et al. 2011). Basically, a distinction is made between supervised and unsupervised learning. It is possible to use unsupervised learning to analyze climate data (Meiller 2017), but in this paper we focus on supervised learning. The difference is that during supervised learning there is a target size (y) of the data in addition to the individual features of the respective samples. In our case, these are the values for energy consumption. Because the values y are not given as discrete, but as continuous values, we can use regression analysis to predict these values. There is another term to be explained: “virtual sensors” (Kabadayi et al. 2006). When it is possible to predict values, the model could replace the sensors for measurement. Because there are lots of expensive built-in sensors, this could be an option.

4 Data preparation

Data analysis and associated modeling was done by an iterative process of experiments. The aim was to have the best possible forecast of energy consumption based on the measured climate data. Different methods of machine learning with different parameters were tested. In addition, the input data has been preprocessed in various ways. Various combinations of possibilities were compared. This process took up most of the data analysis. At the beginning, the data were normalized, so that all data fit in an interval of $[0,1]$. This step is necessary because energy values are measured in scales other than climate data. After that, the

data were split into two parts. The first part of the data (2/3rd) is the training set, the rest are test data. It was taken into account that the data is time-based, so that individual combinations of climate and power measurements have predecessors and successors in time. Therefore, we avoided to pick samples randomly to form training and test data from the original data set. The aspect of transient behavior would be lost as information. In order to be able to map time even better, higher-dimensional data were also generated from initial data (climate data): at each point in time, a vector was generated which represents a time interval around the selected point in time (Kapoor and Bedi 2013). In Fig. 2, the process of feature generation is shown schematically, here with a time window of 80 minutes. The number of features (m) has thus increased from two features (humidity, temperature) to $2 * 80$ features. The high-dimensional training data generated in this way then were used as input data for various learning methods.

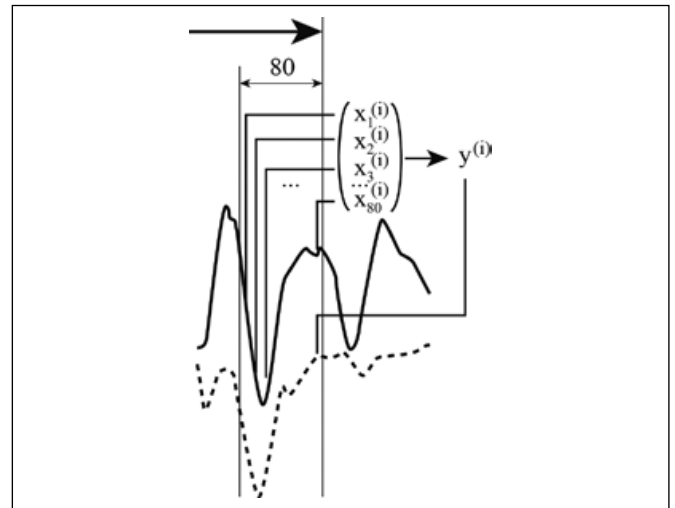


Figure 2: Feature generation

5 Model training and evaluation

The coefficient of determination (R^2) (see Formula 1) was used as quality measure for success control. It is interesting to know, that there are several definitions of R^2 . The definition we used from the scikit-learn library is the same as the R^2_1 definition mentioned in (Kvålseth 1985). It is used to indicate how successful the model is. It compares the values for power consumption \hat{y} estimated by the model from the test climate data with actual values for power from test data y . The values can be a maximum of 1, which would correspond to a match of 100 percent. Values close to 0 occur when taking constant values as estimated values \hat{y} . The estimate can be arbitrarily bad, values smaller than 0 indicate this. Using a multi-layered neural network, values of individual data loggers with current values of specific plant sections were evaluated. The best R^2 of 0.49 resulted from climate data measured on a machine located apart from other machines and its corresponding power data. We conclude that a measurement at a greater distance to the main-plant is more favorable, since there are no extreme fluctuations in

temperature and humidity. Afterwards, further learning algorithms and parameters were tested to improve the results. One special preprocessing step was important to improve our results and to produce better visualizations: the smoothing of measured values using a Savitzky-Golay filter (Schafer 2011). The data were interpolated within a window of 351 minutes or less through a third degree curve (Fig. 3).

$$R^2(y, \hat{y}) = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n_{samples}-1} (y^{(i)} - \hat{y}^{(i)})^2}{\sum_{i=0}^{n_{samples}-1} (y^{(i)} - \bar{y})^2}$$

where

$$\bar{y} = \frac{1}{n_{samples}} \sum_{i=0}^{n_{samples}-1} y^{(i)}$$

Formula 1: Coefficient of Determination

We paid attention to split training and test data before preprocessing, hence before scaling and smoothing, otherwise information from test data could be leak in training data. In contrast to earlier studies (Radhika and Shashi 2009) (Rao et al. 2012), using the data mentioned to train a support vector machine gave mediocre results (R^2 value of 0.45). A trained neural network regressor gave an R^2 value of 0.58.

Better results of R^2 were produced with a random forest regressor: 0.68. Thus, it seems that using the latter regressor is a better choice than the former for making forecasts. Though, using a gradient boosting regressor produces a R^2 value of 0.71. Finally, after adjusting the alpha value and the number of hidden nodes, the neural network achieved the best value for R^2 of 0.77 (see Fig. 4). In the next step, the long-term climate data were analyzed. The R^2 value for data from the already mentioned location was 0.4 (see Fig. 5).

Thus, a short-term estimate with data of three weeks is better than a longer-term one with data of several months. Nevertheless, a trend can be predicted over a longer period of time, since the R^2 value is above 0 and also the curve of the estimated power values shows a similar progression to the actual values in the first days.

In addition to the climate data measured in the hall, weather data from outside the factory were included in the analysis. The R^2 value for predicting power consumption with weather data (two months) using a neural network was even good: 0.76. The curve-progression shows that the power consumption decreases when the humidity of the weather (outside) increases. This could be the proof that high humidity allows a static discharge, which reduces mechanical friction and so power consumption (Mardiguan 2009). Thus, a correlation between weather and power consumption of the system can be determined (Fig. 6).

Finally, the relationship between the weather outside and the climate in the hall was examined. The input data were weather and climate data over a period of four weeks. As before the data were split into training and test data. It turned out that it is possible from training data to generate a correct estimate of nine days of indoor climate, with an R^2 value of 0.62. The progression of the curve for interior humidity corresponds to the estimated values (Fig. 7).

Examination of a longer period of three months did not give a good result (R^2 value of -1.78) (Fig. 8).

6 Conclusion

The project dealt with the evaluation of plant data in combination with climate data in order to prove any correlations. The feasibility of this approach was proved. A correlation between the climatic data in the hall and the power consumption of the system parts could be proven. Weather conditions certainly have an influence on the power consumption of the plant components. For stable and correct forecasts, however, continuous measurements of power consumption should be available. The influence of the weather on the indoor climate could be proven. Short-term forecasts of the indoor climate can be made from existing weather data.

This work was presented at the 3rd International Conference on Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 18. – 20. July 2018, Madrid, Spain.

Acknowledgement

We thank Christian Schieder, Norbert Städele, Nadine Fröhlich, Andreas Gmeiner, Susanne Kriesche and Florian Schöler-Niewiera for their valuable suggestions.

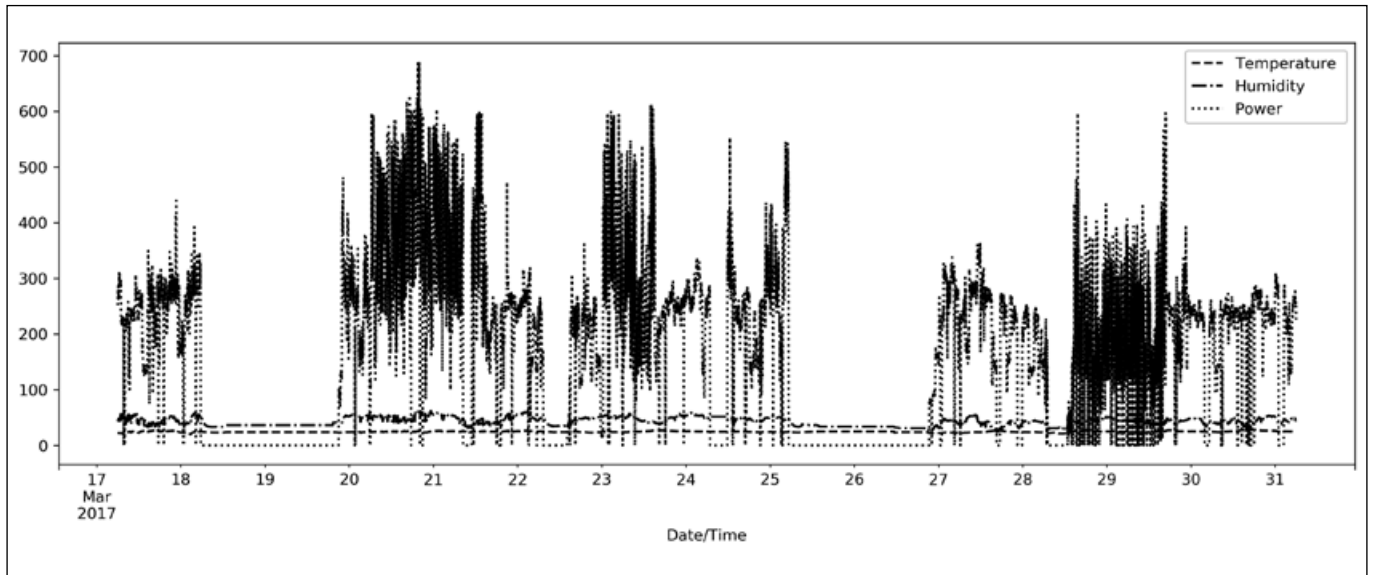


Figure 1: Plot Humidity/Power

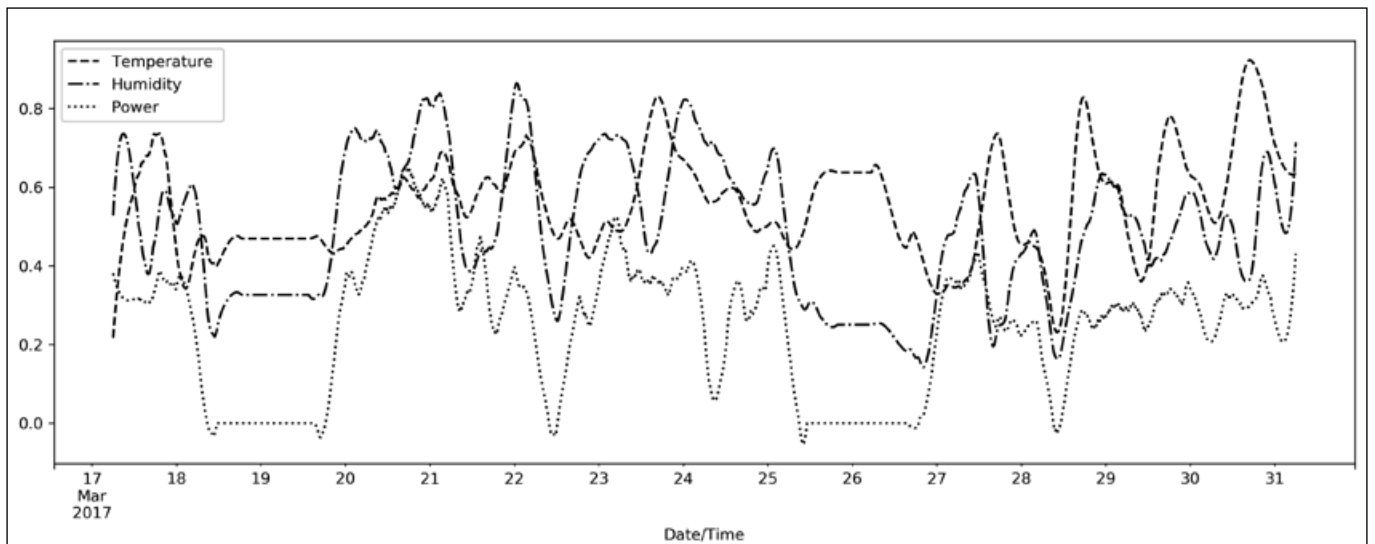


Figure 3: Plot Humidity/Power scaled and interpolated

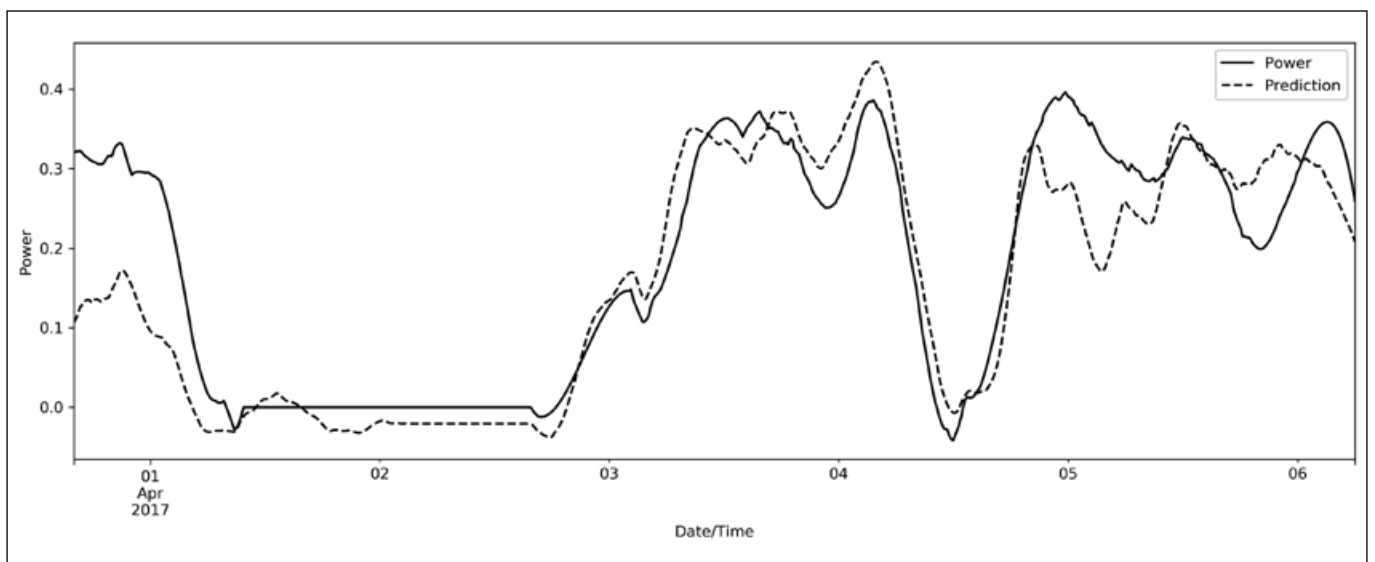


Figure 4: Prediction of power consumption (neural network)

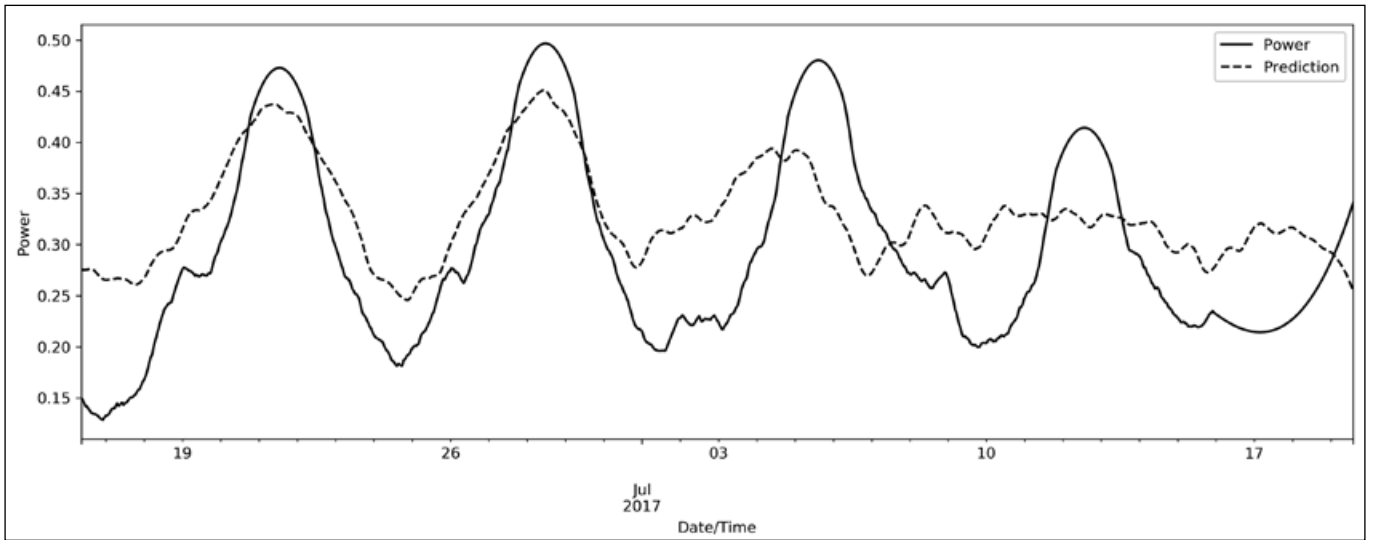


Figure 5: Long term prediction of power consumption

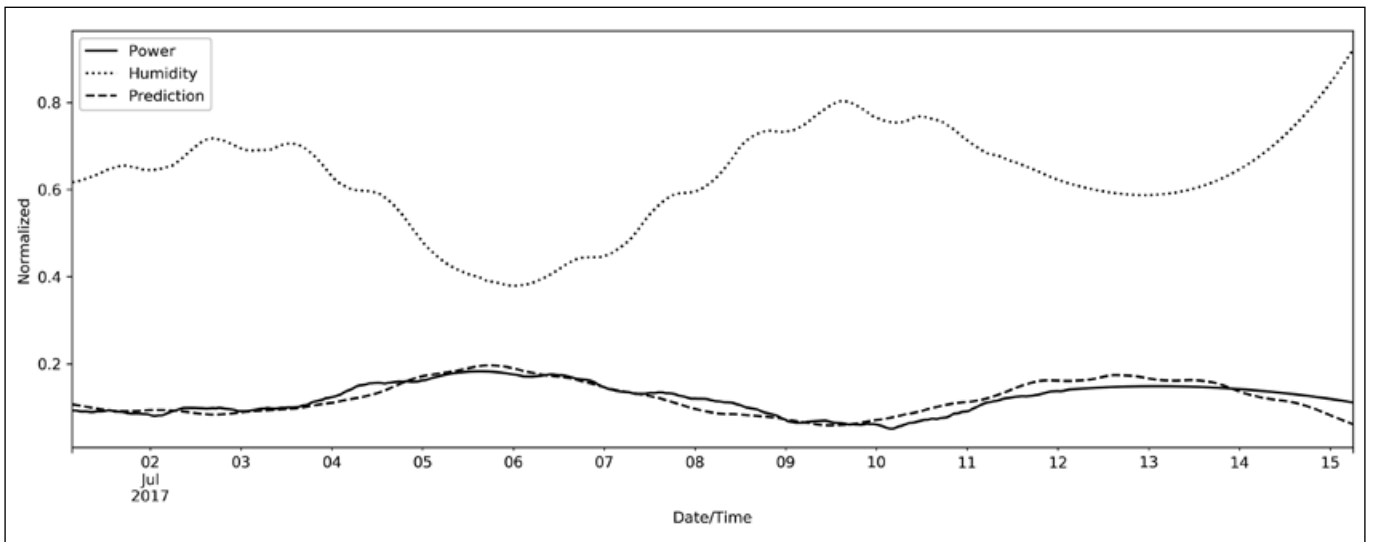


Figure 6: Prediction of power consumption using weather data

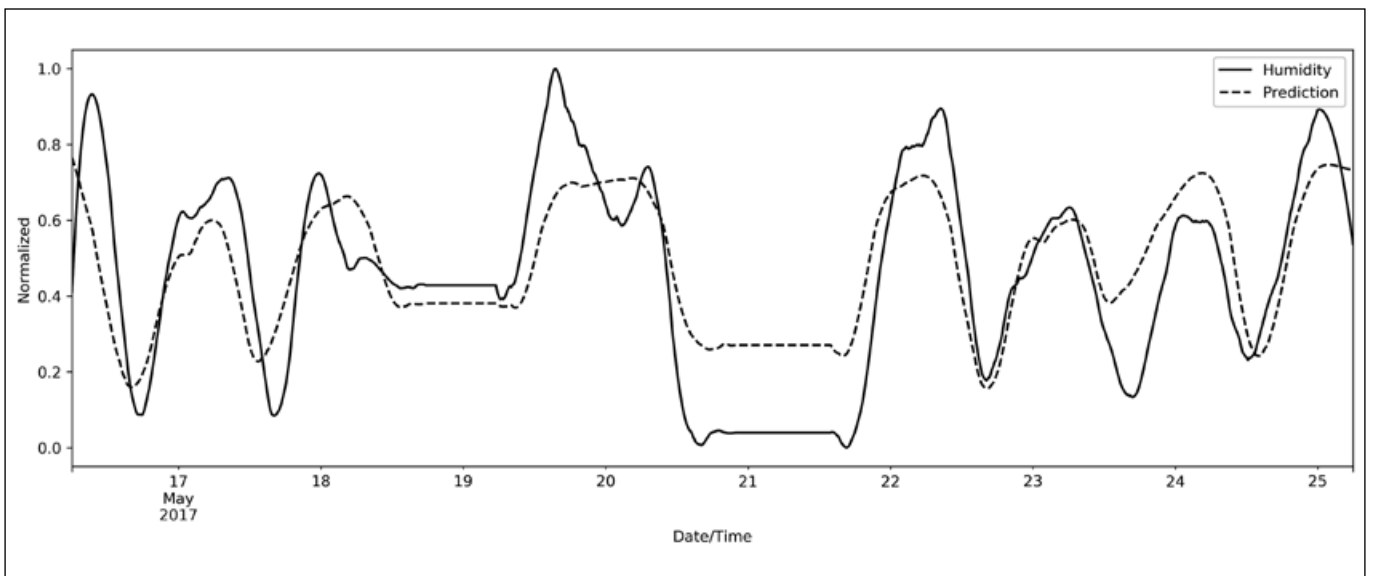


Figure 7. Correlation between weather and climate

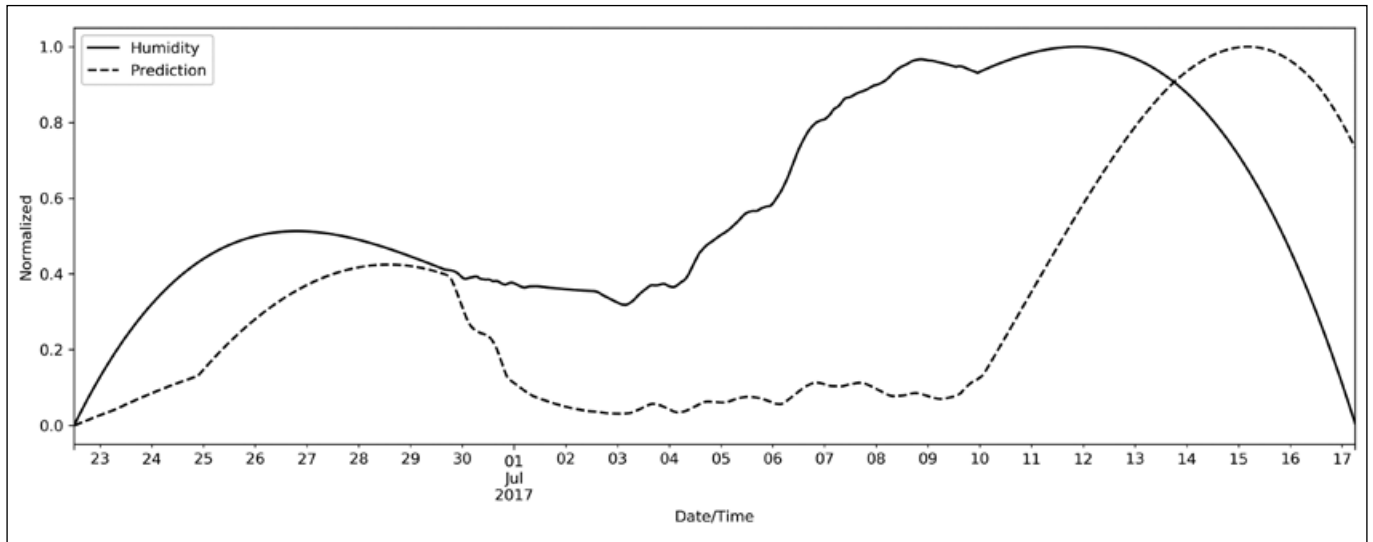


Figure 8. Correlation between weather and climate (long term)

References:

- Mardiguan, M., 2009. Electro Static Discharge: Understand, Simulate, and Fix ESD Problems. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Meiller, D., 2017: Using Interactive Visual Analytics to analyze influences of climate on industrial production. In International Conferences Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing 2017 and Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2017. Lisbon, Portugal, pp. 357–358.
- Pedregosa, F. et al, 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. In Journal of machine learning research, 12 (Oct.), pp. 2825–2830.
- Kabadayi, S. et al, 2006. Virtual sensors: Abstracting data from physical sensors. In Proceedings of the 2006 International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp. 587–592.
- Kapoor, P., and Bedi, S., 2013. Weather forecasting using sliding window algorithm. ISRN Signal Processing, 2013.
- Kluyver, T. et al, 2016. Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows. In ELPUB, pp. 87–90.
- Kvålseth, T.O., 1985: Cautionary Note About R2. In The American Statistician., Vol. 39, No. 4, pp. 279–285.
- McKinney, W., 2011. Pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics. Python for High Performance and Scientific Computing, Seattle, USA, pp. 1–9.
- Radhika, Y, and Shashi, M., 2009. Atmospheric Temperature Prediction using Support Vector Machines. In International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 55–58.
- Rao, T., Rajasekhar, N., and Rajinikanth, T. V., 2012. An efficient approach for weather forecasting using support vector machines. In International Conference on Computer Technology and Science (ICCTS) IPCSIT, Vol. 47, pp. 208–212.
- Schafer, R. W., 2011. What is a Savitzky-Golay filter? IEEE Signal processing magazine, 28 (4), pp. 111–117.

Project partner/Funding authority:



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

Zusammenfassung

Das Transport Layer Security (TLS) Protokoll ist das wohl wichtigste Sicherheitsprotokoll im Internet. Es wird allgemein zur sicheren Authentifizierung und verschlüsselten Kommunikation, konkret beispielsweise für E-Commerce oder Online-Banking verwendet. Ohne TLS (bzw. seinen Vorgänger Secure Socket Layer, abgekürzt SSL) hätte sich das Internet in der uns bekannten Form nicht entwickeln können. Nachdem in den letzten Jahren verschiedene erfolgreiche Angriffe gegen TLS demonstriert werden konnten, sah sich die Internet Engineering Task Force (IETF) gezwungen, eine neue, verbesserte Version von TLS herauszugeben. Im Rahmen dieses Aufsatzes sollen einige wichtige bisherige Angriffe gegen TLS (bis Version 1.2) dargestellt und die neue Version 1.3 bzgl. dieser Angriffe und auch seiner Effizienz analysiert werden.

Abstract

The Transport Layer Security (TLS) protocol is probably the most important security protocol on the Internet. It is generally used for secure authentication and encrypted communication, specifically for e-commerce or online banking. Without TLS (or its predecessor Secure Socket Layer, abbreviated SSL), the Internet could not have developed in its recent form. After several successful attacks against TLS have been demonstrated in recent years, the Internet Engineering Task Force (IETF) was forced to issue a new, improved version of TLS. In this paper some important attacks against TLS (up to version 1.2) will be presented and the new version 1.3 regarding these attacks as well as its efficiency will be analysed.

1 Introduction

The first objective of this paper is to analyse the most important security protocol on the Internet, SSL/TLS, and to test the mechanism of the protocol itself, which consists of several subprotocols. These subprotocols must interact with each other perfectly to provide a secure connection. The second objective is to analyse the flaws in some of the previous versions of TLS and to know how these flaws were corrected in their successor versions. The third objective is to draw a comparison between the new version 1.3 and the current version 1.2; as a consequence, the comparison will show the important improvements by TLS 1.3 and how TLS 1.3 increases security and efficiency. However, the goal of the paper is not to give detailed instructions about how to tamper or attack the protocol but to understand the new level of security and efficiency of TLS 1.3.

1.1 Historical background

TLS and its predecessor SSL are both cryptographic protocols which are two of the most widely deployed cryptographic protocols on the Internet. It was introduced by Netscape in the context of securing the connections between web browsers and web servers and to provide privacy. The advantage of the SSL/TLS protocol is that it is an application independent protocol; that means, any higher-level protocol (e.g. HTTP, FTP, etc.) can layer on top of the SSL/TLS protocol. Nowadays, the protocol is also used for many other protocols, e.g. SMTP, IMAP (for e-mail transmissions) or LDAP (for accessing directories). The original protocol (SSL 1.0) had severe security issues and therefore was required to be fixed repeatedly. SSL 1.0 had never been publicly released because of these serious security flaws in the protocol itself. That is the reason, why the first protocol was version 2.0 which was released in 1995. Unfortunately, this second version had

vulnerabilities, too. The next year, SSL 3.0 was released with significant improvements. However, after a couple of years SSL 3.0 had to be deprecated because of some weaknesses in the protocol such as MAC-then-Encrypt in CBC encryption mode.

IETF then introduced a new name for the protocol (Transport Layer Security) and made further improvements for the versions TLS 1.0, TLS 1.1 and the current version TLS 1.2. Just recently, IETF has finished the development of a new version of TLS (1.3) [1].

1.2 SSL/TLS Goals

The primary goal of SSL/TLS is to provide confidentiality between two communicating peers (client and server). It establishes an authenticated and encrypted tunnel through the untrusted Internet. More precisely, the protocol aims to have three basic properties [2][3]:

- **Authenticity:** The tunnel is authenticated. The server endpoint of the conversation is always authenticated, while the client side is optionally authenticated. Authenticating is realized using asymmetric cryptography, e.g. RSA.
- **Confidentiality:** The tunnel is private. Encryption is used for all messages after a simple handshake, then the data is only visible to the endpoints (end-to-end encryption). However, TLS does not hide the length of the sent data. Dependent on the used ciphersuite the endpoints have to pad the original message which obscures the lengths and improves protection.
- **Integrity:** The channel is reliable. No attacker can modify any part of the communication without being detected by the endpoints.

These properties should hold even if the attacker has complete control over the network.

2 Attacks on SSL/TLS

2.1 CBC Weaknesses in SSL 3 and TLS 1.0

There are two types of symmetric encryption in SSL/TLS: stream-based (e.g. RC4) and block-based (e.g. AES-CBC). Implementations usually utilise block ciphers. A stream-based encryption system can be used to encrypt any number of bytes. A block-based encryption algorithm encrypts text in blocks. If the plaintext is shorter than a multiple of the block length, it may be padded to fill up the block before it is encrypted dependent on the chosen mode of operation. Counter encryption mode, for instance, does not require padding, while CBC mode encryption does. There are several ways to realise the padding, like PKCS#7 for example. In CBC mode, a random initialization vector (IV) is used in its first block which is XORed with the plaintext before the encryption algorithm of the block cipher is applied and the resulting

value (ciphertext) is XORed with the next plaintext block. The ciphertext block of the previous step is used as IV for the current step [4]:

$$C_0 = E_k(IV \oplus M_0),$$

$$C_i = E_k(C_{i-1} \oplus M_i); \text{ for } 1 \leq i \leq m-2,$$

$$C_i = E_k(C_{m-2} \oplus M_{m-1} \parallel \text{padding}); \text{ for } i = m-1.$$

If a new IV is used for every message, then CBC mode provides so called randomised encryption: even if the same message is encrypted using the same secret key, the corresponding ciphertext is different for every encryption process. However, there are two basic ways how CBC is used in SSL/TLS:

- The records are treated as if they were a single block. That means that the IV for record n is the last cipher block C_{n-1} . SSL 3 and TLS 1.0 treat the records in exactly the same manner.
- The records are treated as if each one were independent; that means for each record a new IV is generated. TLS 1.1 and 1.2 treat the records in this way of encryption.

The way SSL 3 and TLS 1.0 treat the records has turned out to be insecure for two: the first one is how SSL 3 and TLS 1.0 treat the IV and the second one is in the padding scheme which causes another security problem [4].

2.1.1 The Padding Scheme Problem in SSL 3 and TLS 1.0

The protocols SSL 3 and TLS 1.0 have two different alert messages to deal with padding-related errors:

- **decryption_failed:** This alert is received when a TLS ciphertext is decrypted in an invalid way. Either the checked padding was not correct or the message length was not even a multiple of the block length. This alert is always fatal and supported only by TLS 1.0.
- **bad_record_mac:** This alert is received when a record is received with an incorrect MAC. This alert is always fatal.

If these two different cases can be distinguished by an attacker, then an attack called the padding oracle may work. The main problem in SSL 3 and TLS 1.0 is that they rely on MAC-then-Encrypt and Decrypt-then-MAC, which makes it possible to be able to release information from these errors. In TLS 1.0, it is easy to distinguish the errors because the version supports both types of errors. In SSL 3.0, only one error is supported, namely bad_record_mac. Nevertheless, using a timing attack an attacker can determine whether a bad_record_mac error has occurred. The attacker can simply observe the time until the alert message is generated. If the time is short, the adversary knows the pad was invalid. If the time is long, he knows the padding was valid, but the MAC was invalid. As a result, the attacker still has a padding oracle that enables him to distinguish whether the padding was valid or invalid [4][5].

2.1.2 The IV Security Problem in SSL 3.0 and TLS 1.0

As mentioned earlier, the CBC IV for each record except the first record is the previous ciphertext block, in other words $C_0 = E_k(IV \oplus M_0)$ for the first record and $C_0 = E_k(C_{i-1} \oplus M_i)$ for the rest. However, CBC mode is not secure against chosen plaintext attacks if the IV is predictable for the attacker. In other words, CBC mode is not secure if an attacker can eavesdrop the ciphertexts knowing the IV before the next plaintext block is encrypted [4][5].

2.1.3 The Padding Oracle Attack against CBC

A padding oracle is a system that reveals information (wrong or correct) about the padding. This padding oracle is needed to perform the padding oracle attack. In addition, an attacker has to be able to modify the encrypted message and send these modified messages to the oracle. The goal of this attack is to know plaintexts from cipher blocks in CBC mode which are padded with PKCS\#7. For example, if the padding is of incorrect length, the ciphertext are rejected and the padding value is considered invalid. This basically checks that the ending of the decrypted record contains the correct padding length. And if the padding has a correct length, the data is considered to be authenticated and is given to the application layer. The problem occurs when an attacker can distinguish between both errors, `decryption_failed` or `bad_record_mac` error [5].

The attack supposedly happens when an attacker has obtained a certain ciphertext and tries to determine the corresponding plaintext. The attacker sends this certain ciphertext to the server, the server decrypts the ciphertext and then checks the padding value. If the padding value is invalid then a `bad_record_mac` error is received. Otherwise a `decryption_failed` error is received. So the attacker learns something about the decrypted ciphertext. This is a chosen ciphertext attack, but the goal of an oracle padding attack is to know the content of plaintext. The attacker has a valid padding for his chosen ciphertext, so he will try to crack the content of this ciphertext as follows [5][6]:

Assuming the attacker attempts to figure out M_3 from the ciphertext blocks C_1 , C_2 and C_3 . The attacker generates a guess W for the last byte in M_3 ; where W has $2^8 = 256$ possibilities. Next, the attacker will XOR the guessed value W with the expected padding $0x01$ into the last byte of the previous block C_2 as following $0xP \oplus 0x01 \oplus C_2$; where P is the guessed value W . The attacker sends the modified ciphertext to the server. If the guessed value W was correct then $C_2 \oplus 0xP = 0x00$ and as a consequence $0x00 \oplus 0x01 = 0x01$. If W was wrong the attacker will receive an extra value (not $0x01$) and he has to try other values of W . Once the attacker figures out the last byte (byte 16) in M_3 he will try to crack the previous last byte

(byte 15), but this time with $0x0202$ so $0xYP \oplus 0x0202 \oplus C_2$; where Y is the guessed value or byte 15 and P is the guessed value for byte 16. For byte 14 it must hold that $0xZYP \oplus 0x030303 \oplus C_2$; in this way, the attacker is able to reconstruct the whole block.

Basically, since the length of the block is 16 bytes, the attacker will learn them all after sixteen times 256 queries. So this is a significant attack that enables an attacker to decrypt blocks of the TLS record. However, the problem in this attack is that the errors `bad_record_mac` and `decryption_failed` are always fatal, which means when SSL/TLS receives a record with these errors it terminates the connection and renegotiates new keys. As a result, the attacker can submit only a single query to the server and then the connection will be terminated and aborted. Therefore, the correct way to do an authentication and encryption is Encrypt-then-MAC and MAC-then-Decrypt respectively; the result will be an authenticated encryption scheme. TLS 1.1 and newer versions provide such authenticated encryption [7].

2.2 Heartbleed Attack

The Heartbleed bug was a vulnerability in OpenSSL that was published in April 2014 and discovered by Neel Mehta. OpenSSL is an open-source implementation of the SSL and TLS protocols. The library in OpenSSL implements basic cryptographic functions and provides various utility functions. The heartbleed vulnerability in OpenSSL is classified as a buffer over-read that allows an attacker to read portions of the affected system's memory revealing some of its data. Although a connection is protected between both peers by, e.g. TLS 1.2, the vulnerability lets an attacker retrieve data up to 64 kb with each query and the attack may use an unlimited number of queries [8].

2.2.1 How the Heartbleed Attack works

The attack exploits a part that is using a vulnerable OpenSSL instance for TLS client and server. The client has to communicate with the server by sending so called heartbeats which inform the server that the client is still online. TLS heartbeats can be sent by both peers, so the vulnerability can be used to attack clients as well as servers. Heartbeat messages (`heartbeat_request` and `heartbeat_response`) consist of type, payload length, payload content, and padding length. Actually, the length of payload must be equal to the payload length sent in the heartbeat request. In other words, the receiving peer should check the payload data length with the actual length of data sent in the heartbeat request. However, older versions of OpenSSL do not check if both values are equal. An attacker can take advantage of this vulnerability in OpenSSL by faking the length of the payload with a much bigger number. For example, instead of saying the payload 'OTH-AW' is six bytes, an attacker claims the

length is 100 bytes. In this case, the receiving peer sends to the attacker the input data 'OTH-AW' plus 94 bytes of memory data which could contain IDs, passwords, credit card numbers or personal data of other users [8].

2.2.2 Preventing the Heartbleed Attack

The exploitation of this bug does not leave any trace of abnormal behaviour in the logs. More than a half million servers were affected by the Heartbleed bug. Thus, OpenSSL has solved this vulnerability by checking if the payload data length is equal with the actual length of data sent in the heartbeat request, otherwise, the receiving peer discards this request. The vulnerability is found in OpenSSL version 1.0.1f and 1.0.2-beta1. However, the vulnerability was fixed in OpenSSL version 1.0.1g by both Adam Langley and Bodo Möller. In order to avoid the Heartbleed attack, servers need to upgrade to OpenSSL version 1.0.1g or disable the Heartbeats with DOPENSSL_NO_HEARTBEATS. Clients can test the servers/websites if they are vulnerably for Heartbleed attack. Furthermore, they should not support version 4.1.1 of Android anymore because the Heartbleed bug can also attack this Android version [8].

3 TLS 1.2 vs. TLS 1.3

3.1 Major Differences

A significant improvement has been provided by TLS 1.3. The new version attends to remove obsolete and insecure algorithms that were part of TLS 1.2, including the following [3]:

- The old static RSA handshake without Diffie–Hellman key exchange which does not offer perfect forward secrecy (PFS). In TLS 1.3 it is dissolved with Elliptic Curve Diffie–Hellman Exchange (ECDHE).
- The CBC-MAC, which was responsible for some attacks like POODLE and BEAST. It is replaced with AEAD (Authenticated Encryption with Associated Data) which is a form of encryption which aims to provide confidentiality, integrity, and authenticity.
- The RC4 stream cipher, which is not secure.
- Outdated crypto algorithms, like SHA1, MD5, DES and 3DES.

In addition to the removal of the afore mentioned insecurity cryptographic algorithms, some new algorithms have been added to the new version (TLS 1.3). In the following, some of these are presented [3]:

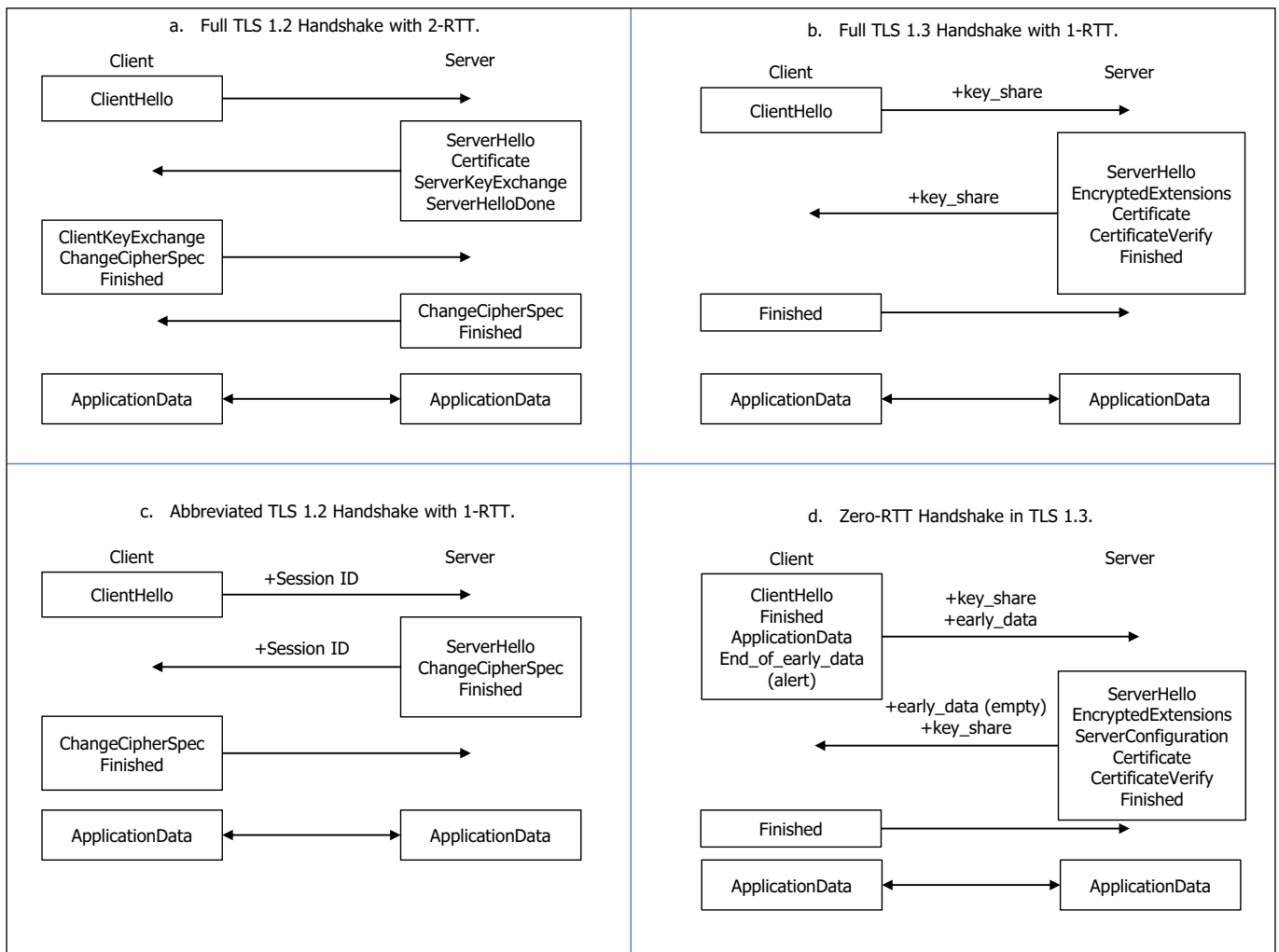


Figure 1: A handshake comparison between TLS 1.2 and TLS 1.3 in two situations. First with a full handshake then with abbreviated handshake [9].

- A full handshake signature. That means all handshake messages after the ServerHello are now encrypted in order to prevent particular attacks.
- Downgrade protection, which protects TLS 1.3 from future attacks in TLS 1.2. This means that even if attacks on TLS 1.2 were found in future, TLS 1.3 connections cannot be downgraded to its vulnerable former version.
- PFS with abbreviated handshakes. In order to resume a session, a TLS 1.2 client uses the same session ID and the same master secret. Therefore, once the master secret is compromised then all resumed sessions can be revealed. However, a TLS 1.3 client uses session tickets to resume a session. Once the master secret is used again, a shared secret is generated and combined with the master secret when calculating keys and IVs. This mechanism then provides PFS.
- In the handshake round trips a Zero-Round Trip Time (0-RTT) mode was added.

3.2 Handshake Protocol in TLS 1.2 vs. 1.3

Using a full TLS 1.2 and 1.3 handshake with ephemeral Diffie-Hellman key exchange, TLS 1.3 encrypts the connection after ServerHello (cf. 1.b). In TLS 1.2, this

mechanism is not supported (cf. 1.a). As a result, the handshake in TLS 1.3 is reduced by a full round trip, which can save hundreds of milliseconds^[9].

The figures [1.a] and [1.b] show a comparison between the handshake in TLS 1.2 and 1.3 (full handshake with ephemeral Diffie-Hellman key exchange). However, there is a way to do 1-RTT connections in TLS 1.2, but only if the client was connected to the server before. On the other hand, TLS 1.3 can now make the connection with 0-RTT, if the client was connected to a 1.3 server before. That means the endpoints can immediately start sending encrypted data (cf. 1.c and 1.d)^[7].

4 Possible Replay Attacks against TLS 1.3 0-RTT

Let us assume that a server can be forced to reboot and to lose its state. Then the server would not reject every client 0-RTT connection and can instead ignore the client's initial data that sent in the first flight. In case that the server does not want the data in the first flight to be lost, the server retransmits the data using new keys. For any client sending 0-RTT key exchange messages together with some encrypted data, an attacker can hence make this data being delivered twice in the following attack (cf. 2). The attacker captures the Transmission Control

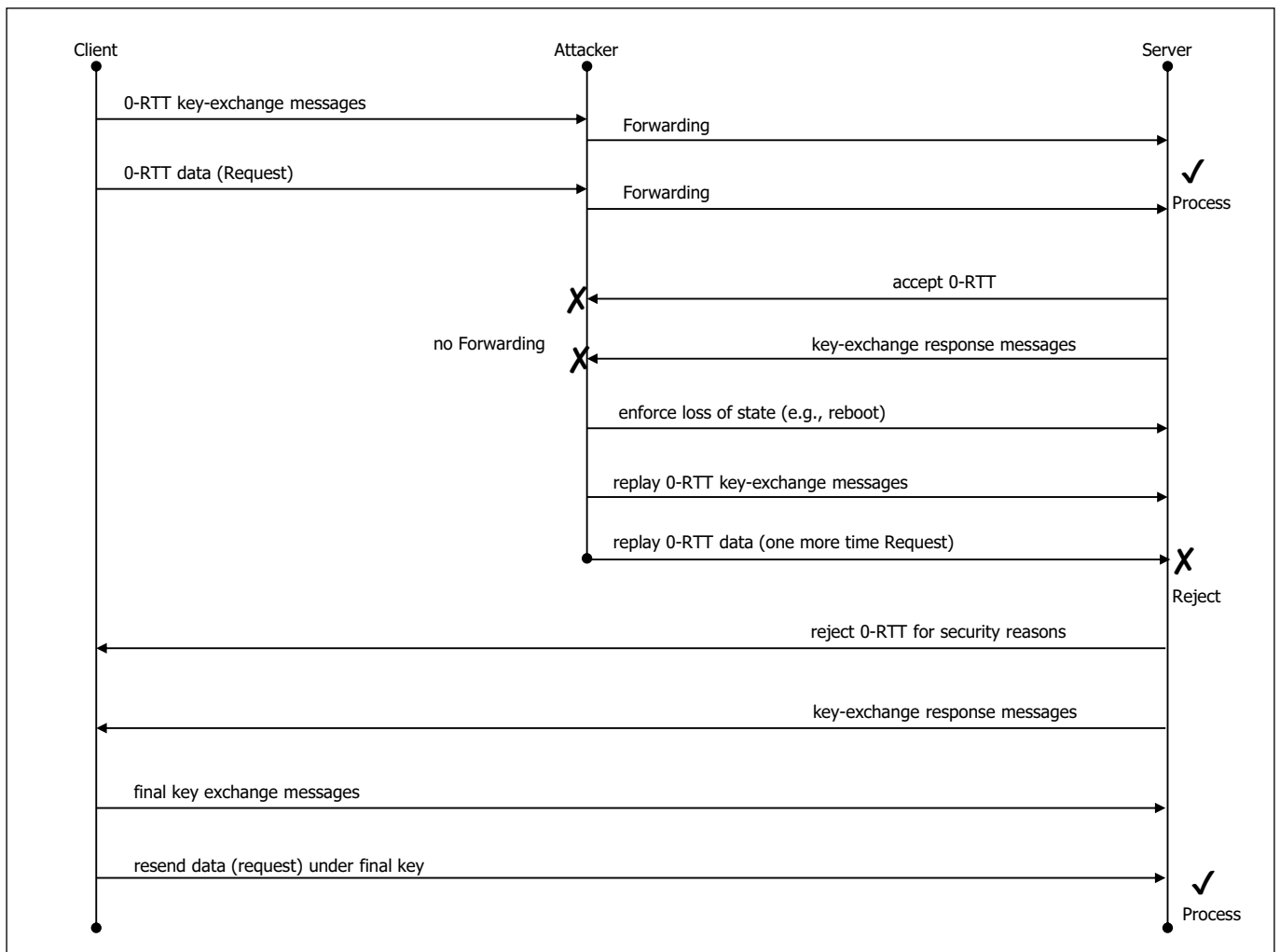


Figure 2: Replay attack against TLS 1.3 0-RTT^[10].

Protocol (TCP) connection and creates his own TCP connection to the server, forwarding the first flight and encrypted data which the client has sent. The attacker discards the server's response and tries to force the server to lose its state by, for example, rebooting. Once the server has rebooted, the attacker presents the same messages (initial first flight) again to the server. As a result, the server, for security reasons, rejects the client's first flight and responds with its own key exchange contribution for the final key which the attacker now simply relays to the client. After deriving the final key, the client sends the desired data under the deriving key, which the server will receive and decrypt for the second time. However, because of need to reboot the server and getting in under the client's timeout window, this attack is not easy to process. However, a more realistic attack scenario is to forward the 0-RTT messages two times to a server that operates in two loosely synchronized data center and then drops the first server's response^{[10][11]}.

Conclusion

It has been ten years since the last version (1.2) of the Transport Layer Security protocol was launched. This is quite a long time in the world of information security. So finally, it is time to update this protocol and to increase the level of security on the Internet. In recent years, the knowledge of security flaws and how to exploit these has grown. IETF always works on updating the security protocol SSL/TLS in order to secure data transfer through the Internet as good as possible. When we compare the first version and the current version of the protocol, we can notice the huge security improvement by the protocol. All these improvements were needed because of the

number of attacks that have occurred in recent years and because of some algorithms that can no longer be considered to be secure. This paper covers a number of these attacks such as Padding Oracle and HEARTBLEED. Moreover, it covers some insufficient algorithms such as CBC with MAC-then-Encrypt mode. But there are a number of other attacks like CRIME, FREAK, LOGJAM, SUPERFISH, POODLE, and BEAST that have not been mentioned. However, the main focus of our research is to evaluate if TLS 1.3 is actually immune against the afore mentioned attacks and provides improvements for the mechanism of the protocol. Besides a thorough security analysis of TLS, additionally issues, like time efficiency, will be addressed in future.

Abbreviations

- CBC (Cipher Block Chaining mode) is an algorithm that uses a block cipher.
- FTP (File Transfer Protocol) is used for the transfer of computer files.
- HTTP (HyperText Transfer Protocol) is used to transfer data on the World Wide Web (WWW).
- IMAP (Internet Message Access Protocol) is used for emails transmission.
- LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) is used to access and manage directory information.
- MAC (Message Authentication Code) is used to verify the authenticity of a message.
- RSA (Rivest–Shamir–Adleman) is one of the most important public-key cryptosystems.
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) is used for emails transmission.

References:

- [1] R. Oppliger, "SSL and TLS Theory and Practice", 2016.
- [2] D. T. Elgamal and K. E. Hickman, "The SSL Protocol", Internet Engineering Task Force, Internal Draft "draft-hickman-netscape-ssl-00", April 1995.
- [3] E. Rescorla, "The Transport Layer Security (TLS) Protocol version 1.3", March 26, 2018. <https://tswg.github.io/tls13-spec/draft-ietf-tls-tls13.html>
- [4] B. Möller, "Security of CBC Ciphersuites in SSL/TLS: Problems and countermeasures", May 2004. https://www.openssl.org/_bodo/tls-cbc.txt
- [5] T. Kurokawa, R. Nojima, and S. Moriai, "On the Security of CBC mode in SSL 3.0 and TLS 1.0", 2016. <http://isyou.info/jisis/vol6/no1/jisis-2016-vol6-no1-01.pdf>
- [6] S. Vaudenay, "Security Flaws induced by CBC Padding – Applications to SSL, IPSEC, WTLS ...", pp. 534–545, 2002.
- [7] D. Boneh, "CBC Padding Attacks". <https://fr.coursera.org/learn/crypto/lecture/8s230/cbc-padding-attacks>
- [8] OpenSSL, "The Heartbleed Bug", April 7, 2014. <http://heartbleed.com/>
- [9] T. Taubert, "Improved Handshakes in TLS version 1.3", November 16, 2015. <https://timtaubert.de/blog/2015/11/more-privacy-less-latency-improved-handshakes-in-tls-13/>
- [10] F. Günther and M. Fischlin, "Replay Attacks on Zero Round-Trip Time: The Case of the TLS 1.3 Handshake Candidates", 2017. http://www.felixguenther.info/publications/EUROSP_FisGue17.pdf
- [11] E. Rescorla, "TLS 0-RTT and Anti-Replay", Internet Engineering Task Force (IETF), 2015. <https://www.ietf.org/mail-archive/web/tls/current/msg15594.html>

Kontakt:



Ahmed Alqattaa

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

a.alqattaa@oth-aw.de



Prof. Dr. Andreas Aßmuth

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

a.assmuth@oth-aw.de

Globalisierung und IT-Services – Trends im IT-Outsourcing nach Mexiko

Prof. Dr. Frank Schäfer
Dipl.-Kffr. Cornelia Schäfer

Zusammenfassung

Personalintensive, standardisierbare IT-Dienstleistungen stehen in vielen Industrienationen unter hohem Rationalisierungsdruck, weswegen eine Verlagerung der Leistungserbringung in Niedriglohnländer (Offshoring) im Trend liegt.

Global aktive Industrieunternehmen beauftragen dafür im Rahmen von Outsourcing-Strategien häufig spezialisierte IT-Lösungsanbieter, welche einen internationalen, häufig weltweiten Service anbieten können.

Das Unternehmen VALEO-IT bietet in diesem Kontext der Industrie diverse IT-Dienste als Outsourcing-Leistungen an, wobei strategisch neue Kapazitäten am kostengünstigen Standort Mexiko zur Abdeckung des amerikanischen Marktes aufgebaut werden. Dieser Beitrag betrachtet entsprechende Markttrends näher und beschreibt zentrale Rahmenbedingungen sowie Vorgehensweisen bei einem Strukturaufbau in Mexiko.

Abstract

In many industrialized nations, labor-intensive, standardizable IT services are under a strong pressure to rationalize, which is why shifting the work to low-wage countries (offshoring) has become a common trend. International industrial companies are following IT-outsourcing strategies often. Usually they prefer IT-full-service suppliers offering a service on a worldwide basis. In this context, VALEO-IT offers various IT services as outsourcing solutions whereby the strategy is to build up new capacities in the more competitively priced country of Mexico. This paper takes a closer look at the relevant market trends and describes the key parameters and approaches for establishing a structure in Mexico.

1 Einführung

Mexiko. Land vergangener Hochkulturen. Historie und Modernität. Wie verbinden sich heute diese Stichworte miteinander und bilden ein Konstrukt in unserer Wahrnehmung? Und dies noch speziell im Hinblick auf wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und technologische Entwicklung?

Wenn man sich mit einem geografisch und kulturell weiter entfernten Land näher beschäftigt, so ist das eigene Ausgangsbild davon die eigene „Perception“ dieses Landes häufig durch die kulturelle Historie einerseits und daneben durch die aktuelle Medienberichterstattung andererseits beeinflusst.

Mit Blick auf Letztere führt eine mehr oder weniger selektive Berichterstattung ausgewählter Themen oder neuerdings sogar von „fake-news“ zu einem mehr oder weniger „gefärbten“ Bild über das Land und seine Rahmenbedingungen. Aus einer wissenschaftlichen Hochschulperspektive besteht Interesse an einer möglichst objektiven Berichterstattung, weswegen sich ein neutraler Bericht über das tatsächliche Erleben vor Ort anbietet.

Mexiko als Land zeigte bereits vor langer Zeit mit seiner Geschichte der hoch entwickelten Kulturen der Maja, Azteken und Inkas, welche Entwicklung Völker nehmen können. Spuren und Überreste bezeugen dies auch noch heute, z. B. im Regenwald der Halbinsel Yucatan.

Und heute?

Die aktuelle Medienberichterstattung bei uns in Europa legt Schwerpunkte insbesondere auf drei Themenfelder: den Drogenkrieg mit hohen Opferzahlen, Korruption als „weicher“ Faktor sowie von den USA geplante „Grenzmauer“ zur Eindämmung der Flüchtlingsbewegungen aus Mexiko sowie angeblich unfaire Handelsbedingungen zulasten der USA und zugunsten von Mexiko im Rahmen des NAFTA-Freihandelsabkommens.

Durchgehend also „negativ“ besetzte Themengebiete.

Ein Bild entsteht, in welchem Mexiko als ein irgendwie unberechenbares, korruptes und gefährliches Land gezeichnet wird, dessen Verlässlichkeit als internationaler Partner und Funktionsfähigkeit der Strukturen eher weniger Gutes erahnen lassen. Laut Washington Post ^[1] stehen faktisch 164.000 Drogenkriegs-Tote zwischen 2007–2014 im Raum, an denen nicht vorbeigesehen werden kann. Und ebenso wird man beobachten müssen, inwieweit und in welche Richtung die Regierung die Zukunftsgestaltung des Landes vorantreiben wird.

2 Zur wirtschaftlichen Einordnung Mexikos

Wenden wir einen neutralen Blick auf die Leistungsfähigkeit des Landes.

Folgende Grafik zeigt uns das BIP in wichtigen Wirtschaftsnationen und Schwellenländern: Mexiko nimmt mit 1,2 Mrd. USD (2014) den durchaus bedeutenden Rang 14 in der Liste ein ^[2].

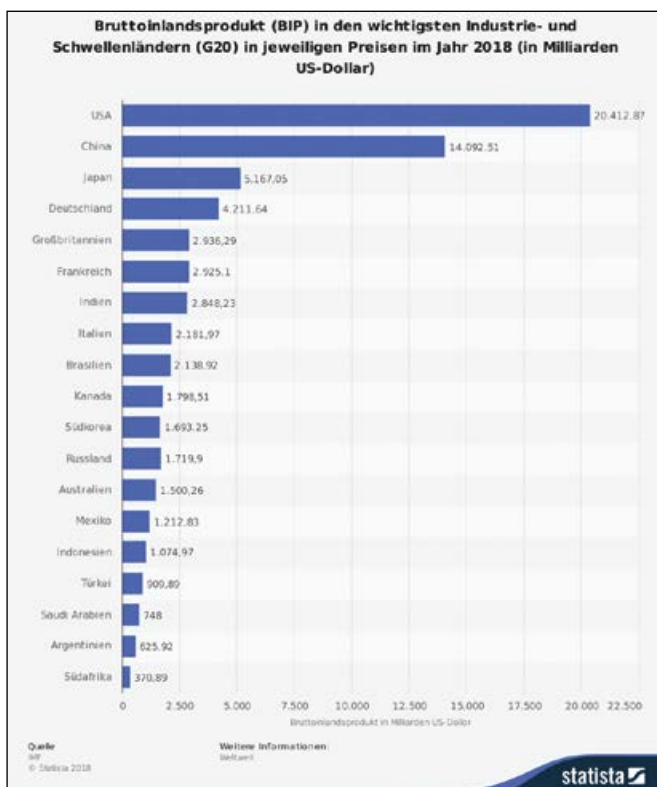


Abbildung 1: Bruttoinlandsprodukt (www.statista.com)

3 Untersuchungsgegenstand und Konkretisierung der Aufgabenstellung

Die VALEO-IT Gruppe ist ein Provider für IT-Dienstleistungen mit einem strategischen Schwerpunkt im Bereich IT-Outsourcing sowie für sogenannte Help-Desk-Anwendungen. Das Unternehmen ist dabei im Geschäftsfeld Outsourcing-Dienste für sieben verschiedene Sprachräume mit „First-“ und „Second-Level-Support“-Anwendungen sowie im IT-Consulting aktiv. Die Firmenzentrale des signifikant wachsenden Unternehmens liegt in Luhe-Wildenau in der nördlichen Oberpfalz. Aktuell im Sommer 2018 beschäftigt das Unternehmen ca. 150 Mitarbeiter, weiteres Mitarbeiterwachstum ist geplant. Strategisch entwickelt sich das Unternehmen zunehmend zu einem international bzw. global aktiven Player, die deutliche Mehrzahl der Mitarbeiter arbeitet bereits an den internationalen Standorten. Das Unternehmen wurde 2004 von Bastian Braun gegründet, der als geschäftsführender Gesellschafter fungiert. Service Locations des Unternehmens befinden sich in Luhe-Wildenau, Schwandorf, Regensburg, Roding, Lindau, Stollberg, Timisoara und Sibiu (beide Rumänien) sowie als jüngster Standort in Guadalajara (Mexiko). Ein weiterer Standort in Asien ist derzeit in Vorbereitung.

Diese Entwicklung folgt den Bedürfnissen der Kunden, welche zunehmend eine globale Abdeckung von Serviceleistungen bei gleichzeitig hoher Kosteneffizienz nachfragen.

Im Rahmen eines Praxis-Semesterprojektes bestand die Aufgabe, die Geschäftsführung bei der weiteren Umsetzung der Internationalisierungsstrategie zu unterstützen, wobei der Ausbau des Standortes Guadalajara (Mexiko) im Mittelpunkt stand.

Um diese Aufgabe zielgerichtet umzusetzen, wurde eine Analyse der strategischen Situation durchgeführt. Es wurden dazu u. a. persönliche Experteninterviews mit Führungskräften aus dem IT-Bereich bei unterschiedlichen Unternehmen im Zielland organisiert. Ferner wurden die Erfahrungen der erfolgreichen Implementierung der inzwischen zwei rumänischen Standorte in die Analyse und die Gestaltungsüberlegungen integriert.

Die Erkenntnisse fließen in Konzepte der Geschäftsführung ein, welche die Wachstumsstrategie des Unternehmens hin zu einer zunehmend global organisierten Wertschöpfung als umfassender IT-Service-Provider mit einer Marktbearbeitung auf diversen internationalen Märkten auf mehreren Ebenen strukturieren:

- Produkte und Zielmärkte
- Mitarbeiter, Führung und Organisation
- Finanzwirtschaft und Controlling

Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich mit relevanten Trends auf der Marktseite. Daneben werden praktisch relevante Aspekte der Mitarbeitergewinnung und -führung in Mexiko angesprochen.

Die Experteninterviews in Mexiko wurden inhaltlich sehr offen, jedoch auf Wunsch der Gesprächspartner auf vertraulicher Basis geführt, sodass die gegebenen Einschätzungen hier in zusammenfassender Art präsentiert werden.

4 Methodik der Datenerhebung

Um praxisrelevante Informationen zu Markttrends, Unternehmensstrategien und individuellen Anforderungen der Unternehmen zu gewinnen, wurden diverse Experteninterviews bei Kunden und Nichtkunden der VALEO-IT aus dem Bereich der Automobilzulieferindustrie sowie der Elektronikbranche durchgeführt. (Vgl. zu dieser bereits bewährten Vorgehensweise: ^[3].)

Dabei gab es in Guadalajara/Mexiko insgesamt fünf Tiefeninterviews mit IT-Führungskräften aus fünf unterschiedlichen global agierenden Unternehmen, orientiert an einem Befragungsleitfaden. Die Interviews dauerten jeweils zwischen einer und zwei Stunden. Weitere Expertengespräche wurden in Deutschland in der gleichen Zielgruppe abgewickelt. Eine weitere Aktivität bildeten Interviews einer zweistelligen Zahl operativ tätiger mexikanischer Service Request Agents vor Ort in Guadalajara. Themen dabei waren fachliche Qualifikation, Motivation und persönliche Entwicklungsziele sowie der Umfang von sprachlichen Fähigkeiten international relevanter Sprachen (insbesondere Englisch, Spanisch und Portugiesisch) und Erwartungen an Arbeitsbedingungen und Führungskultur.

Zu Ermittlung und Interpretation genereller Markttrends im IT-Bereich mit Bezug zum gegebenen Thema wurden ferner diverse Veröffentlichungen zu Qualifikation und Verfügbarkeit von IT-Experten am Standort Guadalajara identifiziert und ausgewertet. Ferner wurden Marktprognosen wichtiger Zielbranchen für VALEO-IT in Mexiko betrachtet, um Potenziale für eine weitere Geschäftsausweitung im vorhandenen bzw. neu zu erschließenden Kundenportfolio zu erkennen. Hier steht besonders die Automobilzulieferbranche im zentralen Blickpunkt, für welche VALEO-IT bereits langjährig tätig ist.

5 Begriffsklärungen

Unter Outsourcing von IT-Leistungen wird hier die Übertragung von in der Ausgangslage in Eigenregie durchgeführten Arbeits- und Wertschöpfungsprozessen an unternehmensexterne Dienstleister verstanden. Die Motivation dafür bildet typischerweise die Notwendigkeit zur Qualitäts- und Kostenoptimierung. Die Outsourcing-Leistung kann dabei je nach Wunsch und Situation am

bisherigen Standort des Auftraggebers, aber auch an Standorten des Outsourcing-Partners durchgeführt werden. Häufig werden dabei auch Kostensenkungsziele verfolgt, z. B. aus Spezialisierungsvorteilen.

Unter Offshoring von IT-Dienstleistungen wird hier dagegen die explizite Verlagerung von Arbeitsprozessen aus einem Hochlohn- in ein Niedriglohnland verstanden. Dies erfolgt innerhalb des Unternehmens bzw. Konzerns und setzt entsprechende eigene Unternehmensstrukturen in den adressierten Niedriglohnländern voraus. Die Motivation zielt typischerweise auf eine Kostenoptimierung bzw. die Erschließung von „neuen“ Arbeitsmärkten bei Engpässen in der Gewinnung von Fachkräften, die im IT-Bereich in Industrienationen seit Jahren vielfältig beobachtbar sind.

Outsourcing und Offshoring können auch kombiniert werden (sog. Offshore-Outsourcing), wenn ein Unternehmen bislang an einem Hochlohnstandort in Eigenregie erbrachte IT-Services an einen Outsourcing-Partner auslagert, der seinerseits diese Leistungen zukünftig aus einem Niedriglohnland heraus erbringt. (Vgl. zu dieser gesamten Begriffssystematik: ^[4].)

VALEO-IT bietet dem Markt bzw. den adressierten Zielgruppen u. a. genau dieses Leistungsprogramm an.

6 Markttrends bei IT-Services mit Bezug zu Outsourcing und Offshoring

Die Auslagerung von Sachgüterproduktion ins kostengünstige Ausland, welche den Industriesektor bereits seit Jahren prägt, zeigt sich nunmehr verstärkt auch im Dienstleistungsbereich. Großbetriebe waren hier die Vorreiter, typische standardisierbare Verwaltungsarbeiten in Niedriglohnländer auszulagern. (Vgl. dazu ausführlich: ^[5])

Häufig auch unter dem Begriff Business Process Outsourcing bzw. Offshoring geführt, geht es dabei auch um Tätigkeiten aus den Bereichen Buchhaltung, Personalverwaltung oder der Materialdisposition.

Betrachtet man standardisierbare und zugleich personalintensive Dienstleistungen im IT-Supportbereich, sind generell beträchtliche Verlagerungstendenzen in Länder mit niedrigen Faktorkosten beobachtbar. In Europa besteht hier ein Trend hin zu osteuropäischen Ländern, wobei z. B. Rumänien ein besonders beliebtes Ziel darstellt.

Im Zusammenhang mit der Forschungsfrage stellte sich die Arbeitshypothese, ob die angesprochene Situation des Outsourcings in Europa sich in ähnlicher Art auch in den „Amerikas“ wiederfindet: Wertschöpfung und Auslagerung von IT-Services speziell aus USA und Kanada in das kostengünstige Mexiko.

Wir fanden nach der Recherchearbeit und Auswertung der erhobenen Befragungsergebnisse diese Arbeitshypothese bestätigt:

- Bedeutende US-amerikanische Hard- und Softwarekonzerne verfolgen Offshoring-Strategien und verfügen über stark ausgebaute IT-Standorte in Mexiko, teilweise seit Jahrzehnten. Insbesondere in den vergangenen zehn Jahren ist ein starker Ausbau dieser Kapazitäten in Mexiko zu beobachten.
- Die USA sind der Hauptzielmarkt für in Mexiko erbrachte Dienstleistung in dieser Branche.
- Das Lohnkostengefälle zwischen USA und Mexiko ist vergleichbar zum aktuellen Lohnkostengefälle zwischen den Hochlohnländern Zentraleuropas und Südosteuropa, z. B. Rumänien.
- Wie in Osteuropa ist auch in Mexiko ein attraktives Qualifikationsniveau potenzieller Mitarbeiter gegeben.
- Innerhalb Mexikos ist der Markt für IT-Outsourcing für mexikanische Zielunternehmen als Full-Service-Angebot im Vergleich zu Europa noch wenig verbreitet. Hier bestehen für professionelle Anbieter wie VALEO-IT Marktchancen.
- Für VALEO-IT ist der Zeitpunkt für die Markterschließung Mexikos mit IT-Services in der Automotive Branche günstig, da sich diese Branche mit jährlich acht bis neun Prozent stark wachsend präsentiert. Ferner postulieren Experten für die Automotive Branche strategisch eine weitere Professionalisierung sowie eine Erweiterung der Wertschöpfungskapazitäten im Land als zukünftig besonders wichtig. Hieraus können sich Geschäftsansätze für VALEO-IT als ganzheitlichen Lösungsanbieter ergeben. ^[6]
- Als in der operativen Geschäftsführung nicht triviale Gestaltungsfelder erweisen sich die rechtlichen und steuerrechtlichen Rahmenbedingungen, welche komplex und auch bei professioneller Beratung nicht immer vollständig antizipierbar sind. (Vgl. zu zusätzlichen Herausforderungen für den Mittelstand bei einer Expansionsstrategie außerhalb der EU: ^[7])
- Ferner erweisen sich die (durchaus auch durch die erratische Politik der USA gegenüber Mexiko mitverursachten) Schwankungen der Währung Mexikanischer Peso gegenüber dem Euro problematisch. Vorkehrungen zur Währungsabsicherung sind deswegen ausdrücklich empfohlen.

7 Guadalajara als Standort für die Erbringung von IT-Service-Dienstleistungen

Guadalajara liegt im Westen des mexikanischen Hochlandes, etwa 500 km von Mexiko-Stadt entfernt. In der Metropolregion leben ca. 4,9 Millionen Menschen (2017), damit ist Guadalajara die zweitgrößte Stadt in Mexiko. Die Bevölkerungszahl der Metropolregion hat sich seit den 1950er-Jahren mehr als verzehnfacht.

In wirtschaftlicher Hinsicht ist die Stadt ein bedeutendes Handelszentrum und ein wichtiger Industriestandort für vielfältige Branchen. Besonders herauszustellen ist die Elektronikindustrie, welche ca. 78.000 Beschäftigte zählt, die in ca. 600 Hightech-Unternehmen tätig sind. Wegen der hohen Bedeutung und Wachstumsdynamik dieses Industriezweigs wird die Stadt auch als „Silicon Valley“ von Mexiko bezeichnet. Auch aus US-amerikanischer Sicht wird diese Einschätzung geteilt: So titelt die Washington Post: „Is Mexiko The Next Silicon Valley? Tech Boom Takes Root in Guadalajara“. Die Zeitung stellt fest, dass seit 2013 in 300 Start-ups über 120 Mio. USD investiert wurden, die großenteils von Venture-Capital-Firmen aus den USA stammen. Der Bundesstaat Jalisco exportiert jährlich Tech-Produkte und Services im Gegenwert von 21 Mrd. USD ^[8].

Neben amerikanischen Konzernen wie IBM, Intel, General Electric, Oracle oder HP produzieren auch europäische Unternehmen wie z. B. Continental, Hella, Siemens oder ZF in der Metropolregion Guadalajara. ^[9]

Die Stadt verfügt über diverse auch akademische Bildungsinstitutionen wie z. B. die zweitälteste Universität Mexikos, die Universidad de Guadalajara. Mit über 100.000 Studierenden in ca. 80 Studienprogrammen gehört Guadalajara zu den fünf bedeutenden Städten in Lateinamerika. Der Bundesstaat Jalisco verfügt insgesamt über zwölf Universtitäten, wobei besonders das Tecnológico de Monterrey mit ca. 85.000 IT-Absolventen jährlich zu erwähnen ist. ^[10]

Für den Aufbau eines Auslandsstandortes sind aus VALEO-IT-Perspektive neben der Verfügbarkeit von Mitarbeitern mit der benötigten fachlichen Qualifikation besonders auch die sprachliche Qualifikation in diversen Landessprachen entscheidend. Die Kunden der VALEO-IT haben hier hohe Erwartungen an die sprachliche Perfektion der erbrachten Dienstleistung, da die meisten Anfragen als persönliche Anfrage per Telefon an die Supportkräfte herangetragen werden.

Die für die „Amerikas“ benötigten Sprachen sind Englisch, Spanisch und Portugiesisch.

Blickt man auf die Landkarte und die Zeitzonen, so lässt sich feststellen, dass mit diesen drei Sprachen aus Mexiko heraus Nord- und Südamerika gut bedient werden kann.

Einige Fotos zeigen das moderne Guadalajara mit hochwertigen Shopping-Malls, welche die wohlhabenderen Teile der Gesellschaft ansprechen. Ferner die als Kontrapunkt einige traditionellen, Ansichten der Innenstadt, welche sich ebenfalls renoviert und gepflegt präsentieren.



Abbildung 2: Modernes Guadalajara



Abbildung 5: Traditionelle Stadtteilzentren am Beispiel Tlaquepaque



Abbildung 3: Kathedrale

Die folgenden Bilder zeigen einige Eindrücke aus international aktiven Konzernen und eine Arbeitsumgebung auf dem Niveau eines entwickelten Industrielandes.



Abbildung 4: Traditionelle Stadtteilzentren am Beispiel Tlaquepaque



Abbildung 6: Leistungszentrum IT-Support, Industrieunternehmen in Guadalajara



Abbildung 7: Standort Hella in Guadalajara

Folgende Abbildungen zeigen das vorhandene Leistungszentrum der VALEO-IT in Guadalajara. Auffällig ist die im Vergleich zu Deutschland abweichende Gestaltung der Arbeitsumgebung, insbesondere die in unserer Wahrnehmung geringe Quadratmeterfläche je Arbeitsplatz. Für mexikanische Verhältnisse ist diese jedoch in der Gesamtgestaltung überdurchschnittlich.



Abbildung 8: Standort Hella in Guadalajara



Abbildung 11: Leistungszentrum der VALEO-IT in Guadalajara



Abbildung 9: Standort Continental, Guadalajara



Abbildung 12: Typische Arbeitsplatzausstattung Leistungszentrum Guadalajara



Abbildung 10: Standort Continental, Guadalajara

Wie angesprochen, befinden sich diverse schlagkräftige Unternehmen mit Bedarfen nach entsprechenden fachlich und sprachlich qualifizierten IT-Mitarbeitern am Standort. Sämtliche vor Ort befragte Unternehmen formulieren tendenziell steigende Mitarbeiterzahlen und -bedarfe. Es besteht somit inzwischen ein gewisser Wettbewerb zwischen den Unternehmen um gut ausgebildete und motivierte Leute, wobei besonders internationale Arbeitgeber wegen vermutet besserer Entwicklungsmöglichkeiten gegenüber „rein“ mexikanischen Gesellschaften häufig bevorzugt werden. Ferner wird internationalen Unternehmen auch eine ausgeprägtere Organisiertheit und Professionalität zugeschrieben, was Bewerber und Leistungsträger häufig schätzen. Gleichzeitig zeigen die Befragungen der Mitarbeiter und Vorgesetzten vor Ort

durchgehend einen großen Ehrgeiz beruflich und wirtschaftlich voranzukommen. In der Folge ergeben sich Fragen nach Fortbildung und persönlichen Entwicklungsmöglichkeiten. Hier besteht für VALEO-IT die Möglichkeit, als attraktiver Arbeitgeber zu punkten, da strukturierte Trainingsmodule und internationale Austauschprogramme den Mitarbeitern überdurchschnittliche Möglichkeiten bieten. Dies stützt in der Folge auch die Loyalität der Mitarbeiter, wie die vergleichsweise überschaubare Personalfuktuation am Standort zeigt. Dennoch empfiehlt sich in einem größeren Team eine permanente Akquisitions- und Einarbeitungsstrategie neuer Mitarbeiter, um das unvermeidliche Abschmelzen des vorhandenen Mitarbeiterstamms zu kompensieren. Der Aufbau entsprechender lokaler Personalmarketingstrukturen bildet einen wichtigen Erfolgsfaktor. Die positiv eingeschätzte Verfügbarkeit junger Absolventen aus den einschlägigen Ausbildungseinrichtungen bzw. Hochschulen bildet dabei einen Vorteil des gewählten Standortes. Der in Folge hohe Anteil junger, in Einarbeitung befindlicher Mitarbeiter reduziert jedoch die Produktivität und wirkt sich in dauerhaft höheren Stellenplänen im Vergleich zu Deutschland aus.

8 Fazit

Eine Ausgangsfrage der Studie bestand in einer Analyse der Vergleichbarkeit von Verlagerung von IT-Leistungen im Sinne von Offshoring/Outsourcing in Europa nach Rumänien mit der Situation in den „Amerikas“: mit der international arbeitsteiligen Erbringung von IT-Dienstleistungen aus Mexiko für Nord- und auch Südamerika.

Wir konnten aus den gewonnenen Informationen tatsächlich ausgeprägte Parallelitäten im Sinne eines aktiven Outsourcings von Nordamerika nach Mexiko erkennen. Im vom Untersuchungsbetrieb VALEO-IT fokussiert bearbeiteten Automotive-Sektor bestehen in Mexiko besondere Entwicklungschancen, da gerade diese Branche dort aktuell hohe Wachstumsraten aufweist.

Auch die Kostensituation und Produktivität für die Leistungserstellung in Mexiko ist insgesamt vergleichbar mit dem Niveau in Osteuropa bzw. Rumänien.

Ein wesentlicher Unterschied zur Situation in Europa liegt offensichtlich eher darin, dass die Quantität im Arbeitsmarkt verfügbarer potenzieller Mitarbeiter in Mexiko eher keine Schwierigkeit bedeutet, da die Ausbildungskapazitäten vor Ort eine stete Quelle gut qualifizierter und aufstrebender junger Menschen darstellen.

In Rumänien (wie auch in anderen mittel- und osteuropäischen Ländern wie z. B. Polen) beginnt dagegen zunehmend ein Engpass zu entstehen, da sich hier inzwischen eine Knappheit von qualifiziertem Nachwuchs zeigt, welche zunehmend strategische Überlegungen zu Alternativen erfordert.

Mexiko kann als Schwellenland und kostengünstiger Standort für die Erbringung qualifizierter Dienstleistungen also durchaus punkten.

Darüber hinaus stellt sich natürlich noch die Frage, inwieweit die oben aufgeworfene Kriminalitätsproblematik auf die persönliche Sicherheit der Mitarbeiter und die Stabilität der geschäftlichen Aktivitäten wirken könnte?

Mitarbeiter berichten in Gesprächen, sich in Guadalajara durchaus sicher zu fühlen. Angesprochen auf die vielen Morde erklären die Menschen die Überzeugung, dass diese Morde innerhalb des Drogenmilieus passieren würden. Hält man sich davon fern, bestünde praktisch kein Risiko. Dennoch sollte man vermeiden, „versehentlich“ zur falschen Zeit am falschen Ort zu sein. Hierin liegt wohl durchaus ein gewisses Restrisiko.

Bewegt man sich in „normaler“ Art und Weise im Land, fühlt man sich auch tatsächlich im eigenen Erleben zu keiner Zeit unsicher – trotz der emotionalen Wirkung drastischer einschlägiger Reisewarnungen des Auswärtigen Amtes.

Wird Mexiko in der Zukunft an vergangene Hochkulturen anschließen können und sich aus dem Schwellenland-Status weiter herausbewegen können?

Einige Grundvoraussetzungen speziell im wirtschaftlichen Bereich dafür erscheinen uns gegeben. An anderen wird das Land im Rahmen seiner (sicherheits-)politischen und gesellschaftlichen Entwicklung noch arbeiten müssen.

Referenzen:

- [1] The Washington Post, March 20, 2018
- [2] www.statista.com, aufgerufen am 25.6.2018
- [3] Schäfer, Frank: Globalisierung und IT-Services – Trends im IT-Outsourcing nach Rumänien, in: Forschungsbericht OTH Amberg-Weiden, Jg. 2017, Seite 8
- [4] Deutsche Bank Research (Hrsg.): Outsourcing nach Indien: der Tiger auf dem Sprung, Frankfurt, 2005, Seite 3
- [5] Credit Suisse Economic Research (Hrsg.): Schweizer Immobilienmarkt 2016 – Vertreibung aus dem Paradies, Publikationsreihe Swiss Issues Immobilien, Zürich, März 2016, Seite 37 f
- [6] Roland Berger Strategy Consultants (Hrsg.): Being prepared for the next Mexican automotive Boom, Chicago, USA 2016
- [7] Schäfer, Frank: Strategische Motive und praktische Erfahrungen eines mittelständischen Bauinstallationsunternehmens bei einem Markteintritt in den VAE, in: Forschungsbericht HAW Amberg Weiden, Jg. 2012/2013, Seite 86–97.
- [8] www.Connectamaericas.com, aufgerufen am 26.3.2018; The Washington Post , March 20, 2018
- [9] www.Connectamaericas.com, aufgerufen am 26.3.2018; Wikipedia, Suchbegriff „Guadalajara“
- [10] www.Connectamaericas.com, aufgerufen am 26.3.2018

Projektpartner:

VALEO-IT Servicios S DE RL DE CV, 45116 Zapopan Jalisco, Mexiko

Kontakt:



Prof. Dr. Frank Schäfer

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

f.schaefer@oth-aw.de



Dipl.-Kffr. Cornelia Schäfer

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

co.schaefer@oth-aw.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

Sie wollen Mitglied werden? Kontaktieren Sie uns.

Dipl.-Ing. (FH) Franz Mende, 1. Vorsitzender
Briefadresse: Siemens AG
Leiter Gerätewerk Amberg
Werner-von-Siemens-Straße 48
92224 Amberg

Telefon 09621/80-2487
Sekretariat 09621/80-3614
E-Mail: freunde.oth-amberg@oth-aw.de

RAUM FÜR ZUKUNFT **F.E.E.**



ELEKTROTECH ENGINEERING **AUTOMATION ROBOTIK** **ENERGIE-TECHNIK** **INFORMATIK + SYSTEME**

F.E.E. 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



F.E.E.-Unternehmensgruppe
In der Seugn 20 | 92431 Neunburg v. W.
Telefon: +49 (0) 9672 506-0 | www.fee.de
www.facebook.com/fee.neunburg

BAYERN'S BEST 50
PREISTRÄGER
2014 | 2011 | 2008 | 2003

IGZ[®] DIE SAP[®] INGENIEURE






Be a PRO. Join IGZ. | IGZ das SAP Projekthaus für Logistik und Produktion Top-Arbeitgeber der Region Nordoberpfalz

PROfessionalität, Engagement und Qualitätsbewusstsein sind die Eckpfeiler unserer Unternehmenskultur. Wenn das auch Ihr Selbstverständnis ist, freuen wir uns auf Ihre Bewerbung. Auf Sie warten verantwortungsvolle Aufgaben beim Marktführer für SAP Logistik- und Produktionssoftware in Europa. Wir suchen (m/w):

Hochschulabsolventen

- Informatiker / Industrieinformatiker
- Wirtschaftsingenieure – Schwerpunkt IT, Lagerlogistik, Produktion
- Betriebswirtschaftler – Schwerpunkt IT/SAP
- Elektrotechniker – Schwerpunkt IT

Trainees SAP-Softwareentwicklung

- Absolventen technischer Studiengänge mit IT-Kenntnissen und großem Interesse an der Softwareentwicklung
- 6-monatiges Entwickler-Traineeprogramm mit umfassender Einarbeitung in die SAP-Programmierung für Quereinsteiger



IGZ Ingenieurgesellschaft für logistische Informationssysteme mbH | Logistikweg 1 | 95685 Falkenberg | jobs@igz.com | www.igz.com

Bewertungskriterien für die Effizienz, den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Kältetechnologien in der Industrie

Zusammenfassung

Der folgende Beitrag ist eine abgewandelte und ergänzte Fassung des Artikels „Assessment Methodology for Efficiency, CO₂-Emissions and Primary Energy Consumption for Refrigeration Technologies in the Industry“, der in „Applied Mechanics and Materials“ veröffentlicht wurde.^[1]

Prozesskühlung und Klimatisierung werden in der Industrie immer wichtiger. Die Kältebereitstellung erfolgt hauptsächlich über Kompressionskältemaschinen, obwohl alternative Kältetechnologien am Markt verfügbar sind, die in einigen Anwendungsfällen effizienter sein können. Im Forschungsprojekt „EffiCool“ wird eine Technologie-toolbox entwickelt, die Industrieanwender bei der Auswahl an energieeffizienten und umweltfreundlichen Kältetechnologien unterstützen soll. Um die verschiedenen Kältetechnologien bewerten zu können, wurde eine einheitliche Methodik entwickelt. Die Bewertung der Kältetechnologien erfolgt aufgrund ihrer Effizienz, der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs. Für KWK-Systeme wird eine exergetische Allokationsmethode angewendet. Zwei Szenarien mit A) einer Kompressionskältemaschine und B) einer Absorptionskältemaschine, die an ein Erdgas-KWK-System gekoppelt ist, werden berechnet. Die Gesamteffizienz des KWKK-Systems ist besser, obwohl der COP der Absorptionskältemaschine niedriger ist.

Abstract

The following report is a modified version of the paper “Assessment Methodology for Efficiency, CO₂-Emissions and Primary Energy Consumption for Refrigeration Technologies in the Industry”, which was published in the “Applied Mechanics and Materials”.^[1]

Process cooling and air conditioning are becoming increasingly important in the industry. Refrigeration is still mostly accomplished with compression chillers, although alternative technologies are available on the market that can be more efficient for specific applications. Within the scope of the project “EffiCool” a technology toolbox is currently being developed, which is intended to assist industrial users in selecting energy efficient and eco-friendly cooling solutions. In order to assess different refrigeration options a consistent methodology was developed. The refrigeration technologies are assessed regarding their efficiency, CO₂-emissions and primary energy consumption. For CCHP systems an exergetic allocation method was implemented. Two scenarios with A) a compression chiller and B) an absorption chiller coupled to a natural gas CHP system were calculated exemplarily, showing a greater overall efficiency for the CCHP system, although the individual COP of the chiller is considerably lower.

1 Einführung

Die Bereitstellung von Prozesskälte und die Klimatisierung für industrielle Zwecke werden zunehmend wichtiger. Industriestandorte verfügen über komplexe Infrastrukturen wie F&E, Verwaltung, Produktion und Lagerhaltung mit einer Vielzahl unterschiedlicher Kühlauf-

gaben in verschiedenen Bereichen des Produktionsstandorts. In der Praxis werden herkömmliche Kompressionskältemaschinen aufgrund der niedrigen Investitionskosten und der einfachen Implementierung immer noch als Standardlösung zum Kühlen verwendet. Diese Systeme sind in Bezug auf Energieeffizienz, Umweltfreundlichkeit und Gesamtlebensdauer nicht optimiert.

2 Forschungsprojekt EffiCool

Das Forschungsprojekt EffiCool im Projektverbund der Green Factory Bavaria beschäftigt sich mit der nachhaltigen Bereitstellung von Kälte für Produktionszwecke und zur Klimatisierung von Produktionshallen und Bürogebäuden.

Der Leuchtturmstandort Siemens Amberg erfüllt diese Voraussetzungen und im Rahmen des Forschungsprojekts werden der Kältebedarf und die vorhandene Kälteinfrastruktur aufgenommen. Anhand des Kälte-/Klimatisierungsbedarfs werden Kälteversorgungsvarianten entwickelt und hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sowie der Nachhaltigkeit untersucht. Als zentrales Forschungsziel soll ein Technologiebaukasten entwickelt werden, in dem verschiedene alternative Kältetechnologien energetisch, wirtschaftlich und ökologisch bewertet sind.

Der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der Kühlung haben große Auswirkungen auf die Umwelt. Der elektrische Energiebedarf für die Kälteerzeugung in Deutschland beträgt 13,5 Prozent des gesamten Stromverbrauchs^[2], was zu Kohlendioxid-Emissionen von etwa 40 Millionen Tonnen pro Jahr führt. Darüber hinaus tragen viele der fluorierten Kältemittel, die in Kompressionskältemaschinen verwendet werden, zur Erderwärmung bei und ihre Verwendung wird in der Europäischen Union zunehmend eingeschränkt^[3]. Es gibt jedoch bereits eine breite Palette an alternativen Kältetechnologien, die für die gegebene Anwendung eine bessere und effizientere Option als die Standardlösung darstellen können.

3 Technologiebaukasten

Ziel des gegenwärtig entwickelten Technologiebaukastens ist eine Datenbank, die Informationen über verschiedene Kältetechnologien mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche zusammenführt, um eine Vorauswahl geeigneter Kältetechnologien für einen bestimmten Anwendungsfall präsentieren zu können und eine erste Basisbewertung zu ermöglichen. Schlüsselmerkmale sind z. B. die erreichbaren Kühltemperaturen, die Effizienz als Leistungszahl (COP), der auf dem Markt verfügbare Leistungsbereich, die spezifischen Investitionskosten etc. Abhängig von der Benutzereingabe (z. B. gewünschte Kühltemperatur) präsentiert der Technologiebaukasten eine Auswahl geeigneter Kältetechnologien zusammen mit den relevanten Informationen über die Technologie, einschließlich der Bewertung der Effizienz, der Kohlendioxidemissionen und des Primärenergieverbrauchs.

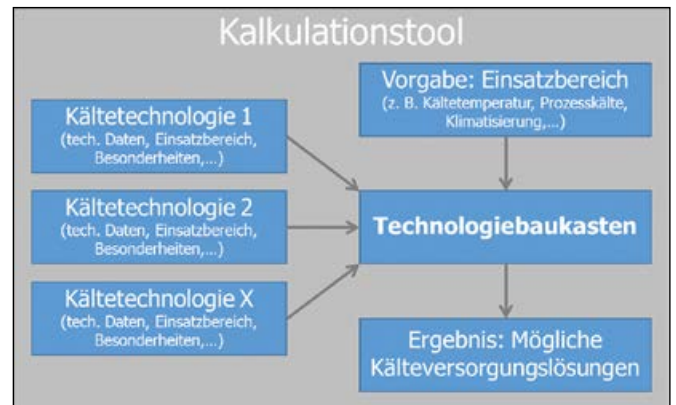


Abbildung 1: Aufbau des Technologiebaukastens

4 Bewertungskriterien für die verschiedenen Kältetechnologien

4.1 Coefficient of Performance

Die Energieeffizienz ist einer der wichtigsten Parameter für die Bewertung von Kältetechnologien für bestimmte Anwendungsfälle. Die Energieeffizienz von Kältetechnologien kann als Verhältnis von Kühlleistung (Input; \dot{Q}_0) zu Energieverbrauch (Output; P) ausgedrückt werden, was allgemein als Leistungszahl (COP) bezeichnet wird.

$$COP = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{\dot{Q}_0}{P}$$

Ein Hauptproblem bei der Bewertung der Kühleffizienz ist die Tatsache, dass die Kältetechnologien unterschiedliche Formen von Antriebsenergie (elektrische oder thermische Energie) verwenden. Dies gilt insbesondere dann, wenn verschiedene Technologien mit ähnlichem COP, aber unterschiedlichen Antriebsenergieformen verglichen werden, da der COP die exergetische Wertigkeit der Antriebsenergie nicht berücksichtigt.

4.2 Primärenergieverbrauch

Die Schwäche einer rein auf Antriebsenergien basierenden Bewertung kann durch die Berücksichtigung des Primärenergieverbrauchs vermieden werden. Primärenergie kann als die direkt verfügbare Energiemenge in einer Quelle wie Kohle, Öl, Holz oder Gas definiert werden. Der Prozess zum Extrahieren einer sekundären Energiequelle (z. B. flüssiger Brennstoff) aus einer primären Energiequelle ist mit mehreren Verlusten behaftet, die von der Art der verwendeten Primärenergiequelle abhängen. Sekundärenergie stellt die für den Verbraucher verfügbare Energiequelle dar, wie sie z. B. für den Betrieb von Kältetechnologien benötigt wird. Um einen ökologischen Vergleich zwischen verschiedenen Technologien und Formen der Antriebsenergie zu ermöglichen, ist es notwendig, sie auf der Grundlage der gesamt verbrauchten Primärenergie zu bewerten. Dies kann durch Einführung des Primärenergiefaktors (PEF) erreicht werden. Der PEF berücksichtigt alle Umwandlungsverluste, die im Umwandlungsprozess von einer primären zu einer

sekundären Energiequelle anfallen. Daher beschreibt der PEF die ökologische Wertigkeit einer Energiequelle unter Beachtung der zugehörigen Bereitstellungskette, einschließlich der Erschließungs- und Umwandlungsverluste. In unserer Betrachtung beschränkt sich die Primärenergie auf die Energieumwandlung, ohne die Berücksichtigung der Herstellung, Inbetriebnahme und Stilllegung von Kältekomponenten. Um eine einheitliche Methodik für den Technologiebaukasten zu verwenden, beziehen sich die Daten für die Primärenergiefaktoren auf die GEMIS-Datenbank, die häufig für die Bewertung von Lebenszyklen und zur Erstellung von CO₂-Bilanzen herangezogen wird (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Primärenergiefaktoren PEF der GEMIS-Datenbank^[4]

| Bereitstellungskette (Strom) | PEF | Bereitstellungskette (Wärme) | PEF |
|------------------------------|---|------------------------------|---|
| Stromnetz (lokal) | 2,76 kWh _{pe} /kWh _{el} | Abwärme | 0 kWh _{pe} /kWh _{th} |
| PV | 1,17 kWh _{pe} /kWh _{el} | Öl-Kessel | 1,18 kWh _{pe} /kWh _{th} |
| Braunkohlekraftwerk | 2,40 kWh _{pe} /kWh _{el} | Erdgas-Kessel | 1,16 kWh _{pe} /kWh _{th} |
| Windkraft (Onshore) | 1,03 kWh _{pe} /kWh _{el} | LPG-Kessel | 1,13 kWh _{pe} /kWh _{th} |

Basierend auf den Daten der Primärenergiefaktoren und der Leistungszahl (Coefficient of Performance, COP) kann der spezifische Verbrauch von Primärenergie in Bezug auf die Kühlenergie berechnet werden:

$$PEF_{K\ddot{u}hlung} = \frac{PEF_{input}}{COP}$$

Bei einem KWKK-System (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) stellt ein KWK-System die Heizenergie einer Absorptionskältemaschine zur Verfügung, die daraus Kälte erzeugt. KWKK-Systeme liefern gleichzeitig Strom und Wärme oder Kälte von einer gemeinsamen Energiequelle. Daher ist es notwendig, die Emissionen des Primärenergieverbrauchs durch eine geeignete Methodik der jeweiligen Energieform zuzuordnen, die die unterschiedlichen Wertigkeiten von elektrischer und thermischer Energie berücksichtigt. Der Primärenergiefaktor des Einsatzstoffes (PEF_{input}) wird dann den KWK-Produkten Strom und Wärme zugeordnet, die als Input-Energie für den Kühlprozess dienen. Abhängig von der gewählten Allokationsmethode und davon, welches der KWK-Produkte (Strom oder Wärmeenergie) verwendet werden soll, kann dann der Primärenergiefaktor (PEF_{KWK,x}) dem Kälteprozess zugeordnet werden. Die Bestimmung des Allokationsfaktors α für elektrische und thermische Energie wird weiter unten gesondert beschrieben.

$$PEF_{KWK,el} = \alpha_{el} \cdot PEF_{input}$$

$$PEF_{KWK,th} = \alpha_{th} \cdot PEF_{input}$$

4.3 CO₂-Emissionen

Ein zusätzliches Kriterium für die ökologische Bewertung von Kältetechnologien sind die Kohlendioxidemissionen, die durch den Betrieb der Kälteanlage verursacht werden. Wie beim Primärenergieverbrauch beschränkt sich die CO₂-Analyse auf die Energieumwandlung mit der jeweiligen Bereitstellungskette für den Energieeinsatz, jedoch ohne Berücksichtigung der Herstellung, Inbetriebnahme und Stilllegung der Kältekomponenten.

Die CO₂-Emissionen errechnen sich auf Basis der spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren ε_{CO_2} für die jeweilige Energieform indem diese durch den COP der Kältemaschine dividiert werden.

$$\varepsilon_{CO_2, K\ddot{u}hlung} = \frac{\varepsilon_{CO_2, input}}{COP}$$

Um eine einheitliche Methodik zu verwenden, beziehen sich auch die Daten für die CO₂-Emissionsfaktoren auf die GEMIS-Datenbank. Die von GEMIS bereitgestellten CO₂-Emissionsfaktoren bilden alle Treibhausgasemissionen ab, die durch die Bereitstellung einer Sekundärenergieeinheit verursacht werden, einschließlich der Bereitstellungskette (Nutzung, Transport, ...) und der Emissionen anderer klimarelevanter Verbindungen wie Methan und Lachgas. Letztere werden in CO₂-äquivalente Emissionen umgerechnet, um ihre unterschiedlichen Klimaerwärmungspotenziale widerzuspiegeln. Zu beachten ist, dass die CO₂-Emissionsfaktoren keine Kohlendioxidemissionen aus erneuerbaren Quellen enthalten, da diese als neutral im Hinblick auf die globale Erwärmung angesehen werden. Tabelle 2 zeigt die CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Bereitstellungsketten von elektrischer und thermischer Energie.

Tabelle 2: CO₂-Äquivalente aus der GEMIS-Datenbank^[4]

| Bereitstellungskette (Strom) | CO ₂ -Äquivalent | Bereitstellungskette (Wärme) | CO ₂ -Äquivalent |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Stromnetz (lokal) | 605 g/kWh _{el} | Abwärme | 0 g/kWh _{th} |
| PV | 49 g/kWh _{el} | Öl-Kessel | 319,43 g/kWh _{th} |
| Braunkohlekraftwerk | 1.008 g/kWh _{el} | Erdgas-Kessel | 249,98 g/kWh _{th} |
| Windkraft (Onshore) | 9 g/kWh _{el} | LPG-Kessel | 276,73 g/kWh _{th} |

Im Falle der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung ist es wiederum notwendig, den Ausgangsprodukten Wärme und Strom CO₂-Emissionen zuzuordnen. Dies kann nach der gleichen Methodik wie für den Primärenergiebedarf durchgeführt werden.

$$\varepsilon_{CO_2, KWK, el} = \alpha_{el} \cdot \varepsilon_{CO_2, input}$$

$$\varepsilon_{CO_2, KWK, th} = \alpha_{th} \cdot \varepsilon_{CO_2, input}$$

4.4 Allokationsfaktor

Bei der Verwendung von KWK für die Energieversorgung eines Kühlsystems müssen die CO₂-Emissionen und der Primärenergieverbrauch den Wärme- und Stromerzeugnissen entsprechend zugeordnet werden. In der Vergangenheit wurden mehrere Allokationsmethoden entwickelt, die Primärenergie und CO₂ entweder auf Basis des Anteils der bereitgestellten Energiemenge aufteilen oder eine getrennte Erzeugung von Strom und Wärme in einem definierten Referenzprozess berücksichtigen [5] [6] [7] [8].

Es ist zu beachten, dass die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme das Problem verursacht, dass eine rein auf Energie (Strom/Wärmeenergie) basierende Allokation nicht die unterschiedliche exergetische Wertigkeit widerspiegelt. Daher wird für unseren Anwendungsfall eine Allokationsmethode ausgewählt, die die KWK-Produkte nach ihrer Exergie bewertet. In diesem Zusammenhang wird Strom mit einem exergetischen Faktor von eins bewertet, während die Exergie der Wärmeauskopplung entsprechend ihrer Arbeitsfähigkeit in einem idealen Carnot-Zyklus bewertet wird. Daher sind zusätzliche Informationen über den KWK-Prozess erforderlich, z. B. die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen (T_{sf} , T_{rf}), um die obere Temperatur des Carnot-Zyklus (T_{hc}) zu berechnen, sowie die Kenntnis der Umgebungstemperatur (T_{amb}), die als untere Temperatur des Zyklus verwendet wird. Die physikalische Korrektheit dieses Ansatzes macht die exergetische Allokationsmethode zu einem geeigneten Werkzeug für die im Baukasten umgesetzte, ökologische Bewertung.

Basierend auf den Eingaben und den Daten des KWK-Prozesses wird das folgende Schema für die Berechnung der Anteile für die KWK-Produkte Strom und Wärme angewendet:

$$T_{hc} = \frac{(T_{sf} + T_{rf})}{2}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{amb}}{T_{hc}}$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{P_{fuel}}$$

$$\eta_{th} = \frac{P_{th}}{P_{fuel}}$$

$$\alpha_{el} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{el} + \eta_c \cdot \eta_{th}}$$

$$\alpha_{th} = \frac{\eta_c \cdot \eta_{th}}{\eta_{el} + \eta_c \cdot \eta_{th}}$$

Der Allokationsfaktor a kann dann wie oben beschrieben zur weiteren Berechnung des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen verwendet werden.

5 Verwendung des Technologiebaukastens

Um die Methodik zu veranschaulichen, werden zwei verschiedene Kühlszenarien berechnet, welche die gleiche Menge an elektrischer Energie und Kühlenergie liefern. In Szenario A erfolgt die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz und eine Kompressionskältemaschine wird für die Kühlung verwendet. Die Kompressionskältemaschine hat eine angenommene Leistung von 405 kW und einen COP von 3,0. In Szenario B wird der Strom durch ein Erdgas-BHKW erzeugt und die Abwärme des BHKW wird in einer Absorptionskältemaschine genutzt. Das KWK-System wird dem Stand der Technik entsprechend mit einer elektrischen Leistung von 550 kW und einer thermischen Leistung von 578 kW angenommen. Die Absorptionskältemaschine weist einen COP von 0,7 bei einer Kälteleistung von 405 kW auf. Die jährliche Nutzung beträgt 6.000 Stunden.

Die Energieversorgung soll im Szenario A aus dem deutschen Stromnetz erfolgen, weshalb die Faktoren für den Strommix in Deutschland für die Bewertung der CO₂-Emissionen und die Berechnung des Primärenergieverbrauchs herangezogen werden. Für die KWK-Anlage in Szenario B muss eine Zuteilung nach der oben dargestellten Methodik durchgeführt werden. Die folgenden Tabellen zeigen die Parameter für die Allokation und die berechneten Allokationsfaktoren. Als Eingangsbrennstoff des KWK-Systems wird Erdgas angenommen.

Tabelle 3: Eingabeparameter für die exergetische Allokation

| Parameter | |
|--------------------------|----------|
| elektrische Leistung KWK | 550 kW |
| thermische Leistung KWK | 578 kW |
| Antriebsleistung KWK | 1.291 kW |
| Vorlauftemperatur | 90 °C |
| Rücklauftemperatur | 70 °C |
| Umgebungstemperatur | 20 °C |

Tabelle 4: Kalkulierte Allokationsfaktoren

| Allokationsfaktoren | |
|---------------------|------|
| a_{el} | 0,85 |
| a_{th} | 0,15 |

Die berechneten Allokationsfaktoren für elektrische und thermische Energie werden zur Berechnung der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs für das KWKK-System in Szenario B verwendet. Im Vergleich zu Szenario A spart das Kühlsystem in Szenario B rund 200 Tonnen CO₂ pro Jahr ein, was einer Reduktion um ca. 40 Prozent entspricht. Der Primärenergieverbrauch wird um ca. 2.400 MWh/a reduziert.

Zum besseren Vergleich werden die Ergebnisse beider Kälteszenarien zur Berechnung der spezifischen

CO₂-Emissionen und des spezifischen Primärenergiefaktors für die Strom- und Kälteenergie verwendet. Szenario B mit einem KWK-System in Verbindung mit einer Absorptionskältemaschine erzielt gegenüber dem Szenario A Einsparungen bei den Emissionen sowie dem Primärenergieverbrauch und kann somit insgesamt betrachtet als energieeffizienter angesehen werden, obwohl der COP der Kälteanlage selbst niedriger ist (COP Absorptionskältemaschine 0,7, COP Kompressionskältemaschine 3,0).

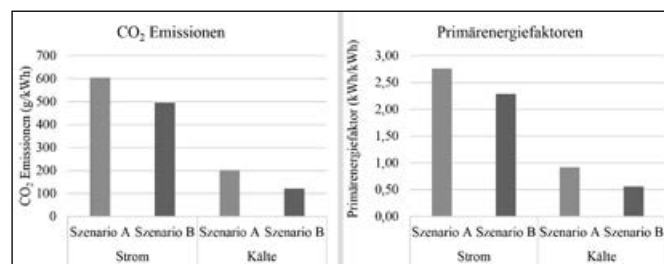


Abbildung 2: Spezifische CO₂-Emissionen und Primärenergiefaktoren für die Szenarien A und B

6 Zusammenfassung

Prozesskühlung und Klimatisierung werden in der Industrie zunehmend wichtiger. In den meisten Fällen erfolgt die Kühlung mit einer Kompressionskältemaschine. Es sind jedoch alternative Kühltechnologien auf dem Markt

verfügbar, die sich für spezifische Anwendungen im Gesamtmaßstab als effizienter erweisen können. Derzeit wird im Rahmen des Projekts „EffiCool“ ein Technologiebaukasten entwickelt, der industrielle Anwender bei der Auswahl geeigneter Kühltechnologien unterstützen soll.

Aufgrund der verschiedenen Formen der Antriebsenergie (elektrisch oder thermisch) müssen die Kältetechnologien mit standardisierten Kriterien bewertet werden. Aufgrund dessen wurde eine Methodik entwickelt, die den COP, die CO₂-Emissionen und den Primärenergieverbrauch in die Beurteilung miteinbezieht. Bei KWKK-Anlagen mit gekoppelter Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie muss eine Allokation zur korrekten Bewertung der elektrischen und thermischen Energieauskopplung vorgenommen werden. Um die verschiedenen Wertigkeiten der elektrischen und thermischen Energie mit einfließen zu lassen, wurde eine exergetische Methode gewählt.

Im Anwendungsbeispiel werden zwei Szenarien mit einer Kompressionskältemaschine und einer Absorptionskältemaschine betrachtet. Die Wärmequelle für die Absorptionskältemaschine ist ein Erdgas-BHKW. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem KWKK-System sowohl die Emissionen als auch der Primärenergieverbrauch für die Bereitstellung von Strom- und Kühlleistung reduziert werden können, obwohl der COP der Kältemaschine selbst bei Weitem niedriger ist.

Referenzen:

- [1] Koppmann M., Lechner R., Goßner T., Brautsch M.: Assessment Methodology for Efficiency, CO₂-Emissions and Primary Energy Consumption for Refrigeration Technologies in the Industry. Applied Mechanics and Materials, Vol. 882, pp. 215–220, 2018
- [2] Umweltbundesamt: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie. Dessau-Roßlau, Juli 2014
- [3] Regulation (EU) No. 517/2014 of the European parliament and of the council on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No. 842/2006
- [4] IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, GEMIS 4.95, Darmstadt, Germany
- [5] Mauch, W. et. al.: Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 55, Heft 9, 2010
- [6] VDI 4660, Bl. 2: Ermittlung zielenergiebezogener Emissionen bei der Energiewandlung. Mai 2003
- [7] Umweltbundesamt: Die Nutzung von Exergieströmen in kommunalen Strom-Wärme-Systemen zur Erreichung der CO₂-Neutralität von Kommunen bis zum Jahr 2050. Heidelberg, Oktober 2014
- [8] Institut für Energietechnik IfE GmbH: Effizienzsteigerung durch Modellkonfiguration in BHKW-Anlagen. Amberg, 2012

Projektpartner:

Siemens AG, Amberg

Institut für Energietechnik GmbH, Amberg

Fördergeber:



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



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



Matthias Koppmann, M.Eng.

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

m.koppmann@oth-aw.de



Tom Goßner, B.Eng.

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

t.gossner@oth-aw.de

Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch
Raphael Lechner, M.Sc.
Daniel Hummel, M.Sc.
Max Becker, M.Eng.
Tom Goßner, B.Eng.
Peter Stüber, B.Eng.

Aufbau eines CAE-Prozesses für die Simulation verbrennungsmotorischer KWK-Anlagen

Zusammenfassung

Zur Verifikation empirisch erlangter Erkenntnisse zum Betriebsverhalten verbrennungsmotorischer KWK-Anlagen sollen CFD-Simulationen durchgeführt werden. Dazu soll ein Arbeitsablauf konzipiert werden, der die Berechnung realer Anlagen ermöglicht. Dieser beinhaltet unter anderem die digitale Aufnahme und Aufbereitung der betrachteten Geometrie (Reverse Engineering) und die der Verbrennungskinetik. Die aus dem Reverse Engineering erhaltene Geometrie dient als Ausgangsbasis zur Erstellung der Rechengitter für die CFD-Simulation. Die errechneten verbrennungsspezifischen Größen gehen in die Gleichungen der Verbrennungsmodelle ein, die in der CFD-Simulation mit den auf Basis der Finite-Volumen-Methode diskretisierten Erhaltungsgleichungen gekoppelt gelöst werden. Beim Aufbau der CFD-Simulation liegt der Fokus derzeit auf der Implementierung und Untersuchung verschiedener Netzbewegungstechniken.

Abstract

In order to verify empirically obtained insights into the performance of internal combustion engine based combined heat and power plants, CFD simulations are to be carried out. Therefore, a workflow for the calculation of real-life plants is to be designed. The workflow comprises the digital capturing and processing of the relevant geometry (Reverse Engineering) and the characterization of combustion kinetics. The geometry obtained by Reverse Engineering is the basis for the generation of computational grids for the CFD simulation. The calculated combustion parameters are put into the equations of the combustion models that are solved coupled with the finite volume discretized conservation equations in the CFD simulation. With regards to the development of the CFD simulation, the current focus is on the implementation and investigation of different mesh movement techniques.

1 Einführung und Projektziel

Im Rahmen des Ziel-ETZ-Projekts Nr. 53 „Grenzüberschreitendes F&I Netzwerk für Energieeffizienz und Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung“ soll am Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung (KoKWK) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energietechnik (IfE) ein Workflow zur Simulation verbrennungsmotorischer KWK-Anlagen konzipiert werden. Das Ziel hierbei ist der Aufbau von Know-how im Bereich der gekoppelten Simulation von Strömungs- und Verbrennungsvorgängen in Stationärmotoren. Diese Simulationen sollen durch empirische Untersuchungen an den Motoren erlangte Erkenntnisse über Emissionsverhalten, Verbrennungsparameter und Einspritzverhalten verifizieren. Überdies sollen tiefere Einblicke in die Strömungsvorgänge und die Reaktionskinetik der Verbrennungsvorgänge erzielt werden.

Falls keine CAD-Daten der betrachteten Motoren vorliegen, gilt es im ersten Arbeitsschritt, ein CAD-Modell der Strömungskanäle im Motor zwischen Einlass- und Auslasskrümmer mithilfe von Reverse Engineering zu erzeugen. Das erzeugte Modell kann im nächsten Schritt in die CFD-Software importiert, vernetzt und dann berechnet werden. Können die Strömungsverhältnisse dargestellt werden, stellt der letzte Schritt die Implementierung der Reaktionskinetik der Verbrennung verschiedenster Kraftstoffe in das Modell dar.

Als Beispielanlage, anhand derer die Vorgehensweise entwickelt wird, fungiert ein Gas-Blockheizkraftwerk Vitobloc 200 der Firma Viessmann. In diesem BHKW ist ein 4-Zylinder-Ottomotor der Firma Toyota verbaut. Von diesem Aggregat sind keine CAD-Daten verfügbar, weshalb ein Reverse Engineering der Strömungskanäle in Zylinderkopf und Ein- beziehungsweise Auslasskrümmer

durchgeführt wird. Die für die Validierung der Simulation benötigten Druckverläufe und Motortemperaturen wurden im Betrieb aufgenommen. Des Weiteren wurden mithilfe einer Flow Bench die Durchflussbeiwerte der verbauten Ein- und Auslassventile ermittelt.

2 Reverse Engineering

Zur Digitalisierung der Motorgeometrie wird ein 3D-Laser-scanner ScanWorks V5 der Firma Perceptron verwendet. Dieser ist auf einem Messarm der Firma Hexagon verbaut, welcher vom Labor für Werkzeugmaschinen freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde. Hiermit können Oberflächen abgescannt und anschließend in digitalisierter Form in der Software Polyworks der Firma InnovMetric Software Inc. bearbeitet werden.

Der Aufbau des CAD-Modells des verbauten Motorblocks stellt den ersten Schritt des Workflows dar. Alle durchströmten Teile zwischen Ein- und Auslasskrümmer, inklusive der Kolben- und Ventilgeometrien, sollen in dem Modell dargestellt werden.

Da die komplexen, innen liegenden Freiformflächen der Strömungskanäle mit dem 3D-Scanner nicht erreicht werden können, wurden Silikonabgüsse der einzelnen Abschnitte angefertigt und anschließend eingescannt. Nach der Digitalisierung werden die Geometrien der einzelnen Teile in der Software als Polygonmodell dargestellt, wie Abbildung 1 zeigt. Diverse Fehlstellen im Modell müssen anschließend bereinigt und Oberflächen geglättet werden.

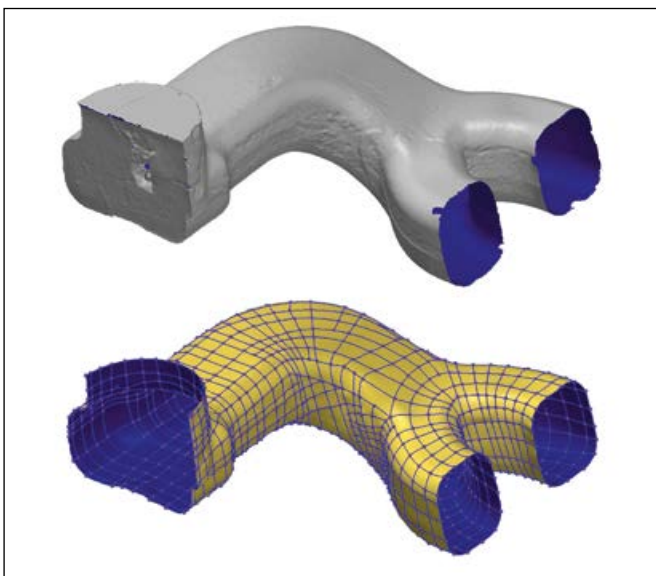


Abbildung 1: Unbearbeitetes Polygonmodell der Einlasskanäle im Krümmer und rekonstruierte NURBS-Flächen

Um die Datengröße zum Exportieren zu verringern, wird aus dem Polygonmodell ein NURBS-Modell (non-uniform rational B-spline) erzeugt, welches im Anschluss in einem herkömmlichen CAD-Programm verwendet und bearbeitet werden kann. Hierfür wird händisch ein Gitter an Kurven

über das Polygonmodell gelegt. Je komplexer die Fläche, desto enger muss das Raster zwischen den Kurven gewählt werden.

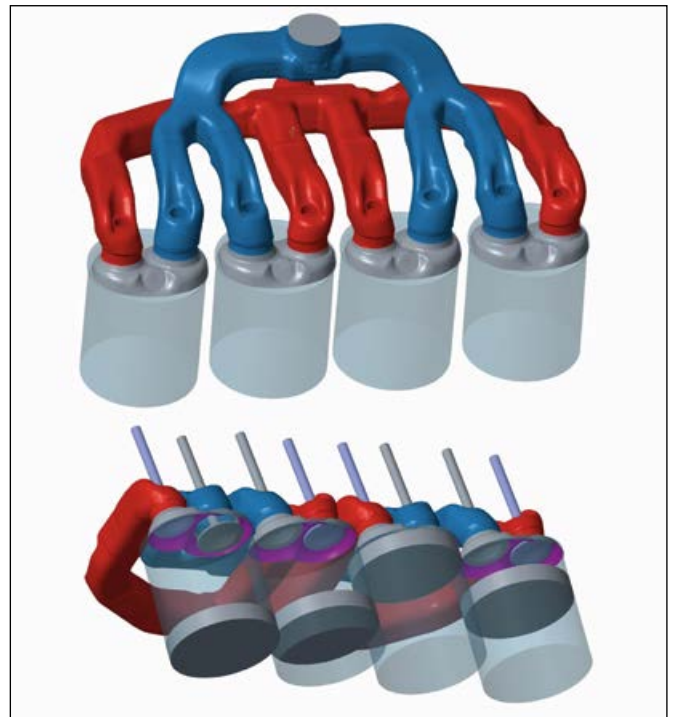


Abbildung 2: Fertiges CAD-Modell inklusive Kolben und Ventile mit Kinematik

Danach können zwischen den Kurven NURBS-Splineflächen erzeugt werden. Wird ein zufriedenstellender Grad an Genauigkeit erreicht, werden die verschiedenen Flächen zu einem gesamten NURBS-CAD-Modell zusammengeführt. Dieses kann im Anschluss exportiert und in einem gängigen CAD-Austauschformat, wie zum Beispiel im IGES- oder STEP-Format, abgespeichert werden.

Nach dem Import der Flächengeometrie in das CAD-Programm Creo Parametric 3.0 werden zunächst die Öffnungen der Strömungskanäle mithilfe von Ebenen geschlossen. Anschließend werden die verschiedenen Teile über einen sogenannten Berandungsverband zusammengefügt.

Nachdem die zunächst halbierten Modelle gespiegelt werden, können Einlass- und Auslasssystem in einer Baugruppe zueinander ausgerichtet werden. Im Anschluss wird die Geometrie der Brennraumdecke gescannt, mit den Strömungskanälen verbunden und auf die Zylindergeometrien aufgesetzt.

Im letzten Schritt werden die Geometrien der beweglichen Teile, also von Kolben sowie Ein- und Auslassventilen, digitalisiert und in das Modell eingefügt, wie Abbildung 2 zeigt.

Für den Transfer des CAD-Modells in die CFD-Software wird ein Modell im STEP-Dateiformat erstellt, welches in ein Vernetzungsprogramm geladen und dort für die Strömungssimulation vorbereitet werden kann.

3 Verbrennungskinetik

Die Berücksichtigung der chemischen Stoffumwandlung im Brennraum ist ein wichtiger Bestandteil der verbrennungstechnischen Analyse und Simulation von Motoren. Um in der CFD-Simulation die Interaktion zwischen Strömung und Verbrennung berücksichtigen zu können, stehen aus der Literatur verschiedene Verbrennungsmodelle zur Verfügung, deren Erhaltungsgleichungen gekoppelt mit den Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls, Energie und Turbulenz zu lösen sind. Für die Lösung der Gleichungen der Verbrennungsmodelle sind aus der Reaktionskinetik Aussagen über grundsätzliche Phänomene im Brennraum wie Zündung und Schadstoffbildung erforderlich.

Um den Verbrennungsvorgang möglichst treffend zu beschreiben, ist eine Berücksichtigung vieler relevanter Reaktionswege und Spezies vonnöten. Bezüglich der Einbindung der Reaktionskinetik in die CFD-Simulation wird im Rahmen dieser Arbeit im Wesentlichen zwischen zwei Ansätzen unterschieden.

Ein Ansatz zielt darauf ab, die Reaktionskinetik während der CFD-Simulation zu berechnen. Ein weiterer Ansatz, welcher Gegenstand der aktuellen Arbeiten des KoKWK darstellt, verfolgt die Strategie, die Komplexität der Reaktionsmechanismen beizubehalten, was den Vorteil präziserer Kalkulationsergebnisse verspricht.

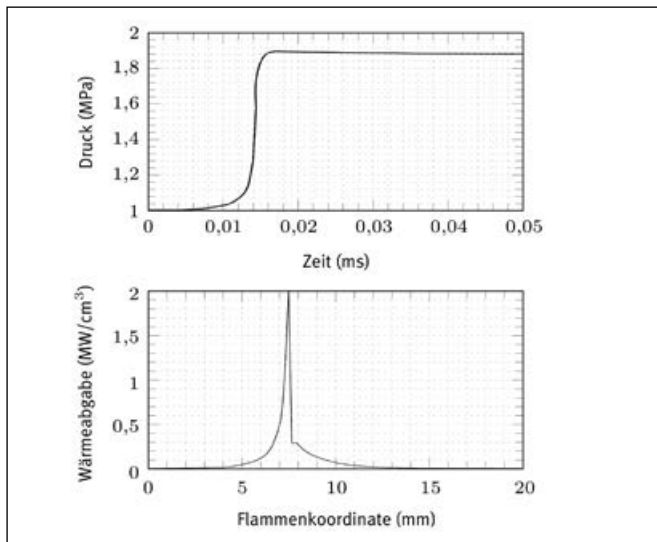


Abbildung 3: Druckverlauf und räumlicher Verlauf der Reaktion von Methan in einer stöchiometrischen Mischung mit Luft bei einem Druck von 10 bar und 1800 K

Um die Rechenzeit dennoch verkürzen zu können, wird die umfangreiche Kalkulation der reaktionskinetischen Parameter von der CFD-Simulation programmtechnisch entkoppelt, was die Berechnungen zeitlich voneinander unabhängig macht. Die Parameter werden für relevante Kraftstoffzusammensetzungen und zu erwartende Zustände im Motor (Temperatur, Druck, Verbrennungsluftverhältnis) bereits im Voraus berechnet und dann durch

die CFD-Software aus einer Nachschlagstabelle entnommen und interpoliert. Somit muss die Lösung für ein reaktionskinetisches Problem für einen bestimmten Zustand nicht für jeden Simulationsschritt neu ermittelt werden, sondern kann durch einen Bibliothekszugriff des CFD-Programmes abgerufen werden.

Zur Berechnung wird auf die frei verfügbare, in C++ programmierte Software Cantera zurückgegriffen. Diese bietet Bibliotheken zur Lösung verschiedener Probleme der Reaktionskinetik und wird in einen am KoKWK entwickelten Python-Code eingebunden.

Die Funktionsfähigkeit des eigenen Codes wird anhand von Testfällen für typische Reaktionsparameter wie den Zündverzögerung oder die laminare Flammgeschwindigkeit nachgewiesen. Die Kenngrößen lassen sich nach Festlegung eines Ausgangszustandes (Temperatur, Druck, Verbrennungsluftverhältnis) in Modellreaktoren über zeitabhängige Gaszustände, wie zum Beispiel Temperatur und Druckverlauf, ableiten. Abbildung 3 zeigt die Reaktion von Methan in einer stöchiometrischen Mischung mit Luft bei einem Druck von 10 bar und 1800 K und die daraus abgeleitete Zündverzögerung.

Das Zündereignis wird in diesem Fall als Zeitpunkt des maximalen Druckanstiegs im Modellreaktor angenommen. Als Simulationsbeispiel für eine laminare Flamme ist weiterhin die Wärmefreisetzung für die oben genannten Anfangsbedingungen über ein eindimensionales Gitter mit einem Punkteabstand von 20 mm aufgetragen.

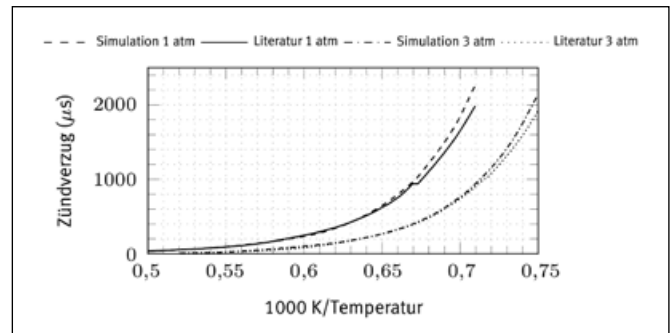


Abbildung 4: Vergleich von Literaturergebnissen mit simulierten Zündverzögerungen für ein überstöchiometrisches Methan-Luft-Gemisch bei verschiedenen Temperaturen für einfachen und dreifachen Atmosphärendruck

Erste Vergleiche mit Literaturwerten^[1] wurden bereits angestellt. Abbildung 4 zeigt eine Zusammenstellung simulierter Zündverzögerungen im Vergleich mit Literaturwerten für eine überstöchiometrische Luft-Methan-Mischung über einen Temperaturbereich von 1300 bis 2000 K bei einfachem und dreifachem Atmosphärendruck. Vor allem im höheren Temperaturbereich ab etwa 1500 K können für diese Simulation gute Übereinstimmungen mit der Literatur festgestellt werden.

Nach erfolgreicher Verifizierung und Validierung des Codes sollen verschiedene Mechanismen für die Eignung zur Einbindung in die CFD-Simulation zunächst identifiziert werden, um im Anschluss daran eine breite Datenbasis für relevante Kraftstoffe und Reaktionsbedingungen zu erarbeiten.

4 CFD-Simulation

Zur anstehenden CFD-Simulation der turbulent kompressiblen und reaktiven Strömungen in komplexen Geometrien wie Verbrennungsmotoren oder auch Einspritzdüsen sind Algorithmen zur Verarbeitung dynamischer Rechenetze mit topologisch veränderlicher Geometrie erforderlich. Im Rahmen dieses Projekts wurden Implementierungen diverser Netzbewegungstechniken in die quelltextoffene Finite-Volumen-Methode-Bibliothek OpenFOAM^{®[2]} durchgeführt und validiert.

Die ersten am KoKWK durchgeführten Simulationen motorischer Verbrennung, sowohl in der Modellierung von Selbstzündung als auch Fremdzündung, wurden auf Teilzyklen beschränkt, die es erlauben, ohne Öffnung der Ventile auszukommen (Abbildung 5).

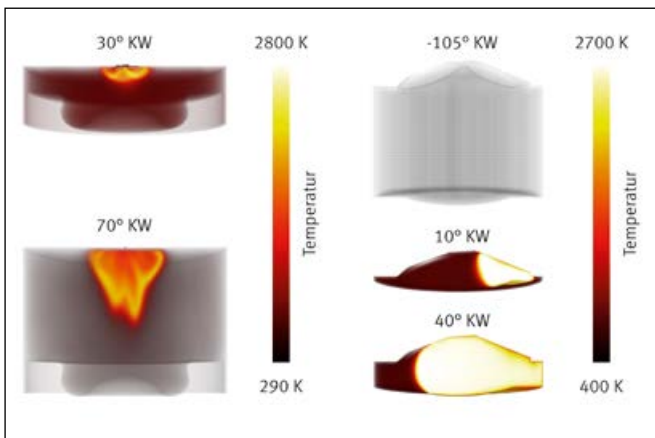


Abbildung 5: Vorläufige Simulationsergebnisse Selbstzündung und Fremdzündung

Um eine Simulation des gesamten Zyklus von 720° KW durchführen zu können, reicht es jedoch nicht, lediglich ein einziges Rechenetz heranzuziehen. Verbrennungsmotoren sind in ihrer Bewegung komplex: Kolben und Ventile bewegen sich gleichzeitig entlang unterschiedlicher Achsen mit unterschiedlichen Bewegungsgleichungen. Daher ist es nötig, die Berechnungsgitter entsprechend den geometrischen Entitäten und Bewegungsstrategien in unterschiedliche Regionen aufzuteilen.

Grenzflächenbewegung wird in der Simulation motorischer Verbrennung über die Bewegung von Kolben und Ventilen definiert. Der hierfür kritische Schritt stellt die Bewegung der inneren Netzpunkte dar. Zum einen muss sichergestellt sein, dass die äußeren Grenzen des Rechengebiets der realen Topologie entsprechen, zum anderen

muss eine hohe Qualität der Volumenelemente bezüglich Verzerrungsgrad und Orthogonalität erreicht werden, um die numerische Diffusion gering zu halten.

Daher können Teilnetze immer nur im Rahmen eigens definierter Qualitätskriterien bewegt werden. Werden diese nicht mehr erfüllt, muss eine Neuvernetzung durchgeführt werden. Diese Prozedur wird so lange wiederholt, bis der vollständige Zyklus abgedeckt ist. Die Anzahl der hierfür notwendigen Rechenetze steigt hierbei mit der Komplexität der Geometrie. Im Wesentlichen existieren zwei Strategien zur Netzbewegung, die auch in Kombination miteinander genutzt werden können.

Zum einen werden topologisch veränderliche Netze eingesetzt. Diese basieren auf der Idee, die Anzahl der Netzpunkte, Flächen und Zellen und deren Konnektivität im zeitlichen Verlauf der Bewegung zu verändern. Zu dieser Strategie gehören Techniken, wie der dynamische Netzsichtaufbau^[3]. Hierbei wird auf einzelne Reihen und Lagen an Zellen operiert. In Übereinstimmung mit der Bewegung einer sich verschiebenden Grenzfläche, wie zum Beispiel der Kolbenoberfläche, werden Zellschichten eingefügt oder entfernt, wohingegen ein Großteil der Netzpunkte statisch verharret. Diese Strategie erlaubt es, die Qualität der Zellen im Volumen über den Verlauf der Simulation konstant zu halten. Zellen werden dann hinzugefügt, wenn die Dicke einer deformierten Zellschicht einen spezifizierten Schwellwert überschreitet und entfernt, wenn eine entsprechende Untergrenze erreicht wird. Diese Technik ist relativ unkompliziert anwendbar auf die Bewegung des Kolbens (Abbildung 6).

Sobald Ventilbewegung berücksichtigt werden muss, müssen die in den Regionen unterschiedlichen Netzbewegungen über Interfaces gekoppelt werden. Da die Teilnetze an diesen Grenzflächen allerdings nicht konform sein können, beziehungsweise sich deren Konnektivität im zeitlichen Verlauf ändert, müssen dort Interpolationsmethoden zum Austausch der Flüsse eingesetzt werden.

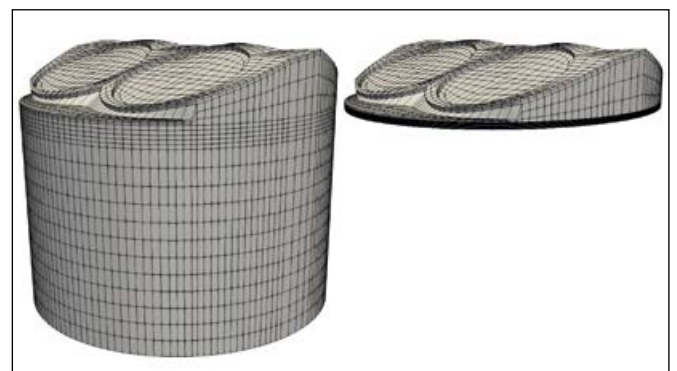


Abbildung 6: Topologieadaption Kolben

Zum anderen können Netze über Freiformdeformierung bewegt werden. Diese Strategie basiert auf automatisierter Netzdeformation ohne Topologie- und Konnektivitätsänderung. Die Berechnung der Verschiebungsvektoren

der einzelnen Netzpunkte erfolgt hierbei mittels eines Löser nach der Finite-Elemente-Methode und einer einfachen Laplace-Gleichung.

Die Qualität des verschobenen Netzes wird sichergestellt durch die Einführung eines nicht konstanten Diffusionsfeldes im Laplace-Operator. Der Diffusionskoeffizient variiert in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Zellzentrum und der entsprechend bewegten Grenzfläche ^[4]. Damit ist die Technik in Gänze automatisierbar und in keiner Form von der Komplexität der zugrunde liegenden Geometrie abhängig. Diese Art der Netzbewegung wird vor allem in der Ventilbewegung eingesetzt (Abbildung 7).

Nach aktuellem Stand der Arbeiten wurden die vorgestellten Netzbewegungstechniken in die quelltextoffene OpenFOAM® implementiert und ein Workflow erarbeitet, der zukünftig die Verarbeitung der im Reverse Engineering erzeugten Geometrien in der Simulation des kompletten Prozesses der motorischen Verbrennung erlaubt. Im weiteren Verlauf des Projekts sollen zudem verschiedene Verbrennungs- und Turbulenzmodelle untersucht werden.

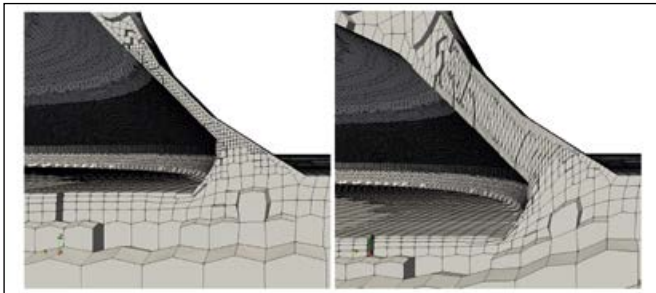


Abbildung 7: Topologieadaption Ventil

Referenzen:

- [1] Hu, E., Li, X., Meng, X., Chen, Y., Cheng, Y., Xie, Y. und Huang, Z. „Laminar flame speeds and ignition delay times of methane – air mixtures at elevated temperatures and pressures“. In: Fuel 158 (Okt. 2015), S. 1–10.
- [2] Weller, H. G., Tabor, G., Jasak, H. und Fureby, C. „A tensorial approach to computational continuum mechanics using object-oriented techniques“. In: Computers in Physics 12.6 (1998), S. 620.
- [3] Jasak, H. „Dynamic mesh handling in OpenFOAM“. In: 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition. American Institute of Aeronautics und Astronautics, Jan. 2009.
- [4] Jasak, H. und Tukovic, Z. „Automatic mesh motion for the unstructured finite volume method“. In: Preprint Elsevier Science (2004).

Fördergeber:



Europäische Union
Evropská unie
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung
Evropský fond pro
regionální rozvoj

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



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

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

m.brautsch@oth-aw.de



Raphael Lechner, M.Sc.

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

r.lechner@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



Max Becker, M.Eng.

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

ma.becker@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



Tom Gossner, B.Eng.

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

t.gossner@oth-aw.de

Auto Drive

(AutoDrive, Projekt-Nr. 737469)

Zusammenfassung

Die individuelle Mobilität befindet sich derzeit in einem Umbruch, um den künftigen Herausforderungen gewachsen zu sein. Das autonome Fahren könnte in der Mobilität der Zukunft eine wichtige Rolle spielen, da es eine effiziente und unfallarme Transportform darstellen könnte. Jedoch besteht in der (deutschen) Bevölkerung viel Misstrauen bezüglich der Sicherheit vor „Hackerangriffen“. In diesem Bericht werden daher verschiedene Bedrohungsszenarien im Zusammenhang mit dem autonomen Fahren mitsamt ihren Gegenmaßnahmen skizziert. Dabei werden Angriffe auf die interne und externe Kommunikation der Fahrzeuge, auf ihre Sensoren und ihr Entscheidungszentrum vorgestellt. Die Berücksichtigung dieser Angriffsmöglichkeiten ist notwendig, um die *Security by Design* autonomer Fahrzeuge zu gewährleisten.

Abstract

Individual mobility is currently undergoing a change to meet future challenges. Autonomous driving could play an important role in the mobility of the future as it could provide an efficient and low-accident form of transport. However, in the (German) population there is much mistrust regarding the security against “hacker attacks”. This report therefore outlines various threat scenarios related to autonomous driving and its countermeasures. Attacks on the internal and external communication of the vehicles, their sensors and their decision making center are presented. The consideration of these attack options is necessary to ensure the *security by design* of autonomous vehicles.

1 Einleitung

Die individuelle Mobilität und der damit verbundene öffentliche Personennahverkehr befinden sich in einem Transformationsprozess. Ein Auslöser dieses Prozesses besteht in den gesellschaftlichen und ökologischen Herausforderungen, mit denen das gegenwärtige Verkehrssystem zu kämpfen hat. Dies macht sich beispielsweise im urbanen Raum mit verstopften Straßen, Staus, verpesteter Luft (Feinstaub, Smog) und Parkplatzmangel bemerkbar. In den ländlichen Gebieten, in denen Menschen ohne Zugriff auf ein (eigenes) Fahrzeug nur äußerst eingeschränkte Mobilitätsoptionen haben, besteht die Herausforderung darin, die zunehmend ältere Bevölkerung, aber auch die Pendler sicher, zuverlässig und komfortabel zu ihren Zielen zu bringen. Ferner stellt der technologische Fortschritt, wie zum Beispiel leistungsfähigere Computer, leistungsfähigere Telekommunikationsnetze und -systeme, Fortschritte in der künstlichen

Intelligenz sowie zunehmende Assistenzfunktionen von Fahrzeugen, einen weiteren Auslöser dieser Transformation dar.

Obwohl es unstrittig ist, dass das Verkehrssystem sich wandelt bzw. wandeln wird, ist es gegenwärtig noch unklar, wie das Verkehrssystem der Zukunft genau aussehen wird (beispielsweise ^[1], ^[2]). Eine wichtige Komponente in einem Verkehrssystem der Zukunft könnten autonom fahrende Fahrzeuge darstellen ^[1], da diese viel zu der Lösung der obigen Probleme beitragen können: Man erhofft sich von ihnen eine Erhöhung der Verkehrssicherheit, da man typischerweise davon ausgeht, dass ca. 90 Prozent der Verkehrsunfälle durch menschliche Fehler verursacht werden ^[3]. Beispielsweise sank die Zahl der Verkehrstoten innerhalb der Europäischen Union von 54.900 im Jahr 2001 auf 25.300 im Jahr 2017 ^[4] unter anderem durch den Einsatz von Fahrassistenzsystemen. Man verspricht sich daher durch die

weitere Automatisierung des Fahrens einen wichtigen Beitrag zur Erreichung des Ziels, dass im Jahr 2050 niemand durch einen Verkehrsunfall in der EU stirbt (Vision 0). Da das autonome Fahrzeug (im Idealfall) keinen Fahrer benötigt, kann es auch von Menschen benutzt werden, die kein Fahrzeug (mehr) führen können oder dürfen (beispielsweise Kinder, Jugendliche, Senioren), und der bisherige Fahrer wird zum Passagier und kann dadurch die Fahrtzeit für etwas anderes nutzen (z. B. Arbeiten, Lesen, Musikhören, Entspannen usw.). Das autonom fahrende Fahrzeug kann sich eigenständig, nachdem es seinen Besitzer bzw. Gast an sein Ziel gebracht hat, einen (entfernten) Parkplatz suchen oder andere Menschen befördern, sodass weniger Fahrzeuge benötigt werden. Durch die Verbindung dieser Fahrzeuge untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur wäre es ferner möglich, ein intelligentes Verkehrsmanagementsystem zu betreiben, sodass Staus vermieden werden können.

Jedoch gibt es für die Realisierung autonom fahrender Fahrzeuge verschiedene Hürden zu überwinden: die technische Realisierung, die rechtliche (und moralische) Regulierung, der Aufbau der dafür notwendigen Infrastruktur und die Akzeptanz des autonomen Fahrens bei hinreichend vielen Menschen. Während die Autobauer und ihre Zulieferer viel Energie in die Entwicklung der Automatisierung des Fahrens investieren, einige Staaten rechtliche Weichen für das autonome Fahren stellen und auch entsprechende Investitionen in die Infrastruktur tätigen, hinkt die Akzeptanz in der Bevölkerung der wohlhabenden Länder hinterher^{[5], [6]}. Beispielsweise haben in einer Befragung aus dem Jahr 2017 in Deutschland 67 Prozent angegeben, dass sie gegenüber automatisiertem Fahren misstrauisch sind, während nur 27 Prozent diesem mit Begeisterung gegenüberstehen (5 Prozent keine Angabe)^[7]. In einer anderen Umfrage haben 35 Prozent der deutschen Teilnehmer angegeben, dass sie kein autonom fahrendes Auto benutzen würden, während im Vergleich mit allen Umfrageteilnehmern („Welt“) nur 16 Prozent es nicht benutzen würden^[6].

Tabelle 1: Gründe für das Misstrauen in Deutschland gegenüber dem autonomen Fahren

| Grund | Bertelsmann 2017 ^[7] | bitkom 2017 ^[8] | bitkom 2018 ^[9] |
|--|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Angst vor technischen Problemen, Unfällen | 84 % | 63 % | 68 % |
| Angst vor Hackern | 74 % | 61 % | 63 % |
| Angst vor Datennutzung durch Dritte (Verlust von Privatsphäre) | 55 % (56 %) | 52 % | 52 % |
| Spaß am Selbstfahren | 62 % | 30 % | 37 % |
| Kontrollverlust über das eigene Auto | 83 % | | |

| Grund | Bertelsmann 2017 ^[7] | bitkom 2017 ^[8] | bitkom 2018 ^[9] |
|--|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Angst vor Navigationsfehler | 48 % | | |
| Technikmisstrauen in Gefahrensituationen | | 30 % | 32 % |
| Unklare Rechtslage | | | 52 % |
| Investitionen in Infrastruktur | | | 42 % |
| generell wenig Vertrauen in Technik | | 24 % | |
| zu teuer | | 43 % | 35 % |
| keine Angabe bzw. keine Gründe | 2 % | 11 % | 9 % |

In Tabelle 1 sind einige Gründe für das Misstrauen in Deutschland gegenüber dem autonomen Fahren aus verschiedenen aktuellen Umfragen^{[7], [8], [9]} in ähnliche Kategorien, wo möglich, zusammengefasst. Daraus kann man entnehmen, dass das Misstrauen vor allem in der Frage nach der Sicherheit des autonomen Fahrens begründet liegt. Die Hauptsorge betrifft mit je nach Umfrage zwischen 63 Prozent und 84 Prozent der Teilnehmer dabei die *Safety*, also die Sicherheit, die das ordnungsgemäße Funktionieren des Fahrzeugs, auch bei (nicht beabsichtigten) äußeren und inneren Störungen – dies umfasst auch die Unfallprävention, sicherstellen soll. Dicht gefolgt wird sie mit Werten zwischen 61 Prozent bis 74 Prozent bzw. 52 Prozent bis 56 Prozent von der Sorge um die *Security*, also die Sicherheit, die das autonome Fahrzeug, die Passagiere und ihre Daten vor gezielten Angriffen schützen soll. Auch internationale Organisationen, wie beispielsweise das International Transport Forum, teilen die Zweifel der Befragten, ob das autonome Fahren den Straßenverkehr wirklich sicherer machen wird^[10].

Für den Erfolg des autonomen Fahrens ist es daher unerlässlich, dass sichergestellt wird, dass die automatisiert fahrenden Fahrzeuge möglichst sicher, d. h. *safe* und *secure*, sind. Während die Autobauer in der Vergangenheit bereits viel Erfahrung in der Konstruktion von sicheren Fahrzeugen hinsichtlich ihrer *safety* gesammelt haben, was sich auch in entsprechenden Normen wie ISO 26262 und in der Reduktion der Verkehrstoten ausdrückt, fehlt ihnen vergleichbare Erfahrungen bezüglich der *Security*, was sich im Fehlen von entsprechenden Normen (ISO/SAE AWI 21434 befindet sich derzeit noch in der Entwicklung, SAE J3061 ist nur eine Empfehlung) und in den bisherigen *Security*-Vorfällen von vernetzten Fahrzeugen gezeigt hat^[11]. Vereinfachend haben die Autobauer ihre traditionellen Fahrzeuge um neue Funktionen und Komponenten, z. B. für den Zugriff auf das Internet, erweitert, ohne jedoch das grundlegende Fahrzeugdesign entsprechend anzupassen. Zwar hat man *Security*-Maßnahmen getroffen, jedoch weisen diese Fahrzeuge unnötige *Security*-

Schwachstellen aufgrund des bezüglich der *Security* suboptimalen Designs auf. In den autonomen Fahrzeugen wird es daher notwendig sein, eine *Security by Design* zu gewährleisten, um eine möglichst geringe Angriffsfläche zu bieten.

Für die Reduktion der Angriffsfläche beim *Security by Design* ist es erforderlich, eine Bedrohungsanalyse des Systems durchzuführen, um mögliche Schwachstellen bzw. Angriffe zu antizipieren. In diesem Beitrag soll daher ein Überblick über mögliche Angriffe auf autonome Fahrzeuge gegeben werden. Dabei hat dieser Überblick weder den Anspruch, die möglichen Angriffsszenarien und Sicherheitsprobleme erschöpfend zu benennen oder zu besprechen, noch kann hier auf die entsprechenden (technische) Details eingegangen werden. Gleichwohl können die hier skizzierten Angriffsszenarien einen Eindruck von den Sicherheitsherausforderungen beim autonomen Fahren geben, um die Bedeutung der *Security by Design* zu verdeutlichen.

Der Aufbau des Beitrages gliedert sich folgendermaßen: Im zweiten Abschnitt wird der Begriff des autonomen Fahrens präzisiert und es wird eine Klassifikation bezüglich des automatisierten Fahrens vorgestellt. Darauf aufbauend werden im dritten Kapitel die Komponenten, die für das autonome Fahren erforderlich sind, vorgestellt, da diese eine potenzielle Angriffsfläche bilden. Im vierten Abschnitt werden Angriffsszenarien auf einige dieser Komponenten betrachtet und prinzipielle Maßnahmen zur Absicherung besprochen. Mit einer kurzen Zusammenfassung schließt dieser Beitrag.

2 Klassifikation des automatisierten Fahrens

Die Organisation SAE International nimmt in dem Standard J 3016^[12] eine Klassifizierung und Definition des automatisierten Fahrens vor. Sie unterscheiden zwischen sechs Stufen des automatisierten Fahrens:

- Level 0 (keine Automatisierung): Das Fahrzeug verfügt über keine Systeme zum automatisierten Fahren. Der Fahrer alleine ist für die Führung des Fahrzeuges

verantwortlich, d. h. für die Längsführung (Geschwindigkeit halten, Beschleunigen, Abbremsen) und für die Querrführung (Lenken). Er ist ferner verantwortlich für die Überwachung der Umgebung und des Fahrzeuges. Das Fahrzeug kann über aktive Sicherheitssysteme wie ABS, ESP verfügen.

- Level 1 (assistiertes Fahren): Das System übernimmt eine Führungsaufgabe beim Fahren, d. h. entweder Längs- oder Querrführung, jedoch nicht beide. Der Fahrer ist für die restliche Führung des Fahrzeuges verantwortlich.
- Level 2 (teilautomatisiertes Fahren): Das System übernimmt sowohl die Längs- als auch die Querrführung. Der Fahrer hat weiterhin die Umgebung und das Fahrzeug zu überwachen und muss dazu in der Lage sein, bei Problemen die Fahrzeugführung wieder zu übernehmen.
- Level 3 (bedingt automatisiertes Fahren): Das System ist in bestimmten Situationen in der Lage, die Fahrzeugführung (Längs- und Querrführung) und die Überwachung der Umgebung zu übernehmen. Während das System im Einsatz ist, ist kein Fahrer notwendig, jedoch muss eine Person in der Lage sein, wenn das System Probleme hat oder es das Einsatzgebiet, für das es ausgelegt ist, verlassen hat, nach einer hinreichend langer Verzögerungszeit das Fahrzeug zu übernehmen.
- Level 4 (hochautomatisiertes Fahren): Das System ist wie in Level 3 in der Lage, in bestimmten Situationen die Fahrzeugführung und die Überwachung der Umgebung zu übernehmen. Wie beim Level 3 kann das System bei Problemen oder beim Verlassen des Einsatzgebietes einen Nutzer auffordern, die Fahraufgabe zu übernehmen. Im Gegensatz zu Level 3 ist das System in der Lage, falls der Nutzer nicht reagiert, weiterhin in einem alternativen Sicherheitsmodus zu operieren.
- Level 5 (vollautomatisiertes Fahren): Im Unterschied zum Level 4 ist das System in allen Situationen, in denen auch ein Mensch ein Auto kontrollieren könnte (Umweltbedingungen, alle Straßentypen, alle Geschwindigkeiten, alle Umgebungen), in der Lage, die ganze Fahraufgabe selbstständig auszuführen.

Tabelle 2: Level des automatisierten Fahrens nach SAE J 3016^[12]

| Level | Name | Fahrzeugführung | Überwachung der Umgebung und des Fahrzeuges | Rückfalllösung | Umfang des Einsatzgebietes |
|-------|--------------------------------|-------------------|---|----------------|----------------------------|
| 0 | keine Automatisierung | Fahrer | Fahrer | Fahrer | / |
| 1 | assistiertes Fahren | System und Fahrer | Fahrer | Fahrer | begrenzt |
| 2 | teilautomatisiertes Fahren | System | Fahrer | Fahrer | begrenzt |
| 3 | bedingt automatisiertes Fahren | System | System | Fahrer | begrenzt |
| 4 | hochautomatisiertes Fahren | System | System | System | begrenzt |
| 5 | vollautomatisiertes Fahren | System | System | System | unbegrenzt |

In Tabelle 2 sind die Unterschiede der verschiedenen Levels als Überblick zusammengefasst. Es ist anzumerken, dass es auch auf den Leveln 1 bis 3 eine Art sicheres Notstoppsystem geben kann, welches nicht als Rückfallsystem gilt. Es ist ferner auch möglich, dass ein Fahrzeug über Systeme verschiedener Level verfügen kann. SAE J 3016 ist gegenüber der Rede vom „autonomen Fahren“ kritisch eingestellt, da dieser Begriff unpräzise und unzutreffend sein kann. Hier wird unter „autonomen Fahren“ die SAE-Level 4 und 5 verstanden.

3 Das autonom fahrende Auto im Überblick

In Abbildung 1 sind einige der Komponenten eines Fahrzeuges, das für das autonome Fahren ausgelegt ist, zu sehen. Wie bisherige Autos wird es einen Motor bzw. Antriebssystem, ein System zur Energieversorgung und zur Energieverteilung benötigen. Obwohl Bedienelemente für die Fahrzeugsteuerung durch Menschen, wie zum Beispiel Lenkrad oder Bremse, unnötig sein werden, wird es weiterhin über eine Form von Steuerelementen bzw. Aktuatoren verfügen. Durch ein Informations- und Entertainmentsystem (kurz Infotainmentsystem) erhält der Nutzer Zugriff auf verschiedene Dienste, wie zum Beispiel Internetzugang, Radio oder Navigationsdaten. Das Fahrzeug braucht eine große Anzahl an Sensoren für unterschiedliche Zwecke, z. B. für die Überwachung des Fahrzeugzustandes (Geschwindigkeitsmessung), für die Bestimmung der Position (z. B. GPS), für die Erkennung der Umgebung (z. B. Kameras, RADAR, LIDAR, Ultraschall) und für die Kommunikation nach außen (z. B. 4G, 5G). Neben den Sensoren für die Positionsbestimmung benötigt es auch äußerst präzise Karten und ein System für die Erstellung und das Modifizieren von Umgebungsmodellen bzw. Karten. Das Fahrzeug verfügt darüber hinaus auch über ein Entscheidungszentrum, welches dafür verantwortlich ist, die für das Fahren relevanten Entscheidungen zu treffen, z. B. die Wahl der Fahrtroute, die Klassifikation der detektierten Objekte oder die Fahrzeugführung.

Ferner besitzt das Fahrzeug externe und interne Kommunikationssysteme und -netze. Die interne Kommunikation (z. B. CAN) regelt die Kommunikation der verschiedenen Komponenten des Fahrzeuges. Beispielsweise werden über das interne Netzwerk Nachrichten von den Sensoren zu dem Entscheidungszentrum geschickt, wo diese verarbeitet werden. Das Entscheidungszentrum wiederum schickt Anweisungen an die Aktuatoren für die Fahrzeugsteuerung. Das externe Kommunikationssystem dient zur Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmern oder anderen Strukturen. Die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen (Car-to-Car bzw. C2C oder Vehicle-to-Vehicle bzw. V2V) verfolgt das Ziel, Informationen über Gefahren, Verkehrshindernisse, die Routenführung miteinander auszutauschen, um die Fahrt sicherer und effizienter zu machen. Des Weiteren kann das Fahrzeug mit Infrastruktursystemen (Car-to-Infrastructure bzw. C2I oder Vehicle-

to-Roadside bzw. V2R), wie z. B. Ampeln, Verkehrsleitsystemen oder Mautstellen, kommunizieren. Weitere Kommunikationspartner können kommerzielle Unternehmen (Car-to-Enterprise bzw. C2E), wie beispielsweise Parkhäuser, Tankstellen, Autowerkstätten, das eigene smarte Zuhause (Car-to-Home bzw. C2H), z. B. um rechtzeitig vor der Ankunft das Haus zu heizen oder um von dort Daten (z. B. Musik, Routen) zu erhalten, oder die Cloud (Vehicle-to-Cloud bzw. V2C), um beispielsweise Updates für das Fahrzeug oder die Karten zu beziehen, sein.

Darüber hinaus besitzt das Fahrzeug noch viele weitere Komponenten wie Räder, Sitze, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. Alle aufgezählten Komponenten können dabei Ausgangs- bzw. Zielpunkte für Angriffe auf das Fahrzeug darstellen, d. h., sie bilden die Angriffsfläche von autonom fahrenden Fahrzeugen. Diese Komponenten müssen daher auf potenzielle Angriffswege untersucht werden, um sie dagegen absichern zu können.

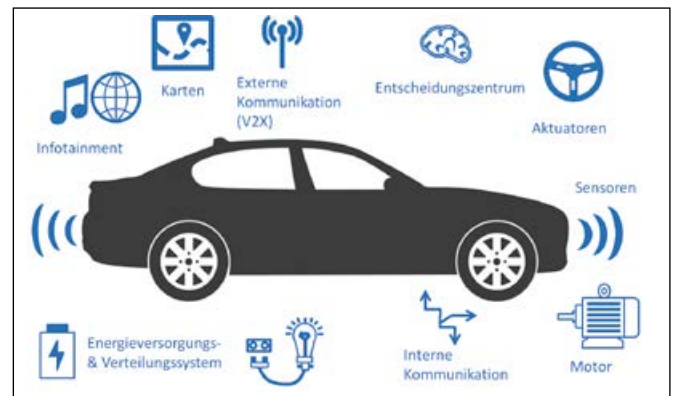


Abbildung 1: Überblick über ein autonomes Fahrzeug

4 Angriffsszenarien beim autonomen Fahren

In diesem Abschnitt werden exemplarisch einige generische potenzielle Angriffe auf verschiedene Komponenten eines Fahrzeuges, das für das autonome Fahren geeignet ist, vorgestellt und mögliche Gegenmaßnahmen skizziert.

4.1 Angriffe gegen und über die interne Kommunikation

Die bisherigen Angriffe gegen vernetzte Fahrzeuge führten über die interne Kommunikation^{[11], [13], [14]} und könnten auch auf zukünftige Fahrzeuge angewandt werden. Der erste Schritt besteht darin, Zugriff auf das interne Kommunikationsnetzwerk (vor allem den High-Speed-CAN-Bus) zu bekommen. Zugriff auf die interne Kommunikation kann man auf verschiedene Arten erhalten: Wenn man physikalischen Zugriff auf das Auto hat, kann man beispielsweise den diagnostischen Port des Autos (OBD 2) verwenden. Eine weitere Möglichkeit wäre auch das Einbringen einer elektronischen Komponente in das Fahrzeug, das an das interne Netz angeschlossen wird. Dafür kämen beispielsweise der Hersteller, die

Zulieferer des Fahrzeugs, aber auch Werkstätten in Betracht. Es ist aber auch möglich, Zugriff auf das interne Netzwerk aus der Ferne zu erlangen. Dafür muss man jedoch den Umweg über andere Komponenten, wie das Infotainment (Internet, WLAN, Bluetooth), oder die externe Kommunikation gehen, sofern sie mit dem inneren Netz verbunden sind.

Wenn man nun Zugriff auf das interne Netzwerk hat, dann ermöglicht dies im zweiten Schritt verschiedene Angriffe. Am verheerendsten ist es, wenn der Angreifer sowohl lesenden als auch schreibenden Zugriff auf das Netzwerk hat, d. h., wenn er sowohl die gesendeten Nachrichten im Netzwerk lesen als auch Nachrichten senden kann, denn das eröffnet ihm verschiedene Wege: Mittels Reverse Engineering wäre es ihm möglich, herauszufinden, welche Nachrichten welche Bedeutung haben, sofern er dies noch nicht weiß. Wenn er dies nun weiß, dann kann er gezielte Nachrichten versenden, um das Fahrzeug in seinem Sinne zu beeinflussen. Er könnte beispielsweise die Türen öffnen oder bremsen. Damit hätte er prinzipiell volle Kontrolle über das Fahrzeug. Selbst ohne Reverse Engineering könnte der Angreifer einen Denial-of-Service-Angriff starten, d. h., er sendet viele willkürliche Nachrichten in das Netzwerk, sodass dieses überlastet wird und das Fahrzeug nicht mehr ordentlich funktioniert. Vergleichsweise harmlos könnte er auch einfach nur der Kommunikation lauschen und dadurch Informationen über den Zustand des Fahrzeuges erhalten. Wenn er nur eingeschränkten Zugriff hat, dann sind seine Angriffsmöglichkeiten entsprechend limitiert.

Um die interne Kommunikation abzusichern, sind verschiedene Maßnahmen möglich. Eine Abwehrmaßnahme besteht darin, die Möglichkeiten des Zugriffs zu reduzieren, indem man beispielsweise die verschiedenen Komponenten besser voneinander separiert^[11], sodass beispielsweise der Zugriff auf das Infotainmentsystem nicht mehr ausreichend ist, um Nachrichten an Aktuatoren zu senden. Eine weitere Möglichkeit ist es, die Kommunikation im internen Netzwerk zu verschlüsseln, sodass man dieser Kommunikation nicht mehr so ohne Weiteres belauschen kann und somit das Reverse Engineering erschwert. Ferner kann man die Sicherheit durch die Verwendung eines Authentifikations-, Identifikations- und Rechtesystems erhöhen, um zu kontrollieren, dass nur autorisierte Komponenten bestimmte Nachrichten an andere Komponenten schicken können.

4.2 Angriffe gegen die externe Kommunikation von Fahrzeugen

Innerhalb eines Netzwerkes von verbundenen Fahrzeugen sind viele Bedrohungen möglich. Es wird aktuell viel bezüglich der externen Kommunikation von vernetzten Fahrzeugen geforscht und entsprechend viele Angriffe benannt sowie verschiedene Gegenmaßnahmen vorgeschlagen. Es wird sich daher an dieser Stelle nur auf eine

Auswahl von Angriffen beschränkt. Mehr Informationen sind beispielsweise in^{[15], [16], [17]} zu finden.

Bei einem Lauschangriff verhält sich der Angreifer wie ein Spion und hört nur die Netzwerkkommunikation ab, um dadurch an sensible oder private Informationen zu gelangen. Ein Lauschangriff ist nur schwer zu entdecken, da dieser sich rein passiv durchführen lässt. Er kann sowohl von einem Teilnehmer des Netzwerkes als auch von außerhalb durchgeführt werden. Auch das Versenden von „Fake News“, also falschen Informationen, kann von innerhalb und außerhalb durchgeführt werden. Beispielsweise könnte der Angreifer die Information versenden, dass auf einer bestimmten Straße Stau herrscht, sodass die Empfänger der Nachricht eine andere Route wählen und somit der Angreifer schneller durch den Verkehr kommt.

Eine ganze Klasse von Angriffen besteht darin, Nachrichten zu verzögern oder überhaupt nicht durch das Netzwerk weiterzuleiten. Bei einer Black-Hole-Attacke leitet der Angreifer keine erhaltene Nachricht weiter oder leitet die Nachrichten nach nirgendwo weiter. Damit kann der Angreifer die Informationsausbreitung im Netzwerk behindern, sodass beispielsweise Warnungen nicht mehr ihr Ziel erreichen. Eine Gray-Hole-Attacke ist eine abgeschwächte Form der Black-Hole-Attacke, indem nicht mehr alle eingehenden Nachrichten verworfen werden, sondern nur noch einige. Beispielsweise könnte man darauf verzichten, alle Unfallwarnungen oder die Nachrichten eines bestimmten Fahrzeuges weiterzuleiten. Bei einem Verzögerungsangriff werden Nachrichten nicht mehr verworfen, sondern ihre Weiterleitung wird verzögert, sodass die Information nutzlos werden kann. Die verzögerte Weiterleitung einer Bremswarnung zum Beispiel könnte in einem Auffahrunfall enden.

Ferner könnte ein Angreifer mittels Verwendung fremder Identitäten sich verschiedene Vorteile verschaffen. Er könnte eine fremde Identität oder gefälschte Identität als eine Maske verwenden, um sich Rechte anzueignen. Beispielsweise könnte er sich so als ein Rettungsfahrzeug ausgeben, um seine Fahrt zu beschleunigen. Eine fremde Identität könnte auch dazu benutzt werden, um bei der Durchführung von unehrlichem Verhalten nicht sich selbst zu schaden, sondern den Ruf dieser Identität zu schaden. Dadurch kann der Angreifer auch seine eigene Identität verheimlichen. Ferner könnte er damit selbstverständlich auch die fremde Identität gezielt diskreditieren. Wenn der Angreifer die Identität eines anderen Teilnehmers des Netzwerkes benutzt, könnte er auf diese Weise auch Verwirrung stiften. Beispielsweise wäre es für dritte Teilnehmer unklar, wo sich diese Identität aufhält. Eine besondere Angriffsform stellt der Sybil-Angriff dar. Dabei verwendet der Angreifer mehrere Identitäten, auch gestohlene oder kontrollierte (Botnetze), um einen gemeinsamen Angriff zu starten.

Denial-of-Service-Angriffe zielen darauf ab, die Netzwerkressourcen auszulasten, um somit das ordnungsgemäße Funktionieren des Netzwerkes zu beeinträchtigen. Beispielsweise könnte ein Angreifer möglichst viele willkürliche Nachrichten versenden. Eine Spezialform ist der Distributed-Denial-of-Service-Angriff, bei dem mehrere Angreifer einen gemeinsamen Denial-of-Service-Angriff ausführen. Mehrere Angreifer können sich auch in einer Koalitionsattacke verbünden, um ehrliche Teilnehmer gemeinsam anzugreifen. Sie können beispielsweise ein Fahrzeug gezielt mit Fehlinformationen bombardieren, um es in seiner Handlungsfähigkeit einzuschränken.

Für die Absicherung der externen Kommunikation können ähnliche Maßnahmen wie bei der internen Kommunikation getroffen werden. Beispielsweise kann eine Verschlüsselung der Kommunikation gegen Angriffe von außen (Lauschangriffe, Versenden von falschen Informationen) schützen. Ein Authentifikations-, Identifikations- und Rechtesystem erschweren das Fälschen von Identifikationen und das Aneignen von zusätzlichen Rechten. Dies muss noch um Maßnahmen zur Sicherung der Identität ergänzt werden, damit es einem Angreifer schwerfällt, Identitäten zu stehlen. Darüber hinaus wird ein Trust-Management-System benötigt, das ehrliches Verhalten belohnt und unehrliches Verhalten bestraft. Dadurch wäre es zum Beispiel möglich, Verzögerungsangriffe zu bestrafen mit der Folge, dass das bestrafte Fahrzeug nicht mehr bei der Weiterleitung sicherheitsrelevanter Informationen berücksichtigt wird.

4.3 Angriffe gegen die Sensoren

Da die Sensoren beim autonomen Fahren die wichtige Aufgabe haben, die Umgebung wahrzunehmen, sind sie ein interessantes Angriffsziel. Erleichternd kommt für einen Angreifer hinzu, dass die Sensoren (Kamera, RADAR, LIDAR, Ultraschall), die für die Detektion von Objekten zuständig sind, um möglichst effizient zu sein, relativ leicht von außen zugänglich sind. Ein möglicher Angriff besteht darin, sie einfach zu zerstören (oder zu deaktivieren), was jedoch nicht sehr unauffällig ist. Etwas unauffälliger ist es, die Sensoren teilweise oder komplett unnütz zu machen. Beispielsweise könnte man eine Kamera zukleben, sodass sie keine sinnvollen Informationen mehr liefert. Ferner könnte man die Sensoren stören, indem man ihre Detektionsprinzipien mit Daten überflutet. Beispielsweise könnte man in der Nacht eine Kamera mit intensivem Licht blenden. Mit diesen Angriffen ist jedoch nur beschränkt möglich, gezielt Einfluss zu nehmen. Dies ist jedoch möglich, indem man die Sensoren mit gezielten falschen Informationen füttert. Beispielsweise werden beim RADAR elektromagnetische Wellen mit bestimmten Eigenschaften (Frequenz, Phase) vom RADAR-Sensor ausgesandt und ihre Reflexionen an Objekten später detektiert. Ein Angreifer könnte nun, wenn er die Eigenschaften der Wellen kennt, solche gezielt senden, sodass das RADAR ein Objekt, wo gar keines ist, oder ein Objekt

mit anderen Eigenschaften (z. B. Größe, Entfernung) detektieren würde.

Gegenmaßnahmen gegen Angriffe auf Sensoren sind nur eingeschränkt möglich. Sie zielen primär darauf ab, den Schaden zu begrenzen. Eine Möglichkeit besteht darin, gezielte Redundanzen zu verwenden, d. h., man verwendet mehrere Sensoren und Sensoren von verschiedenem Typ, um das Gleiche zu detektieren. Dadurch kann der Ausfall eines Sensors oder das Ausschalten eines Detektionsprinzips kompensiert werden. Ferner sind Maßnahmen zur Überwachung der Sensoren zu treffen, sodass erkannt werden kann, wenn Sensoren keine Daten, keine nützlichen oder inkorrekte Daten liefern. Des Weiteren können die Karten und die externe Kommunikation bei Sensorproblemen nützlich sein, weiterhin sicher zu operieren. Beispielsweise könnte ein Fahrzeug mittels der Kommunikation mit anderen Fahrzeugen von diesen sich entsprechende Sensordaten schicken lassen. Dies setzt jedoch eine sichere Kommunikation voraus.

4.4 Angriffe gegen die Karten bzw. die Navigation

Eine weitere Möglichkeit, die Funktionalität eines autonom fahrenden Autos zu beeinträchtigen, besteht darin, die Navigationsfähigkeit einzuschränken oder zu deaktivieren. Eine Möglichkeit bestünde darin, das Fahrzeug daran zu hindern, den eigenen Standort zu bestimmen, indem man beispielsweise das GPS-Signal blockt. Dies ist jedoch nicht einfach zu bewerkstelligen, da das Fahrzeug verschiedene Optionen hat, seinen Standort zu bestimmen: Es bestimmt mithilfe eines Satellitensignals seinen groben Standort und präzisiert diesen mittels seiner internen Karten und seiner Sensoren. Ferner kann es durch seinen Speicher auf seinen zuletzt gespeicherten Standort zurückgreifen. Weitere Lokalisierungsmöglichkeiten ergeben sich in der Verwendung der externen Kommunikation mit anderen Fahrzeugen oder der Infrastruktur.

Erfolgversprechender wäre es, die internen Karten zu manipulieren. Dies wäre beispielsweise bei einem Update der Karten möglich. Durch manipulierte Karten wäre es dann möglich, die Routenwahl des Fahrzeugs zu manipulieren, dem Nutzer manipulierte Points of Interest, z. B. Hotels, Tankstellen, darzubieten, Navigationsfehler, z. B. das Erreichen des falschen Zieles, zu verursachen oder die Standortbestimmung des Fahrzeuges zu erschweren. Als Gegenmaßnahmen bieten sich hier Methoden an, die die Echtheit und die Integrität von Karten gewährleisten sollen.

4.5 Angriffe gegen das Entscheidungszentrum

Ein besonders lohnendes Ziel für einen Angreifer stellt das Entscheidungszentrum eines autonom fahrenden Fahrzeuges dar, da darin die Informationen verarbeitet werden und die Steuerung des Fahrzeuges vorgenommen wird.

Ein recht harmlos anmutender Angriff gegen das Entscheidungszentrum besteht darin, bekannte Entscheidungsmuster zu missbrauchen. Man denke beispielsweise an einen Kinderstreich: Das Kind weiß, dass das Fahrzeug bremsen und anhalten wird, wenn es die Straße betritt. Das Kind könnte dies nutzen, um Fahrzeuge gezielt anzuhalten. Ähnlich könnte ein Kind auch die Parkplatzsuche des Fahrzeuges stören, indem es sich auf den Parkplatz stellt, welches das Fahrzeug benutzen wollte, und es somit zwingen, sich einen anderen zu suchen. Daran anknüpfend könnte es, wenn das Fahrzeug sich einen anderen Parkplatz sucht, diesen wieder freigeben und den neu ausgewählten blockieren.

Ein anderer Angriff zielt darauf ab, die Algorithmen, die für die Entscheidungen verantwortlich sind, zu täuschen. Beispielsweise hat man in ^[18] Algorithmen zur Klassifizierung von Verkehrsschildern ausgetrickst, sodass sie Stoppschilder mit Geschwindigkeitsbegrenzungsschildern verwechselt haben. Dazu haben die Forscher einen Algorithmus entwickelt, der Verkehrszeichen möglichst gering verändert, sodass die Algorithmen Fehlklassifikationen vornehmen. Diese Veränderungen wurden mit Aufklebern realisiert, die für Menschen recht unauffällig sind und Menschen nicht täuschen könnten. Außerhalb des Labors sollte ein solcher Angriff von geringer Bedeutung sein, da das Fahrzeug durch seine internen Karten weiß, welche Verkehrszeichen gelten ^[11]. Ferner sind die Algorithmen, die tatsächlich in automatisierten Fahrzeugen zum Einsatz kommen, robuster gegen „Verunreinigungen“ von Verkehrszeichen bzw. könnten entsprechend entwickelt werden.

Ein Angreifer könnte ferner das Entscheidungszentrum gezielt mit irreführenden Informationen versorgen, sodass es Entscheidungen in seinem Sinne trifft. Wenn es dem Angreifer beispielsweise gelänge, dem Fahrzeug falsche Informationen über die Verkehrsdichte in seiner Umgebung zu geben, dann könnte er dadurch die Routenwahl des Fahrzeuges manipulieren. Durch das Geben von widersprüchlichen Situationen könnte ein Angreifer das System handlungsunfähig machen (Denial of Service). Eine große Bedrohung besteht auch darin, wenn es einem Angreifer gelänge, böartigen Code in das Entscheidungszentrum einzubringen. Ein solcher Code könnte sich darin manifestieren, dass das Fahrzeug, wenn es erkennt, dass ein Senior die Straße überquert, anstatt zu bremsen und anzuhalten, beschleunigt und versucht diesen zu überfahren. Eine weitere Angriffsmöglichkeit, die zwar nicht auf das Entscheidungszentrum selbst abzielt, aber dieses

ausnutzt, ist es, das Fahrzeug als Waffe zu missbrauchen. Beispielsweise könnte man die Objekterkennung des Fahrzeuges als Basis für ein automatisches Geschütz verwenden. Damit könnte man ein „amokfahrendes“ Fahrzeug erstellen.

Wie bei den Angriffen gegen die Sensoren sind auch die Angriffe gegen das Entscheidungszentrum schwer abzusichern. Um die selbstlernenden Algorithmen möglichst robust zu machen, müssen diese entsprechend trainiert werden, d. h., sie müssen möglichst viele Daten sammeln und sie müssen bereits in der Entwicklung mit Angriffen gegen sie konfrontiert werden. Eine regelmäßige Überwachung der Fahrzeuge in Verbindung mit weiteren Rückfalloptionen, wie z. B. Abschaltung aus der Ferne oder Fernsteuerung durch einen Menschen, können dabei helfen, einige (gefährliche) Situationen aufzulösen. Gegen böartigen Code helfen Maßnahmen, die die Echtheit und Integrität des Codes sicherstellen sollen. Darüber hinaus könnte es sinnvoll sein, ein „Ethiksystem“, das sich nicht abschalten lässt und die Entscheidungen überwacht und abändern kann, zu integrieren. Selbstverständlich müsste dann dieses „Ethiksystem“ entsprechend sicher sein.

5 Zusammenfassung

Das autonome Fahren kann einen wichtigen Beitrag für die Mobilität der Zukunft leisten. Jedoch vergrößern die Komponenten, die für das autonome Fahren zuständig sind, wie die Sensoren, die interne und externe Kommunikation, hochpräzise Karten und das Entscheidungszentrum die Angriffsfläche des Fahrzeuges und gefährden somit die Sicherheit. Ein weiteres Sicherheitsrisiko besteht darin, dass die bisherigen Fahrzeuge darauf ausgelegt sind, sicher im Sinne der *Safety* zu sein und nicht so sehr im Sinne der *Security*. Aufgrund der Sicherheitsherausforderungen, die dabei auftreten, wird es in Zukunft notwendig sein, schon im Designprozess die Fahrzeuge sicher im Sinne der *Security* zu gestalten. Dabei können Maßnahmen für die *Security* auch die *Safety* erhöhen. Beispielsweise kommen die Maßnahmen für die Absicherung der Sensoren, wie z. B. die Sensorredundanz, oder das Training der selbstlernenden Algorithmen auch der *Safety* zugute.

Die Inhalte dieses Berichts wurden am 20.08.2018 beim Symposium „International Perspectives on Cybercrime“ an der University of Strathclyde in Glasgow, Schottland, präsentiert.

Referenzen:

- [1] T. D. Fishman, Deloitte (Hrsg.), Digital-Age Transportation: The Future of Urban Mobility, Deloitte University Press 2012, [online] Available at: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/automotive/digital-age-transportation.html> [Accessed 30 August 2018].
- [2] A. Heß, S. Polst, Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), Mobilität und Digitalisierung: Vier Zukunftsszenarien, Bertelsmann Stiftung, 2017, [online] Available at: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/mobilitaet-und-digitalisierung-vier-zukunftsszenarien/> [Accessed 30 August 2018].
- [3] C. Gelau, T. M. Gasser, A. Seeck, Fahrerassistenz und Verkehrssicherheit In: H. Winner (Hrsg.), S. Hakuli (Hrsg.), G. Wolf (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 2., korrigierte Auflage, Wiesbaden 2012, S. 24–32.
- [4] European Commission (Hrsg.), Road Safety in the European Union – Trends, statistics and main challenges – April 2018, Luxemburg, Publications Office of the European Union, 2018.
- [5] R. Threlfall, KPMG International (Hrsg.), Autonomous Vehicles Readiness Index, KPMG International, 2018, [online] Available at: home.kpmg.com/xx/en/home/insights/2018/01/2018-autonomous-vehicles-readiness-index.html [Accessed 30 August 2018].
- [6] C. Jackson, M. Newall, Ipsos (Hrsg.), Most Global Consumers are Intrigued by the Idea of Self-Driving Cars, Ipsos Public Affairs, 2018 [online] Available at: <https://www.ipsos.com/en/most-global-consumers-are-intrigued-idea-self-driving-cars> [Accessed 30 August 2018].
- [7] Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), Automatisiertes Fahren; Aktuelle Einstellungen in Deutschland, Gütersloh, 2017 [online] Available at: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/automatisiertes-fahren-aktuelle-einstellungen-in-deutschland/> [Accessed 30 August 2018].
- [8] A. Berg, Autonomes Fahren und vernetzte Mobilität, 2017 [online] Available at: <https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-Pls/2017/02-Februar/Bitkom-Charts-Mobility-15-02-2017-final.pdf> [Accessed 30 August 2018].
- [9] J. Bühler, B. Rohleder, Autonomes Fahren und vernetzte Mobilität, 2018 [online] Available at: <https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-Pls/2018/Bitkom-Charts-Autonomes-Fahren-und-vernetzte-Mobilitat-18-04-2018-final.pdf> [Accessed 30 August 2018].
- [10] IFT, Safer Roads with Automated Vehicles?, Paris, International Transport Forum at the OECD, 2018.
- [11] C. Miller, C. Valasek, Securing Self-Driving Cars (one company at a time), 2018 [online] Available at: http://illmatics.com/securing_self_driving_cars.pdf [Accessed 30 August 2018].
- [12] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE J 3016, Revidierte Fassung von Juni 2018.
- [13] K. Koscher et al., Experimental Security Analysis of a Modern Automobile, 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010, S. 447–462.
- [14] C. Smith, The car hacker’s handbook: a guide for the penetration tester, San Francisco, No Starch Press, 2016.
- [15] A. Kumar, M. Sinha, Overview on Vehicular Network and its Security Issues, International Conference on Computing for Sustainable Global Development, 2014, S. 792–797.
- [16] A. S. A. Hassan, M. S. Hossain, M. Atiquzzaman, Security Threats in Vehicular Ad Hoc Networks, Proc. of International Conference on Advances in Computing and Informatics (ICACCI), 2016, S. 404–411.
- [17] C. A. Kerrache, C. T. Calafate, J. C. Cano, N. Lagraa, P. Manzoni, Trust Management for Vehicular Networks: An Adversary-Oriented Overview, IEEE Access, vol. 4, 2016, S. 9293–9307.
- [18] K. Eykholt et al., Robust Physical-World Attacks on Deep Learning Classification, arXiv, 1707.08945v5, 2018.

Fördergeber:

AutoDrive has been accepted for funding within the Electronic Components and Systems For European Leadership Joint Undertaking in collaboration with the European Union’s H2020 Framework Programme (H2020/2014–2020) and National Authorities, under grant agreement n° 737469.



Kontakt:



Nicholas Jäger

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

n.jaeger@oth-aw.de



Prof. Dr. Andreas Aßmuth

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

a.assmuth@oth-aw.de



LANGPATENT

ANWALTSKANZLEI IP LAW FIRM

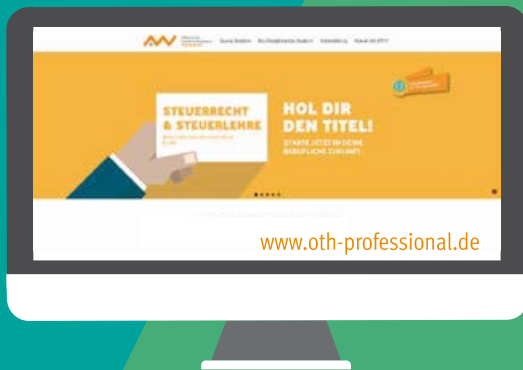
Ihr Ansprechpartner:

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)



WEITERBILDUNG AN DER OTH AMBERG-WEIDEN

- Duales Studium
- Berufsbegleitendes Studium
- Modulare Weiterbildung und Zertifikate



OTH Professional
Jetzt informieren!



Ihr zuverlässiger Partner
rund ums Wohnen!

SGW

STADTBAU WEIDEN GMBH

Zuhause in Weiden!

STADTBAU GMBH WEIDEN | AM STOCKERHUTPARK 1 | 92637 WEIDEN | TEL.: 09 61 - 3 89 04 - 0 | WWW.SGW-WEIDEN.DE



Kommunikation zwischen Fahrzeug und Server beim kooperativen hochautomatisierten Fahren im Projekt Ko-HAF

Zusammenfassung

Das Projekt Ko-HAF beschäftigt sich mit dem kooperativen hochautomatisierten Fahren bei höheren Geschwindigkeiten, wie z. B. auf Autobahnen. Dies stellt den nächsten Schritt zum autonomen Fahrzeug dar. Die Aufgabe der OTH Amberg-Weiden im Projekt Ko-HAF besteht vor allem darin, die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen sicher und zuverlässig zu gestalten. Hierzu wird eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und einem zentralen Server mittels Mobilfunk hergestellt. Über diese Verbindung sollen sowohl statische Kartendaten wie Fahrbahnmarkierungen, Verkehrszeichen und Leitpfosten als auch dynamische Meldungen, beispielsweise über ein liegengebliebenes Fahrzeug, übertragen werden. Des Weiteren wird auch eine hochgenaue Karte vom Server an die Fahrzeuge übermittelt, welche von diesen als sogenannter „virtueller Sensor“ für die Erstellung des eigenen Umfeldmodells verwendet wird. Zur Erfassung wichtiger Parameter der Mobilfunkverbindung wurde an der OTH Amberg-Weiden auch ein Modul zu deren Aufzeichnung und Auswertung entwickelt, welches ebenfalls vorgestellt wird.

Abstract

The Ko-HAF project deals with cooperative, highly automated driving at higher speeds, e.g. on motorways. This represents the next step towards an autonomous vehicle. The main task of the OTH Amberg-Weiden in the Ko-HAF project is to establish a safe and reliable communication between the vehicles. Therefore, communication between the vehicles and a central server via mobile network is established. This channel is used to transmit static map data such as road markings, traffic signs and delineators, as well as dynamic messages, for example about a broken-down vehicle. Furthermore, a high-precision map is transmitted from the server to the vehicles, which will be used as a so-called “virtual sensor” for the creation of an environment model inside the car. To record important parameters of the mobile network quality, a module for monitoring and evaluating was developed at the OTH Amberg-Weiden, which will be presented as well.

1 Einleitung

Alle großen Automobilhersteller arbeiten am automatisierten Fahren. Jedoch haben die meisten im Grundsatz eines gemeinsam – sie nutzen On-Board-Sensoren, um das Fahrzeug zu steuern. Die typische Reichweite dafür eingesetzter Radar- oder Lidar-Sensoren beträgt bis zu 200 Meter, Kamerasysteme können sogar effektiv nur bis zu 100 Meter genutzt werden. Andererseits soll gerade bei Hochautomatisierung (SAE-Level 3) bei Bedarf die Fahraufgabe vom Fahrzeug an den Fahrer übertragen werden können. Hierzu benötigt der Fahrer ausreichend Zeit, z. B. bis zu 10 Sekunden.

Während bei niedrigeren Geschwindigkeiten der Sensorbereich der eingebauten Sensorik ausreicht, um eine sichere Fahrt zu gewährleisten^[1], kann bei Autobahngeschwindigkeiten von typischen 36 m/s und unter der Annahme einer Vorwarnzeit von 10 Sekunden eine entsprechende Voraussicht durch die Sensorik im Fahrzeug nicht gewährleistet werden. Kooperatives Erfassen, basierend auf der Aggregation von Sensorinformationen vieler automatisierter Fahrzeuge und der Verteilung dieser Informationen über einen zentralen Server, repräsentiert einen geeigneten Lösungsansatz. Die Implementierung und Evaluierung dieses Prinzips ist das Hauptziel des deutschen Forschungsprojekts Ko-HAF^[2]. Um dieses Ziel zu erreichen, werden alle relevanten Sensorinformationen

aus den Fahrzeugen über ein Mobilfunknetz an einen Safety Server gesendet. Der Server aggregiert die Daten und erzeugt eine hochdynamische Karte. Diese Karte wird an alle angeschlossenen Fahrzeuge verteilt.

2 Projektziele erreicht!

Nach der dreieinhalbjährigen Projektlaufzeit des Projekts Ko-HAF fand am 19. und 20. September 2018 die Abschlusspräsentation auf dem Opel-Prüfgelände in Rodgau-Dudenhofen statt. Dabei stellte der Projektleiter Dr. Andree Hohm von Continental fest, dass die Ziele des Projekts erreicht wurden. Hierzu gehört, neben vielen anderen, auch eine deutlich erweiterte Umfeldwahrnehmung, welche mittels kollektiver Wahrnehmung und Kommunikation zwischen Fahrzeugen und dem sogenannten Safety Server erreicht wurde. Hierfür lieferte die OTH Amberg-Weiden die entsprechenden Kommunikationsrechner an die Partner, welche diese dann in ihren Fahrzeugen verbauten (siehe Abbildung 1).

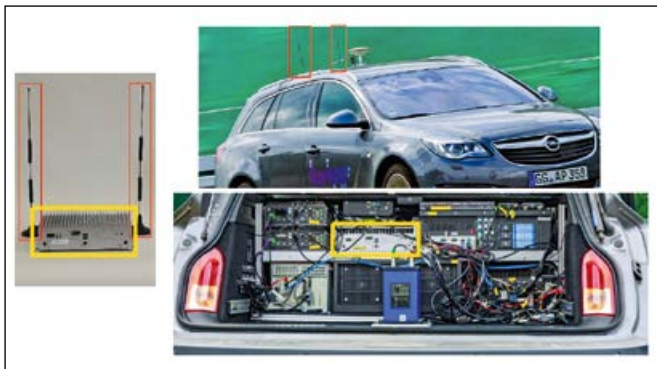


Abbildung 1: Kommunikationseinheit im Versuchsträger

3 Kommunikation zwischen Fahrzeug und Server

Neben der Zusammenstellung der Hardware wurde auch die Kommunikationssoftware durch die OTH Amberg-Weiden erstellt. Hierfür entstand zusammen mit den Projektpartnern eine Spezifikation zur Erfassung und Übertragung von Umfeldobjekten, die es ermöglicht, die von Fahrzeug erkannten Verkehrszeichen, Straßenlinien, Leitposten sowie vieles mehr an den Server zu übermitteln. Als Basis dafür wurde der Industriestandard SENSORIS [3] weiterentwickelt. Diese Erweiterungen sind durch die erfolgreiche Verwendung im Projekt auch in die neue Version 3 des SENSORIS-Protokolls eingeflossen [4]. Zur Übertragung von Daten vom Server zu den Fahrzeugen wurden zwei verschiedene Techniken eingesetzt. Einerseits wurden die statischen hochgenauen Kartendaten als Dateidownload einzelner Teilkarten realisiert (siehe Abbildung 2).

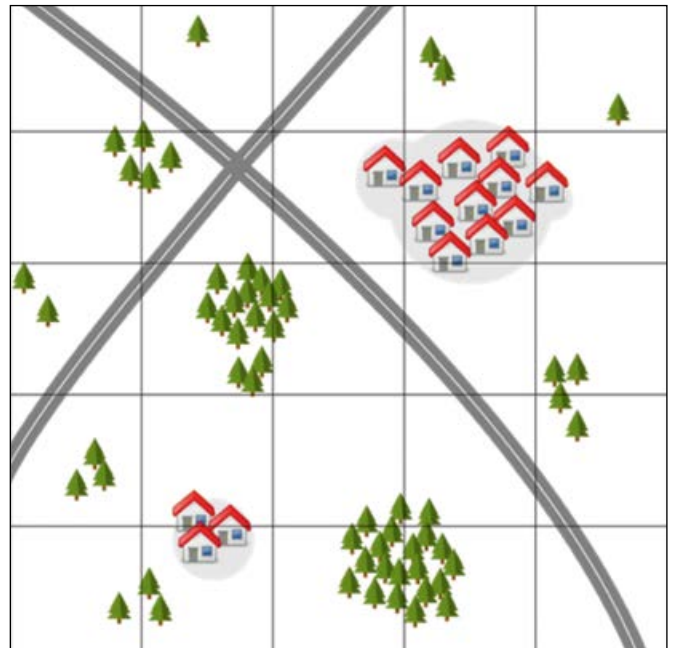


Abbildung 2: Teilkartenkonzept des Projektpartners FORWISS

Zum anderen kam im Bereich der hochpriorien dynamischen Meldungen, wie z. B. Liegenbleiber, ein neuartiges Publish-Subscribe-Verfahren zum Einsatz. Hierbei abonnieren sich die Fahrzeuge für bestimmte Ereigniskategorien einen zentralen Dienst, den Broker. Sobald nun ein Ereignis auftritt, wird dies dem Broker mitgeteilt und dieser kann umgehend alle Fahrzeuge informieren, die abonniert sind. Durch die Verwendung dieses Verfahrens konnte sowohl eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit als auch eine Verringerung des Kommunikationsaufwandes erreicht werden. Zusätzlich zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Server wurden auch die Mobilfunk-Eigenschaften auf der gefahrenen Strecke aufgezeichnet. Diese wurde sowohl zur Analyse einer flächendeckenden Umsetzung der entwickelten Verfahren [5] als auch für die Prädiktion der zukünftigen Downloadrate verwendet [6], was bei der Abschlusspräsentation im Rahmen einer Fahrdemo vorgestellt wurde (siehe Abbildung 3).

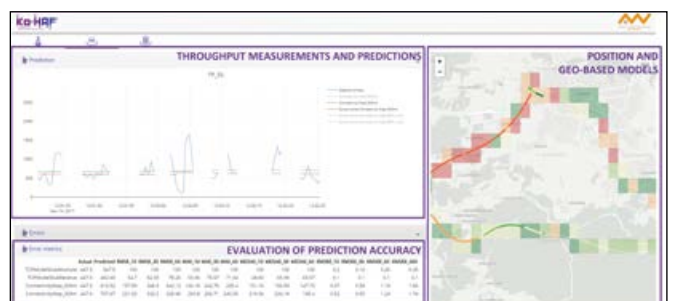


Abbildung 3: Visualisierung der Durchsatz-Vorhersage

4 Einsatz in der Abschlusspräsentation

Zusätzlich zu dieser eigenen Demo wurde die Kommunikation auch durch die Projektpartner durchgehend während der Abschlusspräsentation genutzt. Zum einen ist hier ein Fahrscenario zu nennen, bei dem ein heruntergefallener Gegenstand, in diesem Fall eine Ski-Box, durch einen Versuchsträger von Audi erkannt wurde, welcher das Ereignis an den Server sendete. Ein anderer Versuchsträger der Firma BMW empfängt dieses Ereignis und wechselt daraufhin die Fahrspur, noch bevor das Objekt von den On-Board-Sensoren erkannt werden kann (siehe Video <https://youtu.be/Lz80MckIIPO>). Zum anderen wurden die hochgeladenen Umgebungsdaten erfasst und dem Publikum präsentiert. Hierfür wurde durch die OTH Amberg-Weiden eine entsprechende Visualisierung erstellt (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Live-Visualisierung der Daten, die zum Server hochgeladen wurden

Referenzen:

- [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 06.11.2018.
- [3] ERTICO – ITS Europe, „SENSOR INTERFACE SPECIFICATION“, <http://sensor-is.org/>, accessed 06.11.2018.
- [4] ERTICO – ITS Europe, „Automotive industry to use SENSORIS vehicle-to-cloud data standard with Ko-HAF project“, <http://sensor-is.org/automotive-industry-to-use-sensoris-vehicle-to-cloud-data-standard-with-ko-haf-project/>
- [5] F. Jomrich und J. Schmid et. al., „Analysing communication requirements for crowd sourced backend generation of HD Maps used in automated driving“, 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Dezember 2018, Taiwan
- [6] J. Schmid et. al., „Passive monitoring and geo-based prediction of mobile network vehicle-to-server communication“, 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Juni 2018, Zypern

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 Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:



Josef Schmid, M.Sc.

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

j.schmid@oth-aw.de



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

Sebastian Wieland, B.Eng.
Stefan Stiegler, B.Eng.
Heike Lepke, M.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

EU-Forschungsprojekt „3Ccar“ – Elektrofahr- zeuge der nächsten Generation

Zusammenfassung

Die neuen Entwicklungen im Bereich von elektrischen Antrieben im Individualverkehr haben den Fokus in den letzten Jahren zunehmend auf eine neue Form der Mobilität gelegt. Wenngleich die Elektromobilität heute in der breiten Öffentlichkeit ein Begriff ist, wird sie aufgrund der geringen Reichweite, der moderat entwickelten Ladeinfrastruktur und des hohen Preises jedoch nur sehr eingeschränkt akzeptiert. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars“ – 3Ccar – wurden Schritte unternommen, die Elektromobilität alltagstauglich zu machen. Gefördert wurde 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 wirkte an dem 3-jährigen 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. Anschließend erfolgt eine Beschreibung des im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten serverbasierten Dienstes. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Routenplanung unter Einbeziehung nicht linearer Ladekurven bei verschiedenen Ladeverfahren. Abschließend wird ein Blick auf die resultierende Webapplikation geworfen und ein Ausblick auf die mögliche Weiterentwicklung gegeben.

Abstract

Electric propulsion in vehicles has increasingly shifted the focus to a new form of mobility in recent years. Although electromobility is widely known today, it is only accepted to a very limited extent due to the limited range, moderately developed charging infrastructure and comparably high prices. 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 BMBF.

The OTH Amberg-Weiden works during the 3 years project duration 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. Subsequently, a description of the server-based service developed within the scope of the research project is given. Thereby, the main focus lies on route planning including non-linear charging curves at different charging modes. Finally, a look at the resulting web application is taken and an outlook on the possible further developments are given.

1 Einleitung

Seit Jahren ist das Thema Elektromobilität als zukünftiges Fortbewegungsmittel in den Medien präsent. In Forschungs- und Entwicklungsabteilungen von Wirtschaft und Universitäten wird daran gearbeitet, die Elektromobilität für den breiten Markt vorzubereiten. Der große Durchbruch wurde bis jetzt jedoch noch nicht geschafft. Dies lässt sich auch an den Neuzulassungen im ersten Halbjahr 2018 erkennen – in Deutschland waren nur etwa 2 Prozent der zugelassenen Fahrzeuge Elektrofahrzeuge^[1]. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland somit nur im Mittelfeld. Obwohl die Anzahl der Elektrofahrzeuge in Deutschland von Jahr zu Jahr steigt^[2], sehen viele Personen neben dem Anschaffungspreis und der Reichweite auch die Ladedauer und die Ladeinfrastruktur als wichtiges Kriterium für Elektrofahrzeuge^[3].

Bei einem Technologiewechsel werden diese Kriterien auch zwangsläufig miteinander verglichen. Häufig geschieht es jedoch, dass nicht alle Faktoren beachtet werden. So besteht bei Elektrofahrzeugen die weit verbreitete Meinung, dass diese teurer sind als Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb. Bei der Anschaffung mag dies zwar der Fall sein, nach neuesten Untersuchungen des ADAC sind viele Elektrofahrzeuge über die Lebenszeit gesehen jedoch günstiger^[4]. Werden alle Kosten, vom Kaufpreis über Betriebs- und Wartungsaufwände bis hin zum Wertverlust betrachtet, sind Elektrofahrzeuge von den Gesamtkosten attraktiver. Große Unterschiede gibt es jedoch auch hier noch bei der Reichweite. Diese ist bei Elektrofahrzeugen deutlich geringer wie bei Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb. Die Entwicklungen der letzten Jahre und Prognosen für die zukünftige Entwicklungen sagen eine weiter steigende Reichweite voraus, kurzfristig ist damit aber nicht zu rechnen^[5]. Um eine verringerte Reichweite ausgleichen zu können, wäre eine gut ausgebaute Infrastruktur von Schnellladestationen nötig. Die Anzahl der Ladestationen steigt in Deutschland zwar kontinuierlich an, deren Verteilung und Ladeleistung ist jedoch sehr unterschiedlich^[6].

Auch wenn in Zukunft die Reichweite erhöht und die Infrastruktur weiter ausgebaut wird, ist man weiterhin auf Dienste angewiesen, um die passende Ladestation für sein Elektrofahrzeug zu finden. Vor allem im urbanen Umfeld hat man nicht die Möglichkeit, sein Fahrzeug täglich zu laden, und muss somit Ladesäulen mit dem passenden Steckertyp in seinem Umfeld kennen. Bei längeren Fahrten wird es unerlässlich sein, digitale Dienste zu haben, mit denen sich die passenden Ladestationen finden lassen.

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts „Integrated Components for Complexity Control in affordable electrified cars“ – 3Ccar – wird von der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden an einer Komfortsteigerung bei der Routenplanung für Elektrofahr-

zeuge gearbeitet. Diese arbeitet mit den aktuell zur Verfügung stehenden Ladestationen und Elektrofahrzeugen. Hierfür wurde ein digitaler Dienst entwickelt, mit dem man komfortabel die Route auf längeren Strecken berechnen und mit den benötigten Ladehalten anreichern kann. Somit ist es möglich, ein Elektrofahrzeug zu nutzen, ohne die zeitintensive Planung der Ladehalte durchführen zu müssen.

2 Projektübersicht

3Ccar ist ein Projekt, das durch das ECSEL Joint Undertaking der Europäischen Union gefördert wurde. Das Forschungsprojekt wurde durch Firmen der europäischen Halbleiterindustrie und zwei führende deutsche Automobilhersteller vorangetrieben. Während der dreijährigen Projektlaufzeit von 2015 bis 2018 wurden von den 49 Projektpartnern über 60 Millionen Euro investiert. Die Partner aus 14 Ländern vertreten die gesamte Wertschöpfungskette, angefangen von Forschungseinrichtungen über Halbleiterindustrie, Automobilzulieferer bis hin zum Fahrzeughersteller^[7], darunter neben anderen die OTH Amberg-Weiden, die Technische Universität Dresden und die Technische Universität Graz, Fraunhofer, Infineon, NXP, ST, AVL, Siemens, Daimler und BMW. Abbildung 2 zeigt hierbei auf der Europakarte die beteiligten Länder und Firmen.



Abbildung 1: Übersicht der beteiligten Firmen

Das Forschungsprojekt war in insgesamt zehn Bereiche aufgeteilt^[8]. Die OTH Amberg-Weiden war hierbei im Bereich der „High Speed Data Communication“ involviert:

- Smart Battery Cells
Hierbei wurden für die nächste Generation von Akkumulatorzellen für den Automobilbereich Kommunikations- und Messlösungen entwickelt. Die entsprechenden

Daten werden im Batteriemanagementsystem (BMS) verarbeitet, um über einzelne Zellen und den gesamten Akkumulator weitreichende Aussagen über ihren Zustand treffen zu können. Im Detail wurden Mess- und Kommunikationseinheiten in die Zellen integriert, um den Verdrahtungsaufwand zu reduzieren und die Kommunikation über die Energieleitungen zu gewährleisten.

- **Functionally Integrated Powertrain**
In diesem Bereich wurde ein neuer Elektromotor für den Antriebsstrang entwickelt, in dem Steuerung, Kühlung, Inverter und Techniken zur Gewinnung von Bremsenergie integriert sind. Die hohe Integration der Komponenten soll einerseits Gewicht einsparen, andererseits die Kosten reduzieren und letztendlich zu einer Ressourceneinsparung führen.
- **Smart Semiconductors for Fuel Cells**
Alternativ zu Akkumulatoren können auch Brennstoffzellen für den Antrieb des Fahrzeuges verwendet werden. Durch einen speziell entwickelten Demonstrator kann die Funktionsweise von neu entwickelten Gleichstromwandlern gezeigt werden, die an das Energienetz des Fahrzeuges angeschlossen sind. Diese besitzen unter anderem ein skalierbares Design und diverse Diagnosefunktionen.
- **Domain Controller and Algorithms**
Das Hauptziel hier war, die Anzahl der Steuergeräte im Fahrzeug zu verringern und deren Funktionalität in wenigen zentralisierten Steuergeräten zu bündeln. Ebenso wurden neue Funktionalitäten und Algorithmen sowie Anforderungen zur funktionalen Sicherheit nach ISO-26262 implementiert.
- **High Speed Data Communication**
Dieser Bereich ist durch die Netzwerke innerhalb des Fahrzeuges wie auch durch die Anbindung nach außen (Car2X) geprägt. Im Fahrzeug selbst soll durch die entwickelten Konzepte die Anzahl der Netzwerke und somit auch die Größe des Kabelbaums verringert werden.
- **Embedded Power Modules**
In dieser Wertschöpfungskette wurde die integrierte Leistungselektronik für den Bereich „Functionally Integrated Powertrain“ entwickelt. Hierbei spielten zum einen die hohe Zuverlässigkeit von intelligenten Antrieben und zum anderen die Entwicklung von neuartigen Wide-Bandgap-Halbleitern für die funktionale Integration eine wichtige Rolle.
- **MEMS & Sensors as Cyber-Physical Systems**
Das Ziel in diesem Bereich war es, neuartige und robuste Microsysteme (MEMS) zu entwickeln, die für abtastfähige LIDAR(Light detection and ranging)-Systeme im Automobilbereich verwendet werden können.

Damit soll es in Zukunft möglich sein, kostengünstige Module für das automatisierte und autonome Fahren unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs zu produzieren.

- **Robustness and Reliability**
Ziel dieses Bereiches war es unter anderem, die Entwicklung von modellbasierten Algorithmen zur Bestimmung der Lebensdauer und der Funktionsfähigkeit für Komponenten in Elektrofahrzeugen voranzutreiben.
- **Comfort and Usability**
Hier wurden Energieeinsparungskonzepte erforscht, welche die Effizienz von Elektrofahrzeugen verbessern sollen. Hierzu zählen Systeme zur Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen für den Automobilbereich oder extrem leise Motoren für HVAC(heating, ventilating and air condition)-Systeme.
- **Cost Effective Technology Platform**
Das Ziel war die Entwicklung eines fahrzeugeigenen Akkuladegerätes, bei dem im Speziellen auf Gewicht, Volumen, Kostenoptimierung sowie Effizienz geachtet wurde.

3 Zielsetzung

3Ccar adressiert als europäisches Forschungsprojekt die wichtigsten Branchenweige bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen. Es ergeben sich somit Auswirkungen auf Halbleiterhersteller, die Automobilindustrie und letztendlich auch auf die Umwelt. Die Projektziele können ganz allgemein in sechs Gruppen aufgeteilt werden^[8]:

- 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“)

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Komplexität von Elektrofahrzeugen reduziert werden soll, was Auswirkungen auf die Kosten, Wartung und Updatefunktionalitäten hat.

Bei der Abschlussveranstaltung des Projektes in Graz, Österreich hat die OTH Amberg-Weiden neben den Partnern des Konsortiums ihre Ergebnisse vorgestellt. Dieser Projektteil wird in den nächsten Kapiteln genauer erläutert.

4 Serverbasierter Dienst

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde von der OTH Amberg-Weiden ein Konzept für einen serverbasierten Routenplanungs-Dienst für Elektrofahrzeuge entwickelt und umgesetzt. Hierfür wurde ein Routing-Algorithmus erarbeitet und implementiert, der optimierte Routen für beliebige Elektrofahrzeuge berechnet. Im Gegensatz zu anderen Online-Routenplanern für Elektroautos werden dabei die beliebigen, nicht linearen Ladekurven bei verschiedenen Ladeverfahren mit berücksichtigt. Das auf diese Weise neu entstandene, hochkomplexe Problem wird mithilfe eines dynamisch generierten Graphen gelöst. Das gesamte Projekt basiert auf freier und quell-offener Software. Die Informationen über verfügbare Ladestationen werden aus realen Daten von Open Charge Map (OCM) ^[9] und das Straßennetz von OpenStreetMap (OSM) ^[10] bezogen.

Der Service teilt sich in drei Hauptkomponenten auf: die Bereitstellung von Kartenmaterial, einer Datenbank mit Informationen zu Elektrotankstellen sowie der Routenberechnung. Darüber hinaus wurde zur Visualisierung und Evaluation der Ergebnisse eine Applikation in Form einer Website entwickelt.

Das Konzept zur Realisierung des Projekts basiert auf einer Microservice-Architektur, wie sie in Abbildung 2 zu sehen ist.

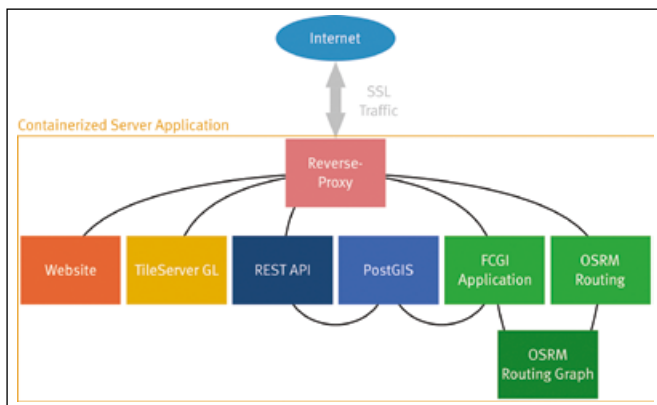


Abbildung 2: Server Setup mit Docker-Containern

Die Architektur wurde mithilfe von Docker ^[11] implementiert: Die einzelnen Komponenten der Anwendung werden hierfür weiter in ihre einzelnen Prozesse zerteilt und in Containern bereitgestellt. Die Gesamtanwendung besteht somit aus vielen kleinen Prozessen, welche jeweils in ihrer eigenen, isolierten Umgebung ausgeführt werden. ^[12]

Bei der Bereitstellung des Kartenmaterials kommen hochmoderne Vektor-Karten von OpenMapTiles ^[13] (basierend auf OSM-Daten) in Verbindung mit der Software TileserverGL ^[14] zum Einsatz. Um einen möglichst schnellen Zugriff auf Informationen über Elektrotankstellen gewährleisten zu können, werden die detaillierten Daten von OCM lokal am Server in eine dafür entwickelte

PostGIS-Datenbankstruktur synchronisiert. Die Informationen können dank einer aus dieser Struktur generierten Schnittstelle (API) ebenfalls über das Internet oder von einer Website aus abgefragt werden. Die Routenberechnung stellt die Hauptfunktion der Anwendung dar. Wie in Abbildung 2 zu erkennen, besteht diese aus mehreren Komponenten. Der Grund dafür liegt im zweistufigen Routingkonzept, welches in Abbildung 3 dargestellt ist.

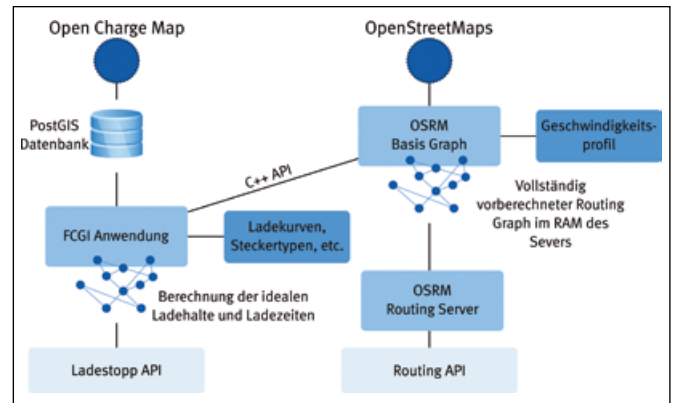


Abbildung 3: Zweistufiges Routingkonzept

Die Berechnung von kürzesten Wegen zwischen zwei oder mehreren Wegpunkten erfolgt getrennt von der Berechnung der idealen Ladestationen und -dauern. Es kommt dabei die Software Open Source Routing Machine (OSRM) ^[15] zum Einsatz. OSRM stellt eine sehr performante Implementierung des Contraction Hierarchies (CH) ^[16] Algorithmus zur Verfügung. Der Algorithmus berechnet in einem aufwendigen Vorverarbeitungsschritt, unter Einbeziehung eines Geschwindigkeitsprofils, zunächst eine große Tabelle mit Abkürzungen innerhalb des Graphen. Mithilfe dieser Tabelle ist es im Anschluss möglich, eine optimale Route über ganze Kontinente innerhalb weniger Millisekunden zu berechnen. Dieser vorberechnete Graph wird im Random Access Memory (RAM) des Servers abgelegt.

Das entwickelte Server Setup ermöglicht es nun einerseits, die extrem schnellen Berechnungen von kürzesten Wegen direkt über eine API bereitzustellen, andererseits ebenfalls von einer anderen Applikation aus auf den Graphen zuzugreifen. Das im Forschungsprojekt entwickelte C++ Fast Common Gateway Interface (FCGI) Programm greift bei der Berechnung der idealen Ladehalte auf eben diese Funktionalität zu. Der erarbeitete Algorithmus benötigt zur Erstellung eines übergeordneten Graphen die kürzesten Wege zwischen einer Vielzahl von Ladestationen. Dieser dynamisch generierte, übergeordnete Graph beinhaltet Abschätzungen zu benötigten Ladezeiten an den verschiedenen Ladehalten. Es wurde im Forschungsprojekt nachgewiesen, dass die dabei verwendete Heuristik in der Lage ist, die optimale Ladehalte ausreichend anzunähern.

5 Resultate und Webapplikation

Zur Evaluation der Ergebnisse wurde eine vollwertige Webapplikation entwickelt, welche auf alle implementierten Schnittstellen der Serveranwendung zugreift. Die Anwendung ermöglicht es, zwischen verschiedenen (Batterie-)Modellen von Elektrofahrzeugen auszuwählen und die schnellsten Verbindungen europaweit zu berechnen.

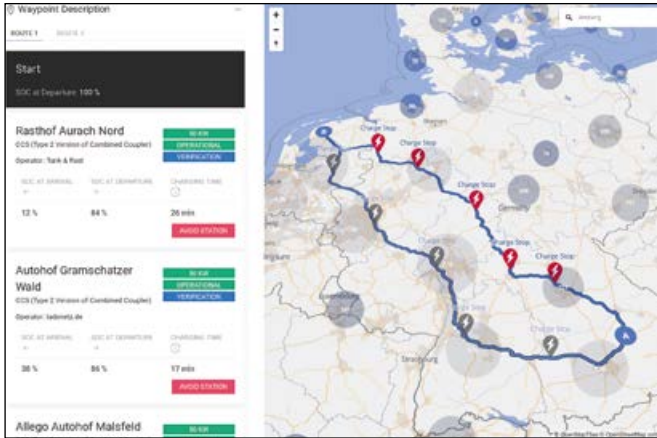


Abbildung 4: Screenshot der Webanwendung

Wie in Abbildung 4 zu erkennen, ist die Anwendung in der Lage, exakte Ladeinstruktionen sowie Alternativrouten zu berechnen. Die Suche der besten Verbindung kann dabei mit einer Vielzahl weiterer Parameter verfeinert werden: vom Ladestand bei der Abfahrt, der allgemein minimal erlaubten Restreichweite über die Auswahl verfügbarer Steckertypen und Ladesäulenbetreiber bis hin zur Vermeidung bestimmter Ladestationen und vielen weiteren Einstellungen. Ein Vergleich mit anderen verfügbaren Produkten zeigt, dass bereits die erstellte Beispielanwendung deutlich schneller zu besseren Gesamtergebnissen führt.

6 Fazit und Ausblick

Die erstellte Anwendung wurde bei der Abschlussveranstaltung des Forschungsprojektes 3Ccar in Graz einem breiten Publikum vorgestellt und stieß dabei auf viel Zuspruch und Interesse. Vor allem die Einbeziehung von nicht linearen Ladekurven stellt eine neue Herausforderung bei der Routenplanung dar. Der von der OTH Amberg-Weiden vorgestellte Algorithmus liefert hierzu einen passgenauen Lösungsansatz.

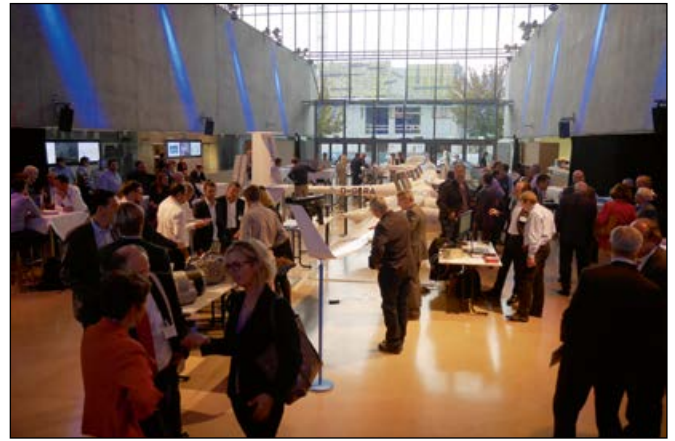


Abbildung 5: Blick in die Halle auf der Abschlussveranstaltung in Graz, Österreich



Abbildung 6: Präsentation des OTH-AW Demonstrators auf der Abschlussveranstaltung durch Sebastian Wieland

Die Weiterentwicklung des Konzeptes zu einem ganzheitlichen Navigationssystem wird die Aufgabe von Folgeprojekten sein. Weitere wichtige Problematiken, wie etwa die Staubildung an Ladestationen, werden im aktuellen Ansatz noch nicht mitberücksichtigt. Dennoch stellen die Resultate aus diesem Projekt eine gute Basis für die weitere Entwicklung dar.

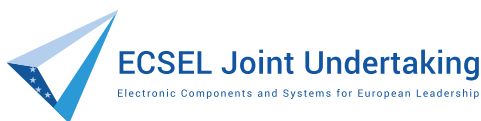
Im Januar 2019 ist das Projekt 1000kmPlus gestartet, das die Ergebnisse aus 3Ccar weiter ausbaut. In 1000kmPlus wird das bestehende Routingverfahren zu einem hoch effizientem Routingssystem ausgebaut, das die Reisezeiten von E-Fahrzeugen vor allem bei langen Fahrten möglichst genau vorhersagt und so eine optimale Abfahrt und Ankunftszeit unter Berücksichtigung der Ladehalte berechnen kann. Dabei werden z. B. der Batteriestatus und Ladekurven des E-Fahrzeugs mit berücksichtigt. Näheres zum Projekt kann man auf 1000kmPlus.eu finden.

Referenzen:

- [1] Mathias Brandt, „E-Mobilität kommt nicht in die Gänge“. 2018.
- [2] KBA und Aral, „Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2006 bis 2018“, Statista, Statistik, März 2018.
- [3] Markenartikel Magazin, „Kriterien für den Kauf eines Elektroautos in Deutschland im Jahr 2018“, Statista, Umfrage, Juli 2018.
- [4] ADAC, „Kostenvergleich: Elektroautos oft überraschend günstig“, Welcher Pkw fährt billiger: Elektro, Benziner oder Diesel?, 31. Okt. 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/e-mobilitaet/elektroauto-kostenvergleich/>. [Zugegriffen: 8. Nov. 2018].
- [5] Automobilwoche und Horváth & Partners, „Durchschnittliche Reichweite aller verkauften Elektroautos in den Jahren 2011 bis 2020 (in Kilometern)“, Statista, Prognose, März 2016.
- [6] ChargeMap.com, „Anzahl der Ladestationen für Elektrofahrzeuge in Deutschland im Zeitraum 2. Quartal 2017 bis 4. Quartal 2018 (Stand: 1. November 2018)“, Statista, Statistik, 2018.
- [7] ECSEL JU, „3CCAR“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ecsel.eu/projects/3ccar>. [Zugegriffen: 8. Nov. 2018].
- [8] 3Ccar – official website. [Online]. Verfügbar unter: <http://3Ccar.eu/>. [Zugegriffen: 10. April 2017].
- [9] Open Charge Map – official website. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.openchargemap.org/site/>. [Zugegriffen: 10. April 2017].
- [10] OpenStreetMap Wiki – official website. [Online]. Verfügbar unter: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page. [Zugegriffen: 10. April 2017].
- [11] Docker – official website, Docker, 14. Mai 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.docker.com/>. [Zugegriffen: 15. Juni 2017].
- [12] James Lewis und Martin Fowler, „Microservices“, martinowler.com, 25. März 2014. [Online]. Verfügbar unter: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. [Zugegriffen: 10. April 2018].
- [13] OpenMapTiles – official website, OpenMapTiles. [Online]. Verfügbar unter: <https://openmaptiles.org/>. [Zugegriffen: 4. Sep. 2017].
- [14] TileServerGL – official website. [Online]. Verfügbar unter: <http://tileserver.org/>. [Zugegriffen: 4. Sep. 2017].
- [15] Project OSRM – official website. [Online]. Verfügbar unter: <http://project-osrm.org/>. [Zugegriffen: 9. Mai 2017].
- [16] R. Geisberger, P. Sanders, D. Schultes, und D. Delling, „Contraction Hierarchies: Faster and Simpler Hierarchical Routing in Road Networks“, in *Experimental Algorithms*, 2008, S. 319–333.

Acknowledgement:

The project 3Ccar has received funding from the European Union’s ECSEL Joint Undertaking under the grant agreement No. 662192 as well as from Germany, Austria, Czech Republic, Romania, Belgium, United Kingdom, France, Netherlands, Latvia, Finland, Spain, Italy, Lithuania.



Kontakt:



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



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



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

Zusammenfassung

Seit der Saison 2013 werden im zunehmenden Maße aerodynamische Einrichtungen an Formula Student Rennwagen eingesetzt. Die Teams versprechen sich durch entsprechend gesteigerte Abtriebskräfte höhere Kurvengeschwindigkeiten und damit einen Wettkampfvorteil innerhalb der dynamischen Wettbewerbsteile. Aber auch im Konstruktions-Teilwettbewerb (Design Event) wird der beträchtliche Mehraufwand durch die Vergabe von mehr Wertungspunkten durch die Wettkampfrichter entsprechend honoriert. Seit der Saison 2015 setzt auch das Running Snail Racing Team der OTH Amberg-Weiden entsprechende aerodynamische Einrichtungen an seinen Rennwagen ein. Durch Messungen im Klima-Windkanal der Fa. DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH können die Ergebnisse der 3D-Strömungssimulationen mit gemessenen Abtriebs- und Widerstandskräften verglichen und so die Simulationsmodelle entsprechend optimiert werden.

Abstract

Beginning with 2013 more and more teams started to use aerodynamics at their formula student race cars. The use of aerodynamics shows promise to better lap times due to higher downforce induced by the airfoils. In addition, during the design event the teams using aerodynamics can earn higher score since the design judges recognize the increased efforts of the teams. Therefore, since 2015 the Running Snail Racing Team of the OTH Amberg-Weiden uses aerodynamic devices on its race cars as well. Measurements of down- and dragforce within the climatic wind tunnel of DENSO AUTOMOTIVE Germany GmbH help the Running Snail Racing Team to improve the 3D-CFD-simulations of the aerodynamic devices on its race car.

1 Einleitung

Die im Jahr 1981 von der SAE in den USA gegründete Formula-Student-Weltmeisterschaft stellt den weltweit größten und anspruchsvollsten studentischen Konstruktionswettbewerb dar. Seit 2005 nimmt das Rennwagenprojekt Running Snail Racing Team der OTH Amberg-Weiden erfolgreich mit einem in jeder Saison neu entwickelten Rennwagen an diesem Wettbewerb teil.

Laut Reglement sind auch aerodynamische Einrichtungen (mit Ausnahme von motorisch betriebenen Gebläsen und sogenannten Schürzen zur Erzeugung von Bodeneffekten) bei Formula-Student-Rennwagen zulässig. Hauptziel der aerodynamischen Einrichtungen ist es, bei geringem Zusatzgewicht möglichst hohe Abtriebskräfte (downforce) zu erzeugen, die insbesondere deutlich höhere Kurven-

geschwindigkeiten als ohne Aerodynamik zulassen, und dabei den Luftwiderstand (drag) möglichst gering zu halten. Das Aerodynamikpaket beeinflusst den Luftwiderstand des Fahrzeugs deutlich negativ. Aufgrund des hohen Leistungsgewichts und der geringen Geschwindigkeiten in der Formula Student wird dieser aber leicht überwunden. Im Wesentlichen kommen folgende aerodynamische Einrichtungen in Betracht: Front-, Seiten- und Heckflügel sowie Unterböden – häufig in Kombination mit Diffusoren. Darüber hinaus werden aktuell Vortex-Generatoren, Gurney Flaps und andere zusätzliche aerodynamische Hilfsmittel in der Formula Student eingesetzt.

In regelmäßigen zeitlichen Abständen wird das Reglement der Formula Student auch bezüglich der aerodynamischen Einrichtungen verändert, damit die studentischen Teams immer wieder gezwungen sind, ihre aerodynamischen

Berechnungen neu anzupassen. Damit soll der Hauptaufgabe dieses Wettbewerbes Rechnung getragen werden, die Studierenden dazu anzuleiten, sich ein hohes Maß an technischem Wissen anzueignen.

Bereits in den 1990er-Jahren wurden immer wieder von einigen Teams Versuche unternommen, derartige Einrichtungen an ihren Fahrzeugen vorzusehen. Häufig waren diese Teams jedoch wenig erfolgreich und scheiterten meist an Defiziten bezüglich der Festigkeit der Flügelkonstruktionen, sodass sie im Ausdauerrennen wegen deutlich verschobener Flügelstrukturen oder sogar abgefallener Teile disqualifiziert wurden. Darum hielten sich innerhalb der Formula-Student-Gemeinde (FSG) hartnäckig Aussagen ähnlich wie „Wings Don't Win“. Erfolgreiche Teams setzten dagegen konsequent auf Leichtbau-Konstruktionen und erzielten häufig Fahrzeugmassen um die 160 kg – in Extremfällen sogar deutlich darunter. Daher sahen typische Formula-Student-Rennfahrzeuge bis in die Anfänge der 2010er-Jahre noch ähnlich wie der Rennwagen des Running-Snail-Racing Teams aus dem Jahr 2010 mit einer Masse von etwa 160 kg aus. Siehe Abbildung 1.



Abbildung 1: Typischer Formula-Student-Rennwagen ohne Aerodynamik am Beispiel des RS10.

Zu diesem Zeitpunkt fand aber eine Trendwende zu immer stärkerem Einsatz von aerodynamischen Einrichtungen statt. Das Diagramm in Abbildung 2 verdeutlicht diesen Sachverhalt. Da den Autoren keine offizielle Statistik über die Verwendung aerodynamischer Einrichtungen innerhalb der Formula Student bekannt ist, wurden die Eventhandbücher der Formula Student Germany von 2005 bis heute ausgewertet. Es ist deshalb möglich, dass die tatsächliche Anzahl der Fahrzeuge mit aerodynamischen Einrichtungen etwas geringer ausfällt als die in den Eventhandbüchern dargestellten 3D-CAD-Abbildungen. Da zudem aerodynamisch wirksame Unterböden in diesen Bildern zum Teil nur schlecht erkennbar sind, wurden nur Fahrzeuge mit mindestens Front- und Heckflügeln gezählt.

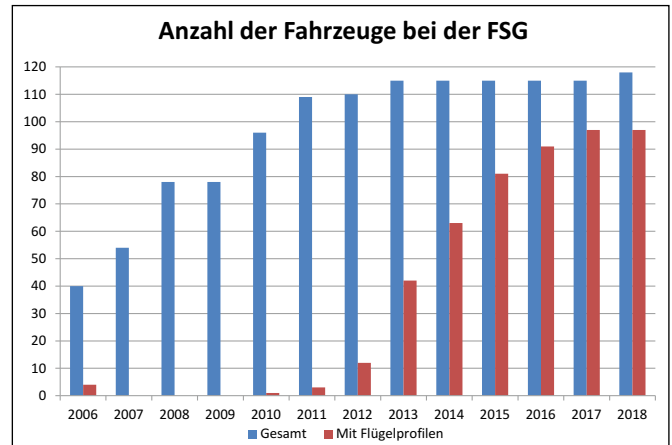


Abbildung 2: Anteil der Formula-Student-Rennwagen mit Flügelprofilen bei der FSG.

Bereits 2013 ist eine deutliche Zunahme der Formula-Student-Rennwagen mit aerodynamischen Einrichtungen zu erkennen. Besonders da nun auch erfolgreiche Teams auf den Zug aufsprangen, stieg der Anteil der Fahrzeuge mit aerodynamischen Einrichtungen stark an. Heute stellen Formula-Student-Rennwagen ohne Aerodynamik eher die Ausnahme dar. So setzt auch das Running-Snail-Racing-Team der OTH Amberg-Weiden seit der Saison 2015 auf den Einsatz von aerodynamischen Einrichtungen an seinem Fahrzeug.

2 Die Aerodynamik des Rennwagens der Saison 2018

In Abbildung 3 ist die Aerodynamik am Rennwagen der Saison 2018 dargestellt.

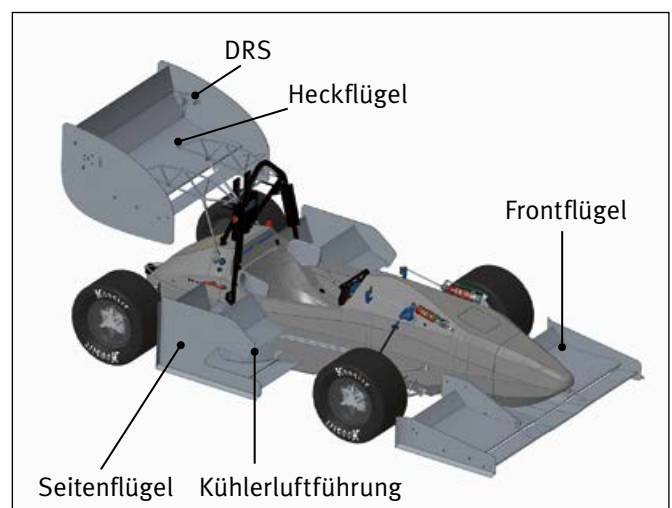


Abbildung 3: Aerodynamische Einrichtungen am RS18

Im Wesentlichen besteht das Aeropaket des RS18 aus folgenden Komponenten:

- dem Frontflügel bestehend aus dem Hauptflügelprofil, einem Vorflügel (Slat) sowie rechts und links jeweils einem nachgeordneten kleineren Flügel (Flap);
- den Seitenflügeln bestehend aus zwei Flügelebenen: Die eine Flügelebene befindet sich unterhalb der Kühlerluftführung und besteht aus einem Hauptflügelprofil,

einem Vorflügel sowie zwei nachgeordneten kleineren Flügeln. Die zweite Flügelebene befindet sich oberhalb der Kühlerluftführung und besteht aus zwei Flügelprofilen. Die Seitenflügel sollen nicht nur Abtriebskräfte erzeugen, sondern dienen auch dazu, die Anströmung des Heckflügels zu verbessern und die Luft vom Auslass der Kühlerluftführung wegzuführen;

- dem Heckflügel bestehend aus dem Hauptflügelprofil, einem Vorflügel sowie zwei nachgeordneten kleineren Flügeln. Das Besondere an diesen beiden kleineren Flügeln ist, dass sie beim Beschleunigen mithilfe von zwei Servomotoren innerhalb von Sekundenbruchteilen flach gestellt werden können und somit der Strömungswiderstand reduziert werden kann (Drag Reduction System – DRS). Dabei ist die Ansteuerungskinematik so ausgelegt, dass diese in den Endlagen selbstsperrend ist, sodass die Servomotoren lediglich die Aufgabe haben, die Flaps zu bewegen, nicht aber in den Endlagen zu halten, was den Stromverbrauch während des Rennens reduziert.

An den Seiten sind die Flügel durch sogenannte Endplatten (end plates) begrenzt. Sie dienen im Wesentlichen dazu, einen seitlichen Druckausgleich (und damit eine Verminderung des Abtriebes) durch Aus- bzw. Einströmen von Luft zu verhindern.

Grundsätzlich führen größere Flügelflächen zu stärkeren Abtriebskräften. Allerdings ist die Größe der Flügel durch Maßbeschränkungen seitens des Reglements der Formula Student limitiert. Abbildung 4 zeigt den (grünen) Bereich, in dem der Einsatz von aerodynamischen Einrichtungen zulässig ist.

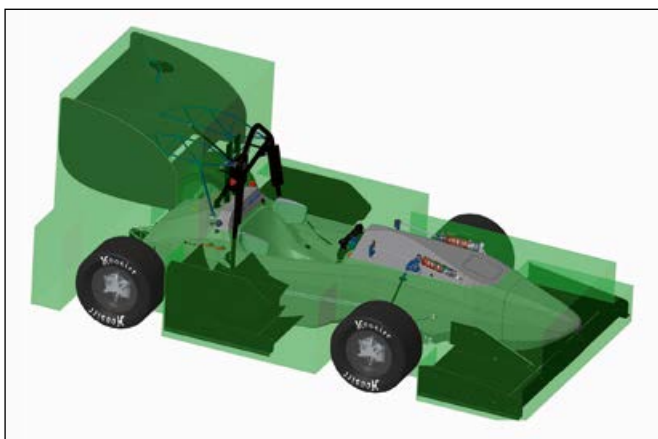


Abbildung 4: Zulässiger Bereich für aerodynamischen Einrichtung gemäß Formula-Student-Reglement

Der zulässige vertikale Bereich ist in mehreren Ebenen aufgeteilt: Das Fahrzeug muss bis auf die Räder an allen Stellen eine minimale Bodenfreiheit von 30 mm aufweisen. Die äußeren Bereiche des Frontflügels dürfen eine Höhe von 250 mm nicht überschreiten. In den anderen Bereichen dürfen sich die aerodynamischen Einrichtungen bis zu einer Höhe von 500 mm erstrecken. Der Heckflügel darf 1200 mm hoch sein.

Seine Breite ist durch die innerste Ebene der Hinterreifen jeweils links und rechts beschränkt. Er darf in Längsrichtung hinter der Kopfstützenbefestigung beginnen und muss spätestens 250 mm hinter dem hintersten Teil der Hinterreifen enden. Der Frontflügel darf maximal 700 mm vor dem vordersten Teil der Vorderreifen beginnen. Die Räder müssen 75 mm davor und dahinter frei bleiben.

Aerodynamische Einrichtungen, die maximal 500 mm hoch sind und sich hinter der Vorderachse befinden, dürfen seitlich nicht über eine Ebene herausragen, die durch die Reifenausseiten gebildet wird.

Darüber hinaus müssen Flügelkanten, die mit Fußgängern in Berührung kommen könnten, einen bestimmten Mindestradius aufweisen. Schließlich müssen alle aerodynamischen Vorrichtungen verschiedenen gestaffelten Kräften widerstehen, die auf unterschiedlich große Flächen aufgebracht werden, ohne dass sie sich dabei um vorgeschriebene Maximalmaße verformen.

Sämtliche Regeln werden vor den dynamischen Wettbewerben an allen Fahrzeugen überprüft. Wird auch nur eine dieser Regeln nicht eingehalten, muss nachgearbeitet werden. Gelingt dies innerhalb einer bestimmten Frist nicht, darf das Fahrzeug an den dynamischen Wettbewerben nicht teilnehmen. Darüber hinaus werden unmittelbar nach jedem dynamischen Teilwettbewerb stichprobenartig an allen teilnehmenden Fahrzeugen bestimmte Regeln überprüft. Teams mit Fahrzeugen, die Regelverstöße aufweisen, bekommen Zeitstrafen, die sie in der Wertung weit nach hinten rücken lassen.

3 Wirksamkeit der Aerodynamik

Die Auslegung der Flügel erfolgte unter Berücksichtigung der Einschränkungen durch das Reglement mithilfe klassischer analytischer Methoden, 2D-Profilaten sowie 3D-Strömungssimulationen. Letztere wurden mit der an der OTH Amberg-Weiden zur Verfügung stehenden Software STAR-CCM+ durchgeführt. Darüber hinaus hat das Running-Snail-Racing-Team der OTH Amberg-Weiden durch die großzügige Unterstützung der Fa. DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH in Eching bei München die Möglichkeit, den dortigen Klimawindkanal zur Verifikation der aerodynamischen Auslegung zu nutzen.

Dieser Klimawindkanal dient ursprünglich nicht zur Optimierung der Aerodynamik von Rennfahrzeugen. So ist der Anströmquerschnitt deutlich kleiner als bei Windkanälen, die speziell für den Zweck der Optimierung der Aerodynamik konzipiert wurden. Außerdem befinden sich die Fahrzeuge dort auf Laufbändern, sodass sich die entsprechend einstellenden Verhältnisse den Strömungsverhältnissen in der Realität deutlich nähern.

Dennoch lassen sich bestimmte Tendenzen auch im Klimawindkanal bereits nachweisen. Dass kein Laufband

vorhanden ist, bietet sogar den Vorteil, dass die Flügel vom Fahrzeug mechanisch entkoppelt werden können und somit die Abtriebs- und Widerstandskräfte mithilfe von Kraftmessdosen separat pro Flügel erfasst werden können.

In Abbildung 5 ist der Aufbau der Messungen am Rennwagen der Saison 2017 im DENSO-Klimawindkanal zu erkennen.



Abbildung 5: Messungen am RS17 im DENSO-Klimawindkanal [1]

Front- und Heckflügel sind vom Fahrzeug entkoppelt. Es befinden sich jeweils vier senkrechte Stäbe mit Kraftmessdosen an den Flügeln zur Messung der Abtriebskräfte sowie jeweils zwei waagerechte Stäbe mit Kraftmessdosen zur Messung der Widerstandskräfte (Drag). Damit lässt sich die Wirkung dieser Flügel separat erfassen. Da der Seitenflügel ohne zusätzliche Endplatten direkt am Monocoque befestigt sind, konnten diese nicht vom Fahrzeug entkoppelt werden.

Darüber hinaus wurden jeweils die hinteren Enden der Flügelprofile mit Wollfäden beklebt, um die Strömung in diesen Bereichen sichtbar zu machen. Schließlich wurde eine Rauchlanze eingesetzt, um Strömungsverläufe über dem Fahrzeug darzustellen. Gut zu erkennen ist, wie sich die Strömung hinter dem Helm des Fahrers absenkt, um dann vom Heckflügel nach oben abgeleitet zu werden. Diese Beobachtung bestätigt die zuvor getätigten 3D-Strömungssimulationen am Gesamtfahrzeugmodell, wie es in Abbildung 6 zu erkennen ist.

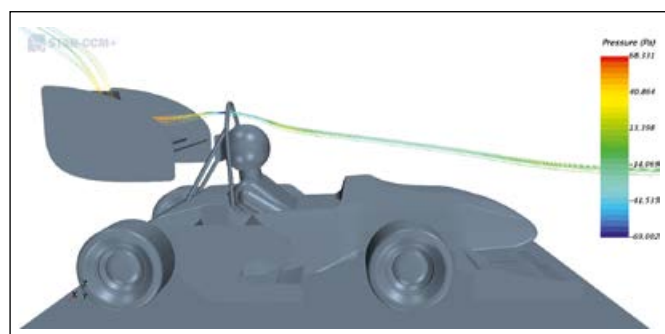


Abbildung 6: 3D-Strömungssimulation am RS17 [1]

Des Weiteren befindet sich unter jedem Rad eine Waage, mit der die in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit verändernde Aufstandskraft an dem jeweiligen Rad gemessen werden kann. Schließlich befindet sich eine weitere horizontal befestigte Kraftmessdose am Heck des Rennwagens, mit deren Hilfe die Widerstandskraft des übrigen Fahrzeuges gemessen werden kann.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Kraftmessungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für den Front- und den Heckflügel bei nicht aktiviertem DRS dargestellt.

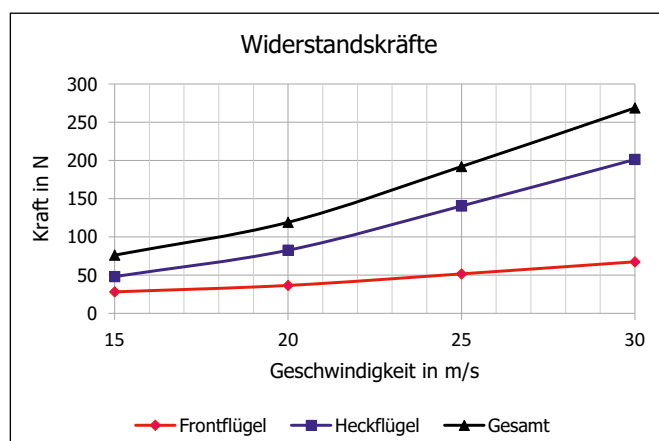
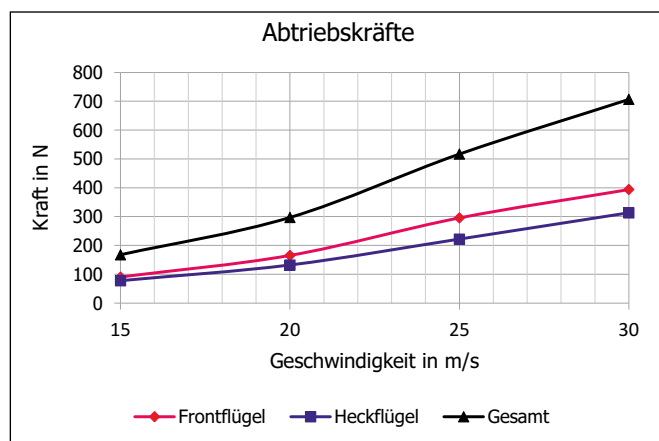


Abbildung 7: Abtriebs- und Widerstandskräfte am Front- und Heckflügel bei nicht aktiviertem DRS

Zu erkennen ist z. B., dass insbesondere der Heckflügel bei höheren Geschwindigkeiten erhebliche Widerstandskräfte erzeugt. Deshalb ist der Einsatz eines Drag Reduction System (DRS) sinnvoll, um bei Geradeausfahrten, bei denen keine höheren Abtriebskräfte erforderlich sind, die Widerstandskräfte entsprechend zu reduzieren.

In Abbildung 8 sind die entsprechenden Ergebnisse der Kraftmessungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für den Front- und den Heckflügel bei aktiviertem DRS dargestellt.

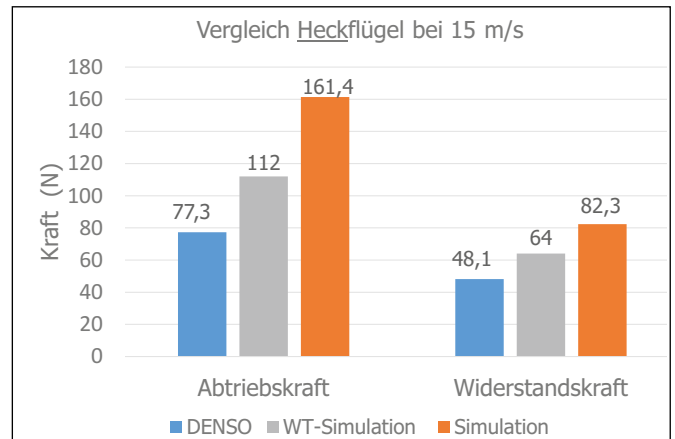
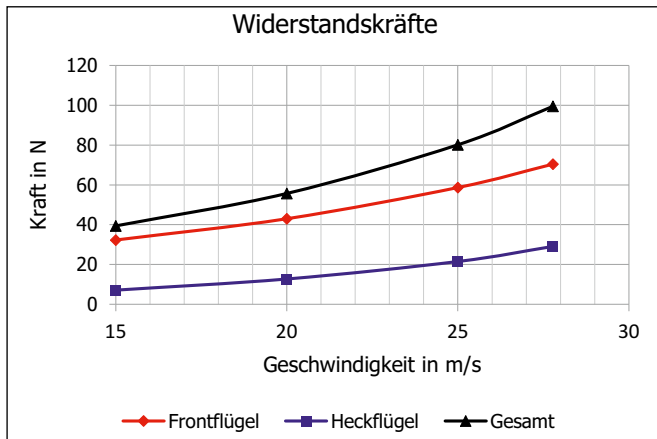
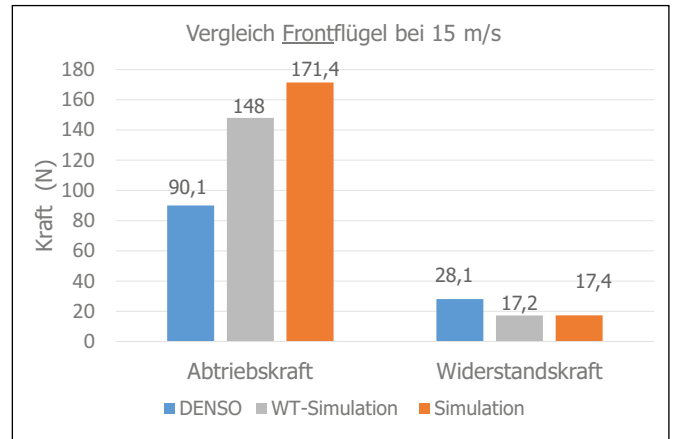
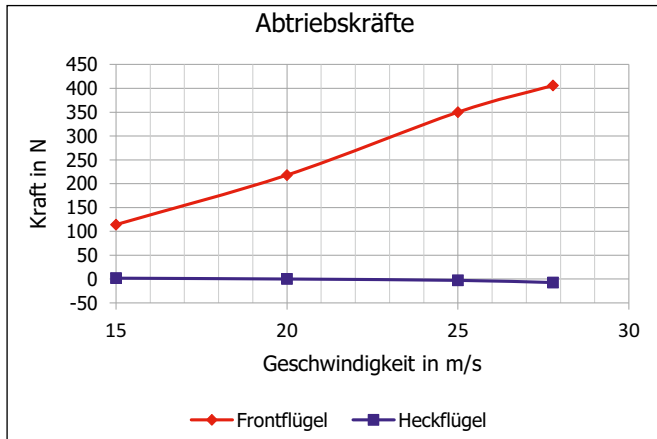


Abbildung 8: Abtriebs- und Widerstandskräfte am Front- und Heckflügel bei aktiviertem DRS

Abbildung 9: Vergleich Simulation und Messung an Front- und Heckflügel

Es ist gut zu erkennen, dass beim aktivierten DRS der Heckflügel keinen Abtrieb (eher sogar einen leichten Lift, der aber nicht ins Gewicht fällt) erzeugt, dafür aber die Widerstandskräfte am Heckflügel drastisch reduziert werden können. Interessant ist, dass die Widerstandskräfte am Frontflügel leicht ansteigen, was deutlich macht, dass die aerodynamischen Effekte der Flügel untereinander interagieren und deshalb bei Simulationen stets auch die Gesamtbetrachtung notwendig ist, was den hohen Rechenaufwand entsprechend rechtfertigt. In Abbildung 9 ist ein Vergleich zwischen den Ergebnissen bei der Simulation und den Messungen im DENSO-Klimawindkanal für den Front- und den Heckflügel bei einer Geschwindigkeit von 15 m/s dargestellt.

Es sind deutliche Unterschiede zwischen Simulation (orange) und Messung (blau) zu erkennen. Einerseits rühren diese aus dem kleinen Anströmquerschnitt des Klima-Windkanals her sowie der Tatsache, dass kein Laufband vorhanden ist, mit dem der sich relativ zum Fahrzeug bewegende Untergrund bei normaler Fahrt abgebildet werden kann. Die grauen Balken stellen die Ergebnisse einer Simulation dar, bei der die Verhältnisse im DENSO-Klimawindkanal entsprechend nachgebildet wurden. Auch hier liegen die simulierten Abtriebskräfte noch deutlich über den gemessenen.

Grund hierfür ist z. B. die Tatsache, dass die Simulationen gewisse Idealisierungen gegenüber der Realität vornehmen: So ist das geometrische Modell des Fahrzeuges und des Fahrers gegenüber der Wirklichkeit zwecks Reduktion des Rechenaufwandes vereinfacht und die Flügelprofile werden in der Simulation als starr angenommen, was sie in der Realität natürlich nicht sind.

4 Fazit

Mit dem Beginn der 2010er-Jahre ist der Einsatz von Aerodynamik an den Rennwagen der Formula Student drastisch gestiegen. Die Teams versprechen sich höhere Kurvengeschwindigkeiten durch entsprechend höhere Abtriebskräfte, die mithilfe der Flügelprofile erzeugt werden. So ist es folgerichtig, dass auch das Running-Snail-Racing-Team seit 2015 entsprechende aerodynamische Einrichtungen an seinem Rennwagen einsetzt. Der

erforderliche Aufwand ist erheblich, der Lerneffekt für die beteiligten Studierenden aber ebenso. Beginnend mit der Auslegung der Flügelprofile und deren Anbindungen an das Fahrzeug über aufwendige Strömungssimulationen, die Fertigung der Aerodynamik bis hin zur Messung im Windkanal ist das Wissen, das sich die Studierenden erarbeiten, von unschätzbarem Wert. Und letztlich bestätigen auch die Fahrer der Rennwagen, dass die Aerodynamik tatsächlich einen spürbaren positiven Effekt auf die Performance der Fahrzeuge hat.

Referenzen:

- [1] Borst, M.; Fröhlich, Ch.; Gregor, M.: Ausarbeitung zur Studienarbeit „Aerodynamikmessungen im Denso Klima-Windkanal für die Formula Student 2017“ im Fach Konstruktion II, OTH Amberg-Weiden, August 2017

Fördergeber:

Das Running-Snail-Racing-Team der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wird von über 100 Unternehmen unterstützt. Hierfür bedankt sich das Team ganz herzlich. Insbesondere folgende Firmen unterstützten das Team bei der Fertigstellung des Aeropaketes:

ANSYS Germany GmbH

Arges GmbH

Börsig GmbH

Continental AG

Daimler AG

DENSO AUTOMOTIVE Deutschland GmbH

EMZ – Hanauer GmbH & Co KGaA

ERLAS Erlanger Lasertechnik GmbH

HPZ-Werkstätten GmbH

Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH

MPS Roding GmbH (Mühlbauer AG)

SK Carbon Roding GmbH

VDI – Bezirksverein Bayern Nordost e. V.

Wasserstrahltechnik Hans-Jürgen Haas e. K.

WFT GmbH & Co. KG

ZF Friedrichshafen AG

Kontakt:



Christian Fröhlich

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



Prof. Dr.-Ing. Horst Rönnebeck

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

h.roennebeck@oth-aw.de



STECKT DAS FEUER IN DIR?

... dann suchen wir dich!

In den Bereichen Werkstofftechnik, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik, Bauwesen, Maschinenbau

HORN BIETET

- Ein vielfältiges Angebot für Fachkräfte
- Flexible Arbeitszeitmodelle
- Eigenverantwortung
- Eine sichere Zukunft

CHANCEN BEI HORN

- Internationale Erfahrungen sammeln
- Kundennähe bewirken
- Karrieremöglichkeiten
- Leadership Entfaltung

TOP ARBEITGEBER

- Familienfreundlich
- Teamplayer
- Fundamentale Werte
- Marktführer

Mit mehr als 130 Jahren Erfahrung im Glasschmelzenbau, bietet Horn eine weit gefächerte Produktpalette im Bereich der Planung, Herstellung und dem Vertrieb von verschiedenen Ofentypen zur Herstellung von Behälterglas, Wirtschaftsglas, Float-, Solar- und Gussglas sowie Spezialglas.

Melde dich, wenn du mehr wissen möchtest...

HORN Glass Industries AG
Frau Rupprecht-Bouziane
 Bergstraße 2, 95703 Plößberg
 eMail: personal@hornglas.de
Wir freuen uns auf dich!

www.hornglas.de



HORN
GLASS INDUSTRIES

Automatisierungstechniken
 Elektrotechnik
 Natur- und Ingenieurwissenschaften
 Supply Chain
 Lagerlogistik
 Internet der Dinge
 Industrie 4.0
 Materialflusstechnik
 Lagersysteme
 B2B-Onlinehandel
 Betriebstechnik
 Big Data
 Lagersoftware
 Anwendungsentwicklung
 Digitaler Zwilling
 Systemintegration
 Strukturtechnik
 Prozesse in der
 Intralogistik

GO WITRON

Deine Karrierechance

Deine Perspektiven bei uns
 Erkundungstag Praktikum Abschlussarbeit Direkteinstieg
 Weitere Informationen unter: www.witron-karriere.de

© shutterstock

Alexander Gercikow, M.Eng.
Maximilian Bauer, M.Sc.
Andreas Fuchs, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Modellierung der Daten- übertragung für den Einsatz in industriellen Kommunikations- systemen

Einführung

Eine der wesentlichen Komponenten von Industrie-4.0-Konzepten ist die sichere und robuste Übertragung von Daten. Standard Industrial Ethernet wie PROFINET, Ethernet-IP und Ähnliche werden in fast allen Anwendungsbereichen eingesetzt. Dennoch existieren Nischen, in denen dies nicht ohne Weiteres möglich ist. In manchen industriellen Anwendungen treten sehr hohe Störimpulse auf, die in der Regel durch steile Schaltflanken beteiligter Halbleiterschalter, wie den Betrieb von Frequenzumrichtern, herrühren. Bei Spezialanwendungen wie z. B. der kombinierten kontaktlosen Energie- und Datenübertragung müssen daher äußerst robuste Datenübertragungsverfahren auf dem Physical Layer eingesetzt werden. Als ein solches Datenübertragungsverfahren könnte eine modifizierte Variante der „GreenPHY“-Kommunikation^{[1][2]} in Betracht kommen. Um dies beurteilen zu können, wird eine „End to End“-Modell erstellt, deren erste Ergebnisse skizziert werden.

Kommunikation

„GreenPHY“ 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 sowohl als „Live- oder Deadwire“ verwendet werden. Bei der „Live-Wire“-Variante werden die Daten auf dem stromführenden Aderpaar aufmoduliert, mit dem auch die Energieversorgung realisiert wird. Im Gegensatz hierzu wird bei der „Deadwire“-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

Abstract

The Powerline technology “Green Phy” shall be analyzed for industrial use. As a first step, a comprehensive end-to-end simulation is created. This simulates both the transmission channel and the complete physical layer including FEC. Furthermore, a MATLAB calculated packet is put on the line using an arbitrary signal generator for analyzing the data transfer on a real channel used in the industry.

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 (ROBO = ROBust Ofdm) in Verbindung mit Turbo Coding mit der Code Rate $\frac{1}{2}$ wird durch redundantes Übertragen von Informationen die Störfestigkeit weiter erhöht und dieses Verfahren damit für das industrielle Umfeld im Prinzip nutzbar. Es lassen sich maximale Datenraten von bis zu 10 Mbps 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.

End-To-End-Modell

Für die Simulation wird ein „End to End“-Modell der Übertragung erstellt. Sämtliche Stufen der Kommunikation werden mit einer MATLAB-Simulation modelliert. Ausgehend von einem Datenstrom, der übertragen wird, wird die Kanal- und Leitungscodierung sowie die Übertragungsstrecke im Detail beschrieben. In der Modellierung werden sämtliche Features des Green-Phy-Standards berücksichtigt.

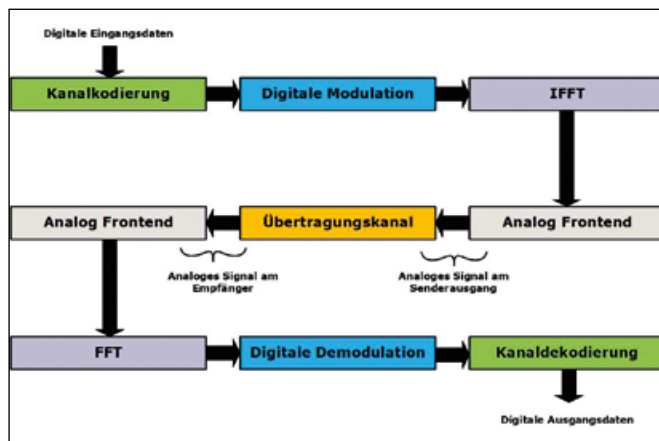


Abbildung 1: Blockschaltbild der Simulation

Beschreibung des Blockschaltbildes:

Kanalkodierung/Kanaldekodierung: Hier wird Forward Error Correction nach dem Green-Phy-Standard eingesetzt, um möglichen Übertragungsfehlern entgegenzuwirken, ohne das Paket nochmals anzufordern. Die Daten werden dabei mithilfe eines Turbo-Coders kodiert, anschließend interleaved, um im letzten Schritt in Abhängigkeit des jeweils eingesetzten ROBO-Modes wiederholt und erneut interleaved zu werden. Der Empfänger nutzt für die Dekodierung der Daten jede der Wiederholungen, um die Wahrscheinlichkeiten der empfangenen Bits zu berechnen.

Digitale Modulation/Demodulation: Hier werden Bitblöcke zusammengefasst und mittels QPSK auf komplexe Symbole abgebildet. Im Empfänger werden die empfangenen komplexen Symbole wieder Bitblöcken zugeordnet.

IFFT/FFT: Der Sender interpretiert die komplexen Symbole als Spektrum und generiert ein zeitdiskretes Signal aus einer festgelegten Anzahl von Symbolen mittels der Inversen Fast-Fourier-Transformation. Der Sender kann

dann durch eine Fourier-Analyse mittels der FFT die komplexen Symbole aus dem zeitdiskreten Signal zurückgewinnen.

Analog Frontend und Übertragungskanal: Am Analog Frontend wird aus dem zeitdiskreten Signal am Sender mittels Sample and Hold ein analoges Signal generiert. Dieses wird durch die Simulation eines Übertragungskanals verändert und am Analog Frontend des Empfängers wieder abgetastet.

Übertragungskanal: Hier wird mit konzentrierten Elementen ein Übertragungskanal in Simulink nachgebildet.

Simulationsergebnisse

Nachfolgend wird das Green-Phy-Signal auf einer Leitung mit additivem weißem Rauschen von 5 dB zur OFDM-Symboleistung simuliert. Senderseitig wurde dabei ein 4-Bit-ADC simuliert.

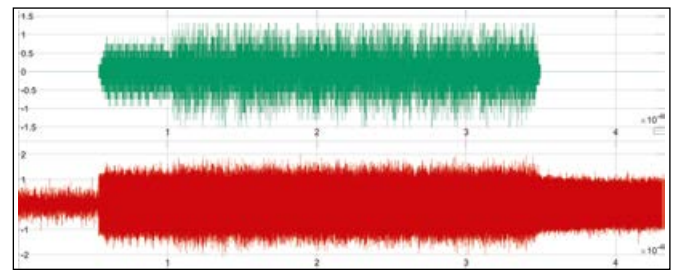


Abbildung 2: Simulation Green-Phy-Signal. Grün: Gesendet, Rot: Empfangen

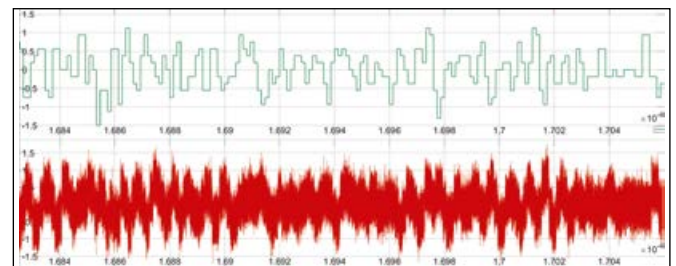


Abbildung 3: Simulation Green-Phy-Signal, Detailsicht. Grün: Gesendet, Rot: Empfangen

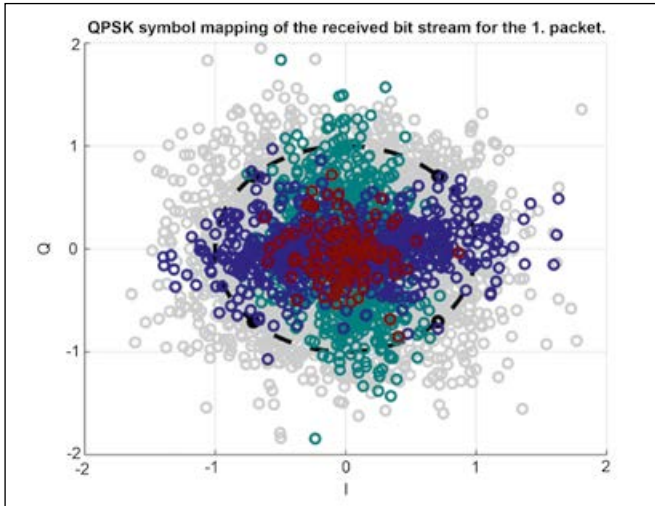


Abbildung 4: Konstellationsdiagramm der simulierten empfangenen QPSK-Symbole. Grau: korrekt empfangene Symbole, Blau: Symbole mit Fehler in der Quadraturkomponente, Türkis: Symbole mit Fehler in der In-Phase-Komponente, Rot: Symbole mit fehlerhaftem I UND Q Anteil

Trotz vieler fehlerhaft übertragener Symbole sind keine Bitfehler nach der Kanaldekodierung aufgetreten.

Vermessung einer realen Leitung

Für eine erste Einschätzung der Übertragungsqualität wurden durch MATLAB berechnete Paketsamples mithilfe eines Arbiträr-Signalgenerators ausgegeben und über eine 100 Meter lange Zweidrahtleitung versendet.

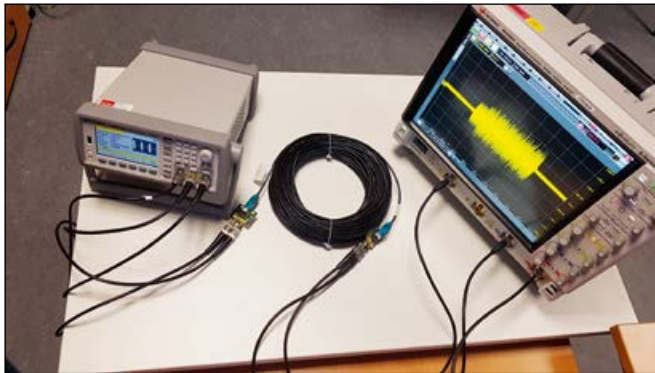


Abbildung 5: Signalgenerator und Oszilloskop angeschlossen an 100 Meter Zweidrahtleitung

Das differentielle Signal wurde dabei über Adapterboards und Coax-Leitungen mit dem Zweidrahtkanal verbunden.

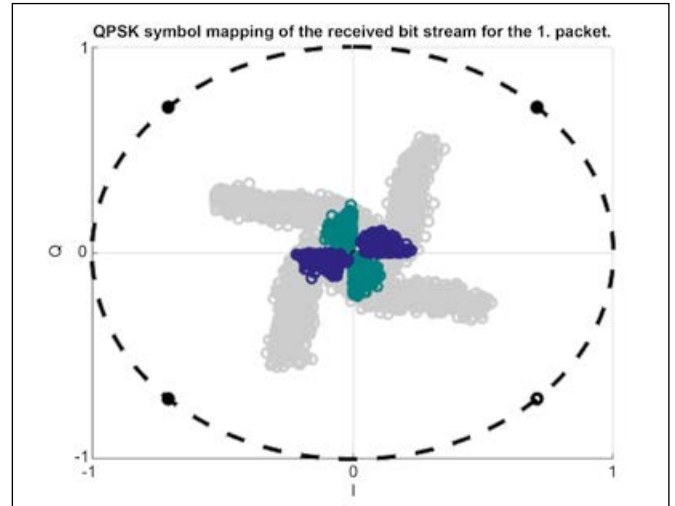


Abbildung 6: Konstellationsdiagramm des empfangenen Signals

Betrachtet man das Konstellationsdiagramm, so stellt man fest, dass das Signal, bedingt durch die Leitungslänge, sehr stark verzerrt wurde. Einige Symbole wurden vom Empfänger dem falschen Quadranten zugeordnet. Durch FEC kommen jedoch alle Nutzdaten fehlerfrei bei der Applikation an.

Referenzen:

- [1] Greephy 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/fxddata/codico/prod/media/Datenblaetter/AKT/HomePlug_Green_PHY_whitepaper_100614\[1\].pdf](https://www.codico.com/fxddata/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

Kontakt:



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



Maximilian Bauer, M.Sc.

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

max.bauer@oth-aw.de



Andreas Fuchs, M.Sc.

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



Programmierbare Systeme für Intelligenz in Automobilen

Zusammenfassung

Unter den aktuellen Trends, die die Gesellschaft in den kommenden Jahren massiv beeinflussen werden, sticht das autonome Fahren in besonderer Weise heraus. Es besitzt das Potenzial, die Automobilindustrie, wie wir sie heute kennen, geradezu revolutionär zu verändern. Vollautomatisiertes Fahren repräsentiert eine Schlüsseltechnologie zur Erzielung sicherer, sauberer und effizienter Mobilität. Um diese gesellschaftliche Herausforderung Realität werden zu lassen, müssen die einzelnen Stufen der Automatisierungskette (Sensieren, Planen und Agieren) fehlertolerante Eigenschaften besitzen, um sicherzustellen, dass sicherheitsrelevante Situationen eigenständig bewältigt werden können. In heute verfügbaren Systemen ist dies noch nicht der Fall. Heutigen Ansätzen fehlen die sichere, zuverlässige Umgebungserkennung und Sensorfusion.

PRYSTINE's Ziel ist die Realisierung einer fehlertoleranten 360°-Umfeldwahrnehmung (in Engl. Fail-operational Urban Surround perceptION, FUSION), die – basierend auf robuster Radar- und Lidar-Sensorfusion und Kontrollalgorithmen – automatisiertes Fahren in urbanen Umgebungen sowie auf Landstraßen ermöglichen soll. Darüber hinaus wird PRYSTINE die Kernkompetenzen der europäischen, speziell der deutschen Industrie, von Forschungseinrichtungen und Universitäten auf dem Gebiet intelligenter Mobilität stärken. Dies gilt in besonderer Weise für Elektronikkomponenten und -systeme sowie Cyberphysische Systeme.

Die Aufgabe der OTH Amberg-Weiden im Projekt liegt in der Entwicklung dynamisch geformter, zuverlässiger Mobilkommunikation für das automatisierte Fahren. Die hierfür erforderlichen Algorithmen werden im Forschungsfahrzeug der Hochschule in praktischen Betrieb evaluiert.

Abstract

The automation of vehicles – ultimately aiming at fully autonomous driving – has been identified as one major enabler to master the Grand Societal Challenges “Individual Mobility” and “Energy Efficiency”. Highly automated driving functions (ADF) are one major step to be taken.

One of the major challenges to successfully realizing highly automated driving is the step from SAE Level-2 (Partial automation) to SAE Levels-3 (Conditional automation) and above ^[1]. At Level-3, the driver remains available as a fallback option in the event of a failure in the automation chain, or if the ADF reaches its operational boundaries. At higher levels, the driver cannot be relied upon to intervene in a timely and appropriate manner, and consequently, the automation must be capable of handling safety-critical situations on its own. For this, fail-operational behavior is essential in the sense, plan, and act stages of the automation chain. PRYSTINE's target is to realize Fail-operational Urban Surround perceptION (FUSION), which is based on robust Radar and Lidar sensor fusion, and control functions in order to enable safe automated driving in urban and rural environments.

OTH Amberg-Weiden is responsible for dynamically shaped communication to ensure reliable and safe data transfer between backend and frontend (automated vehicles) at highest possible data rates depending on the actual Quality of Service. Artificial Intelligence based algorithms will be implemented on safe embedded platform, integrated in our research vehicle and evaluated under real traffic conditions.

1 Einleitung

Die Automatisierung von Fahrzeugen zielt langfristig auf das vollautonome Fahren. Sie wurde als Schlüsseltechnologie zur Erreichung der gesellschaftlichen Ziele individueller Mobilität bei gleichzeitiger Energieeffizienz identifiziert. Hochautomatisierte Fahrfunktionen (engl. Highly Automated Driving Functions, ADF) bedeuten einen großen Schritt in Richtung autonomes Fahren. Eine der wesentlichen Herausforderungen, hochautomatisiertes Fahren umzusetzen, ist der Schritt von SAE-Level 2 (Teilautomatisierung) hin zu SAE-Level 3 (Hochautomatisiertes Fahren) und höher^[1]. Da hier der Fahrer Nebentätigkeiten ausführen darf (etwa im Internet surfen oder E-Mails bearbeiten), muss auch im Fehlerfall Betriebs-sicherheit garantiert werden (siehe Abbildung 1). PRYSTINE entwickelt hierfür geeignete E/E-Architekturen und Steuerungen.

| SAE level | Name | Narrative Definition | Execution of Steering and Acceleration/Deceleration | Monitoring of Driving Environment | Fallback Performance of Dynamic Driving Task | System Capability (Driving Modes) |
|---|------------------------|---|---|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| Human driver monitors the driving environment | | | | | | |
| 0 | No Automation | The full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems. | Human driver | Human driver | Human driver | n/a |
| 1 | Driver Assistance | The driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task. | Human driver and system | Human driver | Human driver | Some driving modes |
| 2 | Partial Automation | The driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task. | System | Human driver | Human driver | Some driving modes |
| Automated driving system ("system") monitors the driving environment | | | | | | |
| 3 | Conditional Automation | The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene. | System | System | Human driver | Some driving modes |
| 4 | High Automation | The driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene. | System | System | System | Some driving modes |
| 5 | Full Automation | The full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver. | System | System | System | All driving modes |

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and 2014 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

Abbildung 1: Automatisierungsgrade und Verantwortlichkeiten gemäß SAE-Definition^[1]

Beim SAE-Level 3 bleibt der Fahrer verfügbar – als Rückfalloption – für den Fall, dass in der Automatisierungskette ein Fehler auftritt oder die automatisierte Fahrfunktion an ihre Grenzen stößt. Bei dieser Ebene muss der Fahrer mit ausreichend zeitlichem Vorlauf auf die bevorstehende Übernahme der Fahrfunktion hingewiesen werden. Bei noch höheren Automatisierungsgraden (Level 4 und insbesondere Level 5) steht der Fahrer nicht als Rückfalloption zur Verfügung, sodass die Automatisierung in der Lage sein muss, sicherheitsrelevante Situationen selbstständig bewältigen zu können. Bei diesen Automatisierungsstufen ist Fehlertoleranz entscheidend, und zwar entlang der gesamten Automatisierungskette, angefangen vom Sensieren über das Planen bis hin zur Ausführung. Genau hier setzt PRYSTINE an: PRYSTINE verfolgt das Ziel, für die Automatisierungsstufen 3–5 eine fehlertolerante Rundumwahrnehmung zu realisieren (engl. Fail-operational Urban Surround perceptION, FUSION), welche auf robuster Radar- und Lidar-Sensorfusion basiert.

Die im Projekt zu entwickelnden Kontrollfunktionen sollen sicheres automatisiertes Fahren in urbaner Umgebung sowie auf Landstraßen ermöglichen. Gerade das komplexe urbane Umfeld ist häufig wenig strukturiert, sodass neben regelbasierten Signalverarbeitungs-algorithmen Methoden der künstlichen Intelligenz in die Steuerungen integriert werden müssen. PRYSTINE trägt diesen Forderungen mit der leistungsfähigen FUSION-Plattform Rechnung (siehe Abbildung 2). Diese Plattform fusioniert die Informationen der Fahrzeugsensoren mit den Daten der hochgenauen digitalen Karte und den Informationen, die über Kommunikation ins Fahrzeug gelangen. Dies schafft Performanz, Zuverlässigkeit und erforderliche Betriebs-sicherheit.



Abbildung 2: Fail-operational Urban Surround Perception (FUSION)

PRYSTINE wird eine Reihe wesentlicher Ergebnisse liefern, angefangen beim fehlertoleranten Sensorfusions-Framework über zuverlässige E/E-Architekturen bis hin zur sicherheitskonformen Integration von auf künstlicher Intelligenz beruhenden Ansätzen für Objekterkennung, Szenenverstehen und Entscheidungsfindung in Automobilanwendungen. Die aus PRYSTINE resultierenden FUSION-Referenz-HW/SW-Architekturen einschließlich der zuverlässigen FUSION-Komponenten für autonome Systeme werden im Rahmen des Gesamtprojekts in insgesamt 22 Demonstratoren validiert.

PRYSTINE's Gesamtkonsortium ist entlang der Wertschöpfungskette ausgerichtet. Es besteht aus insgesamt 60 Partnern aus 14 europäischen Ländern und umfasst führende Fahrzeughersteller, Tier-1- und Tier-2-Zulieferer, Halbleiterhersteller sowie weitere Partner der Wertschöpfungskette wie Technologie-Integratoren, Universitäten und Forschungseinrichtungen (siehe Projektpartner).

2 Projektzielsetzung

Die im Projekt zu entwickelnden Kontrollfunktionen sollen sicheres automatisiertes Fahren in urbaner Umgebung sowie auf Landstraßen ermöglichen.

PRYSTINE's Projektkonzept zur Erreichung dieses Ziels besteht in vier technischen Schlüsselzielen, die in der nachfolgenden Abbildung 4 veranschaulicht sind. Neben diesen vier technischen Zielen, die die unterschiedlichen Ebenen (Komponenten, Kontrollsysteme, Architekturen und Fahrfunktionen) adressieren, fokussiert PRYSTINE auch auf die nicht technischen Ziele „Wettbewerbsvorteile“ und „Benutzerakzeptanz“ hochautomatisierter Fahrfunktionen.

Auf Architekturebene wird fehlertolerantes Verhalten durch zuverlässige E/E-Architekturen realisiert. Die hohe Zuverlässigkeit soll dabei durch diversitäre Redundanzen (z. B. Fusion von Radar und Lidar) in den Bereichen Sensieren, Sensorfusion, Auswerte- und Kontrollalgorithmik sowie Diagnose erreicht werden.

Auf der Kontrollebene erfolgt die sicherheitskonforme Kointegration konventioneller Kontrollansätze (Signalverarbeitung) und neuer Ansätze basierend auf künstlicher Intelligenz (engl. Artificial Intelligence, AI). Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der Integration der AI-basierten Fusions-, Regelungs- und Diagnosealgorithmen als Teil eines Automotive-zertifizierbaren funktionalen Sicherheitsframeworks. Insbesondere die Arbitrierungs- und Entscheidungsalgorithmen – ebenfalls AI-basiert – werden entwickelt, um zu entscheiden, welcher Agent für die Fahrzeugregelung verantwortlich ist, um eine bestimmte (prädierte) Verkehrssituation bewältigen zu können. Die Möglichkeit einer mit dem Fahrer geteilten Fahrzeugführung (z. B. Querregelung durch den Fahrer, Längsregelung durch das automatisierte System) wird ebenfalls betrachtet. Auf diese Weise entfällt die Unterstützung des Fahrers nicht plötzlich (wie dies bei den meisten heutigen ADAS-Systemen der Fall ist), sondern es erfolgt eine sanfte Übergabe der Fahraufgabe, etwa wenn das Sensorsystem an seine Grenzen stößt.

Auf der Komponentenebene wird die Fehlertoleranz durch die Entwicklung neuer Radar- und Lidarsensoren realisiert. Die Innovation liegt hier in einer verbesserten Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit der Sensoren auf der Halbleiter-ebene. Robustheit und Zuverlässigkeit der Sensordaten sollen verbessert werden, wobei gleichzeitig Kosten, Chipfläche und Leistungsanforderungen gesenkt werden.

Das PRYSTINE-Projekt positioniert sich damit als Enabler für die sich abzeichnende Revolution der individuellen Mobilität: robustes, sicheres, energieeffizientes und

fehlertolerantes automatisiertes Fahren. Um die anspruchsvollen Ziele erreichen und validieren zu können, hat das PRYSTINE-Konsortium sogenannte Supply Chains (SC) definiert. Der Ansatz zur Evaluierung der Entwicklungen über Supply Chains wurde in Vorgängerprojekten bereits erfolgreich angewandt. In den einzelnen Supply Chains arbeitet nur ein Teil der Partner an der gemeinsamen Entwicklung und Erprobung von Demonstratoren, dafür aber entsprechend eng. Supply Chains stellen ein probates Mittel dar, große Projekte gut zu strukturieren und dennoch die einzelnen Partneraktivitäten gut verfolgen zu können.

3 Supply Chains

Die Ergebnisse von PRYSTINE werden in 22 Demonstratoren evaluiert. Diese sind sogenannten Supply Chains entlang der Kette von Einzelzielen zugeordnet. In PRYSTINE werden drei Arten von Supply Chains unterschieden:

- a) Technologie Enabler Supply Chains (SC 1–SC 4, Abbildung 4)

Diese entwickeln grundlegende Kerntechnologiebausteine, die von darauf aufbauenden Supply Chains benötigt werden. In einer ersten Supply Chain werden die Komponenten für die FUSION-Plattform entwickelt. Die zweite Supply Chain konzentriert sich auf die leistungsfähige Rechenplattform. Supply Chain 3 widmet sich der Einbindung der Komponenten und der Steuerung in eine Fail-Operational-Fahrzeugarchitektur. Zentrale Bedeutung haben die auf künstlicher Intelligenz basierenden Entscheidungsalgorithmen der Supply Chain 4. Mit den Ergebnissen dieser 4 Supply Chains liegt die FUSION-Plattform zur Erprobung in Fahrzeugen vor.

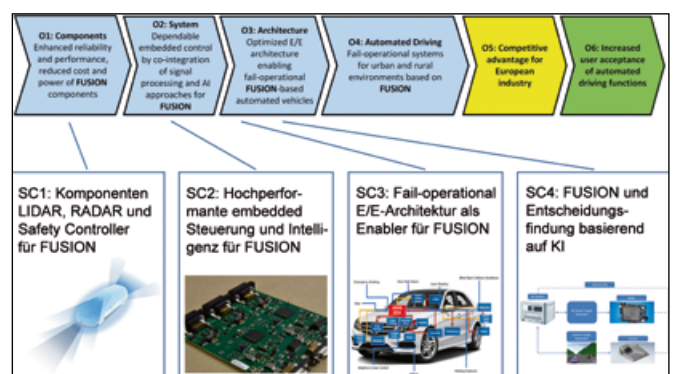


Abbildung 4: Technologie Enabler Supply Chains

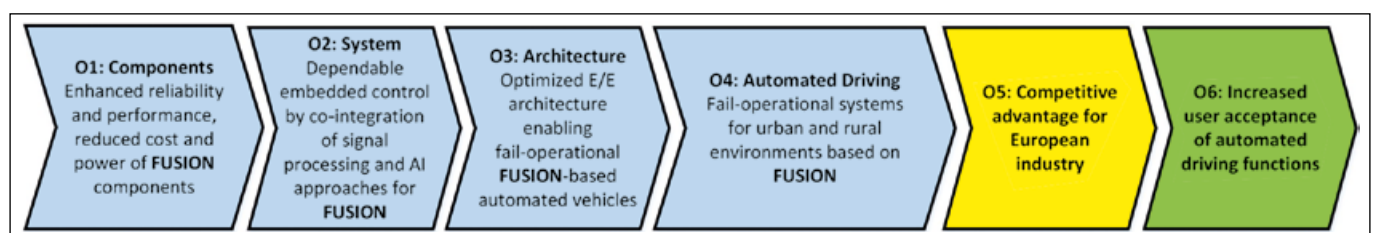


Abbildung 3: Wirkkette für fehlertolerante Rundumwahrnehmung (FUSION)

b) Applikations-SCs (SC 5–SC 7, Abbildung 5)

Applikations-SCs bauen auf die Ergebnisse der Technologie Enabler SCs auf und validieren damit deren Ergebnisse. Die Fortschritte, die PRYSTINE in seiner Gesamtheit erzielt, werden in den Demonstratoren der SCs 5–7 präsentiert. Im Rahmen des Projekts erfolgt die Anwendung der FUSION-Plattform im Nutzfahrzeugbereich, im Pkw-Bereich sowie für die Arbitrierung von Fahrer und Automatisierung bei gemeinsamer Fahrzeugsteuerung. Zur praktischen Erprobung werden mehrere Lkw, Busse und Pkw ausgerüstet.

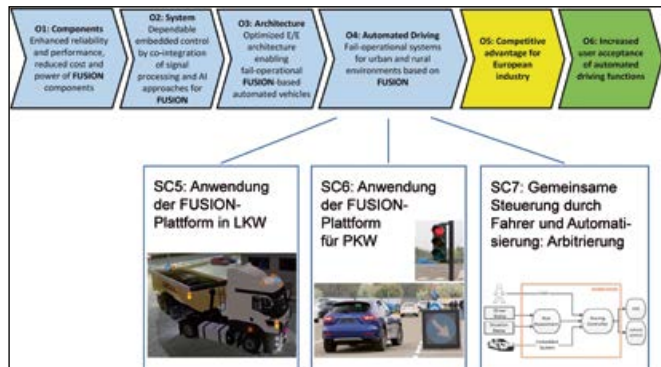


Abbildung 5: Demonstrator Supply Chains

c) Schaffung „europäischer Werte“ (Abbildung 6)

Schließlich bilden die SCs Nr. 8–10 die Basis für die Schaffung „europäischer Werte“. Insbesondere werden mit diesen Supply Chains die Auswirkungen auf die Wirtschaft, Gesellschaft und weitere paneuropäische Faktoren durch PRYSTINE untersucht: Unter anderem auf Basis der über die Demonstratoren gesammelten Erfahrungen werden im Rahmen der Supply Chain 8 neue, Fail-Operational-Halbleiter erforscht. SC 9 analysiert die Auswirkungen der PRYSTINE-FUSION-Plattform auf die Sicherheit im Straßenverkehr. Supply Chain 10 schließlich kümmert sich um die Benutzerakzeptanz der neuen automatisierten Fahrfunktionen.



Abbildung 6: Supply Chains zur Schaffung „europäischer Werte“

4 Das Teilprojekt „Dynamisch geformte zuverlässige Mobilkommunikation für das automatisierte Fahren“ in PRYSTINE

Das Teilprojekt der OTH Amberg-Weiden setzt sich zum Ziel, abhängig von der Qualität der Mobilfunkverbindung die höchstmögliche Übertragungsgeschwindigkeit bei höchster Zuverlässigkeit und Sicherheit der Mobilfunkverbindung zwischen Backend und Fahrzeug zu gewährleisten. So ist z. B. im Hinblick auf die Verkehrssicherheit der Transfer relevanter Onboard-Sensor-Daten (z. B. detektierte Baustellen und andere unvorhergesehene Ereignisse) zum Backend (Server) bzw. dynamisch upgedatete digitale Karteninformation oder Landmarken vom Backend zum Fahrzeug essenziell für sichere, automatisierte Fahrfunktionen. Weiterhin werden während der Fahrt auch Infotainment-Daten übertragen, die als Komfort-Daten eine niedrige Priorität im Vergleich zu den vorher erwähnten Verkehrsdaten besitzen. Damit Komfort-Daten nicht sicherheitsrelevante Daten verdrängen, muss ein Mechanismus zur Verteilung der Bandbreite (Traffic-Shaping) entwickelt werden (Abbildung 7).

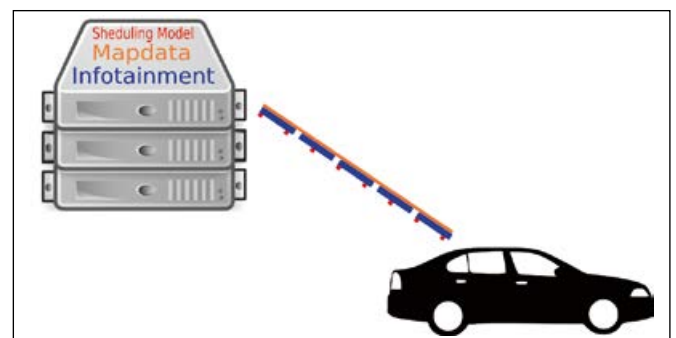


Abbildung 7: Traffic-Shaping der zwischen Server und Fahrzeug übertragenen Daten

Besonders wichtig ist hierbei die Bestimmung der optimalen Nachrichtenlänge in Abhängigkeit von deutlich unterschiedlichen Verbindungsqualitäten, damit hochaktuelle Daten in den automatisierten Fahrzeugen gewährleistet werden können. So kann die QoS einer Mobilfunkverbindung (z. B. LTE) je nach tatsächlicher Umgebung sehr unterschiedlich sein und bei der Verwendung einer festen Nachrichtenlänge kann keine optimale Lösung gefunden werden. Liegt eine hohe QoS vor, können Datenpakete sehr groß gewählt werden (um den Overhead der Kommunikation zu minimieren), wohingegen im Falle eines schlechten QoS die Datenpakete entsprechend kürzer gewählt werden sollten, weil die Datenübertragung von längeren Nachrichten bei einer schlechten Verbindung abbrechen kann und die Datenpakete erneut gesendet werden müssen. Dies erzeugt einen weiteren Overhead an Daten, bei einer bereits schlechten Verbindung. Speziell bei langen Nachrichten und schlechter Übertragungsrate kann es vorkommen, dass eine Nachricht mehrmals gesendet werden muss oder im Extremfall gar nicht ankommt.

Zur vorausschauenden Beurteilung der Qualität der Mobilfunkverbindung (auf Basis LTE) werden innovative Methoden der Künstlichen Intelligenz zum Einsatz kommen, die auf real gemessenen Daten (z. B. der sogenannten Round-Trip-Time RTT und des Datendurchsatzes) arbeiten. Aufbauend darauf werden die Nachrichtenparameter „geformt“ und zwischen Fahrzeug und Server dynamisch während der Fahrt angepasst. Die daraus resultierende hochzuverlässige Kommunikation bedeutet einen wichtigen Technologiebaustein für die FUSION-Plattform in PRYSTINE.

Im Projekt AutoDrive^[2, 3] werden neben der Entwicklung einer gesicherten V2Server Kommunikation bereits erste Traffic-Shaping-Algorithmen entwickelt und auf PC-Plattformen implementiert. Die Traffic-Shaping-Algorithmen verwenden in ersten Ansätzen die Vorhersage des LTE-Datendurchsatzes mittels eines GEO-basierten Verfahrens^[4-7], das über Karten-Kacheln und Kartenabschnitte definiert ist. Hier werden verschiedene Verfahren verglichen und das Traffic-Shaping zum ersten Mal umgesetzt, um z. B. sichere SW-Updates über LTE zu ermöglichen. Diese Konzepte und Algorithmen erfordern eine signifikante Erweiterung und Übertragung auf eine Echtzeit-Safety-Plattform, um eine sichere Funktion in einem Automotive-Umfeld zu gewährleisten.

Die OTH Amberg-Weiden ist deswegen im Projekt PRYSTINE bestrebt, den QoS einer Mobilfunkverbindung anhand realer Messdaten, wie Round-Trip-Time oder Datendurchsatz, sowie über LTE-Parameter wie z. B. RSSI (Received Signal Strength Indicator), RSRQ (Reference Signal Received Quality) etc. zu bestimmen. Dazu wird eine sichere Vorhersage des LTE-Datendurchsatzes benötigt, die mithilfe von Machine-Learning-Algorithmen wie der Support Vector Regression oder Neuronalen Netzen erfolgt. Der große Vorteil hierbei ist, dass nicht von jeder Straße Durchsatzdaten erfasst werden müssen, wie etwa bei

einem GEO-basierten Verfahren, welche bereits durch die OTH Amberg-Weiden untersucht wurden^[8]. Das Modell kann, einmal erfasst, auch auf neue Strecken übertragen werden. Hierbei werden verschiedene Verfahren, z. B. aus AutoDrive und aus der Literatur, verglichen. Es erfolgt eine Entwicklung verschiedener Verfahren, z. B. die Entwicklung eines mehrstufigen Verfahrens, bei dem zuerst LTE-Parameter vorhergesagt werden, und in einem zweiten Schritt dann eine Vorhersage des Durchsatzwertes erfolgt, oder ein Voting-basiertes Verfahren, welches mehrere andere Verfahren nutzt, um ein Ergebnis zu erzielen, welches besser als die Einzelergebnisse ist^[9]. Auf dieser Grundlage soll die Kommunikation so gestaltet werden, sodass eine QoS abhängige höchst zuverlässige Kommunikation gewährleistet werden kann.

Alle Algorithmen sollen auf einer Embedded-Plattform implementiert werden, die von der OTH Amberg-Weiden in PRYSTINE entwickelt wird. Diese besteht aus verschiedenen Automotive-Subsystemen. Da die einzelnen Algorithmen ausgetauscht oder verbessert werden sollen, soll auch ein Mechanismus entwickelt werden, welche einen Austausch der Algorithmen über einen SW-Update mittels der Serververbindung ermöglicht. Um das innovative Konzept zu demonstrieren und zu evaluieren, wird ein Demonstratorsystem auf Basis der neuen Embedded-Plattform (z. B. basierend auf Linux-System plus Mikrocontroller) integriert in einem Versuchsträger (Forschungsfahrzeug der OTH Amberg-Weiden) und einem Server an der OTH Amberg-Weiden realisiert. Der Versuchsträger wird so ausgebaut sein, dass er Fahrzeugdaten erfassen kann, die für die Entwicklung der Algorithmen eingesetzt werden.

Die Arbeiten von OTH Amberg-Weiden in PRYSTINE betreffen die Supply Chain 3. OTH Amberg-Weiden ist verantwortlich für einen der 22 Projektdemonstratoren.

Referenzen:

- [1] Society of Automotive Engineers, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems“, SAE International Standard J3016, January 16, 2014
- [2] ECSEL project AutoDrive, <https://autodrive-project.eu/>
- [3] Philipp Heß, Josef Schmid, Alfred Höß, „Development of a tool for passive monitoring a vehicle-to-server communication“, OTH Amberg-Weiden Forschungsbericht 2018, Amberg, 2018
- [4] J. Yao, S. S. Kanhere, und M. Hassan, „Improving QoS in High-Speed Mobility Using Bandwidth Maps“, IEEE Transactions on Mobile Computing, Bd. 11, Nr. 4, S. 603–617, Apr. 2012
- [5] B. Taani und R. Zimmermann, „Spatio-Temporal Analysis of Bandwidth Maps for Geo-Predictive Video Streaming in Mobile Environments“, Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference, 2016, S. 888–897
- [6] J. Yao, S. S. Kanhere, und M. Hassan, „Using Bandwidth-road Maps for Improving Vehicular Internet Access“, in Proceedings of the 2nd International Conference on COMMunication Systems and NETWORKS, Piscataway, NJ, USA, 2010, S. 460–461

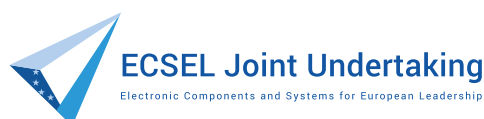
- [7] H. Riiser, T. Endestad, P. Vigmostad, C. Griwodz, und P. Halvorsen, „Video streaming using a location-based bandwidth-lookup service for bitrate planning“, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), Bd. 8, Nr. 3, S. 24, Juli 2012
- [8] J. Schmid, P. Heß, A. Höß, B. W. Schuller, „Passive monitoring and geo-based prediction of mobile network vehicle-to-server communication“, IEEE 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Zypern, Juni 2018, S. 1483–1488
- [9] L. Rokach, „Ensemble-based classifiers“, Artif Intell Rev, Bd. 33, Nr. 1–2, S. 1–39, Feb. 2010

Projektpartner:

| OEM | Tier-1 | Tier-2 | Semi-conductor | University | R&D Institutes |
|---|---|---|---|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| |  |  | |  |  |
| |  |  | |  |  |
| |  |  | |  | |
| |  |  | |  | |
| | |  | |  | |

Fördergeber:

PRYSTINE (Projektnr. 783190) wurde im Rahmen des ECSEL-Calls 2017 als Research and Innovation Action (RIA) eingereicht und landete im Ranking der Gutachter auf Platz 1 unter allen eingereichten Projektvorschlägen – entsprechend hoch ist die Erwartungshaltung. PRYSTINE startete am 1.5.2018 und hat eine Laufzeit von 3 Jahren. Die Projektkosten betragen knapp 51 Mio. Euro. Diese werden zum Teil gefördert, auf europäischer Ebene durch die EU im Rahmen H2020 und auf nationaler Ebene durch das BMBF.



Kontakt:



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



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

PROFINET – Einsatzszenarien und Kompetenzen in Entwicklung und Zertifizierungen

Tristan Schönfelder, M.Sc.
Julian Rost, M.Sc.
Benedikt Etzold, M.Sc.
Alexander Gercikow, M.Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Einführung

Bei PROFINET handelt es sich um einen führenden, echtzeitfähigen Industrial Ethernet Standard für die Automatisierung. Dieser basiert auf Ethernet, derselben Technologie, die sich bereits seit Jahrzehnten in Bereichen wie Büros und IT-Abteilungen etabliert hat und aus diesem Grund von vielen Geräteherstellern unterstützt wird. Um die stetig wachsenden Anforderungen an moderne industrielle Applikationen erfüllen zu können, muss der offene PROFINET-Standard ständig erweitert und weiterentwickelt werden.

Zur Gewährleistung der Interoperabilität von Geräten verschiedener Hersteller existiert ein umfangreiches Zertifizierungswesen, welches von der PI (PROFIBUS & PROFINET International) betreut wird. Ein Gerät muss von einem akkreditierten PI-Test-Labor erfolgreich geprüft werden, bevor der Gerätehersteller ein Zertifikat bei der PI erwerben kann. Solch eine Prüfung besteht aus einer bestimmten Anzahl genau definierter Tests, welche 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 speziellen Software namens „Automated RT-Tester“ durchgeführt und decken in etwa 70 Prozent der PROFINET-Basispezifikation ab. Diese Software wird an der OTH Amberg-Weiden am Standort Amberg innerhalb der Arbeitsgruppe AUT mit der Unterstützung des aia – automations institut amberg entwickelt. Bei der Entwicklung des Testers sind weiterhin zahlreiche namhafte Firmen wie beispielsweise Siemens, Phoenix oder Bosch Rexroth beteiligt. Somit kann das von dieser Arbeitsgruppe entwickelte moderne Testkonzept eine weltweit einheitliche Zertifizierung garantieren.

Abstract

PROFINET is one of the leading real-time Industrial Ethernet standards for automation. It is based on Ethernet, the same technology which has been established for the past decades, e.g. in offices and IT departments. Therefore, it has been implemented by most 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 accredited PI Test Laboratory in order to obtain a certificate from the PI. Such a test consists of a number of well-defined test steps 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 following a software based approach and cover approximately 70 percent of the PROFINET basic specification. The working group AUT and the aia – automations institut amberg develop and maintain this software at the OTH Amberg-Weiden in Amberg. Furthermore, a large number of widely established companies like Siemens, Phoenix or Bosch Rexroth is involved in the development of the tester. In this way our testing concept guarantees highest certification standards all over the world.

Anforderungen an das Testsystem

Ähnlich wie beim Testsetup des „Automated RT-Testers“ für Devices ist auch die Testumgebung des Controllers genauestens definiert. Dadurch wird die volle Reproduzierbarkeit der Testergebnisse gewährleistet, was die Betreuung bei möglichen Problemen oder auch die Weiterentwicklung des Testers erheblich erleichtert. Die Testumgebung eines Standard-2-Port-Controllers ist nachfolgend in Abbildung 1 dargestellt.

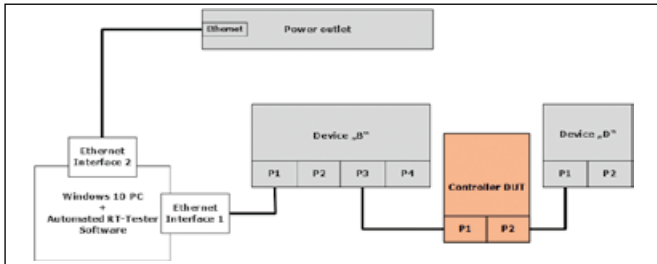


Abbildung 1: PROFINET-Standard-Testsetup

Das Standard-Testsetup setzt sich aus mehreren definierten Nachbargeräten für das Controller DUT (Device Under Test) sowie einer über Ethernet gesteuerten Steckdose zusammen. Der „Automated RT-Tester“ ist somit in der Lage, einzelne Geräte je nach Testfall ein- bzw. auszuschalten. Weiterhin ermöglicht diese Peripherie beispielsweise die Überprüfung von Topologie-Informationen via LLDP-Paketen. Aufgrund dieses Aufbaus ist es möglich, den Testablauf vollautomatisch durchzuführen. Nach dem Testdurchlauf stehen dem Testingenieur detaillierte Reports und umfangreiche Aufzeichnungen des Netzverkehrs zur Analyse der Ergebnisse und eventuell aufgetretener Fehler zur Verfügung.

Der Einsatz des „Automated RT-Testers“ ermöglicht nicht nur die Prüfung bereits zertifizierter PROFINET-Devices und Controller, er unterstützt die Hardwarehersteller außerdem aktiv durch Prä-Zertifizierungstests bei der Entwicklung neuer Geräte.

Erweiterung des „Automated RT-Tester“-Frameworks

Um für ein Gerät ein PROFINET-Zertifikat zu erhalten, musste vor der Entwicklung des „Automated RT-Testers“ jedes einzelne Datenpaket händisch auf Fehler und Abweichungen untersucht werden. Um diese sehr zeit- und kostenintensive Arbeit zu optimieren, entwickelten Mitarbeiter der Arbeitsgruppe AUT der OTH Amberg-Weiden mit der Unterstützung des aia – automations institut amberg ein Tool namens „Automated RT-Tester“, welches je nach Testfall definierte Protokoll-Spezifikationen in sog. Testcases vollständig automatisiert bei den angeschlossenen Geräten auf die implementierten PROFINET-Standards überprüft. Dabei werden die Module insbesondere auf ihre Interoperabilität und Echtzeitfähigkeit geprüft. Sollte ein Gerätehersteller eigene zusätzliche Anforderungen überprüfen wollen, bietet der „Automated RT-Tester“ die

Möglichkeit, eigene Testcases einzubinden und entsprechend automatisiert zu testen. Im ersten Entwicklungsschritt des „Automated RT-Testers“ wurde der Fokus auf die Device-Zertifizierung gelegt. Die folgende Projektstufe hat neben der Weiterentwicklung der Device-Tests eine Erweiterung des Testscopes um steuernde PROFINET-Komponenten, die sog. Controller, zum Gegenstand. Aus dieser Erweiterung resultiert eine signifikante Änderung des gesamten Testaufbaus – der „Automated RT-Tester“ fungiert in dieser neuen Konstellation als simuliertes Device, womit ein Rollentausch von der aktiven auf die passive Seite einhergeht. Der Controller muss somit mittels zugelieferten Engineerings zu den im Testablauf nötigen Aktionen veranlasst werden. Aufbauend auf der jahrelangen erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen der Arbeitsgruppe AUT und der PNO (PROFINET-Nutzerorganisation) wird die Controller-Test-Entwicklung ebenfalls von der Arbeitsgruppe von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt übernommen und in den bestehenden Tester integriert. Um das zu erreichen, musste die vorhandene Software-Architektur erheblich erweitert und verändert werden. Diese Erweiterung ist nachfolgend in Abbildung 2 dargestellt.

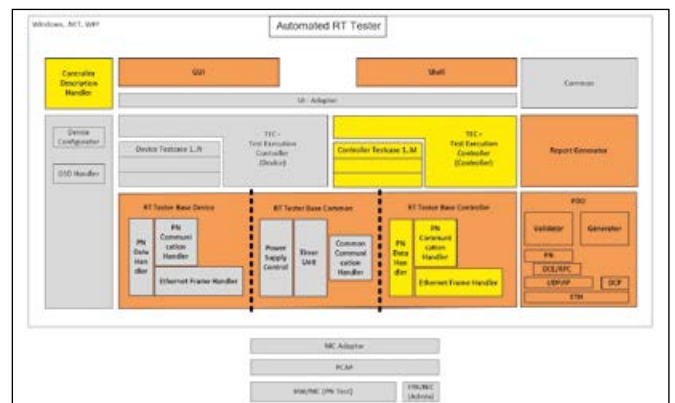


Abbildung 2: Erweiterte Softwarearchitektur des „Automated RT-Testers“ für Devices und Controller

Die farblich hinterlegten Elemente in der Abbildung zeigen die notwendigen Schritte des Framework-Umbaus. Dabei stellen die orangenen Blöcke Erweiterungen der bestehenden DLLs und die gelben Blöcke völlige Neuentwicklungen dar. Wie man deutlich sehen kann, findet der größte Umbau bzw. Erweiterung in der RT-Tester-Basis und den PDUs statt. Diese Basis steuert sämtliche Kommunikation zwischen dem Controller und dem Device mithilfe der PDUs. Diese Änderungen machen außerdem eine Anpassung der grafischen Nutzeroberfläche und der generierten Reports nötig. Im Kontext des Umbaus einiger DLLs konnten weitere Verbesserungen implementiert und somit eine Steigerung der Tester-Performance erreicht werden.

Erweiterungen des PROFINET-Standards

In der Weiterentwicklung des „Automated RT-Testers“ wird der PROFINET-Standard nicht nur angewandt und abgeprüft, im Fall fehlender oder ungenauer Spezifikation

sind darüber hinaus die entsprechenden Erweiterungen vorzunehmen. Dabei stellt das von der Arbeitsgruppe AUT definierte Test Flow Protocol for Controller (TFPC) einen Meilenstein in der Controllerzertifizierung dar. Das Prinzip des TFPCs ist nachfolgend in Abbildung 3 zu sehen. Das Ablaufdiagramm zeigt dabei die Kommunikationsverbindung zwischen dem „Automated RT-Tester“ und dem Controller-DUT mittels sog. Requests und Responses und ist in einer für Datenübertragung typischen Darstellungsform wiedergegeben.

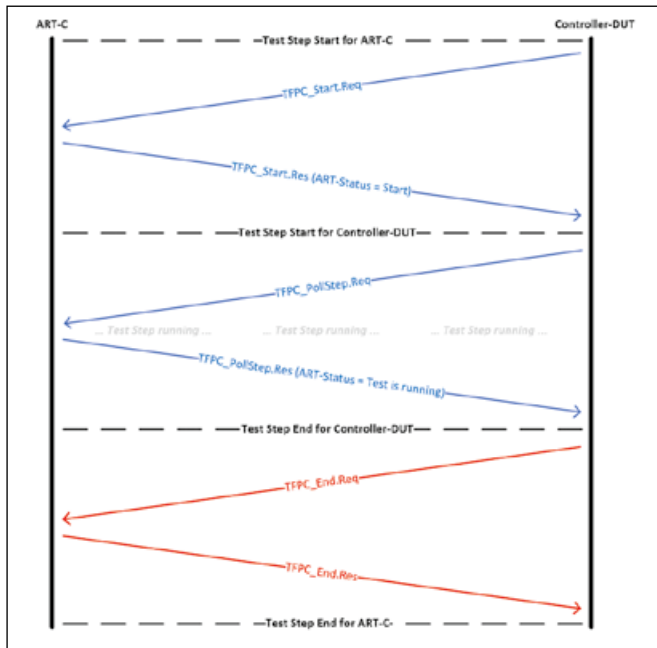


Abbildung 3: Stark vereinfachtes Ablaufdiagramm des TFPC

Neben dem TFPC ist weiterhin die Entwicklung eines GSD-Pendants, einer sog. Controller Description (CD), notwendig. Während für jedes Device eine GSD existiert, die eine detaillierte Beschreibung des zu verwendenden Geräts in einem .xml-Schema beinhaltet, existierte ein solches Beschreibungsformat für Controller bislang nicht.

Weltweite Kooperation

Die OTH Amberg-Weiden arbeitet bei der Entwicklung des „Automated RT-Testers“ eng mit verschiedenen namhaften Firmen wie Siemens, Phoenix oder auch Bosch Rexroth zusammen. Diese beteiligen sich dabei sowohl mit ihrer Hardware als auch mit ihrem Know-how. Weiterhin wirkt sich die Zusammenarbeit ausgesprochen positiv auf die Qualität der Software aus, da auf diese Art die verschiedenen Blickwinkel und Gesichtspunkte berücksichtigt bzw. eingebettet werden können und die Test-Software unter Verwendung der Geräte der verschiedenen Entwicklungspartner eingehend überprüft werden kann.

Da PROFINET weltweit Verwendung findet, haben Mitglieder der Arbeitsgruppe von der OTH Amberg-Weiden in Kooperation mit der PI bereits mehrere Schulungen zur Handhabung des „Automated RT-Testers“ durchgeführt. Diese Workshops wurden sowohl national, z. B. in Mainz,

als auch international wie etwa in Peking oder Den Haag abgehalten.

PROFINET-Einsatzszenarien in der Praxis

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes für die Firma MSF Vathauer wurde eine bestehende Frequenzumrichter-Plattform, die bereits verschiedene industrielle Kommunikationssysteme unterstützt, um die Möglichkeit erweitert, nun ebenfalls über PROFINET angesteuert zu werden. Die Anbindung an das PROFINET-Netzwerk wurde mithilfe eines Application Specific Integrated Circuit (ASIC), des TPS-1 von Phoenix Contact, realisiert. Dieser ASIC wird über eine SPI-Schnittstelle von einem Mikrocontroller konfiguriert und parametrisiert. Über diesen Mikrocontroller wird ebenfalls der Frequenzumrichter selbst angesteuert.

Um ein spezifikationskonformes Verhalten des Frequenzumrichters zu gewährleisten, wurde der „Automated RT-Tester“ mit seinen automatisierten Tests entwicklungsbegleitend eingesetzt, die Adhoc-Erkennung und -Analyse protokollspezifischer Fehler wurde damit deutlich vereinfacht. Weiterhin ist es hiermit möglich, umfangreichere und genauere Tests durchzuführen, als es z. B. mit Standardcontrollern der Fall ist. Durch die Möglichkeit, im „Automated RT-Tester“ benutzerdefinierte Testfälle zu erstellen, können außerdem noch spezifischere Tests implementiert werden, um neu hinzugefügte Features besser zu testen.

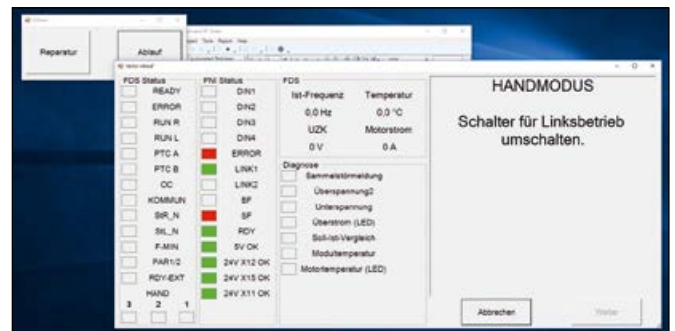


Abbildung 4: Benutzerdefinierte Oberfläche für Frequenzumrichter Inbetriebnahme

Weiterhin ist es mittels dieser Features des „Automated RT-Testers“ möglich, eine eigene Oberfläche zu entwerfen, mit der erste Inbetriebnahme-Szenarien durchgeführt werden können. Eine solche Oberfläche ist in Abbildung 4 zu sehen. Die abgebildete Software dient der Inbetriebnahme-Prüfung nach der Fertigung, also um Fehler noch vor Auslieferung zum Kunden zu detektieren.

Projektpartner/Fördergeber:

PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.

Kontakt:



Tristan Schönfelder, M.Sc.

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

t.schoenfelder@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



Benedikt Etzold, M.Sc.

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

b.etzold@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



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

Einsatzmöglichkeiten von Low-Cost-Mikro-Rechner „Raspberry Pi“ im industriellen Umfeld: Raspberry Pi als PROFINET-IO-Device

Sebastian Schaffenroth, M.Eng.
Sebastian Zach, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Schmidt

Zusammenfassung

Durch einen wachsenden Einsatz von Industrial Ethernet Standards wie PROFINET wächst ebenso das Interesse, Mikro-Computer als flexible Low-Cost-Feldgeräte einzusetzen. In diesem Bericht werden verschiedene Hard- und Software-Methoden, um ein Raspberry-Pi-Mikro-Computer als PROFINET-IO-Device zu nutzen, getestet. Das PROFINET-IO-Device steuert, indem seinen GPIOs mit einer Adapter-Platine verbunden sind, eine Modell-Taktstraße. Es wird Standard-Hardware mit einem PROFINET-Software Stack, Standard-Hardware mit der NetHat-Hardware-Aufsatz und der NetPi RTE 3 Version des Raspberry Pi getestet. NetHat und NetPi RTE3 sind kommerzielle Produkte. Abschließend werden die verschiedenen Methoden und deren Vorteile zur Standard-Hardware verglichen.

Abstract

Through a growing range of use of industrial Ethernet Standards like PROFINET there's also an interest in using micro-computers as flexible low-cost field devices. Here we're testing different soft- and hardware methods for using a Raspberry Pi micro-computer as a PROFINET-IO-Device. The PROFINET-IO-Device is controlling a model assembly line with its GPIOs connected to an adapter circuit board. We're testing standard hardware with an PROFINET Software Stack, standard hardware with the NetHat hardware addition and the NetPi RTE 3 version of the raspberry Pi. NetHat and NetPi RTE 3 are commercial products. In Conclusion we're comparing the different methods and advantages to standard industrial hardware.

1 Einleitung

Seit seiner Einführung im Jahre 2012 hat sich der Low-Cost-Micro-Computer „Raspberry Pi“ bereits im Hobbybereich und in der Lehre sehr weit verbreitet und dort eine sehr große Anwenderbasis gewonnen. Die universelle Plattform „Raspberry Pi“ besteht aus dem Kreditkartengroßen Einplatinencomputer, der Anwender-Software, Betriebssystem(en) und Hardware-Erweiterungen, die in der Regel als Adapterplatinen ausgeführt sind.

Es liegt nah diesen preiswerten Mikro-Computer auch als Plattform für wirtschaftliche und flexible Lösung im industriellen Umfeld einzusetzen, sodass mittlerweile auch erste Versionen, die industrielle Forderungen abdecken sollen, adaptiert wurden und werden. Die Bandbreite dieser Anpassungen reicht dabei von überschaubaren Software-Änderungen bis hin zum umfassenden Redesign der Hard- und Software.

Die Eignung von drei unterschiedlichen Raspberry-Pi-basierten Lösungen wird für den Einsatz im industriellen Umfeld untersucht. In der vorliegenden Arbeit werden Lösungen betrachtet, die eine Industrial-Ethernet-Kommunikation als Basis für IIoT (Industrial Internet of Things) ermöglichen. Als Industrial Ethernet wird PROFINET als weit verbreiteter offener Standard betrachtet, der von vielen Geräteherstellern unterstützt wird.

Ein PROFINET-Netzwerk besteht aus einem Controller und verschiedenen Devices. Die Devices liefern Eingangsdaten und steuern über Ausgangsdaten Aktoren, die den physikalischen Prozess umsetzen, wobei der PROFINET-Controller diese Daten der Steuerungsanwendung zur Verfügung stellt, die die logische Verarbeitung der Daten durchführt und die Ausgangsdaten setzt.

Als Referenz- und Testanwendung zur Beurteilung der Software-Features wird über PROFINET-Devices eine Modell-Taktstraße angesteuert, die eine typische Automa-

tisierungsaufgabe nachbildet. Die Taktstraße besteht aus binären Aktoren (Förderbänder, Werkzeugmaschinen) und Sensoren (Lichtschranken und Taster), welche vom RaspBerry-Pi mithilfe der Ein- und Ausgänge (GPIOs, General Purpose Input Output) über eine Adapterplatine angesteuert werden.

Im Folgenden werden zuerst die Einbettung des PROFINET-Stacks und die Ansteuerung der GPIOs und anschließend verschiedene Möglichkeiten für die Hardware-Umsetzung beschrieben.

2 Software-Lösungen mit Standardhardware

Im Labor Anlagentechnik wurde ein Taktstraßen-Modell mit Raspberry Pis zur Steuerung ausgerüstet. Hierzu wurden die entsprechenden Elektronik-Anschaltungen für den Raspberry Pi entwickelt. Eine dieser Platinen ist zur Umsetzung von GPIO-Signalen für die Steuerung von Motoren auf der Taktstraße entwickelt worden, eine weitere, um eine direkte Bedienung über Druckknöpfe und Signal-LED zu ermöglichen.

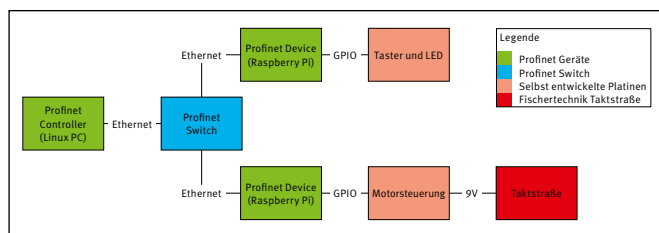


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Taktstraßenmoduls

Ein PROFINET-fähiger Software-Stack wurde so angepasst, dass die Ansteuerung der Taktstraße über den Raspberry Pi als PROFINET-Device ermöglicht wurde.

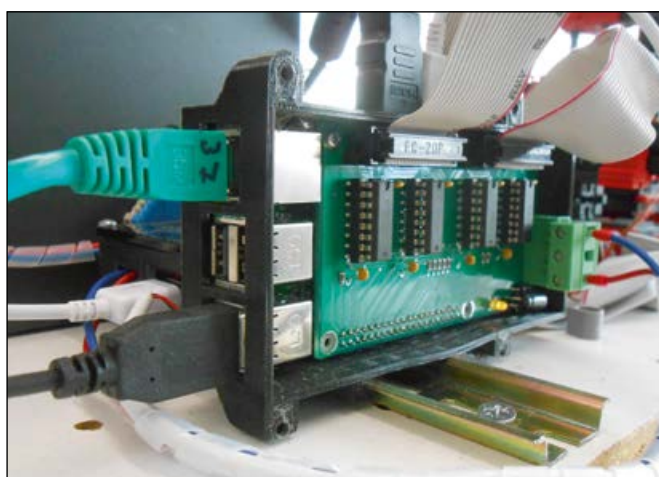


Abbildung 2: Raspberry Pi mit verbundener Motorsteuerung in Gehäuse

Im Gegensatz zu industriellen PROFINET-Devices verfügt ein Raspberry Pi nur über eine Ethernet-Schnittstelle, sodass ein direktes Verbinden von mehreren Devices nicht möglich ist. Anstelle der in der Industrie weit verbreiteten Linienstruktur, bei der ein Teilnehmer mit dem nächsten

verbunden wird, muss ein Raspberry Pi immer über einen Kommunikationsknoten, d. h. Switch, angeschlossen werden, sobald ein weiterer Teilnehmer vorhanden ist. Dies bedingt einen deutlichen Mehraufwand. Andererseits kann durch den Anschluss über Switches das Netzwerk unterschiedlich konfiguriert werden und es erlaubt sehr flexibel auf Anforderungen zu reagieren.

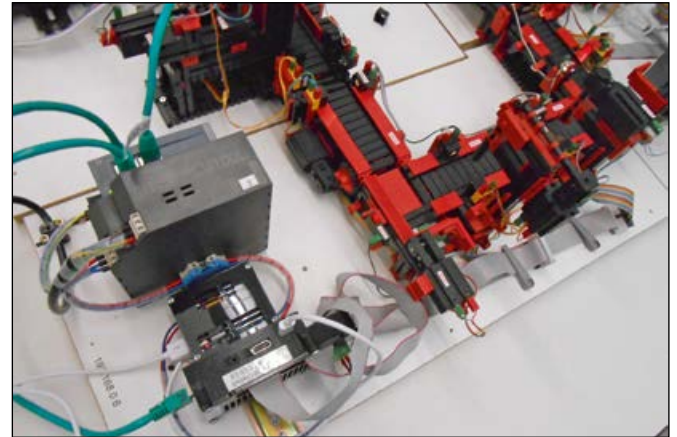


Abbildung 3: Steuerungs- und Spannungsversorgung eines Moduls der Fischertechnik Taktstraße

Als PROFINET-Controller, der die Ein- und Ausgangsdaten aller Devices an das Steuerungsprogramm weiterleitet, wird ein Software-Stack von Siemens eingesetzt. Hierfür wird ein handelsüblicher PC mit einer Netzwerkkarte nachgerüstet und ein echtzeitfähiges Linux (RT Linux mit Preempt-Patch) als Betriebssystem eingesetzt.

Die Steuerungsanwendungen und die Software für die Devices sind als C-Programm realisiert.

Es zeigt sich, dass hier bereits Steuerungsanwendungen realisiert werden können, die zumindest von der Softwareseite für einen industriellen Einsatz tauglich sind. Für den praktischen Einsatz stehen alle Tools zur Verfügung, wobei für die Inbetriebnahme ein tiefgehendes Verständnis und Erfahrung mit Linux und hardwarenaher C-Programmierung nötig ist.

Unbefriedigend bleibt die Hardware-Seite. Die Verwendung eines Spannungspegels von 24 V DC, der in der Industrie Standard ist, muss durch zusätzliche Hardware ermöglicht werden. Außerdem ist der Raspberry Pi nur mit einer Ethernet-Schnittstelle ausgestattet, sodass sich zwangsläufig eine Baumstruktur des Netzwerks ergibt, die wiederum zwingend den Einsatz von Switches im Feld erfordert. Diese bedingen als Zusatzhardware auch eine zusätzliche Stromversorgung im Feld.

Unberücksichtigt bleiben die oftmals rauen Umgebungsbedingungen im praktischen Einsatz sowie die Langzeit-Verfügbarkeit und Stabilität der eingesetzten Hard- und Softwarekomponenten. Für den Einsatz im Labor wurde hierfür eigens ein Gehäuse entwickelt, das den Raspberry Pi und die Motorsteuerung schützt. Dadurch konnte eine

Beeinträchtigung der Hardware unter Laborbedingungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Somit erscheint diese Variante für Anwendungen in einem geschützten, gesicherten Umfeld gut möglich und sinnvoll, wenn hohe Flexibilität erforderlich ist. Neben der typischen Anwendung in der Lehre kann dies insbesondere in Prüf- oder Testumgebungen in der Industrie verwendet werden, solange die Anforderungen an die Umgebungsbedingungen weitgehend denen einer Büroumgebung entsprechen.

3 Lösungen mittels Zusatzhardware

Mit dem NetHat existiert eine Hardware-Lösung, die auf die Pinleiste des Raspberry Pi aufgesteckt werden kann. Der NetHat bietet eine einfache und schnelle Lösung an, einen handelsüblichen Raspberry Pi als ein PROFINET-Device zu verwenden. Er erlaubt es, den Raspberry Pi mit einem echtzeitfähigen Netzwerk zu verbinden. Die zwei Netzwerkschnittstellen auf dem NetHat erlauben jetzt Netzwerke ohne den Einsatz von Switchen.

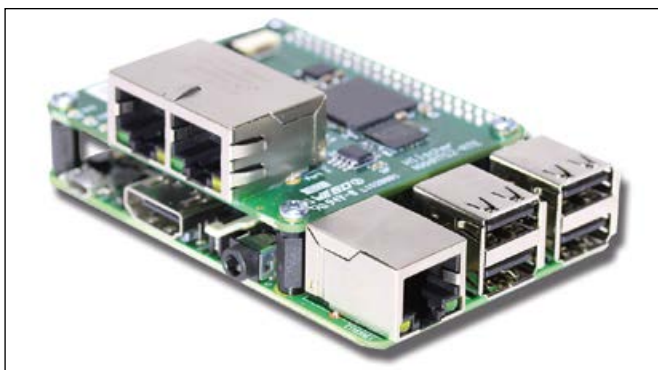


Abbildung 4: NetHat (oben) auf Raspberry Pi montiert

Der NetHat selbst ist über SPI0 an den Raspberry angebunden. Dadurch wird kein GPIO belegt und diese können zur Steuerung von externen Geräten verwendet werden. Einfache mitgelieferte Beispiele helfen schnell und unproblematisch, Anwendungen für PROFINET zu entwickeln. Der Verbindungsaufbau und die Handhabung von zyklischen Paketen wird vom NetHat oder einer mitgelieferten Bibliothek übernommen. Auch hier ist allerdings ein besseres Verständnis von Linux und C-Programmierung erforderlich.

Durch die Erweiterung der Netzwerkschnittstellen ist der Raspberry Pi mit NetHat schon näher an einer industriellen Lösung. Der Einsatz in praktischem Umfeld kann nachgebildet werden, ohne zusätzliche Switches verwenden zu müssen.

Es bleiben aber noch die Hardware-Nachteile einer reinen Raspberry-Lösung mit Standardhardware bestehen. Ein Spannungspegel von 24 V ist auch hier nicht verfügbar und muss nachgerüstet werden. Ein Schutz gegen äußere Einflüsse in Form eines Gehäuses oder einer Hülle für den

Raspberry Pi ist nicht vorhanden. Dies macht auch diese Variante anfällig für das raue Umfeld im industriellen Einsatz.

4 Industrie-Hardware-Lösungen

Einen Schritt weiter als der NetHat geht der „netPi RTE 3“. Der verbaute Raspberry Pi ist nicht mehr mit dem ursprünglichen Gerät zu vergleichen. Er wurde für die Anforderungen an eine Industrieumgebung mit PROFINET angepasst. Die Platine ist komplett neu entworfen worden und zeigt nur noch begrenzte Ähnlichkeit zu der ursprünglichen Raspberry-Pi-Platine. Wie beim NetHat sind auch hier zwei extra Netzwerkschnittstellen für Echtzeit-Ethernet zu finden, die einen Einsatz von Switchen verzichtbar machen.

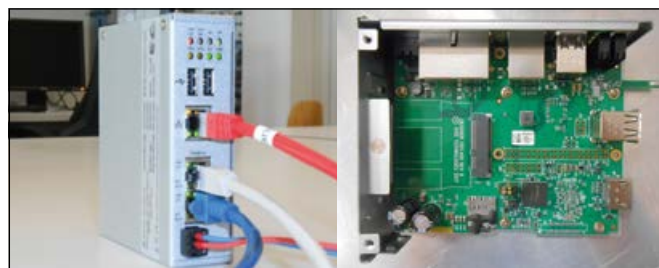


Abbildung 5: netPi RTE 3

Der netPi ist für den Einsatz im industriellen Umfeld entwickelt worden. Der Raspberry wurde in einem Metallgehäuse verbaut, um gegen EMV und mechanische Einflüsse zu schützen, die in Industrieanlagen auftreten können.

Die GPIOs können über eine Zusatz-Platine nach außen geführt werden und sind dadurch ebenfalls weniger anfällig gegen äußere Einflüsse. Dies macht den netPi widerstandfähiger als die bisher betrachteten Lösungen.

Eine Integration von Docker-Elementen in das Betriebssystem erlaubt es, Anwendungen in einer kontrollierten Umgebung auszuführen. Mit Docker wird Software erheblich einfacher ausgerollt oder im Fehlerfall auf einen definierten Zustand zurückgeführt. Die Container von Docker bieten eine abgesicherte Umgebung, die Veränderungen am Betriebssystem verhindert, und dadurch Ausfälle vermeidet. Diese Container können ohne größere Vorkenntnis über eine Weboberfläche eingesetzt oder neu gestartet werden.

Während die Lösungen mit Standard-Hardware oder mit dem NetHat durchaus geeignet sind, Testaufbauten und Prototypen zu realisieren, bietet der netPi eine Lösung an, die im praktischen Betrieb einsetzbar ist. Durch den Aufbau der Software mit Docker wurde eine Umgebung geschaffen, die nicht nur Ausfallsicherheit gewährleistet, sondern auch eine Inbetriebnahme ohne fundierte Kenntnisse in Linux ermöglicht. Ein ausreichender Schutz ist durch das Metallgehäuse gegeben.

5 Fazit

Für Umgebungsbedingungen, die weitgehend denen einer Büroumgebung entsprechen, bietet der RaspberryPi eine sehr wirtschaftliche Möglichkeit, ein PROFINET-IO-Device zu realisieren. Für den Einsatz in einer Linien-Topologie oder echtzeitfähigen Netzen wird der NetHat-Aufsatz benötigt. Sind auch Anforderungen an die EMV- und mechanischen, Verträglichkeit der Hardware gestellt, so wird der netPi benötigt, welcher preismäßig in der Höhe eines industriellen IO-Devices liegt. Jedoch bietet er eine große Flexibilität, da er auch andere Industrial-Ethernet-Standards unterstützt und durch sein Betriebssystem vielseitig verwendbar ist.

Kontakt:



Sebastian Schaffenroth, M.Eng.

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

se.schaffenroth@oth-aw.de



Sebastian Zach, M.Sc.

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

s.zach@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



electronic GmbH

Supplier of Choice through Innovation and Service

Die PSZ electronic GmbH ist ein Produzent für maßgeschneiderte Kabelkonfektionen, elektromechanische Baugruppen, Systemkomponenten, Schaltschränke, Kunststofftechnik und Rapid Prototyping



Das Unternehmen

Die Firmengruppe ist mit über 1.000 Mitarbeitern an vier Standorten weltweit vertreten und produziert speziell für die Heizungs-, Klima- und Medizintechnik, den Maschinen-, Anlagen- sowie Sonderfahrzeugbau. Die Produktionsstätten befinden sich neben Vohenstrauß in Tschechien, Tunesien und Albanien.

Gegründet wurde die PSZ electronic GmbH 2003 und hat am Standort Vohenstrauß mittlerweile mit ca.90 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eine beachtliche Größe erreicht – Tendenz steigend.

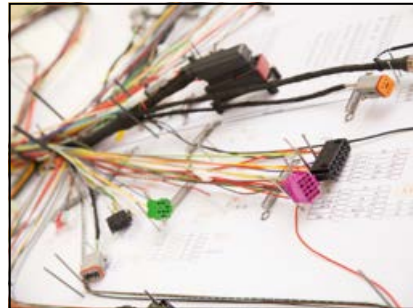


Standort Vohenstrauß

Marktfelder

Mit der stetigen Nachfrage von Nischenprodukten sowie Individualanfertigungen für spezialisierte Kunden (vorrangig Weltmarktführer) im Heizungs-, Lüftungs- und Sondermaschinenbau sowie der Medizintechnik in Verbindung mit einer hochflexiblen Reaktionsfreude begründet sich die Geschäftsentwicklung. Insbesondere durch das hohe Engagement der Mitarbeiter, Einhaltung der Liefer- und Terminzeiten, Beachtung der Qualitätsanforderungen in Verbindung mit dem fach- und sachgerechtem Ressourceneinsatz hat sich das Unternehmen im Marktsegment von den Mitbewerbern

abgesetzt. Der Nischenbereich wird dadurch auch sehr stark von den Kunden geschätzt, die nicht die Möglichkeit haben, die erforderlichen und gewünschten Produkte selbst zu erstellen.



Kabelkonfektionen gehören zu den Kernkompetenzen der Unternehmensgruppe

Nachhaltige Personalentwicklung

Bereits seit der Gründung ist das Unternehmen ein anerkannter Ausbildungsbetrieb. Für junge Menschen bietet sich die Chance an, einen interessanten, abwechslungsreichen sowie einen sehr praxisbezogenen Beruf in einer prosperierenden Region zu erlernen. Um die Ausbildung auf hohem Niveau zu gewährleisten stehen zahlreich erfahrene Ausbilder in den einzelnen Fachrichtungen zur Verfügung. Nach Abschluss bestehen hervorragende Voraussetzungen zur Übernahme. Im personellen Bereich werden künftige Bedarfe durch die Personalentwicklung nachhaltig verfolgt, um diese Bedarfe zum gegebenen Zeitpunkt bereitzustellen. Mit zahl- und umfangreichen berufsbegleitenden Weiterbildungen werden besonders engagierte und geeignete Mitarbeiter gefördert. Dies berührt vor allem die Ebene der Techniker und Fachkaufleute. Mittlerweile hat sich auch der Akademisierungsgrad für die immer anspruchsvolleren Herausfor-

derungen für die Zukunft wesentlich erhöht. Somit bietet das Unternehmen auch hochqualifizierten Kräften eine zukunftsweisende und langfristige Perspektive. Zusätzlich wird aktiv der vielbesagten Abwanderung aus dem ländlichen Raum entgegen gewirkt und erhöht die Attraktivität und Lebensqualität für diese Berufsgruppen im Raum Vohenstrauß und Umgebung.

Hohe Ziele

Bei der Umsetzung der unternehmerischen Ziele liegt der Fokus bei der konsequenten Weiterentwicklung der Geschäftsfelder mit der Absicht, den vorhandenen Kundenbestand weiter aus- und aufzubauen. Unter Anderem steht die Nachhaltigkeit in Verbindung mit einem herausragenden Kundenservice zur Bedienung des Marktes im Fokus.

Diese Vorgehensweise wirkt sich für die Stadt Vohenstrauß besonders positiv aus und sichert als einer der größten Arbeitgeber am Ort den Wirtschaftsraum für die Zukunft und den damit verbundenen Arbeitsplätzen.

Branche:

Herstellung und Vertrieb von Systemkomponenten

Gegründet: 2003

Mitarbeiter: > 1000 (Gesamt)

Standorte: 6 (in vier Ländern)

PSZ electronic GmbH

Im Gstaadach 6
92648 Vohenstrauß
Telefon: 09651 / 924 117 – 0
www.psz-electronic.com

info@psz-electronic.com

Erschienen in 486.1/AA5. 2017 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, 2017. Online. R. RINGLER¹, V. VIEROW², S. KANSY², K. DETMAR³, M. LELL³, C. FORSTER²;

¹ Univ. of Appl. Sci. Amberg-Weiden, Weiden, Germany; ² Inst. of Physiol. 1, Univ. of Erlangen, Erlangen, Germany;

³ Radiology, Clin. Ctr. of Nuremberg, Nuremberg, Germany

Introduction

The experience of pain and itch is a multidimensional phenomenon and can be monitored with functional magnetic resonance imaging (fMRI), a non-invasive method and also without any contrast agent. With a 3 T MRT subcortical areas like thalamus and brain stem as distributing centers of incoming signals as well as areas involved in the modulation can be explored. Itch evokes the desire to scratch to produce relief. But scratch without itch in the background can turn nasty. In this study we included a paradigm to compare central processing of scratch to itching and non-itching skin.

Keyword(s): FMRI, SCRATCH, ITCH, IONTOPHORESIS

Einleitung

Schmerz- und Juckreize sind ein multidimensionales Phänomen, das mittels der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) nicht invasiv und ohne Kontrastmittel aufgezeichnet werden. Mit einer 3 T-MRT können subkortikale Areale wie Thalamus und Hirnstamm als Verteilungszentren eintreffender (afferenter) Signale sowie deren Modulation im Hirnstamm untersucht werden. Ein Juckreiz ruft i. d. R. den Wunsch hervor sich zu kratzen, um für Erleichterung zu sorgen. Ein von außen zugefügter Kratzreiz ohne Jucken im Hintergrund wird als unangenehm empfunden. In dieser Studie haben wir ein Paradigma aufgesetzt, um die zentrale Verarbeitung im Gehirn von Kratzen bei juckender und nicht juckender Haut mittels fMRI aufzunehmen und zu vergleichen.

Materials and methods

20 healthy subjects (10 f/10 m, mean 27,1 ± 11,3y) participated on 2 separated sessions; first psychophysical pre- and second fMRI-examination each with 2 runs: a) scratch of the untreated skin (SC-I), b) scratch after inducing itch (SC+I). Itch was applied by iontophoresis (30 sec, 1 mA) of histamine to the left volar forearm. This

leads to a flare and wheal after the iontophoresis (figure 1 left). Recording started when itch intensity passes 30 % of the VAS (0: no itch; 30: desire to scratch; 100: maximal conceivable itch). The left volar forearm was scratched by the experimenter using an L-shaped copper device (figure 1 right). Rating was continuously performed with the right hand (VAS). After each fMRI-sequences one rating was given (mean perceived itch).



Figure 1: Left: Flare and wheal after histamine iontophoresis. Right: Scratch on the left volar forearm with a L-shaped copper device.

All subjects participated on a two training sessions where the same protocol was performed as in the MRI sessions.

In two fMRI sequences SC-I and SC+I was assessed in the same scheme as the training sessions using a classical fMRI-design with EPI sequences on a 3.0 T Siemens Skyra™ MR scanner. fMRI EPI (BOLD) data consisted of 110 blocks, each had 36 axial slices with a slice thickness of 4 mm (TR = 3000 ms; 64 x 64 pixel; FOV 220 x 220 mm²; online motion correction). Two fMRI sequences were recorded:
 1) scratch of the untreated skin (SC-I)
 2) scratch after inducing itch (SC+I)

The fMRI sequence 2) was started when the sensation of itch reached 30 % of the VAS rating. The itching or painful sensation lasted during the whole fMRI. After finishing sequence 1 and sequence 2 the experienced sensations of the subject were asked using a short survey.

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. T2-brainstem images were manually aligned to one selected MPAGE. The resulting transformation matrix was used for alignment of fMR-data to create a GLM-multi-study with predefined VOI's in BrainVoyager. All brainstem activations were identified by comparison to Duvernoy's Atlas.

GLM contrast analysis was performed for analysis of the fMRI data. For the SC+I analysis periods of high itch were defined as the periods 15 seconds immediately before a scratching period (HI) (figure 2). In a GLM in BrainVoyager the contrasts were calculated between high itch period and scratching periods (CIP).

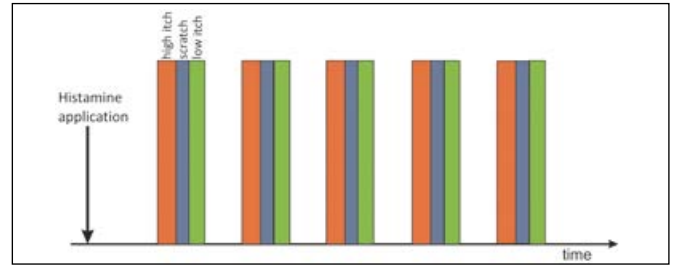


Figure 2: high itch (HI): 15 seconds immediately before scratching. Low itch (LI): period after scratching, due to the decrease of itch sensation.

Results

Figure 3 summarize the average time course of the itch sensations as rated under MRI conditions. The regular scratching led to a cyclic modulation of the itch response to histamine. During scratching periods the itch intensity always dropped.

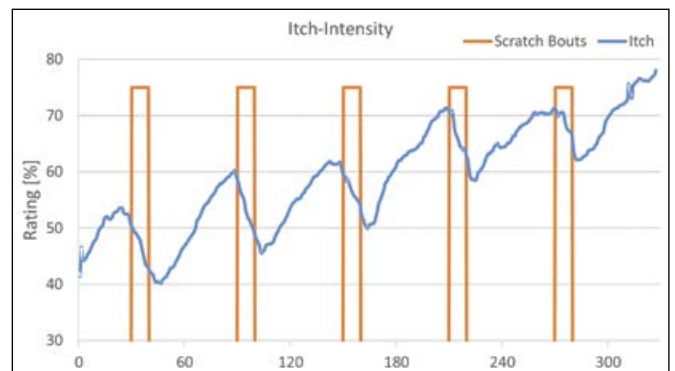


Figure 3: average time course of the itch sensations as rated under MRI conditions.

The contrast analysis of the differences between “scratch under itch” minus “scratch without itch” leads to significant activations in the brainstem, as shown in figure 4. In particular the nucleus subthalamicus, the substantia nigra (part of the basal ganglia system), the nucl. Ruber, locus ceruleus and in the caudal part of pons the nucl. Reticularis.

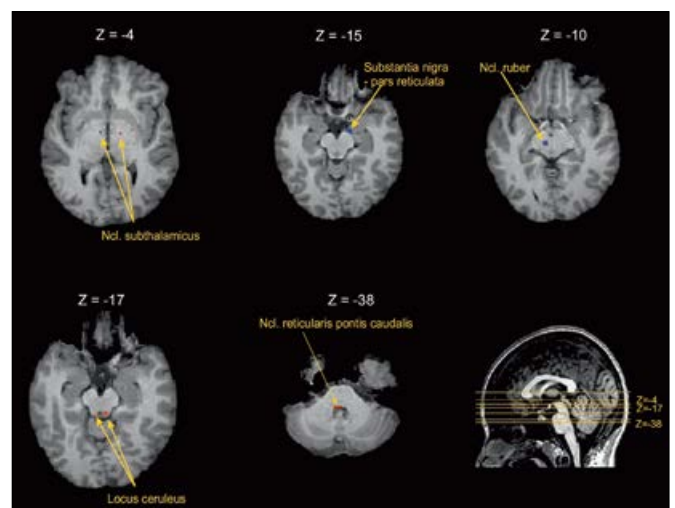


Figure 4: activations in the brainstem by the contrast analysis of “scratch under itch” – “scratch without itch”.

Brainstem regions with significant differences in correlations with the PAG comparing resting state and pain could be detected. 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. Red to yellow depicts higher connectivity during stimulation, blue to green during resting condition.

Figure 5 displays the contrast analysis of the differences between “high itch” minus “scratch” which leads to significant activations in areas like the thalamus, substantia nigra pars compacta, ncl. Pedunculo pontis, nucl. Parabrachialis, nucl. Raphe together with most of the brainstem activations shown in figure 4.

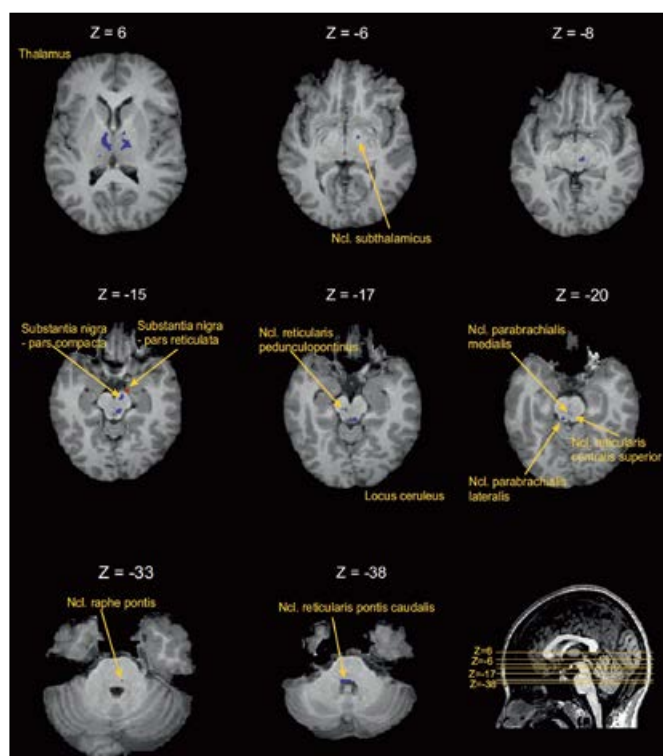


Figure 5: activations in the brainstem by the contrast analysis of “high itch” – “scratch”.

Comparing resting state and itch there are brain regions showing significant differences in correlations with the PAG. 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.

Table 1 summarizes the contrast analyses in selected brain regions for “scratch during itch” and “high itch”. The second table (table 2) compares “scratch during itch” v.s. “scratch only”. Connectivity-analysis 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: contrast analyses in selected brain regions for “scratch during itch” and “high itch”.

| Brain area | MNI | | | t-value | | |
|---|-----|-----|-----|---------------------|---------------|---------------|
| | x | y | z | scratch during itch | high itch | contrast |
| Thalamus left | -11 | -16 | 5 | 2,656 | -1,252 | -3,467 |
| Thalamus right | 11 | -17 | 7 | 6,338 | -3,270 | -8,447 |
| Nucl. subthalamicus left | -11 | 11 | -6 | 3,261 | -2,015 | -4,569 |
| Subst. nigra - Pars reticulata left | -12 | -11 | -15 | -4,162 | -1,678 | 3,126 |
| Subst. nigra - Pars compacta left | -6 | -17 | -15 | 1,761 | -0,733 | -2,240 |
| Ncl. ruber left | -6 | -23 | -8 | 5,017 | 0,868 | -4,500 |
| Locus ceruleus left | -3 | -36 | -17 | 3,016 | -1,018 | -3,693 |
| Locus ceruleus right | 5 | -37 | -17 | 3,219 | -0,943 | -3,844 |
| PAG | -3 | -31 | -13 | 2,110 | -2,305 | -3,610 |
| Nucl. reticularis pedunculopontinus right | 10 | -25 | -15 | 3,253 | 0,235 | -3,121 |
| Nucl. reticularis centralis superior | -1 | -30 | -22 | 2,662 | 0,068 | -2,635 |
| Nucl. parabrachialis med. right | 8 | -33 | -20 | 1,376 | -1,518 | -2,328 |
| Nucl. parabrachialis lat. right | 10 | -28 | -25 | 3,465 | 0,865 | -2,939 |
| Nucl. raphe pontis | -1 | -31 | -33 | -1,635 | 1,803 | 2,803 |
| Nucl. reticularis pontis caudalis | 6 | -37 | -38 | 4,609 | 0,902 | -4,057 |

Table 2: contrast analyses in selected brain regions for “scratch during itch” and “scratch only”.

| Brain area | MNI | | | t-value | | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|---------------------|--------------|---------------|
| | x | y | z | scratch during itch | scratch only | contrast |
| Thalamus left | -11 | -16 | 5 | 3,160 | 5,897 | -1,936 |
| Thalamus right | 11 | -17 | 7 | 7,345 | 7,936 | -0,419 |
| Nucl. subthalamicus left | -11 | 11 | -6 | 4,051 | -0,261 | 3,049 |
| Nucl. subthalamicus right | 8 | -10 | -4 | 1,354 | 4,467 | -2,201 |
| Subst. Nigra - Pars reticulata left | -12 | -11 | -15 | -4,080 | 0,686 | -3,370 |
| Subst. nigra - Pars compacta left | -6 | -17 | -15 | 1,970 | 4,294 | -1,644 |
| Ncl. ruber right | 7 | -22 | -10 | 0,820 | 5,070 | -3,005 |
| Locus ceruleus left | -3 | -36 | -17 | 3,354 | -1,101 | 3,150 |
| Locus ceruleus right | 5 | -37 | -17 | 3,772 | -0,517 | 3,033 |
| PAG | -3 | -31 | -13 | 2,895 | 0,258 | 1,865 |
| Nucl. reticularis pontis caudalis | 6 | -37 | -38 | 4,598 | 1,540 | 2,162 |

Conclusion and summary

Itch sensation increased over time and a temporary relief during scratching was observed. The regular scratching led to a cyclic modulation of the itch response to histamine. Due to the psychophysics of itch a time course as predictor with high itch can be defined as the periods immediately before a scratching period (HI) and modulated by the immediate drop after the scratching period the (LI). Results support the role of the PAG and other brainstem nuclei as key regions in modulating the pruritic input. During itch stronger connectivity to ACC, left ant. insula and left amygdala. The connectivity of brainstem areas decreases to right post. insula/amygdala and frontal regions. The results for PAG show some similarities to the findings of fMRI studies on the processing of pain where pain leads to stronger connectivity of PAG to pACC, BA 10 and left amygdala while connectivity decreases to right amygdala and right posterior insula.

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

Zusammenfassung

Typische Alterserscheinungen betreffen auch den menschlichen Bewegungsapparat: Gelenke verschleißen (Arthrose) und Muskeln schwinden (Sarkopenie). Aktivitäten des alltäglichen Lebens (ADL) fallen mit steigendem Alter entsprechend schwerer. Altersbedingte Beeinträchtigungen werden durch spezielle Alterssimulationsanzüge simuliert und sind so auch für jüngere Menschen erfahrbar. Sie lernen sich in die Situation von Senioren hineinzuversetzen, was einen wichtigen Baustein in der Schulung für den korrekten Umgang mit älteren Mitmenschen darstellt. Auch die Konzeption altersgerechter Umgebungen oder Hilfsmittel wird unter Verwendung solcher Alterssimulationsanzüge verbessert. Mithilfe von Gewichten und Bandagen werden motorische Einschränkungen wie Kraftverlust oder Bewegungsunfähigkeit nachgeahmt. In der vorliegenden Studie trugen 24 Probanden den gerontologischen Testanzug (GERT) für jeweils 40 Minuten. Kinematische Messungen erfolgten ohne Anzug und an jeweils drei Zeitpunkten, während der Anzug getragen wurde, um auch den Einfluss längerer Tragezeiten zu untersuchen. Zur Bewegungserfassung diente ein kamerabasiertes 3D-Echtzeitkinematiksystem. Die Probanden bewegten sich dabei in einem Messkubus mit 14 Kameras, die die Bewegungen mithilfe von rotem Licht und retroreflektierenden Wand- und Bodenpaneelen erfassen. Es zeigte sich, dass der Alterssimulationsanzug biomechanische Parameter, wie die Gehgeschwindigkeit, unabhängig von der Tragezeit alterstypisch veränderte. Andere im Alter typischerweise veränderte Parameter, wie eine verringerte Gangzykluslänge, konnten jedoch nicht simuliert werden. Der Anzug bewirkte im Gegenteil sogar teilweise entgegengesetzte Parameterveränderungen. Diese Einflüsse sind dabei nicht von der zunehmenden Tragezeit des Anzugs abhängig. Obwohl noch Optimierungspotenzial für den gerontologischen Testanzug besteht, kann dieser abhängig vom Einsatzszenario trotzdem für die Alterssimulation empfohlen werden.

Abstract

Typical signs of aging also affect the human musculoskeletal system: joints wear out (osteoarthritis) and muscles dwindle (sarcopenia). Everyday activities become more difficult with increasing age. Age-related impairments are simulated by special age simulation suits and thus can be also experienced by younger people. They learn to empathize with the situation of seniors, which is an important component in the training for the correct dealing with older people. Furthermore, the design of age-appropriate environments or aids is improved using such age simulation suits. Through weights and bandages, motor impairments such as loss of strength or immobility are imitated. In the present study, 24 subjects wore the gerontological test suit (GERT) for 40 minutes each. Kinematic measurements were taken without the suit and three times during the suit was worn to investigate the influence of longer wearing times. For motion capturing, a camera-based 3D real-time kinematic system was used. The subjects walked through a measuring cube with 14 cameras, which recorded the movements using red light and retroreflective wall and floor panels. It turned out that the age simulation suit altered biomechanical parameters, such as walking speed, in a way that is typical for ageing, independently of the wearing time. However, other typically altered parameters such as reduced gait cycle length could not be simulated. On the contrary the suit partially even caused opposite parameter changes. These influences are not dependent on increasing wearing time. Although there is still potential for optimization of the gerontological test suit, its use for age simulation can nevertheless be recommended depending on the particular application.

1 Einleitung

Bereits 1970 entstand der Begriff des „Instant Aging“ im Sinne einer Alterssimulation. Dabei wurden Gewichte, Gummibänder zwischen den Beinen und mit Vaseline beschichtete Brillen angelegt. Dies bildete die Basis für die spätere Entwicklung von Alterssimulationsanzügen. Der gerontologische Testanzug GERT (Produkt + Projekt, Niederstotzingen, Deutschland) wurde primär konzipiert, um Medizinstudenten einen praktischen Einblick in gerontologische Erkrankungen zu geben und das Altern am eigenen Körper zu erleben^[1]. Dieser und andere Alterssimulationsanzüge sind das Ergebnis der Zusammenarbeit von wissenschaftlichen Mitarbeitern unter anderem aus den Bereichen Gerontologie, Ergonomie, Physiologie und Medizintechnik^[2]. Heute dienen Alterssimulationsanzüge auch der Personalschulung im Umgang mit älteren Menschen sowie der altersgerechten Umgebungsgestaltung und Produktentwicklung. Auch für Hersteller von Medizinprodukten und Arzneimitteln ist dies relevant^[3].

Inwiefern Alterssimulationsanzüge altersbedingte Veränderungen des Bewegungsapparates im Sinne von Arthrose und Sarkopenie tatsächlich simulieren, wurde bisher aus biomechanischer Sicht nicht validiert. Ziel dieser Studie war es, entsprechend kinematische Parameter gesunder Probanden vor und nach Anlegen des GERT zu messen und die Veränderungen dieser Parameter mit alterstypischen Veränderungen zu vergleichen. Weiter wurde untersucht, ob die Tragedauer des Alterssimulationsanzugs Einfluss auf die Veränderung dieser biomechanischen Parameter hat.

2 Material und Methoden

2.1 Alterssimulationsanzug

Der Alterssimulationsanzug GERT (Abbildung 1) besteht aus einer Gewichtsweste und -manschetten, Gelenkbandagen und Überschuhen. Diese simulieren motorische Einschränkungen, wie den Verlust von Kraft, Ausdauer und Beweglichkeit, und sollen so den Probanden um 30 bis 40 Jahre altern lassen.

Gewichtsweste und -manschetten wiegen insgesamt 17,7 kg und werden auf Rumpf, Hand- und Sprunggelenke verteilt, Bandagen hemmen Knie und Ellenbogengelenke, Überschuhe schränken die Propriozeption der unteren Extremität ein^[4].



Abbildung 1: Komponenten des Alterssimulationsanzugs (GERT)

2.2 Probanden

Insgesamt nahmen 24 Probanden an der Studie teil. Die Probanden trugen den Anzug insgesamt über einen Zeitraum von 40 Minuten. Um den Einfluss längerer Tragezeiten zu untersuchen, wurden Messungen ohne Anzug, unmittelbar nach dem Anziehen, nach 20 Minuten und 40 nach Minuten Tragezeit durchgeführt.

Für die Auswertung der Parameter Geschwindigkeit, Gangzykluslänge und Dauer eines Gangzyklus konnten aufgrund technischer Probleme nur Messergebnisse von 20 Probanden generiert werden. Das Durchschnittsalter dieser Patienten lag bei 19,9 Jahren. Weitere Eigenschaften der Versuchsgruppe sind in Tabelle 1 dargestellt:

| Geschlecht | Anzahl | Alter (SD) | Gewicht in kg (SD) | Größe in cm (SD) |
|------------|--------|------------|--------------------|------------------|
| Männlich | 14 | 19,9 | 77,0 | 179,2 |
| Weiblich | 6 | (2,0) | (16,7) | (8,0) |

Tabelle 1: Demografische Charakteristika der Probanden für Auswertung der Bodenreaktionskräfte und Kinematik

Alle Probanden hatten keine Krankheiten, die den Bewegungsapparat beeinträchtigen.

2.3 Bewegungserfassung

Zur Erfassung biomechanisch-kinematischer Parameter diente ein markerloses 3D-Echtzeitkinematiksystem (Organic Motion Stage™, New York, USA).

Die rechteckige Grundfläche des Messraums misst 6 x 3,5 m. Drei Wände des Messkubus sind mit zehn retroreflektierenden Wandpaneelen, der Boden mit drei retroreflektierenden Bodenpaneelen verkleidet. Die wichtigsten Hardwarekomponenten des Organic Motion Stage™ sind die 14 High-Speed-Kameras mit einer Geschwindigkeit von 60 (nach Bedarf auch 90 oder 120) Frames per Second (FPS) und der Bildverarbeitungsprozessor, der die erfassten Bewegungen in ein von Computern lesbares Format konvertiert.

Die High-Speed-Kameras senden rotes Licht aus. Trifft das Licht auf die retroreflektierenden Wände und Bodenpaneele, wird dieses unabhängig vom Einfallswinkel wieder zur Lichtquelle zurückgestrahlt. Betritt ein Proband den Messraum, verdeckt dessen Silhouette die Paneele, sodass an dieser Stelle kein Licht von den retroreflektierenden Folien zurückgesendet wird. So erkennt das System die Position des Probanden in dem Messvolumen^[5].

2.4 Auswertung und Analyse

Für die Datenauswertung wurde das Programm Motion-Monitor® (Innovative Sports Training, Inc., Chicago, USA) zur Erfassung, Analyse und Visualisierung von 3D-Bewegungen verwendet. Die Software ist mit den üblichen Hardwarekomponenten, die für die Generierung von biomechanischen Daten benötigt werden (z. B. Kraftmessplatten, Motion-Capturing- und EMG-Systeme), kompatibel und ermöglicht deren Darstellung in Echtzeit^[6]. Die Statistik wurde mit Matlab (MathWorks, Natick, USA) durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde ein Wert von $p < 0,05$ festgelegt. Es wurde ein zweiseitiger, gepaarter t-Test (Student-t-Test) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die folgenden Diagramme sind einheitlich strukturiert: Die x-Achse gibt jeweils Auskunft darüber, ob ein Parameter mit oder ohne GERT gemessen wurde. Messungen mit Alterssimulationsanzug erfolgten nach $t_1 = 0$ min, $t_2 = 20$ min und $t_3 = 40$ min, wobei GERT kontinuierlich getragen wurde. Die y-Achse gibt die Werte und Einheiten des gemessenen biomechanischen Parameters wieder. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen, in Klammern bzw. als Balken abzulesen. Signifikante p-Werte sind in den Abbildungen gekennzeichnet.

Abbildung 2 veranschaulicht die Ergebnisse für die Messung der Ganggeschwindigkeit. Diese sinkt nach Anlegen des GERT.

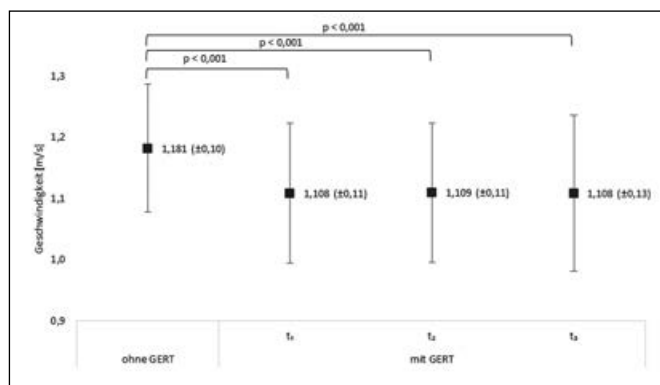


Abbildung 2: Ganggeschwindigkeit ohne und mit Alterssimulationsanzug GERT; Messungen mit GERT erfolgten direkt nach dem Anlegen (t_1), nach 20 min (t_2) und nach 40 min (t_3).

Abbildung 3 gibt die Ergebnisse der Messung der Gangzykluslänge wieder. Diese steigt nach Anlegen des GERT.

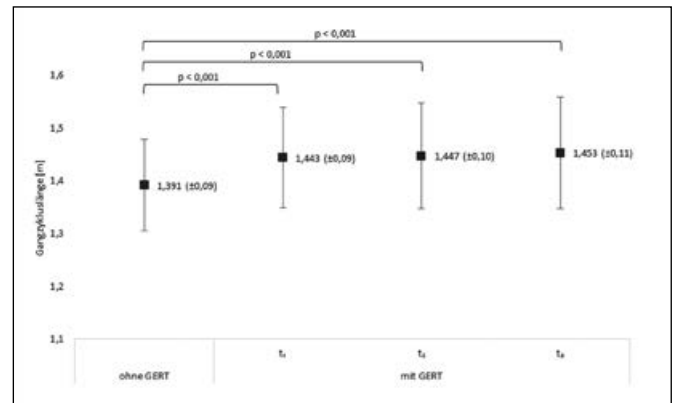


Abbildung 3: Gangzykluslänge ohne und mit Alterssimulationsanzug GERT; Messungen mit GERT erfolgten direkt nach dem Anlegen (t_1), nach 20 min (t_2) und nach 40 min (t_3).

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse für die Messung der Gangzyklusdauer dargestellt. Diese steigt nach Anlegen des GERT.

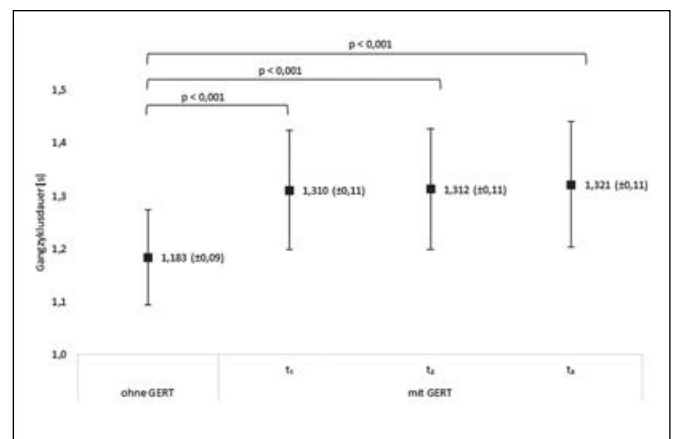


Abbildung 4: Gangzyklusdauer ohne und mit Alterssimulationsanzug GERT; Messungen mit GERT erfolgten direkt nach dem Anlegen (t_1), nach 20 min (t_2) und nach 40 min (t_3).

4 Diskussion

Die durchschnittliche Ganggeschwindigkeit der Probanden betrug beim Gehen ohne Alterssimulationsanzug $1,181 \pm 0,10$ m/s. Verglichen mit einer gleichaltrigen Vergleichsgruppe liegt die durchschnittliche Ganggeschwindigkeit der Probanden am unteren Ende des in der Literatur beschriebenen Bereichs von 1,16 bis 1,316 m/s^[7, 8, 9, 10]. Die Ganggeschwindigkeit verringert sich signifikant ($p < 0,001$) nach Anlegen des Alterssimulationsanzuges auf $1,108 \pm 0,11$ m/s. Beim Vergleich mit den Literaturwerten für die Ganggeschwindigkeit älterer Menschen liegt der Wert dabei innerhalb des definierten Bereichs von 0,94 bis 1,209 m/s^[7, 8, 9, 10]. Dieser biomechanische Parameter ist dabei von der Tragezeit des Alterssimulationsanzuges unabhängig. GERT beeinflusst und simuliert Veränderungen der Ganggeschwindigkeit des hohen Alters erwartungsgemäß gut.

Die Ganggeschwindigkeit setzt sich aus den Parametern Weg (Gangzykluslänge) pro Zeit (Gangzyklusdauer) zusammen, die jeweils separat betrachtet werden. Die Gangzykluslänge der Probanden betrug im Durchschnitt $1,391 \pm 0,09$ m beim Gangbild ohne Alterssimulationsanzug. In der Literatur sind für die Gangzykluslänge jüngerer Menschen Werte von 1,2 bis 1,32 m dokumentiert und liegen somit leicht unterhalb der gemessenen Werte [7, 8, 9, 10]. Eine verringerte Ganggeschwindigkeit im Alter ist typischerweise auf eine geringere Gangzykluslänge zwischen 1,08 und 1,22 m zurückzuführen [7, 8, 11]. Die Gangzykluslänge steigt jedoch beim Tragen des Alterssimulationsanzuges auf einen Wert von $1,443 \pm 0,09$ m an. Anders als erwartet simuliert GERT also nicht die verringerte Gangzykluslänge im Alter. Eine mögliche Erklärung dieses unerwarteten Ergebnisses ist der Versuch der Kompensation der Einschränkung durch zusätzliches Gewicht und Bandagen mit größeren Schritten, der bei jungen Probanden anders als im Alter möglich ist. Mit zunehmender Tragezeit des GERT verändern sich auch die Ergebnisse für die Gangzykluslänge nicht signifikant.

Die durchschnittliche Gangzyklusdauer der Probanden betrug ohne Alterssimulationsanzug $1,183 \pm 0,09$ s. Nach Anlegen des Alterssimulationsanzuges nimmt der Wert auf $1,310 \pm 0,11$ s zu. Die Änderung dieses biomechanischen Parameters ist nicht von der zunehmenden Tragezeit abhängig.

Sowohl Gangzykluslänge als auch Gangzyklusdauer nehmen mit dem Alterssimulationsanzug zu. Da die Gangzyklusdauer jedoch proportional etwas stärker zunimmt, verändert sich die Geschwindigkeit wie erwartet, insgesamt jedoch nur relativ gering.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Alterssimulationsanzug GERT wird das Gangbild signifikant verändert. Die typische Abnahme der Ganggeschwindigkeit im Alter wird dabei durch Anlegen des GERT gut simuliert [7, 8, 9, 10, 11]. Die Abnahme der Geschwindigkeit im Alter ergibt sich aus der verringerten Gangzykluslänge [7, 8, 9]. Mit GERT ist die reduzierte Geschwindigkeit jedoch auf ein erhöhtes Verhältnis zwischen Gangzykluslänge und Gangzyklusdauer zurückzuführen. Die erwartete Verringerung der Gangzykluslänge im Alter wird entsprechend nicht simuliert, da diese durch das Anlegen des Alterssimulationsanzuges ansteigt [7, 8, 9, 10]. Der Einfluss des GERT ist dabei nicht von einer zunehmenden Tragezeit abhängig.

Das Gangbild eines älteren Menschen wird also nicht vollständig simuliert. Entsprechend gibt es noch Optimierungspotenzial für den gerontologischen Testanzug. Allgemein sollte der Alterssimulationsanzug besser an den Träger angepasst werden können. Die Gewichtsmanschetten und Überschuhe sind häufig zu groß. Durch immer standardisiert anlegbare Bandagen und unter-

schiedliche Größen für die Komponenten des GERT könnte dieser mit höherer Reliabilität an den jeweiligen Träger angepasst werden.

Die möglicherweise durch den kurzen Messkubus hervorgerufenen Einflüsse auf die kinematischen Gangparameter könnten durch Verwendung alternativer Messsysteme vermieden werden. Das Biomechanik-Labor hat dabei mehrere Alternativen zur Verfügung, die in Zukunft getestet werden sollen.

Zum einen ist dies der Kinematikanzug „Smart Suite“ (Rokoko Electronics Inc, San Francisco, USA), der mit 19 inertialen Messeinheiten (Kombinationen aus Beschleunigungssensor, Drehratensensor und Magnetometer) jeweils neun Freiheitsgrade messen kann. Um die Bewegung eines Körpers im Raum eindeutig zu bestimmen, werden die ersten sechs Freiheitsgrade benötigt. Diese werden durch einen Beschleunigungssensor und einen Drehratensensor gemessen. Dabei erfasst der Beschleunigungssensor die translatorische Beschleunigung in x-, y- und z-Richtung und der Drehratensensor die Winkelgeschwindigkeit um die x-, y- und z-Achse. Der letzte Inertialsensor ist das Magnetometer, welches in drei Freiheitsgraden Richtung und Stärke des Erdmagnetfelds misst. Der Kinematikanzug erlaubt dabei Messungen in beliebiger Umgebung unabhängig von einem starren Messkubus.

Zum anderen kann auch ergänzend zum Kinematikanzug ein markerbasiertes 2D-Videosystem (EIDOO, Ippesheim, Deutschland) eingesetzt werden. Mit zwei Hochgeschwindigkeitskameras werden Videos von Probanden aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen. Zur Auswertung werden an den Probanden an anatomisch definierten Positionen Marker angebracht, deren Lageveränderung in der Bewegung im Video mit einer speziellen Software (Dartfish, Fribourg, Schweiz) detektiert wird. Kinematische Parameter können so mit einer für die Zwecke dieser Studie akzeptablen Unsicherheit bestimmt werden.

Um neben den gemessenen kinematischen Parametern auch die Änderungen der Kinetik im Gangbild bestimmen zu können, sind im Boden des Messkubus mittig zwei Kraftmessplatten (Berotec, Columbus, USA) installiert. Diese sind ebenfalls mit retroreflektierenden Folien verdeckt. Konzipiert wurden die Kraftmessplatten für statische und dynamische Messungen. Die Kräfte werden mittels Dehnungsmessstreifen-Lastumwandlern aufgenommen und an einen digitalen Signalverstärker weitergeleitet. Schon in der Kraftmessplatte werden die Signale digitalisiert, um die Empfindlichkeit des Systems gering zu halten. Die Kraftmessplatten liefern die auftretenden Kräfte in allen drei Raumrichtungen und Momente um diese Achsen. Mittels dieser Werte kann auch der Kraftangriffspunkt und dessen Verlauf auf der Platte berechnet werden [12].

Referenzen:

- [1] Schoeffel, Roland (2018): Alterssimulationsanzug-Hersteller SD&C. SD&C GmbH. Online verfügbar unter <https://www.sdx.de/>, zuletzt aktualisiert am 13.08.2018, zuletzt geprüft am 04.09.2018.
- [2] Der Altersanzug AgeMan®. Das Original seit 1994. Online verfügbar unter <https://ageexplorer.com/altersanzug-ageman/>, zuletzt geprüft am 04.09.2018.
- [3] Alterssimulationsanzug Age Explorer – Maßgeschneiderte Alterserforschung (2012). In: LIFEmagazin (6), S. 88–92. Online verfügbar unter alterssimulationsanzug.files.wordpress.com/2013/03/age-explorer-massgeschneiderte-altersforschung_al-ko.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2018.
- [4] Moll, Wolfgang (2009): Alterssimulationsanzug GERT. Hg. v. Produkt + Projekt Wolfgang Moll. Online verfügbar unter <http://www.produktundprojekt.de/alterssimulationsanzug/>, zuletzt geprüft am 04.06.2018.
- [5] Organic Motion Stage™ (2010): Organic Motion Stage™. User manual. Hg. v. Organic Motion, zuletzt geprüft am 28.06.2018.
- [6] Innovative Sports Training, Inc. (Hg.) (2018): The MotionMonitor. Online verfügbar unter <https://www.innsport.com/features.aspx#CustomizeYourSolution>, zuletzt aktualisiert am 28.06.2018.
- [7] Elble, R. J.; Thomas, S. Sienko; Higgins, C.; Colliver, J. (1991): Stride-dependent changes in gait of older people. In: *J Neurol* 238 (1), S. 1–5.
- [8] Judge, James Oat; Davis, Roy B.; Öunpuu, Sylvia (1996): Step Length Reductions in Advanced Age. The Role of Ankle and Hip Kinetics. In: *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 51A (6), M303–M312.
- [9] Kimura, Tasuku; Kobayashi, Hiromitsu; Nakayama, Eijun; Hanaoka, Michiko (2007): Effects of aging on gait patterns in the healthy elderly. In: *AS* 115 (1), S. 67–72.
- [10] Lee, Jung Hwan; Chun, Min Ho; Jang, Dae Hyun; Ahn, Jun Su; Yoo, Jong Yoon (2007): A comparison of young and old using three-dimensional motion analyses of gait, sit-to-stand and upper extremity performance. In: *Aging Clin Exp Res* 19 (6), S. 451–456.
- [11] Winter, D. A.; Patla, A. E.; Frank, J. S.; Walt, S. E. (1990): Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. In: *Physical therapy* 70 (6), S. 340–347.
- [12] BERTEC Corporation, 2005, Kraftmessplatte Benutzerhandbuch

Kontakt:



Irina Leher, B.Eng.

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

c.fleischmann@oth-aw.de



Moritz Wachtler, B.Eng.

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



Prof. Dr. med. Stefan Sesselmann

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

s.sesselmann@oth-aw.de

Zusammenfassung

Insbesondere im ländlichen Raum sind angepasste Konzepte und Strategien erforderlich, um aktuelle und künftige Herausforderungen der Gesundheitsversorgung bewältigen zu können. Vor diesem Hintergrund wurde am Gesundheits- und Medizintechnikcampus der OTH Amberg-Weiden ein *Kompetenzzentrum Gesundheit im ländlichen Raum (KZGLR)* etabliert, welches als virtuelle Dachorganisation die Akteure und Aktivitäten der Gesundheitswirtschaft, der Gesundheitsversorgung, der Wissenschaft und der Politik in der Region Nordoberpfalz koordinieren soll, um zukunftsorientierte und patientenorientierte Lösungen der ländlichen Gesundheitsversorgung im Sinne eines Value-Based-Healthcare-Ansatzes zu entwickeln und zu realisieren. Unter dem Dach des *KZGLR* sind dabei die Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz und das neu gegründete Medical Valley Center Weiden unmittelbar an den Gesundheits- und Medizintechnikcampus der OTH Amberg-Weiden angebunden. Darüber hinaus entsteht dort aktuell ein *Digital Health Labor*, welches u. a. die Simulation und Erprobung neuer Versorgungsmodelle ermöglichen wird.

Abstract

When it comes to rural healthcare, there is a need for adapted and special concepts and strategies to cope with current and future challenges of healthcare provision. According to that at the Healthcare and MedTech Campus of the OTH Amberg-Weiden (Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden) a competence center for rural health has recently been established to develop and realize future-orientated and patient focused solutions for rural healthcare for the purposes of a Value-Based-Healthcare-Approach. Directly attached to OTH Amberg-Weiden the recently founded Medical Valley Center Weiden and the network organization Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz act as a part of the competence center for rural health. Moreover at the moment a laboratory for digital health is under construction and will among other things, be used for simulating and testing innovative care models.

Herausforderungen der Gesundheitsversorgung in ländlichen Regionen

Die Gesundheitswirtschaft ist zugleich ein Wachstumsmarkt und eine Branche unter enormem wirtschaftlichem Druck. Dieses Spannungsfeld manifestiert sich in dem demografischen Wandel, der damit einhergehenden steigenden Morbidität, einem Mangel an Fachkräften, dem medizinisch-technischen Fortschritt und einem steigenden Anspruchsdenken der Bevölkerung. Unzureichende Gesundheits- und Technologiekompetenz (Digitalisierung) und verkrustete Versorgungsstrukturen verstärken dies und führen zu einer hebelartigen Wirkung. Insbesondere mit Blick auf ländliche Regionen – zu denen

auch die nördliche Oberpfalz zu zählen ist – wird so eine bedarfsgerechte wohnortnahe medizinische Versorgung zunehmend schwieriger. Räumliche Distanzen stellen nicht nur in der Akutversorgung eine Herausforderung dar, sondern machen auch die häusliche Pflege älterer Menschen sehr ressourcenintensiv. Das Potenzial innovativer Lösungen entlang der gesamten Versorgungskette zu nutzen, wird in der ländlichen Versorgung künftig essenziell sein, um eine patientenorientierte Wertschöpfung im Sinne eines Value-Based-Healthcare-Ansatzes zu realisieren. Im Gegensatz zu einer von Sektorengrenzen geprägten Versorgung, bei der Wertschöpfung als Summe der Einzelleistungen verstanden wird, zielt der Value-Based-Healthcare-Ansatz auf eine nahtlose Versorgung

ab, die sich an den tatsächlichen individuellen Bedürfnissen des Patienten und dem erzielten persönlichen Nutzen für seinen Gesundheitszustand bemisst.

Das Kompetenzzentrum Gesundheit im ländlichen Raum (KZGLR)

Unter Federführung des Gesundheits- und Medizintechnikcampus der OTH Amberg-Weiden und des Landkreises Neustadt an der Waldnaab entsteht aktuell ein *Kompetenzzentrum Gesundheit im ländlichen Raum (KZGLR)*, unter dessen Dach die Kompetenzen und Akteure aus Gesundheitsversorgung, Gesundheitswirtschaft, Wissenschaft und Politik gebündelt werden sollen. Übergeordnetes Ziel des *KZGLR* ist es, in einem inter- und transdisziplinären Ansatz innovative Produkte, Prozess- und Organisationslösungen der ländlichen Gesundheitsversorgung von morgen zu erarbeiten und diese in einem Prozess der Translation unmittelbar zum messbaren Nutzen der Bevölkerung in die Versorgung vor Ort zu überführen. Dem Thema der Digitalisierung als Hebel für Value-Based-Rural-Healthcare kommt dabei und bei künftigen Aktivitäten des *KZGLR* eine zentrale Rolle zu.

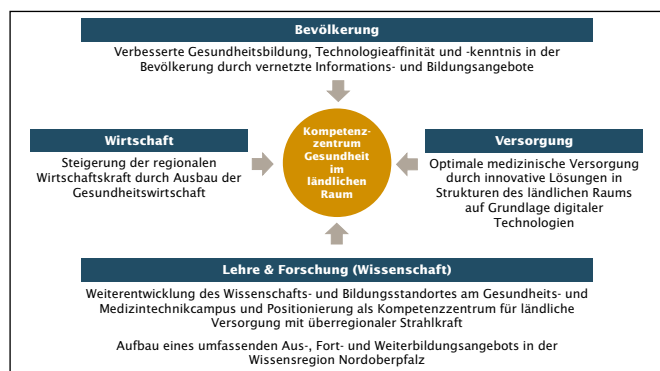


Abbildung 1: Elemente des Kompetenzzentrums Gesundheit im ländlichen Raum

Das als Dachorganisation zur Integration der verschiedenen Aktivitäten und Akteure fungierende *KZGLR* versteht sich als inter- und transdisziplinärer Think Tank im Bereich *Rural Healthcare*. Neben der Gesamtkoordination wird der Gesundheits- und Medizintechnik-Campus der OTH Weiden in erster Linie den Bereich Wissenschaft verantworten, in dem u. a. auch neue Informations-, Fort- und Weiterbildungsangebote entstehen werden. Der Bereich Gesundheitswirtschaft wird durch das an den Gesundheits- und Medizintechnik-Campus angebundene Medical Valley Center Nordoberpfalz koordiniert, der Bereich Gesundheitsversorgung durch die Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz. Beide Institutionen sind eng an die OTH Amberg-Weiden angebunden.

Gesundheitsregionen^{plus} sind regionale, vom bayerischen Gesundheitsministerium geförderte Netzwerke, die die Akteure vor Ort bei den Themen Gesundheitsversorgung und Prävention zielführend miteinander verbinden sollen. Seit Ende 2017 existiert in der nördlichen Oberpfalz die

Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz, die von den Landkreisen Neustadt an der Waldnaab und Tirschenreuth sowie von der Stadt Weiden getragen wird. Als eine der flächenmäßig größten Gesundheitsregionen in Bayern und mit der Besonderheit des Zusammenschlusses von drei Gebietskörperschaften versteht sich die Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz als wesentliches Element im *Kompetenzzentrum Gesundheit im ländlichen Raum (KZGLR)*.

Die Gründung und den Aufbau der Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz begleitete maßgeblich Prof. Dr. Steffen Hamm, der auch seit Bestehen der Gesundheitsregion^{plus} die Geschäftsstelle und das dortige Team leitet. Hierdurch konnte von Beginn an sichergestellt werden, dass die Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz als integraler Bestandteil des *KZGLR* etabliert und betrieben wird, Maßnahmen und Ziele abgestimmt werden und Synergien realisiert werden. Darüber hinaus erfolgt auch über das zentrale Steuerungsgremium der Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz, das Gesundheitsforum, eine enge Anbindung an das *KZGLR* unter dem Dach des Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz. Als Leiter des Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz ist Prof. Dr. Clemens Bulitta auch im Gesundheitsforum vertreten.

So wie die Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz als zentrales Vehikel der Translation im Bereich der Versorgung fungiert, erfolgt dies im Bereich der Gesundheitswirtschaft durch das Medical Valley Center Nordoberpfalz. Im Medical Valley EMN e. V. (Medical Valley Europäische Metropolregion Nürnberg e. V.) haben sich maßgebliche Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gesundheitsversorgung und Politik mit dem gemeinsamen Ziel der Optimierung der Gesundheitsversorgung zusammengeschlossen, um ihre Ressourcen als Cluster zu bündeln und Synergien zu nutzen. Hieraus resultiert eine verbesserte Technologie- und Problemlösungskompetenz, die zur Entwicklung und Vermarktung bedarfsgerechter und effizienter Lösungen mit hohem weltweitem Bedarf führt.

Das Medical Valley Center Nordoberpfalz agiert als Außenstelle des Medical Valley EMN in der Region Nordoberpfalz und ist direkt am Campus der OTH Amberg-Weiden am Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz am Standort Weiden verortet. Inhaltlich fokussiert sich das Medical Valley Center Nordoberpfalz als ein integraler Bestandteil des *KZGLR* auf den Schwerpunkt (*Digital*) *Rural Healthcare* und setzt diesen in den verschiedenen Geschäftsbereichen des Medical Valley EMN – Forschungs- und Entwicklungsprojekte, Entrepreneurship und Weiterbildung – um. Eines der zentralen Handlungsfelder des Medical Valley Center Nordoberpfalz ist dabei der Technologietransfer im Bereich der Gesundheitswirtschaft und Medizintechnik, der u. a. durch ein Akzeleratorenprogramm umgesetzt wird, das explizit auf die Anforderungen von *Rural Healthcare* ausgelegt ist. Ein weiteres zentrales Format des Medical-Valley-Verbundes

sind sogenannte Communities of Practice (CoP), in denen sich Akteure regelmäßig austauschen und dadurch in ihrem Fachgebiet voneinander lernen. Ausgehend vom Medical Valley Center Nordoberpfalz soll eine Community of Practice *Rural Healthcare* als die gemeinsame Plattform aller Akteure aufgebaut werden, um die Aktivitäten im Bereich der ländlichen Gesundheitswirtschaft und -versorgung voranzutreiben. Über die Region Nordoberpfalz hinaus soll die Community of Practice *Rural Healthcare* als Think Tank im Medical Valley für das Thema der ländlichen Gesundheitsversorgung fungieren.

Wie auch bei der Gesundheitsregion^{plus} Nordoberpfalz erfolgt die Anbindung des Medical Valley Centers Nordoberpfalz an das *KZGLR* und damit den Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz nicht nur strategisch, sondern auch operativ. Zum einen durch die direkte Verortung auf dem Campus der OTH Amberg-Weiden am Standort Weiden, zum anderen auch personell. Die Leitung des Medical Valley Centers Nordoberpfalz erfolgt kollegial von Prof. Dr. Clemens Bulitta und Prof. Dr. Steffen Hamm; Prof. Dr. Stefan Sesselmann als weiteres Mitglied des Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz verantwortet darüber hinaus seit Jahren als aktiver Spieler im Medical Valley EMN e. V. die dortige Community of Practice InnoPlanT.NET für Implantate, Transplantate und Knochenersatzmaterialien.

Sämtliche Aktivitäten der in das *KZGLR* involvierten Institutionen sollen an den Grundsätzen Kommunalität, Intersektoralität, Subsidiarität und Nachhaltigkeit ländlicher Gesundheitsversorgung orientiert und gemessen werden. Dabei sollen neue, innovative Versorgungsmodelle der ländlichen Gesundheitsversorgung entwickelt und erprobt werden und durch ein skalierbares Reifegradmodell, welches insbesondere den strukturellen Besonderheiten der Versorgung im ländlichen Raum Rechnung trägt, bewertet werden. Dieses iterativ weiterzuentwickelnde Modell (Optimierung des Benchmarkings durch Ausweitung der Datenbasis im Zeitverlauf) soll es ermöglichen, einen Vergleich des Prozess- und Organisationsreifegrads unterschiedlicher Versorgungsformen – neue Versorgungsformen vs. etablierte Versorgungsformen –

durchzuführen und damit Handlungsempfehlungen geben zu können, welche Versorgungsform den unter den gegebenen Restriktionen besten Outcome im Sinne eines Value-Based-Healthcare erzielen kann. Das Reifegradmodell als Tool des *KZGLR* zielt somit darauf ab, in Veränderungsprozessen ländlicher Gesundheitsversorgung über den besagten Reifegrad – auf Basis von Strukturindikatoren – als Proxy ex ante eine vergleichende Prädiktion der Effektivität und Effizienz – im Sinne eines Health Technology Assessments – für unterschiedliche Organisationskonfigurationen der patientenorientierten Gesundheitsversorgung vorzunehmen.

Technisch umgesetzt werden soll dieses Reifegradmodell künftig mit Unterstützung des *Digital Health Labors*, welches aktuell gemeinsam mit Partnern aus der Industrie ebenfalls am Gesundheits- und Medizintechnikcampus Oberpfalz entsteht. Ausgestattet u. a. mit vollwertigen PACS- und RIS-Systemen sowie einer Viewing Workstation des Initiierungspartners *Telepaxx* sollen dort sukzessive weitere Systeme, wie z. B. Krankenhausinformations- oder Praxisverwaltungssysteme, installiert werden. Hierdurch soll ein virtuelles, der Realität nachempfundenes Versorgungsumfeld etabliert werden, um dort bestehende Anwendungen zu testen, neue zu entwickeln und deren Wirkung in Versorgungsprozessen zu simulieren und – anhand des besagten Reifegrades – zu messen. Um die direkte Translation der Forschungsergebnisse aus dem *Digital Health Labor* sicherzustellen, sollen dort von Beginn an (lokale) Partner aus der Versorgung, u. a. die Kliniken Nordoberpfalz AG, eingebunden werden. Anonymisierte Patientenprofile aus den Versorgungseinrichtungen, die aus datentechnischer Sicht dem späteren realen Produktivumfeld entsprechen, liefern die Basis für eine Simulation und Optimierung von Behandlungsfällen unter realen Bedingungen. Insgesamt kann unter dem Dach des *KZGLR* somit eine optimale Versorgungslandschaft konzipiert werden, die nicht nur theoretisch idealisiert abgebildet wird, sondern vielmehr bereits in einer virtuellen Umgebung ihren Praxiseinsatz erproben kann, um sich im späteren Produktiveinsatz als wesentlicher Hebel für Effektivität und Effizienz im Gesundheitswesen zu beweisen.

Kontakt:



Prof. Dr. rer. pol. Steffen Hamm

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

s.hamm@oth-aw.de



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Sabrina Reiml, M.Sc.
Christine Katharina Raps, M.Sc.
Anna Hautmann, M.Sc.
Karina Schuller, M.Sc.
Dr. Matthias Schöberl
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Transfer und Innovation Ostbayern – Medical Innovation Laboratory

Zusammenfassung

Sechs Hochschulen und Universitäten haben sich im Verbundprojekt „Transfer und Innovation Ostbayern (TRIO)“ zusammengefunden, um die dritte Säule/Third Mission und damit den Wissenstransfer in der Region zu stärken. Aufbauend auf dem INDIGO-Netzwerk sollen im Verbund effektive Transfer- und Innovationsstrukturen geschaffen, gemeinsame rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen für Kooperationen definiert und die inhaltliche Zusammenarbeit der Verbundhochschulen langfristig gestärkt werden. Das Projekt entwickelt und erprobt Grundlagen und Strategien ebenso wie konkrete Anwendungsbeispiele. Ziel ist es, den Wissens- und Technologietransfer über zusätzliche Innovationsstrukturen in Ostbayern zu verstärken. Das Vorhaben wird für den Zeitraum zwischen 2018–2022 durch die Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“ gefördert und zählt zu den drei größten Projekten dieser Förderperiode.

Die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden wird u. a. ein Innovationslabor aufbauen, in welchem Unternehmen und gesellschaftliche Akteure, Einrichtungen oder Initiativen neue Verfahren und Produkte entwickeln, testen und anwenden können. Weiterhin wird die Zusammenarbeit in TRIO die Sichtbarkeit der Hochschule in der Region und darüber hinaus erhöhen, Impulse für das Transfergeschehen liefern sowie mit neuen Dialog- und Austauschformaten bedarfsgerechte Lösungen für die Zusammenarbeit insbesondere mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) entwickeln.

Abstract

Six universities of applied sciences and universities joined forces in the combined project Transfer and Innovation in Eastern Bavaria (TRIO), in order to promote this aforementioned third mission and knowledge transfer into the region. Based on the INDIGO network, effective transfer and innovation structures will be established, a joint legal and organizational framework will be defined and the close cooperation of participating universities will be intensified long term. Within the project, foundation and strategies as well as concrete application examples will be developed and tested. The purpose is to strengthen the knowledge and technology transfer via additional innovation structures in Eastern Bavaria. The project is supported by the federal-state initiative Innovative University during period 2018–2022 and is one of the three largest projects during this funding period.

For this purpose, the Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden (OTH-AW) intends to build an innovation lab. Companies, general society, institutions or initiatives can then develop, test and apply new methods. Furthermore, due to the collaboration in TRIO, the visibility of the university within and beyond the region will be increased, new impulses for transfer will be generated and with new dialogue and exchange formats, appropriate solutions can be found in particular, for cooperation with small and medium-sized enterprises.

Verbundvorhaben Transfer und Innovation Ostbayern (TRIO)

Die Förderinitiative „Innovative Hochschule“ basiert auf dem Programm zur Förderung des forschungsbasierten Idee-, Wissens- und Technologietransfers an deutschen

Hochschulen, welches Bund und Länder als Pendant zur Exzellenzinitiative/Exzellenzstrategie ins Leben gerufen haben. Seit Januar 2018 läuft das Verbundprojekt „Transfer und Innovation Ostbayern (TRIO)“, an welchem sich die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden,

die Technische Hochschule Deggendorf, die Hochschule Landshut, die Universität Passau sowie zwei Lehrstühle des Kooperationspartners Universität Regensburg beteiligen. TRIO zählt mit knapp 15 Mio. Euro bewilligten Mitteln zu den drei größten Förderprojekten. Von den insgesamt etwa 30 Personalstellen sind fünf an der OTH Amberg-Weiden am Standort Weiden verortet.

Insgesamt haben sich die Verbundhochschulen vorgenommen, durch gemeinsame Transferstrukturen und -methoden die Professionalisierung des Wissens- und Technologietransfers zwischen den Hochschulen und ihren Partnern in Ostbayern voranzubringen und damit Innovationsimpulse für die Region zu setzen^[1]. Die Ziele des Gesamtvorhabens werden in hochschulübergreifenden Teilvorhaben umgesetzt. Die einzelnen Teilvorhaben beschäftigen sich mit

- der aktiven Gestaltung des Transfergeschehens, bspw. durch Analyse der Unternehmensbedarfe,
- dem Aufbau eines gemeinsamen webbasierten Transferportals auf Grundlage der systematischen Erfassung bestehender wissenschaftlicher Kompetenzen,
- der Verbesserung von Transfer- und Innovationsstrukturen, bspw. durch die Einrichtung von Innovationslaboren,
- der Entwicklung und Erprobung eines zielgruppenorientierten Kommunikationskonzepts,
- der Harmonisierung (rechtlicher) Rahmenbedingungen und der Entwicklung geeigneter IT-Werkzeuge und
- der Weiterentwicklung und Stärkung der inhaltlichen Zusammenarbeit im Verbund.

Den inhaltlichen Schwerpunkt und Rahmen bildet das Themenfeld der Digitalisierung.

TRIO an der OTH Amberg-Weiden

Projektleiter der OTH Amberg-Weiden ist Prof. Dr. med. Clemens Bulitta, fünf wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kümmern sich um die Umsetzung. Im Mittelpunkt steht dabei das Teilvorhaben 3 mit dem Ziel, Transfer- und Innovationsstrukturen in Ostbayern zu verankern. Konkret soll dies durch die Einrichtung und den Einsatz eines „Medical Innovation Laboratory (MIL)“ geschehen.

In den vergangenen Jahren hat die OTH Amberg-Weiden am Standort Weiden ein Kompetenzzentrum rund um die Zukunftsbranchen Medizintechnik und Gesundheitswirtschaft etabliert. Die Herausforderungen sind groß: Einerseits geht es um einen enormen Wachstumsmarkt, medizinisch-technischer Fortschritt sowie Digitalisierung eröffnen bisher nur ansatzweise zu erahnende Chancen. Andererseits ist die Region (Nord-)Oberpfalz durch Fachkräftemangel, demografische Entwicklung, Anspruchsdenken der Bevölkerung und ineffiziente Versorgungsstrukturen unter Druck. Soll der notwendige Veränderungsprozess aktiv und erfolgreich gestaltet

werden, müssen viele Institutionen, Gebietskörperschaften und Unternehmen zusammenarbeiten. Die OTH Amberg-Weiden versteht sich als Motor und Teil dieses Prozesses und hat vielfältige Initiativen, Netzwerke und Kooperationen angestoßen.



Abbildung 1: Internationale Gesprächsrunde beim EDM-Workshop: Digitalisierung – Chance für die Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum an der OTH Amberg-Weiden; Rechts: Prof. Dr. Clemens Bulitta, Leiter des Instituts für Medizintechnik (IfMZ); © OTH Amberg-Weiden/Matthias Schöberl

Ziel ist ein möglichst reibungsloser Wissens- und Technologietransfer zwischen angewandter Forschung und Wirtschaft. Insofern führt das TRIO-Verbundvorhaben „Medical Innovation Laboratory (MIL)“ diese Aktivitäten fort und hebt sie gleichzeitig auf eine neue Ebene der Kooperation.

Den Handlungsmaximen der OTH Amberg-Weiden „fördern – führen – inspirieren“ wird das Projekt ebenso gerecht wie den Leitlinien der Hochschule. Die Bereitschaft und Fähigkeit, hervorragende Leistungen zu vollbringen, in bestmöglicher, gleichberechtigter Partnerschaft mit Unternehmen wie Akteuren der Zivilgesellschaft zusammenzuarbeiten und im gemeinsamen Wirken stark zu bleiben, bilden sich im Vorhaben ab.

Bedarfsorientiert Entwickeln, Testen und Anwenden

Als zentrale Infrastruktur für mehr Transfer und Innovation sollen sogenannte Innovationslabore erprobt und umgesetzt werden. Solche Einrichtungen wurden in den vergangenen Jahren mehrmals von verschiedenen Akteuren mit leicht divergierenden Zielsetzungen aufgebaut. Grundsätzlich sind solche „FabLabs“ – nach engl. fabrication laboratory – offene Werkstätten, in denen interessierten Laien, Entwicklungseinheiten von Unternehmen, studentischen Arbeitsgruppen usw. der intellektuelle Freiraum sowie modernste Fabrikationsmaschinen (wie beispielsweise 3D-Drucker) zur freien Verfügung gestellt werden. Mit Methoden wie dem Design Thinking spüren sie überraschenden Lösungen und neuen Produktideen nach.

Damit dabei nicht nur Ideen generiert, sondern echte Innovationen auf den Weg gebracht werden können, soll im künftigen Innovationslabor der gesamte Produktlebenszyklus im Sinne des „Product Lifecycle Management (PLM)“ von der Idee über die Entwicklung bis hin zur Kommerzialisierung abgebildet werden.

Ziel des physischen und virtuellen MIL ist es also, Innovation zu ermöglichen. Im Prinzip werden dazu drei Elemente/Dimensionen der Innovation in einem „Ökosystem“ kombiniert:

- Entwickeln („Vom Wunsch zur Idee“): Fragen stellen, Ideen generieren und sammeln, bewerten; kreativer Ideengenerator
- Testen („Von der Idee zum Produkt“): Arbeiten im Fabrication Laboratory/virtuellen Labor, Prototypen herstellen und testen, bewerten; Makerspace
- Anwenden („Von der Produktidee zur Marktreife“): Im Sinne des Entrepreneurship geht es darum Produkte zur Serien-/Marktreife zu bringen (Businessplanung, Gründung, Marketing und Vertrieb); Accelerator/ Inkubator

Die Entwicklung und Erprobung baut zum Teil auf dem medizintechnischen und gesundheitswirtschaftlichen Hintergrund des Instituts für Medizintechnik (IfMZ) sowie der verschiedenen Initiativen und Kooperationen in diesem Sektor der OTH Amberg-Weiden auf. Allerdings erfolgt dies nur exemplarisch, sodass die gewonnenen Erkenntnisse auf alle Forschungs- und Tätigkeitsgebiete der Verbundhochschulen anwendbar sind. Auch wenn beispielhaft von Produktentwicklung die Rede ist, sind ausdrücklich soziale und gesellschaftliche Innovationen sowie Innovationen hinsichtlich Prozessen und Organisationsstrukturen, z. B. innerhalb der Verbundhochschulen, stets eingeschlossen.

Dieser Auftrag spiegelt sich in der Konzeption des Labors wider, indem dieses mobil, stationär und virtuell ausgeführt wird: Als „Mobiles InnovationsLabor für die Oberpfalz“, als „Medizintechnisches InnovationsLabor für Alle“ sowie in beiden Fällen digital in den Webespace erweitert. Bedarfsorientiert entwickeln, testen und anwenden umschreibt dies im Sinne der drei genannten Dimensionen. Und erläutert kurz und knapp die Herangehens- und Arbeitsweise des Labors.

Das MIL ist somit mehr als reine Ideenwerkstatt – letztlich unterstützt es als Inkubator für neue Technologien und Dienstleistungen von der Problemdefinition bis hin zur Umsetzung der gefundenen Lösung (ggf. eben auch in Form eines Produktes) oder leistet auch Gründungsunterstützung für den Bereich Medizintechnik und Gesundheitswirtschaft. Mit diesem ganzheitlichen Ansatz wird es dem Anspruch gerecht, die Region Ostbayern durch Weiterentwicklungen von Strukturen, Methoden und Arbeitsweisen sowie die Stärkung der Innovationsfähigkeit von KMU oder Start-ups zu stärken.

Daher wendet es sich an eine breite Palette von Zielgruppen: Kindergärten, Schulen, Fort- und Weiterbildungseinrichtungen, Hochschulen, Verbände und Vereine, Netzwerke, kommunale Einrichtungen und Einheiten von Gebietskörperschaften, Selbstständige und Freiberufler, kleine und mittlere Unternehmen, Konzerne und Konsortien. Der Schwerpunkt liegt gemäß Gesamtvorhabenbeschreibung auf den KMU.

Die anwendbaren Methoden und Techniken reichen von der Förderung der Kreativität bis hin zu Rapid-Prototyping-Projekten und Events. Sie umfassen Design Thinking ebenso wie Simulationen oder Kommunikationsformate zum Test und zur Validierung innovativer Technologien und Systemlösungen. Veranstaltungsformate können Hackathons, Ideen-Brunches, Innovationsmessen oder auch individuell auf einzelne Firmen und Fragestellungen ausgerichtete Workshops sein. Darüber hinaus fördert das „Mobile/Medical Innovation Laboratory“ den Austausch von Wissen, Ideen und Informationen über ein kreatives Milieu. Die Vernetzung mit OTH- und Verbundprojekten hebt Synergien.



Abbildung 2: Innovative Gesundheitslösungen für die Region entwickelten die Teilnehmer am Hackathon „Hacking Rural Health“; © Michael Reiter, <https://healthcare-startups.de>

Die Labore werden bis Mitte des Jahres 2019 einsatzbereit sein. In Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern IHK, Handwerkskammern und BayernLabs stehen sie dann in ganz Ostbayern zur Verfügung.

Referenzen:

- [1] 2018, Hochschulverbund Transfer und Innovation Ostbayern [TRIO]: Verbundantrag im Bund-Länder-Programm „Innovative Hochschule“

Fördergeber:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Gemeinsame
Wissenschaftskonferenz
GWK

**Innovative
Hochschule**

Kontakt:



Sabrina Reiml, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

s.reiml@oth-aw.de



Christine Katharina Raps, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.raps@oth-aw.de



Anna Hautmann, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.hautmann@oth-aw.de



Karina Schuller, M.Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

ka.schuller@oth-aw.de



Dr. Matthias Schöberl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Hochschulverbund Transfer und
Innovation Ostbayern (TRIO)
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.schoeberl@oth-aw.de



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Leitung Institut für Medizintechnik (IfMZ),
Studiengangsleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Transferdimensionen: von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis

Zusammenfassung

Von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis: Akademische Weiterbildung ermöglicht lebenslanges Lernen auf Hochschulniveau. Bisher sind Hochschulstrukturen vorwiegend auf traditionell Studierende ausgerichtet und müssen für eine Öffnung der Hochschulen (weiter)entwickelt werden, um die erfolgreiche Teilhabe von beruflich Qualifizierten am Hochschulleben weiterzufördern. Dies stellt Hochschulen vor neue Herausforderungen. Im Rahmen des Teilprojekts OTH mind – #aufstieggestalten an der OTH Amberg-Weiden werden regionale Bildungsangebote für lebenslanges Lernen, u. a. für beruflich Qualifizierte, Studienabbrecher/-innen, IT-Fachkräfte, (weiter)entwickelt und erprobt. Für die zielgruppenadäquate Angebotskonzipierung erfolgten Zielgruppen- und Unternehmensbefragungen. Aktuelle Diskussionen zeigen, dass ein hohes gesellschaftliches Interesse an der Öffnung der Hochschulen besteht. Daraus wird deutlich, dass der Bekanntheitsgrad der Transfermöglichkeiten, um Wissen gesellschaftlich wirksam zu machen, noch weiter gesteigert werden muss. Dieser Beitrag wird neben den ersten wissenschaftlichen Erkenntnissen im Projekt auch die entwickelten Möglichkeiten der Transfergestaltung für heterogene Zielgruppen sowie erste Lösungsansätze für eine strategische und nachhaltige Implementierung in der Hochschule unter Berücksichtigung der verschiedenen Transferdimensionen aufzeigen.

Abstract

From practice to university and from university to practice: scientific training enables lifelong learning at university level. So far, higher education structures are oriented mainly on traditional students and they need to be evolved for opening of universities in order to further promote the successful participation of people with vocational qualifications at the university life. These are new challenges for universities. As part of the subproject OTH mind – #aufstieggestalten at the OTH Amberg-Weiden regional educational opportunities for lifelong learning, among others for people with vocational qualifications, student dropouts, IT professionals were evolved and tested. Target groups and enterprise surveys have to take place for a target group-oriented conception of the offering. Current discussions show that there exists a major social interest on the opening of universities. It is evident from this that the awareness level of the transfer possibilities must be further increase to make the knowledge socially effective. This contribution shows besides the first scientific insights of the project, the developed possibilities of the transfer organization for heterogeneous target groups as well as initial approaches for a strategic and sustainable implementation in the university considering various of transfer dimensions.

1 Einleitung – Rolle der Weiterbildung an Hochschulen

Die Hochschullandschaft durchläuft seit geraumer Zeit einen strukturellen Wandel. Seit über 30 Jahren unterliegt die traditionelle Ausrichtung der Tätigkeitsfelder von Hochschulen einem strukturellen Wandel. Neben den beiden Säulen Forschung und Lehre sind weitere Aufga-

ben und Tätigkeitsfelder hinzugekommen. Diese Erweiterung ist unter dem Begriff „Third Mission“ bekannt^[1]. Die Thematik Lebenslanges Lernen erfährt somit einen sehr hohen gesellschaftlichen sowie hochschulpolitischen Aufschwung. Als Einflussfaktoren sind unter anderen die Bologna-Reform, die steigenden Fördermöglichkeiten zur Öffnung der Hochschulen^[2] sowie die „Third Mission“ zu nennen.

Bereits jetzt, aber vor allem zukünftig, sind im Zuge des Arbeitsmarktwandels Felder wie Lebenslanges Lernen und berufsbegleitende (Weiter-)Qualifizierung auf verschiedenen Kompetenzniveaus aus der Hochschullandschaft nicht mehr wegzudenken. An diesem Punkt setzt auch die akademische Weiterbildung an. Dies setzt voraus, die Hochschulen für Personen zu öffnen, die Interesse an Qualifizierungsangeboten auf Hochschulniveau haben und diese auch im vorgegebenen Rahmen wahrnehmen wollen. Insbesondere müssen die Hochschulen bei der Förderung von Durchlässigkeit einem etappenweisen Lernen über alle Lebenssituationen hinweg gerecht werden, da sich der Trend der Hochschulbildung immer mehr zur Flexibilisierung und Modularisierung der Bildungsangebote unter Berücksichtigung der fortschreitenden Digitalisierung entwickelt. Bei der Realisierung neuer zielgruppenadäquater akademischer Weiterbildungen muss neben der Fürsorgepflicht in den Familien (z. B. Kinder oder pflegebedürftige Person) auch den individuellen Bedürfnissen der Weiterbildungsinteressierten Rechnung getragen werden ^[3].

2 Projekt OTH mind #aufstiegsgestalten

Das Verbundprojekt OTH mind im Bund-Länder-Wettbewerb „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“ der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg hat sich zum Ziel gesetzt, die Durchlässigkeit zwischen hochschulischer und beruflicher Bildung durch nachhaltige und zielgruppenspezifische modulare (Weiter-)Bildungsangebote auf Hochschulniveau zu verbessern. Dies ermöglicht die Weiterentwicklung bestehender oder Generierung neuer Angebote unter Einbezug von bildungspolitischen Partnern, aber auch hochschulinternen Kooperationen. Eine Zusammenarbeit zwischen akademischen Weiterbildungsanbietern und Unternehmen lässt die kontinuierliche Anpassung von Bildungsangeboten an die sich stets weiterentwickelnden Arbeitsplatzanforderungen zu. Um den Bedarfen der berufserfahrenen Weiterbildungsteilnehmenden über inhaltliche Angebote hinaus gerecht zu werden, werden neue Supportstrukturen geschaffen.

Die Zielgruppen sind beruflich Qualifizierte, Studienabbrecher/-innen, Fachkräfte und Ingenieur/-innen im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Zentrales Merkmal des auf die Hochschulregion zugeschnittenen Konzepts ist ein modularer Aufbau, das der Diversität der einzelnen Gruppen und deren unterschiedlicher Bildungsbiografien sowie den Anforderungen des regionalen Arbeitsmarktes Rechnung trägt.

Das Projekt umfasst verschiedene Forschungsschwerpunkte, die an der OTH Amberg-Weiden und der OTH Regensburg angesiedelt wurden (Abbildung 1).

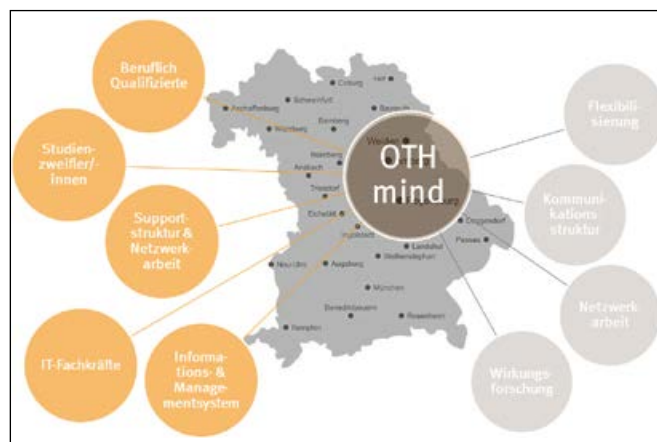


Abbildung 1: Forschungsschwerpunkte im Verbundprojekt OTH mind – modulares innovatives Netzwerk für Durchlässigkeit

3 Forschungsstand

Im Jahr 2016 studierten rund 57.000 Personen ohne Abitur an deutschen Hochschulen. Der Anteil der neuen Zielgruppe – beruflich Qualifizierter – unter allen Studierenden beträgt etwa 2,0 Prozent ^[4] deutschlandweit, in Bayern waren es lediglich 1,5 Prozent ^[5]. Im Vergleich zu traditionell Studierenden handelt es sich bei beruflich Qualifizierten um eine kleine Zielgruppe, welche in den vergangenen Jahren stark gewachsen ist ^[6]. Bestehende Strukturen in der Hochschullandschaft sind überwiegend an traditionell Studierende ausgerichtet. Studierende ohne Abitur bzw. beruflich Qualifizierte unterscheiden sich jedoch von traditionell Studierenden in folgenden Merkmalen: Alter, Bildungsbiografie, berufliche Vorerfahrung, Bekanntheitsgrad beruflich Qualifizierte an Hochschulen, Informationsbereitstellung, mehr Bedarf an überfachlichen Kursen (z. B. Lernstrategien), finanzielle und zeitliche Ressourcen sowie sozialer Background ^{[7] [8] [9] [10] [11]}. Diese verschiedenen Merkmale im Kontext der bestehenden, auf traditionell Studierende ausgerichteten Hochschulstruktur können u. a. Gründe für einen noch niedrigen Studierendenanteil an beruflich Qualifizierten sein. Eine rasche Reaktion auf die Heterogenität fällt den Hochschulen oftmals schwer ^[3], um jedoch den neuen Bedarfen gerecht zu werden, müssen Strukturen und Angebote, ausgerichtet an aktuellen Themen, (weiter-)entwickelt werden. Beruflich Qualifizierte haben ein besonders hohes Interesse an Fachthematiken und Wissensaufnahme, sodass auch eine größere Leistungsbereitschaft vorliegt ^[12]. Ebenfalls behandeln Banscheraus und Pickert ^[13] das Thema Unterstützungsangebote für neue Zielgruppen der Hochschulen und zeigen unter anderem nachfolgende Hürden auf. Die Zielgruppe der Studierenden ohne schulische Studienberechtigung weist einen hohen Bedarf an Informationen und Beratung hinsichtlich Studienanforderungen, Studienfinanzierung, Vereinbarkeit von Studium mit beruflichen und/oder familiären Anforderungen, Zulassungs- und Zugangsbedingungen und Anrechnung von beruflichen Kompetenzen auf.

4 Datengrundlage und deskriptive Ergebnisse

4.1 Datengrundlage

Für eine zielgruppenadäquate Angebotsentwicklung wurden auf regionaler Ebene das (Weiter-)Bildungsinteresse und die heterogenen Weiterbildungsbedarfe mittels qualitativer und quantitativer Methoden erhoben^[14]. Als Datengrundlage für die nachfolgenden Ausführungen wurde die Fachkräftebefragung herangezogen. Mittels einer Stichprobe an beruflich qualifizierten Fachkräften in der Oberpfalz, die mindestens eine berufliche Ausbildung im gewerblich-technischen Bereich abgeschlossen haben oder deren Qualifikationsniveau dem eines Meisters/Fachwirts/Technikers oder einer Meisterin/Fachwirtin/Technikerin entspricht, wurden die Weiterbildungsbedarfe der Zielgruppe erhoben. Basierend auf den Ergebnissen wurden bzw. werden sowohl für technische Fachkräfte als auch für beruflich qualifizierte Studieninteressierte akademische Bildungs- bzw. Vorbereitungsangebote entwickelt.

4.2 Erste deskriptive Ergebnisse der Fachkräftebefragung

Insgesamt haben von 5.536 kontaktierten Personen 553 an der Befragung mittels Online-Fragebogen teilgenommen. Für die nachfolgende Ergebnisdarstellung fanden alle technischen Fachkräfte der Region Oberpfalz (n = 224) aus der Fachkräftebefragung des Projekts OTH mind Eingang. Die Stichprobe setzt sich zusammen aus 86,0 Prozent männliche und 14,0 Prozent weibliche Personen, von denen zum Zeitpunkt der Erhebung 81,1 Prozent zwischen 20 und 29 Jahre alt waren und 9,6 Prozent Familienpflichten hatten. In einem sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnis (Vollzeit, unbefristet) befanden sich 87,9 Prozent und 83,5 Prozent nahmen an einer Aufstiegsfortbildung (beispielsweise Meister/-in oder Techniker/-in) teil bzw. hatten diese bereits absolviert. Dass Weiterbildungen an Hochschulen besucht werden können, war lediglich 51,6 Prozent Frauen und 60,2 Prozent Männer bekannt. Jedoch äußerte die Mehrheit (80,6 Prozent der Frauen; 74,9 Prozent der Männer) ein Interesse an Weiterbildung.

Anhand dieser Ergebnisse sowie der vorausgesetzten und notwendigen Theorie-Praxis-Verzahnung von modularer akademischer Weiterbildung konnten folgende Transferdimension im Projekt OTH mind #aufstiegsgestalten herausgearbeitet werden.

5 Transferdimensionen in OTH mind #aufstiegsgestalten

Von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis: Der Ausbau akademischer Weiterbildung spiegelt keinen einseitigen Prozess wider. Um den Transfer für beruflich Qualifizierte zu gestalten und zu sichern sowie um akademische Weiterbildung gesell-

schaftlich wirksam zu machen, gilt es, verschiedene Transferdimensionen im Handlungsfeld der akademischen Weiterbildung zu berücksichtigen. Für das Projekt OTH mind #aufstiegsgestalten konnten im zirkularen Kontext des lebenslangen Lernens drei Transferdimensionen erarbeitet werden (Abbildung 2).

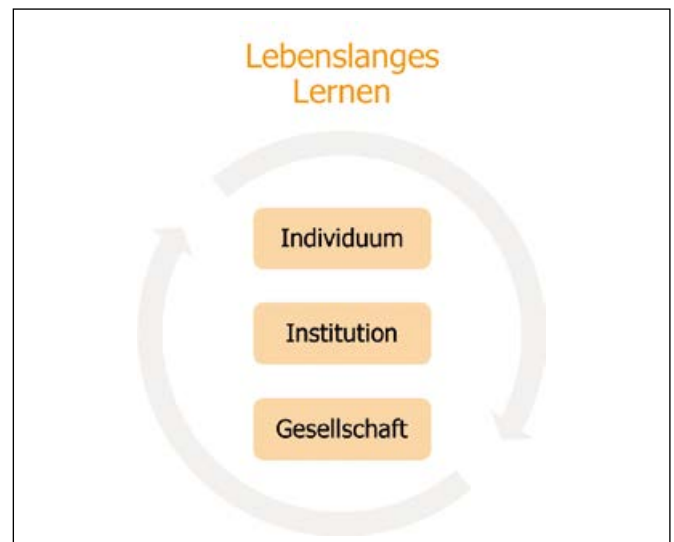


Abbildung 2: Transferdimensionen in OTH mind #aufstiegsgestalten. Eigene Darstellung.

Die Individualebene umfasst neben dem soziodemografischen sowie familiären Hintergrund auch die persönlichen Kompetenzen. Um den Bedarfen beruflich Qualifizierter gerecht zu werden und um somit eine ausgewogene Work-Life-Education-Balance zu schaffen, werden zielgruppenadäquate Lehr- und Lernmethoden (z. B. Blended-Learning oder work-based Learning) eingesetzt.

Die institutionelle Dimension beinhaltet Unternehmen und Hochschulen gleichermaßen. Dabei gilt es, formale Gegebenheiten, bestehende Strukturen, Regelungen und Gesetzgebungen zu berücksichtigen. Verschiedene Kooperationsmöglichkeiten zwischen Hochschulen und Unternehmen oder regionaler Bildungsträger bieten sich u. a. an, um gemeinsame Transferangebote zu entwickeln.

In der Dimension „Gesellschaft“ sind sowohl die regional ansässige Bevölkerung als auch bestehende gesellschaftliche Werte und Normen zu verorten. Weiterhin ermöglicht diese Ebene die Sichtbarkeit der Öffnung der Hochschulen und die damit einhergehende Möglichkeit, ohne Abitur zu studieren, um so Bildung gesellschaftlich wirksam zu machen. Hierbei gilt es, jeweils den Bezug zum Kontext des Lebenslangen Lernens herzustellen.

6 Angebote

Welche Angebote finden im Kontext der Transferdimensionen statt? Auf Basis der erhobenen Ergebnisse werden für die Zielgruppen insgesamt drei übergeordnete modulare Bildungsangebote mit thematisch spezifischen Teilangeboten auf unterschiedlichen Bildungsniveaus entwickelt

und pilotiert. Dazu zählt BeVorStudium – Berufsbegleitende Vorbereitung auf ein Studium für beruflich Qualifizierte, Berufsorientierung und Ausbildung im Bereich Elektronik und Informatik für Studienaussteiger/-innen sowie (Weiter-)Bildungsmodul für IT-Fachkräfte (Abbildung 3). Nachfolgend werden die einzelnen Bildungskonzepte im Kontext der Transferaktivitäten näher skizziert.

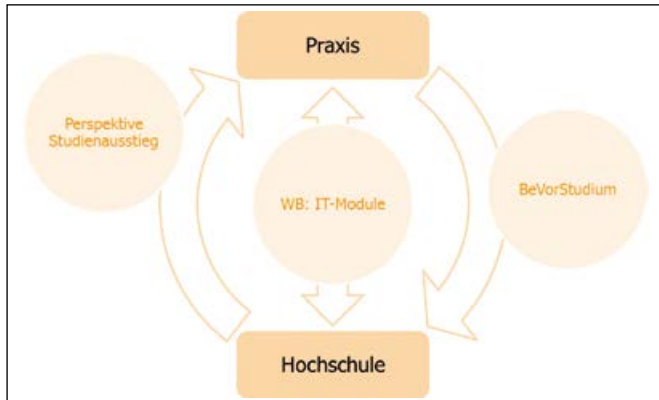


Abbildung 3: Bildungsangebote des Projekts OTH mind #aufstieg-gestalten im Zyklus des Lebenslangen Lernens. Eigene Darstellung.

BeVorStudium – Berufsbegleitende Vorbereitung auf ein Studium für beruflich Qualifizierte

Dieses Angebot ist in der Transferphase von der Praxis in die Hochschule angesiedelt (Abbildung 3). Es wurde insbesondere für die Vorbereitung auf technische Studiengänge entwickelt, um beruflich Qualifizierte einen Einblick in die Inhalte, das Niveau und die Arbeitsweisen in einem technischen Studium bereits vor Studienbeginn zu geben. Die Module konzentrieren sich auf die Vermittlung von Mathematik-Kenntnissen in drei aufeinander aufbauenden Niveau-Stufen (Abbildung 4). Ergänzt werden diese durch das Modul Physik sowie Studienkompetenz, welches u. a. Lernmethoden vermittelt und als beratendes Element in das Konzept BeVorStudium integriert ist. Zudem ermöglicht die Durchführung eines Online-Self-Assessments (OSA) eine persönliche Niveaueinstufung, um das passende Einstiegsmodul zu finden.

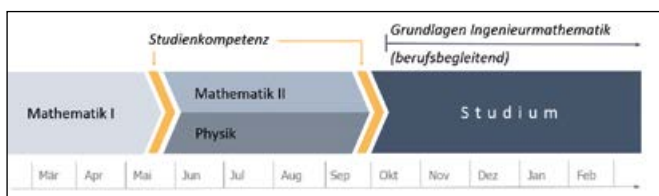


Abbildung 4: Elemente des Konzepts BeVorStudium. Eigene Abbildung.

Mathematik I umfasst zentrale Themen der Mittelstufen-Mathematik und richtet sich an Personen ohne mittleren Schulabschluss oder mit größerem Abstand zur Schulzeit. Oberstufenthemen auf dem Niveau des Fachabiturs werden im Modul Mathematik II behandelt – ergänzt um einige Mittelstufenthemen wie bspw. quadratische Zusammenhänge und Trigonometrie. „Grundlagen der

Ingenieurmathematik“ ist ein ergänzendes Modul, welches die Mathematik des ersten Semesters eines ingenieurwissenschaftlichen Studiums abdeckt und sich an den Modulhandbüchern für das Studienmodul Mathematik I orientiert. Bei erfolgreich absolvierter Prüfung kann dieses Modul in ausgewählten Studiengängen an der OTH Amberg-Weiden als Studienleistung angerechnet werden und entzerrt somit das arbeitsintensive erste Semester.

Berufsorientierung für Studienzweifler/-innen

Gemeinsam mit regionalen Unternehmen und Berufsschulen wurde ein dreistufiges modulares Berufsorientierungs- und Ausbildungsprogramm für Studienaussteiger/-innen unter Berücksichtigung der Verwertbarkeit von im Studium erworbenen Kompetenzen im Sinne einer (pauschalen) Anrechnung auf die (duale) Berufsausbildung konzipiert (Abbildung 5). Dies umfasst die Bereiche Elektronik sowie Informatik und unterstützt Studienaussteiger/-innen bei der Integration in das berufliche Aus- und Weiterbildungssystem. Das Qualifizierungsangebot ermöglicht somit einen Transfer vom Studium direkt in die Praxis (Abbildung 3).

Eine onlinebasierte Informationsplattform für Studienaussteiger/-innen (www.perspektiven-schaffen.bayern) ermöglicht der Zielgruppe zusätzlich zur persönlichen und individuellen Beratung einen direkten Zugriff auf weitere Informationen wie bspw. eine Jobbörse.



Abbildung 5: Berufsorientierung und Ausbildung für Studienaussteiger/-innen. Eigene Darstellung.

(Weiter-)Bildungsmodul für technische Fachkräfte

Die Weiterbildungsmodul für Fachkräfte, Techniker/-innen und Meister/-innen, insbesondere im Bereich Informatik, sind als eine wechselseitige Transferaktivität, von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis, zu sehen (Abbildung 3). Entwickelt werden die Angebote zum einen auf Grundlage einer regionalen Strukturanalyse und zum anderen aus Ergebnissen der Erhebungen zum Weiterbildungsbedarf sowohl aus Personen- als auch aus Unternehmenssicht. Folgende drei Bereiche sind an dieser Stelle von besonderem Interesse: Elektro- und Informationstechnik, Maschinenbau und Informatik.

Geplant ist, bis zu vier berufsbegleitende Bildungsangebote für Fachkräfte in den genannten Bereichen zu entwickeln und anschließend zu pilotieren.

Flankierende Maßnahmen

Neben den entwickelten Bildungsangeboten liegt im Projekt OTH mind #aufstiegsgestalten ein zentrales Hauptaugenmerk auf dem Ausbau und der Weiterentwicklung von zielgruppenadäquaten Supportstrukturen. Hintergrund ist, dass die adressierten Zielgruppen akademischer Weiterbildung durch zeitlich und örtlich limitierende Faktoren in vielerlei Hinsicht auf besondere Angebotsorganisation und Support angewiesen sind. Dazu zählen zum einen die Beratung und Betreuung, der Einsatz von neuen Lehr- und Lernformen und letztlich die Möglichkeit der Anrechnung von erbrachten Leistungen.

7 Ausblick

Von der Praxis in die Hochschule und von der Hochschule in die Praxis: Dieser Kreislauf ermöglicht akademische Weiterbildung im Kontext des lebenslangen Lernens auf

Hochschulniveau und birgt somit für einen gelingenden Wissenstransfer ein hohes Synergiepotenzial. Das Projekt OTH mind – #aufstiegsgestalten der OTH Amberg-Weiden setzt hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung modularer und flexibler Bildungsangebote an dieser Verzahnung von (beruflicher) Praxis und hochschulisch vermitteltem Wissen an. Daraus lässt sich für die Zielgruppen ein individuelles und nachhaltiges Weiterbildungsangebot unter Berücksichtigung der Durchlässigkeit an Hochschulen ableiten. Die akademische Weiterbildung kann hierfür zentrale Akteurin von Transferaktivitäten sein und als Brücke zwischen akademischer Bildung, den Bedürfnissen der Berufs- und Arbeitswelt sowie gesellschaftlichen Anforderungen fungieren. Damit einhergehend kann der Bekanntheitsgrad der Transfermöglichkeiten weiterhin gesteigert werden, um letztendlich Wissen gesellschaftlich wirksam zu machen.

Referenzen:

- [1] Roesler, I., Duong S. & Hachmeister, C. (2015): Welche Missionen haben Hochschulen? Third Mission als Leistung der Fachhochschulen für die und mit der Gesellschaft. CHE Gütersloh.
- [2] KMK (2009): Hochschulzugang für beruflich qualifizierte Bewerber ohne schulische Hochschulzugangsberechtigung. http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_03_06-Hochschulzugang-erful-qualifizierte-Bewerber.pdf. Zugriffen: 25.01.2018.
- [3] Wolter, A. (2011): Die Entwicklung wissenschaftlicher Weiterbildung in Deutschland. Von der postgradualen Weiterbildung zum lebenslangen Lernen. In: Beiträge zur Hochschulforschung 33 (4). S. 8–35.
- [4] CHE – Centrum für Hochschulentwicklung (2018): Zahl der Studierenden ohne Abitur hat sich seit 2010 verdoppelt. <http://www.che.de/cms/?getObject=5&getNewsID=2124&getCB=212&getLang=de#publikationenbox>. Zugriffen: 18.09.2018.
- [5] CHE – Centrum für Hochschulentwicklung (2016): Bayern. Daten Monitoring. <http://www.studieren-ohne-abitur.de/web/laender/bayern/>. Zugriffen: 18.09.2018.
- [6] Nickel, S. & Schulz, N. (2017): Update 2017: Studieren ohne Abitur in Deutschland. Überblick über aktuelle Entwicklungen. http://www.che.de/downloads/CHE_AP_195_Studieren_ohne_Abitur_2017.pdf. [letzter Zugriff: 11.07.2018].
- [7] Brunner, S., Kretschmer, S., Hoffmann, J. & Zawacki-Richter, O. (2015): Blended Counselling: Konzeption eines Online-Beratungsportals für beruflich qualifizierte Studieninteressierte. In: Freitag, W. K., Buhr, R., Danzeglocke, E., Schröder, S. & Völk, D. (Hrsg.): Übergänge gestalten. Durchlässigkeit zwischen beruflicher und hochschulischer Bildung erhöhen. Münster: Waxmann, S. 31–48.
- [8] Kamm, C., Spexard, A. & Wolter, A. (2016): Beruflich Qualifizierte als spezifische Zielgruppe an Hochschulen. Ergebnisse einer HISBUS-Befragung. In: Wolter, A., Banscherus, U. & Kamm, C. (Hrsg.): Zielgruppen Lebenslangen Lernens an Hochschulen. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“. Münster: Waxmann. S. 165–196.
- [9] Otto, A. & Kamm, C. (2016): „Ich wollte einfach noch eine Stufe mehr.“ Vorakademische Werdegänge und Studienentscheidungen von nicht-traditionellen Studierenden und ihr Übergang in die Hochschule. In: Wolter, A., Banscherus, U. & Kamm, C. (Hrsg.): Zielgruppen Lebenslangen Lernens an Hochschulen. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“. Münster: Waxmann. S. 197–224.
- [10] Hanft, A., Maschwitz, A. & Hartmann-Bischoff, M. (2013): Beratung und Betreuung von berufstätigen Studieninteressierten und Studierenden zur Verbesserung des Studienerfolgs. In: Hanft, A. & Brinkmann, K. (Hrsg.): Offene Hochschulen. Die Neuausrichtung der Hochschulen auf Lebenslanges Lernen. Münster: Waxmann. S. 110–119.

- [11] Jürgens, A. & Zinn, B. (2015): Nicht-traditionell Studierende in Deutschland – Stand der empirischen Forschung und Desiderate. In: Elsholz, U. (Hrsg.): Beruflich Qualifizierte im Studium. Analysen und Konzepte zum Dritten Bildungsweg. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag. S. 35–56.
- [12] Jürgens, A. & Zinn, B. (2012): Nichttraditionell Studierende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen – Zugangswege, Motive, kognitive Voraussetzungen. In: IHF (Hrsg.): Beiträge zur Hochschulforschung, 34 (4/2012). München. S. 34–53.
- [13] Banscheraus, U. & Pickert, A. (2013): Unterstützungsangebote für nicht-traditionelle Studierende – Stand und Perspektiven. Thematischer Bericht der wissenschaftlichen Begleitung des Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschule“.
- [14] Schnurer, K. (2016): Gesamtüberblick über das Vorgehen „Quantitative Befragungen zur Erfassung des regionalen Weiterbildungsbedarfs“. OTH mind Methodenbericht. https://www.oth-aw.de/files/oth-aw/Forschung/Forschungsprojekte/OTH_mind/Publikation_Methodenbericht_mit_Fragebogen.pdf. [Zugegriffen: 08.05.2018.]

Projektpartner:

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Regensburg, Regensburg

Fördergeber:

Für das Verbundprojekt „OTH mind – modulares innovative Netzwerk für Durchlässigkeit“



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kontakt:



Katharina Koller, M.A.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
OTH mind – Supportstrukturen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

ka.koller@oth-aw.de



Anja Wurdack, M.A.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
OTH mind – Projektleitung
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.wurdack@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

Probit Models and the Global Business Cycle

Ursel Baumann
Ramón Gómez Salvador
Prof. Dr. Franz Seitz

Abstract

We present non-linear binary Probit models to capture the turning points in global economic activity from 1980 to 2016. For that purpose, we use four different business cycle dating methods to identify the regimes (upswings, downswings). We find that especially activity-driven variables are important indicators for the turning points.

Zusammenfassung

Wir präsentieren nicht lineare Probit-Modelle zur Identifikation von konjunkturellen Wendepunkten in der Weltkonjunktur von 1980 bis 2016. Dafür ziehen wir vier unterschiedliche Konjunkturidentifizierungsmethoden heran und klassifizieren dadurch Auf- und Abschwünge. Als Ergebnis stellt sich heraus, dass vor allem aktivitätsgetriebene Variablen wichtige Indikatoren für die Wendepunkte sind.

1 Introduction

One of the greatest challenges of empirical business cycle research is the timely detection and modelling of business cycle turning points. In the US and the euro area, there are the Business Cycle Dating Committees of the NBER and the CEPR, respectively, which date the turning points in the dynamics of economic activity. However, at a global level – be it world-wide, advanced economies, emerging market economies – such dating does not exist and the business cycle analysis is quite limited. To detect as well as model the turning points in a global context, we make use of the dynamic and non-linear bivariate Probit models.

Dynamic Probit models estimate a multi-regime variable directly with the help of one or more economic variables (e.g. ^[1], ^[2] for the US, ^[3] for the euro area, ^[4] for Germany, ^[5] for a set of countries). In our case, we have a binary variable (i.e., expansions and recessions). This necessitates, in the first place, the specification of upswings and downswings to construct the binary variable. Alternatives include simple rules of thumb (e.g., two consecutive declines in quarterly GDP growth as indicative of a recession) or more formal rules like the Bry-Boschan-algorithm (e.g. ^[6]).

There are only few papers on turning points in global economic activity. ^[7] builds on a Factor-Augmented Mixed Data Sampling model of various countries and sectors worldwide. ^[8] also concentrate on growth rates and evaluate the quality of world steel production compared to Kilian's index of global economic activity and the index of OECD world industrial production. ^[9] uses linear models to investigate several global indicators' ability to nowcast world trade and world GDP. He finds that the indicators are most helpful during periods of large swings in world growth. However, their usefulness fluctuates greatly over time. The only paper which addresses turning points directly and on a global level within a non-linear framework is ^[10]. They propose a two-state *Markov-switching* dynamic factor model to produce short-term forecasts of world GDP and to compute business cycle probabilities.

Our analysis differs in several aspects from these papers. First, and in contrast to ^[7], ^[8] and ^[9], we concentrate solely and directly on turning points of global GDP growth. Second, we use Probit models to capture the turning points on a global level. So far, these methods have been predominantly applied to a national level. Third, we use several business cycle turning point dating methods to evaluate the models. Fourth, the indicator variables are included individually, not as factors as in ^[7] and ^[10].

Our results reveal that lagged GDP growth rates and activity-based variables are the best indicators of upswing and downswing periods. The remainder of the paper is structured as follows. Section 2 describes the independent and dependent variables used. Following this, section 3 introduces the Probit models and presents their results. Section 4 summarises and concludes.

2 Data

We use seasonally-adjusted quarterly data for the sample 1980Q1-2016Q4. World activity is measured by real quarterly world GDP, derived from a PPP-weighted aggregation of national GDP data based on national sources. We also distinguish between real quarterly GDP for advanced economies and emerging economies.

The independent variables considered can be grouped as follows:

- *Activity data*: industrial production in OECD countries and emerging market economies, world steel production (see Ravazzolo and Vespignani, 2015), the Kilian index of real world economic activity, the Goldman Sachs Global Leading Indicator, the Composite Leading Indicator by the OECD, a global factor derived by Delle Chiaie, Ferrara and Giannone (2017) and the Conference Board US Leading Economic Index.
- *Survey data*: consumer confidence in OECD countries and the US.
- *Financial data*: the US term spread (10 years minus 3 month), the US BBB bond spread, S&P500, M1 and M3 for OECD countries.
- *Commodity prices*: oil prices in USD and indices of metal prices and non-oil commodity prices.

The results reported in section 3 concentrate, however, on those independent variables that turned out to be statistically significant in the various specifications selected and in line with economic reasoning.

Figure 1 plots quarterly world, advanced economy and emerging economy real GDP growth from 1980Q1 to 2016Q4. We distinguish two types of periods with different mean growth rates: (i) Negative or slightly positive growth rates; (ii) periods of robust growth (either briefly following recessions or on a more prolonged basis). The severest recession is the great recession 2009.

In what follows, our aim is to use model-based techniques and judgmental approaches to detect these alternative episodes, and thereafter to estimate probabilities of staying in a regime or moving to a different one.

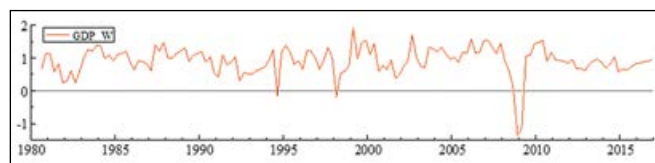


Figure 1: Real global GDP (quarter-on-quarter percentage change), Sources: IMF, ECB and author's calculations.

3 Probit models

3.1 Methodology

One methodology commonly used to analyse turning points in economic activity is the Probit method. A textbook treatment may be found in [11]. Recent business cycle applications are, inter alia, [2], [12], [13], [14], [15] and [16]. In our case, a value of the binary variable of 0 signals a “downswing” whereas the value “1” indicates an “upswing”. The objective of the analysis is to assess with what probability the variable changes its value at a specific date.

Formally, the probit method can be represented as follows:

$$P_i = \Pr(Y_i = 1 | X_i, \beta) = \int_{-\infty}^{X_i' \beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0.5u^2} du = \Phi(X_i', \beta), \quad (1)$$

where P_i represents the probability that a specific event (e.g. an upswing) will occur; $\Phi(\cdot)$ is the distribution function of the standard normal distribution (the so-called probit function); u stands for the normally distributed residuals. X_i is the vector of the independent variables, in our analysis specifically the potential variables that trigger an upswing or a downswing or, more specifically, a turning point. The β coefficients of the independent variables of this non-linear estimation approach can only be determined by iteration. To estimate these coefficients, we use the Newton-Raphson method with Marquardt steps to obtain parameter estimates. The standard errors are estimated by the inverse of the estimated information matrix. The latter is computed with the help of the observed Hessian.

A precondition for the empirical application of Probit models is the specification of the binary variable. As there is neither an official business cycle dating available at the global level nor for advanced and emerging economies as a whole (as, for example, for the US from the NBER), we have to do our own dating. For that purpose, we use four variants in what follows:

- “Acceleration” is defined as 1 if there is an acceleration in year-on-year real GDP growth in at least three out of five quarters (measured on a centred rolling basis), and 0 otherwise (p_{yoy}),
- “High growth” is 1 in any period if the centred five-quarter moving average quarterly growth rate in real GDP is above the 40th (35th) percentile of the series, and 0 otherwise ($p_{pct35(40)}$),

- “Bry/Boschan” is a quarterly analogue to the Bry-Boschan algorithm (*bbq*) (see [6], [17]).

Figure 2 shows the five binary variables together with the quarterly and year-over-year growth rates for the world economy. The chart illustrates that all indicators capture the worldwide recession in 2009 quite well. Since then, however, the picture is mixed. Whereas the Bry-Boschan index signal no signs of an upswing, the other three variables indicate some, but no clear-cut, hints of an acceleration in growth since about 2013. The problem in getting an unambiguous assignment is evident in the growth figure in the lower right part of the chart. It shows that after 2010 the growth rates declined in the first years (until 2013). Afterwards they exhibit ups and downs, but increased on a quarterly and annual basis since 2015.

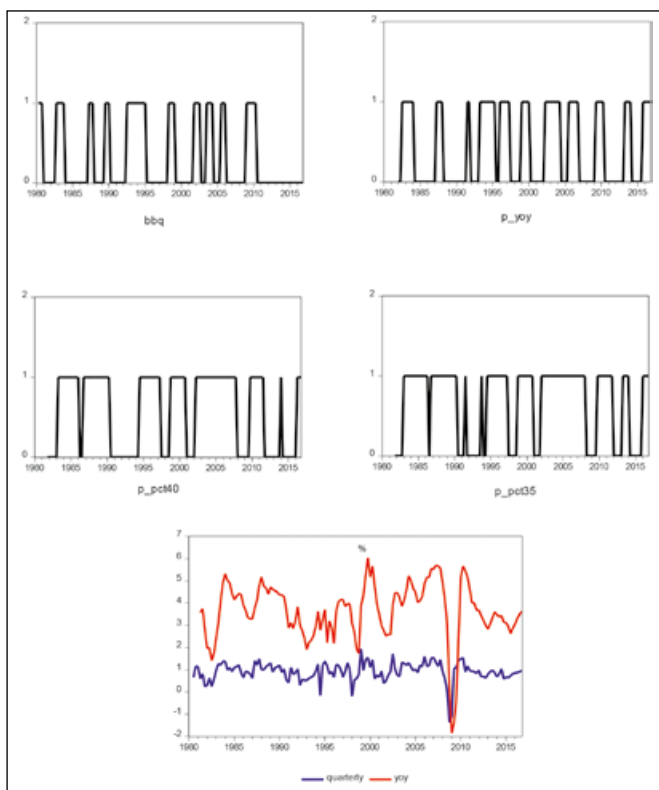


Figure 2: Global GDP growth and the binary variables

Note: quarterly: quarterly growth rate of real GDP; yoy: year-over-year growth rate of real GDP. p_yoy: 1 if there is an acceleration in year-on-year real GDP growth in at least three out of five quarters, and 0 otherwise; p_pct35(40): 1 in any period if the centred five-quarter moving average quarterly growth rate in real GDP is above the 40th (35th) percentile of the series, and 0 otherwise; bbq: quarterly analogue to the Bry-Boschan algorithm.

In what follows, we describe in detail the results for the best model(s) of one indicator and refer to similarities and differences of the others, if necessary. Our preferred indicator is the year-over-year procedure as it looks especially at turning points and yields in the majority of cases—economically and statistically—the most promising results.

3.2 Results

The explanatory variables in the best Probit model include the contemporaneous and lagged Goldman Sachs Global Leading Indicator. This is also true for the other binary variables. The equation reads as

$$p_yoy = -1.16 + 0.66 gs_gli_t + 0.51 gs_gli_{t-1} \quad (2)$$

(5.2) (3.7) (3.0)

Note: Sample: 1985q3-2016q4; observations with dependent variable = 0 : 71; observations with dependent variable = 1 : 55; absolute z-statistic in parentheses below coefficients; McFadden R² = 0.31; SE = 0.40; SSR = 20.1; LR = 53.5 (0.0).

Residual analysis shows that the model is quite a good predictor of the turning points. Most residual fluctuations are located at the regime edges, i.e. the model becomes restless around the turning points and, therefore, signals that a regime change is approaching. One “unpleasant” aspect is, however, the false signals during the downswing phases in the beginning and the middle of the 1990s and during the upswing phase at the beginning of the new century. Here, the model user would have erroneously suspected a regime change, even though none materialized (type-2 error).

These conclusions are underscored by Table 1. Here, an assessment based on the model is correct if the predicted probability is below the cut-off value of C = 0.5 in the case of y = 0 or above 0.5 in the case of y = 1. It is obvious that in 76.2 percent of the cases the model prediction is correct (the specificity, i.e. the correct y = 0 observations, is 81.7 percent; the sensitivity, i.e. the correct y = 1 observations, is 69.1 percent). For comparative purposes, the right part of Table 2 shows the results of a model with a constant probability, which arises when one estimates the model only with a constant. It reveals that our preferred model is 45 percent better than the model with constant probability, which generates 56.3 percent correct values.

Table 1: Classification table: global

| | Estimated equation | | Constant probability | |
|----------------|--------------------|---------|----------------------|---------|
| | Dep = 0 | Dep = 1 | Dep = 0 | Dep = 1 |
| p(Dep=1) ≤ 0.5 | 58 | 17 | 71 | 55 |
| p(Dep=1) > 0.5 | 13 | 38 | 0 | 0 |
| % correct | 76.2 | | 56.3 | |

Note: White cells indicate correct forecasts, grey cells indicate incorrect predictions. Correct: predicted probability ≤ C = 0.5 and act. y = 0 or predicted probability > C = 0.5 and act. y = 1.

For the other classification schemes of upswings and downswings, the statistical properties and the economic interpretation are not as good as for p-yoy. However, they all lead to an improvement compared to a model with constant probability. These results are available upon request.

4 Summary and conclusions

In this paper, we tried to shed light on the question what determines the turning points of world GDP from the beginning of the 1980s onwards. For that purpose, we constructed different binary variables to capture upswings and downswings to integrate and explain them with the help of Probit models. It seems that world

activity can be captured quite well. The most important variables in these exercises are lagged GDP growth rates and activity-based indicators.

Interestingly, the yield spread does not yield significant results in detecting turning points. However, against the background that we do not have yield data on a global level, this is not too surprising.

It might be interesting to combine our approach with the Markov-Switching methodology to identify the turning points. These models might also be helpful to decide whether the two-regime case is really the correct one or whether we should take more than two regimes into account. This is left to a separate paper, see ^[18].

References:

- [1] Haltmaier, J. (2008), Predicting Cycles in Economic Activity, Board of Governors of the Federal Reserve System, International Finance Discussion Papers Number 926, April
- [2] Christiansen, C., J. N. Eriksen & S. V. Møller (2014), Forecasting US recessions: The role of sentiment, *Journal of Banking & Finance* 49, 459–468.
- [3] Boysen-Hogrefe, J. (2012), A Note on Prediction Recessions in the Euro Area Using Real M1, *Economics Bulletin* 32, 1291–1301.
- [4] Abberger, K. & W. Nierhaus, (2010), Markov-Switching and the Ifo Business Climate, *Journal: Journal of Business Cycle Measurement and Analysis*, 1–13.
- [5] Fornari, F. & W. Lemke (2010), Predicting Recession Probabilities with Financial Variables, ECB Working Paper Series No. 1255, October.
- [6] Harding, D. (2008), Detecting and forecasting business cycle turning points, MPRA Paper No. 33583, September.
- [7] Ferrara, L. & C. Marsilli (2014), Nowcasting global economic growth: A factor-augmented mixed-frequency approach, Banque de France, Working Paper No. 515, October.
- [8] Ravazzolo, F. & J. L. Vespignani (2015), A new monthly indicator of global real economic activity, Federal Reserve Bank of Dallas, Globalization and Monetary Policy Institute, Working Paper No. 244, June.
- [9] Stratford, K. (2013), Nowcasting world GDP and trade using global indicators, Bank of England, Quarterly Bulletin 2013 Q3, 233–243.

- [10] Camacho, M., & J. Martinez-Martin (2015), Monitoring the world business cycle, *Economic Modelling* 51, 617–625.
- [11] Verbeek, M. (2012), *A Guide to Modern Econometrics*, 4th ed., Wiley
- [12] Chauvet, M. & S. Potter (2010), Business Cycle Monitoring with Structural Change, *International Journal of Forecasting* 6, 777–793.
- [13] Nyberg, H. (2014), A bivariate autoregressive Probit model: Business cycle linkages and transmission of recession probabilities, *Macroeconomic Dynamics* 18, 838–862.
- [14] Fossati, S. (2015), Forecasting US recessions with macro factors, *Applied Economics* 47, 5726–5738.
- [15] Hsu, T. (2016), U.S. recession forecasting using probit models with asset index predictor variables, Economics Department, The University of Maryland Baltimore County, November.
- [16] Proaño, C. R. (2017), Detecting and Predicting Economic Accelerations, Recessions, and Normal Growth Periods in Real-Time, *Journal of Forecasting* 36, 26–42.
- [17] Bry, G. & C. Boschan (1971), Programmed Selection Of Cyclical Turning Points, in: Bry, G. & C. Boschan (eds.), *Cyclical Analysis of Time Series: Selected Procedures and Computer Programs*, UMI, 7–63.
- [18] Baumann, U., R. Gómez Salvador and F. Seitz (2018), Detecting turning points in global economic activity, European Central Bank, mimeo.

Kontakt:



Ursel Baumann

European Central Bank
Sonnemannstraße 20
60314 Frankfurt am Main

ursel.baumann@ecb.europa.eu



Ramón Gómez Salvador

European Central Bank
Sonnemannstraße 20
60314 Frankfurt am Main

ramon.gomezsalvador@ecb.europa.eu



Prof. Dr. Franz Seitz

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

f.seitz@oth-aw.de

Zusammenfassung

Behandlungsassoziierte Infektionen durch multiresistente Erreger sind seit Jahren ein großes Problem im medizinischen Umfeld. Aus diesem Grund ist das Thema Hygiene ständig im Fokus des zuständigen Robert-Koch-Instituts (RKI) und die Richtlinien und Anforderungen werden immer wieder bezüglich Neuerungen und Entwicklungen überarbeitet. ^[1] Das RKI stellt hier noch einmal klar, dass die Verantwortung zur Festlegung und Durchführung der effizienten und wirksamen Aufbereitung von medizintechnischen Geräten beim Betreiber liegt. In der Realität stellt dies das Personal und die Hygienefachkräfte immer öfter vor Probleme. Durch die immer komplizierter werdenden medizinischen Eingriffe und damit verbunden dem Einsatz von immer mehr und komplexeren medizintechnischen Geräten wird auch die Anforderung an das Personal, diese Geräte entsprechend zu reinigen und zu desinfizieren, immer schwieriger. ^[2] Um dem entgegenzuwirken werden Hygienekonzepte immer wieder überarbeitet und neue technische Lösungen entwickelt. Die Arbeitsgruppe Hygiene und Medizintechnik der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Weiden arbeitet seit Langem aktiv an neuen Ansätzen zur Verbesserung der hygienischen Gesamtsituation im klinischen Umfeld. Neu entwickelte Verfahren zur Einteilung medizintechnischer Geräte in Risikogruppen und zur Testung der Wirksamkeit antimikrobieller Beschichtungen in medizinischen Einrichtungen werden hier vorgestellt.

Abstract

Treatment-associated infections caused by multiresistant pathogens have been a major problem in the medical environment for many years. For this reason, the infection control topic is constantly in focus of the Robert-Koch-Institute (RKI) and guidelines as well as requirements are repeatedly revised in regards to innovation and new developments. ^[1] The RKI mandates that responsibility is with the operator for defining and implementing efficient and effective reprocessing of medical devices. In reality, staff and hygiene professionals are increasingly facing problems. Due to more complicated medical interventions and therefore increasing use of more complex medical devices, requirements for personnel to clean and disinfect these devices becomes increasingly difficult. ^[2] In order to counteract this, hygiene and infection control concepts are constantly being revised and new technical solutions developed. The workgroup Infection control and Medical Technology at the Technical University of Applied Sciences Amberg-Weiden in Weiden has been working for a long time on new approaches to improve the overall hygienic situation in clinical environments. Recently developed procedures for risk classification of medical devices and effectiveness-testing of antimicrobial coatings in medical facilities will be presented here.

Einleitung

Das Bundesgesundheitsministerium hat bereits 2015 einen 10-Punkte-Plan zur Bekämpfung der steigenden Zahl an behandlungsassoziierten Infektionen durch multiresistente Erreger erstellt. ^[3] In Punkt 2 dieser Richtlinie wird besonderes Augenmerk auf den Ausbau der hygienischen Standards in medizinischen Einrichtun-

gen gelegt. Der Ausbau der Hygienekompetenzen und die Weiterqualifizierung des ärztlichen und pflegerischen Personals stellen einen Kernpunkt zur Bekämpfung behandlungsassoziierten Infektionen dar. Aufgrund der immer mehr und komplexer werdenden medizintechnischen Geräte wird deren korrekte hygienische Aufbereitung immer öfter zu einem Problem. Das Management bzw. die Aufbereitung dieser hygienisch kritischen

Oberflächen und deren Reinigung und Desinfektion stellt einen großen und relevanten Faktor der derzeitigen Klinikhygiene und Infektionsprävention dar.

Als ersten Schritt zum effizienten Management hygienisch relevanter Oberflächen sollte eine Einstufung und Risikobeurteilung erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass sowohl Infektionsrisiko als auch Kontaminationswahrscheinlichkeit stark von örtlicher Begebenheit und Einsatzgebiet des medizintechnischen Produkts abhängt. ^[4] Stark besuchte Räume stellen ein höheres Risiko für eine Kontamination dar als schwach frequentierte. Ebenso ist eine Infektion für Patienten einer Intensivstation höher einzuschätzen als im „normalen“ Patientenzimmer, da hier auch die Gesamtsituation und insbesondere der Immunstatus des Patienten zu berücksichtigen ist.

Medizintechnische Geräte können durch Gebrauch stark kontaminiert werden und stellen aufgrund ihrer Bauweise zum Teil hohe Anforderungen an die Aufbereitung. Da die Verantwortung für die Aufbereitung, die Festlegung von Art und Durchführung der Aufbereitung sowie die korrekte Einstufung in unkritisch, semikritisch A/B und kritisch beim Betreiber liegt, stellt dies Praxen und Kliniken oftmals vor Probleme bezüglich der Durchführung und Festlegung der korrekten Hygienemaßnahmen. ^[5] Darüber hinaus sind Vorgehensweisen für die Aufbereitung nur für keimarm und steril zur Anwendung kommende, in der Regel also für semikritische und kritische Medizinprodukte durch Standards und Leitlinien geregelt, nicht aber für unkritische Medizinprodukte. Im Hinblick auf medizintechnische Geräte und sonstige oft berührte Oberflächen in Praxen und Kliniken könnten daher antimikrobielle Oberflächentechnologien einen großen Vorteil bezüglich der Reduzierung mikrobiologischer Kontaminationen und damit des Infektionsrisikos darstellen. Welche Einsatzmöglichkeiten für diese antimikrobiellen Oberflächentechniken bestehen und ob diese tatsächlich einen Gewinn bezüglich der mikrobiologischen Kontamination in medizinischen Einrichtungen bringen, wurde bislang nicht ausreichend untersucht.

Management hygienisch relevanter Flächen im klinischen Umfeld

Die Bauweise und die Oberfläche eines zu beurteilenden medizintechnischen Geräts weisen zum Teil große Unterschiede bezüglich der Aufbereitungsmöglichkeiten auf. Durch die immer komplexer werdenden Designs muss hier vor allem der zeitliche und handwerkliche Aufwand berücksichtigt werden, um eine wirksame und effiziente Aufbereitung des Produkts durchführen zu können. Auch muss zudem der Einsatzbereich und damit verbunden das Kontaminationsrisiko und Infektionsrisiko durch das Gerät berücksichtigt werden. Art und Beschaffenheit der Oberfläche haben ebenfalls einen Einfluss auf die möglichen Reinigungsmaßnahmen. Während glatte Oberflächen leicht aufzubereiten sind, stellen Hohlräume, Verschraubungen oder Verschattungen ein großes Risiko bezüglich der Kontamination dar.

Für die Beurteilung des Risikopotenzials eines zu bewertenden Medizinprodukts wurde von unserer Arbeitsgruppe eine Risikomatrix erstellt. Drei Faktoren sind hierbei zu berücksichtigen: Reinigbarkeit und Desinfizierbarkeit, Kontaminationswahrscheinlichkeit und Gefährdungshöhe. Die Werte können hierbei zwischen 0 (sehr einfach bzw. keine) bis 4 (nicht vertretbar bzw. sehr hoch) liegen. Durch das Produkt der einzelnen Faktoren lässt sich schließlich ein Risikopotenzial ermitteln. (Tabelle 1)

Anschließend lässt sich das Risikopotenzial ebenfalls in verschiedene Risikostufen zwischen 0 und 64 einteilen. Als Abstufungen wurden von unserer Arbeitsgruppe vier Risikoklassen bestimmt und farblich markiert. (Abb. 1)

Durch die Beurteilung und Identifizierung hygienisch relevanter Flächen kann anschließend eine Gesamtbetrachtung der Räumlichkeiten erstellt werden. Auf dieser Grundlage können weitere Maßnahmen wie Reinigungs- und Desinfektionskonzepte oder Hygienepläne erstellt oder weiterentwickelt werden.

Tabelle 1: Beispielberechnung für die Ermittlung eines Risikopotenzials

| Reinigbarkeit und Desinfizierbarkeit* (= A) | Kontaminationswahrscheinlichkeit** (= B) | Gefährdungshöhe für ... ** (= C) | | | Risikopotenzial (= A*B*C) | | |
|---|--|----------------------------------|----------|-------------|---------------------------|----------|-------------|
| | | Patient | Personal | Einrichtung | Patient | Personal | Einrichtung |
| 2 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 18 | 12 |

| | |
|-------|------------------|
| 0 | kein Risiko |
| 1–4 | niedriges Risiko |
| 5–26 | mittleres Risiko |
| 27–64 | hohes Risiko |

Abbildung 1: Abstufung und farbliche Markierung des Risikopotenzials

Als Beispiel für die Erstellung eines Managementkonzepts für hygienisch relevante Oberflächen im Krankenhaus wurde von unserer Arbeitsgruppe das Angiographiesystem Artis Zeego der Firma Siemens Healthcare untersucht. Die Analyse der Oberflächen mittels unserer Risikomatrix ergab ein Gesamtbild des Risikopotenzials des Geräts. (Abb. 2)



Abbildung 2: Gesamtbeurteilung der hygienischen Flächen am Beispiel des Artis Zeego

Auf Grundlage dieser Einteilung wurde anschließend ein Reinigungs- und Desinfektionskonzept für das Produkt erarbeitet. Hierbei wurde vor allem Augenmerk auf die effiziente Durchführbarkeit der Maßnahmen sowie die keimreduzierende Wirkung gelegt. Als Faktoren wurden vor allem die Häufigkeit der Reinigung und Desinfektion (nach jeder Nutzung, täglich, wöchentlich) sowie die Art der durchzuführenden Maßnahme (Reinigung, Desinfektion oder desinfizierende Reinigung, Wischdesinfektion oder Sprühdeseinfektion) festgelegt. Auch der prinzipielle Ablauf der Aufbereitungsmaßnahmen von sauberen zu schmutzigen Bereichen sowie von oben nach unten zu reinigen und zu desinfizieren wurde im Hygienekonzept behandelt. Zudem wurden grundlegende Handlungsempfehlungen für das Personal erarbeitet wie die Bespre-

chung des Hygieneplans mit OP-Personal und Hygienefachkräften sowie Verbesserungsvorschläge durch das Personal zu prüfen und einzuarbeiten.

Die Wirksamkeit der überarbeiteten und verbesserten Aufbereitungsanweisung wurde mittels Fluoreszenztests und artifizierender mikrobiologischer Anschmutzung evaluiert. Hierbei wurden an vorher definierten Oberflächen künstliche Verunreinigungen aufgebracht. Anschließend erfolgte die Reinigung und Desinfektion auf Grundlage unserer verbesserten Aufbereitungsanweisung. Fluoreszenzmarkierungen und mikrobiologische Kontaminationen wurden dokumentiert und die Wirksamkeit der Aufbereitungsanweisung analysiert. (Abb. 3)

Unsere verbesserte Aufbereitungsanweisung wurde von einem unabhängigen Hygieneinstitut (Hybeta GmbH) begutachtet und in einer klinischen Umgebung validiert. Die Ergebnisse dieses verbesserten Aufbereitungsplans konnten durch mikrobiologische Abklatschtests belegt werden. Hierfür wurden an vorher definierten Oberflächen des Geräts nach der Tagesroutine eine Probenahme durchgeführt. Anschließend wurde der von uns erarbeitete und verbesserte Aufbereitungsplan durchgeführt und die Beprobung wiederholt. (Abb. 4)



Abbildung 4: Keimreduktion durch die Aufbereitung mit dem verbesserten Aufbereitungsplan

| Bau-teilnr. | Bauteil | KBE VOR Reinigung mit Oxywipes | Bilddokumentation VOR Reinigung | KBE NACH Reinigung mit Oxywipes | Bilddokumentation NACH Reinigung |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | hinter dem Bildschirm | 203 | | 0 | |
| 2 | Pult | 132 | | 6 | |

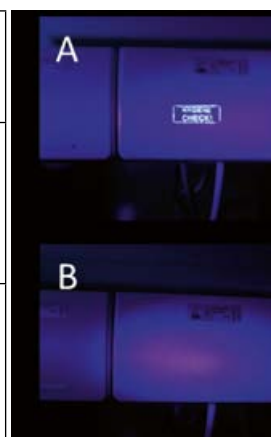


Abbildung 3: Reduktion der mikrobiologischen Kontaminationen sowie der Fluoreszenzmarkierungen (A: vor Aufbereitung, B: nach Aufbereitung) nach Durchführung der Aufbereitungsmaßnahmen

Es ist eine Abnahme der Keimzahlen von vorher zu nachher an den jeweiligen Beprobungspunkten zu erkennen. Von insgesamt 218 Keimen vor R&D waren nach R&D nur noch 10 vorhanden, was einer Gesamtreduktion von 95 Prozent entspricht. Auffällig war, dass auf dem Faltbalg der Bedieneinheit ursprünglich nur eine KBE nachzuweisen war, nach R&D allerdings fünf dokumentiert wurden. Diese Zunahme weist auf eine kritische Stelle am System hin.

Analyse der Wirksamkeit antimikrobieller Oberflächen im klinischen Umfeld

Um den tatsächlichen Nutzen antimikrobieller Oberflächentechnologien besser einschätzen zu können, wurde von unserer Arbeitsgruppe ein neues Testverfahren zur Bestimmung antimikrobieller Wirksamkeit entwickelt. Bei dieser „Auftropfmethode“ werden 50µl einer Bakterien suspension (*Staphylokokkus aureus* 1×10^8 /ml) auf einem antimikrobiell beschichteten Testmuster aufgetragen und mit einem sterilen Tupfer verstrichen. Nach festgelegten Zeitintervallen werden Abklatschproben (Roti-ContiPlate TSA-Letheen) abgenommen und nach Inkubation über 24 Stunden bei 37 °C das Bakterienwachstum mit unbeschichteten Kontrollplatten verglichen.

Erste Ergebnisse zeigen, dass mittels der Auftropfmethode die Aktivität der Beschichtung nachgewiesen werden kann. Die aufgebrauchte Kontamination mit grampositiven Erregern (*Staphylokokkus aureus*) war bereits bei der ersten Probenahme direkt nach Eintrocknen des Inokulums (ca. 15 Minuten) stark reduziert. (Abb. 5)

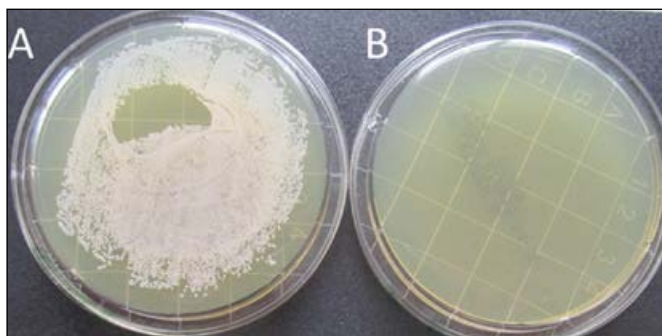


Abbildung 5: Beispiel der antimikrobiellen Wirksamkeit der TITANO®-Oberflächen im Auftropftest nach 15 Minuten Inkubationszeit (A: Unbeschichtete Kontrolle; B: TITANO®)

Zur Wirksamkeit von antimikrobiellen Beschichtungen unter realen Bedingungen wurden von unserer Arbeitsgruppe Untersuchungen in einem Klinikum angestellt. Hierbei wurden hygienisch kritische Oberflächen identifiziert und mittels Abklatsch- und Abstrichuntersuchungen mikrobiologisch beprobt. (Abb. 6)



Abbildung 6: Identifizierte kritische Oberflächen für die mikrobiologische Beprobung

Die Probenahme wurde über eine Woche jeweils morgens und abends durchgeführt. Anschließend wurden die von uns identifizierten kritischen Oberflächen mittels Elektrosprayverfahren mit der TITANO®-Oberflächentechnologie antimikrobiell beschichtet. (Abb. 7)

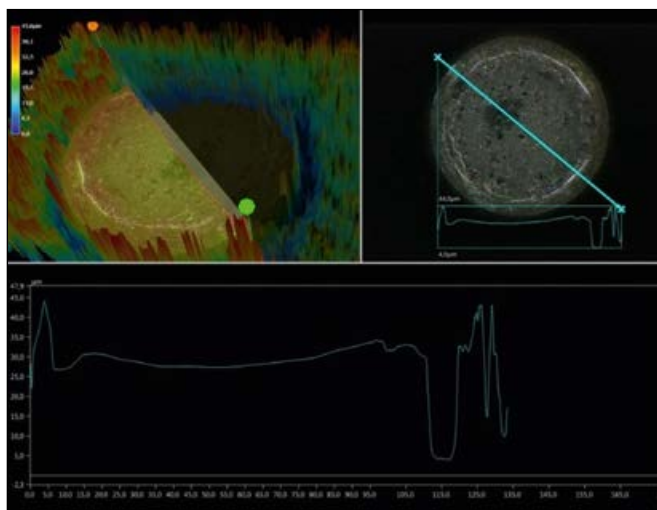


Abbildung 7: Digitalmikroskopische Aufnahme eines Plaques auf einer TITANO®-beschichteten Oberfläche (A: dreidimensionaler Schnitt; B: Durchmesser; C: Höhenprofil)

In der darauffolgenden Woche erfolgte erneut eine Probenahme analog zur ersten Beprobungswoche. Die dadurch gewonnenen Werte an koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Beprobungsstelle wurden anschließend miteinander verglichen, um mögliche Unterschiede vor und nach antimikrobieller Beschichtung analysieren zu können. (Abb. 8)

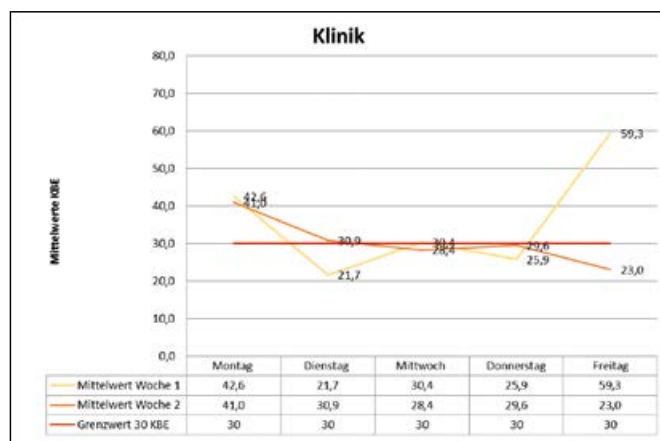


Abbildung 8: Vergleich der Mittelwerte der Bakterienzahlen im Wochenverlauf der beiden Beprobungswochen (Woche 1: unbeschichtet; Woche 2: nach TITANO®-Beschichtung)

Es zeigt sich, dass durch die antimikrobielle Beschichtung kein durchgehender reduzierender Effekt auf die bakterielle Kontamination der Oberflächen erzielt werden konnte. Zum Teil konnten im Mittelwert nach der Beschichtung der Oberflächen mehr koloniebildende Einheiten dokumentiert werden als in der ersten Beprobungswoche.

Fazit

Krankenhäuser stellen aufgrund ihrer Komplexität und des Zusammenspiels aus Ärzten, Pflegern und Reinigungskräften eine große Herausforderung für die effiziente Umsetzung von Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen dar. Durch die mikrobiologische Kontamination von häufig verwendeten Oberflächen (sog. „high-touch“) können Erreger auf andere Personen übertragen werden. Hierbei werden die Erreger von den Händen einer Person auf einen unbelebten Gegenstand (z. B. Tastatur, Bedienelement, usw.) aufgebracht. Eine zweite Person kann bei anschließender Berührung der Oberfläche diese Erreger wiederaufnehmen und sich dadurch selbst oder dritte (z. B. Patienten) kontaminieren oder infizieren. Aufgrund der Nutzungsweise bilden medizintechnische Produkte hier einen Großteil dieser „high-touch“-Oberflächen.

Vor allem durch die große Zahl der medizintechnischen Geräte, zusammen mit unzureichenden oder nicht umsetzbaren Aufbereitungsanweisungen, können mikrobielle Kontaminationen oftmals nicht ausreichend reduziert werden. Hier sollte schon zu Beginn der Entwicklung medizintechnischer Geräte ein größerer Fokus auf hygienegerechtes Design gelegt werden. Während es in der Lebensmittelindustrie mit der DIN EN 1672-2 bereits explizite Vorgaben für ein hygienegerechtes Design von Geräten gibt, fehlen genaue Anweisungen im medizinischen Sektor.

Aufgrund der Relevanz hat sich mittlerweile auch ein Fachausschuss des VDI mit dem Titel „Management hygienisch relevanter Flächen in medizinischen Einrichtungen“ zu dem Thema konstituiert. Im Fachausschuss wird aktuell ein Richtlinienprojekt zur „Klassifizierung und Design hygienisch relevanter Flächen“ bearbeitet. In diesem Projekt wird an der Identifizierung und Einordnung solcher kritischer Oberflächen im Sinne des Risikomanagements gearbeitet und somit unsere Vorarbeiten in Richtung einer VDI-Richtlinie weiterentwickelt. Zudem werden Strategien entwickelt, um bereits bei Entwicklung und Konstruktion mögliche hygienische Problemstellen zu erkennen und zu umgehen, eine Hilfestellung zur Entscheidungsfindung für eine geeignete Reinigung und Desinfektion von Medizinprodukten ohne Patientenkontakt sowie Nichtmedizinprodukten in hygienisch relevanten Bereichen zu geben.

Mit der von uns entwickelten Risikomatrix können hygienebeauftragte Mitarbeiter eines Klinikums eine erste Einschätzung der durchzuführenden Reinigungs- und

Desinfektionsmaßnahmen vornehmen. Aufgrund der Einteilung in unterschiedliche Risikogruppen können auf diese Weise effiziente und vor allem wirksame Hygienemaßnahmen erarbeitet werden. Zusätzlich wird durch die Auseinandersetzung mit der Thematik „hygienisches Design“ ein Bewusstsein für problematische Oberflächen geschaffen und die Aufmerksamkeit mehr auf dieses Problemfeld gelenkt.

Die von unserer Arbeitsgruppe durchgeführte Überprüfung der antimikrobiellen Wirksamkeit der mittels Elektrospray aufgetragenen Oberflächenbeschichtung brachte keine eindeutigen Ergebnisse. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass der keimreduzierende Effekt einer antimikrobiellen Beschichtung bei der Durchführung von Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen eine eher untergeordnete Rolle spielt. Ebenso kann aufgrund des kurzen Zeitfensters der Probenahme nicht ausgeschlossen werden, dass es in der zweiten Woche prinzipiell zu einer veränderten Kontamination der Oberflächen bzw. einer Veränderung im Verhalten und der Arbeitsweise der Reinigungskräfte kam. Eine mögliche Komplikation bei der Aufbringung der antimikrobiellen Beschichtung kann aufgrund der kurzen Versuchsdauer ebenso nicht ausgeschlossen werden. Insbesondere ist aber aufgrund der kleinen und zufälligen Stichprobe davon auszugehen, dass es sich um Schwankungen, die mit der unterschiedlichen Nutzung (Art und Intensität) zusammenhängen, handelt. Somit sind weitere Untersuchungen mit deutlich größeren Stichproben erforderlich, um dies abschließend beurteilen zu können. Mit Blick auf die ersten Ergebnisse scheint es aber möglich, dass durch derartige Technologien eine zusätzliche und auch relevante antimikrobielle Wirkung erzielt werden kann. Fehlende standardisierte Testverfahren zur Beurteilung der antimikrobiellen Aktivität stellen ein Hindernis für die Implementierung neuer Technologien dar. Testverfahren sollten entwickelt werden, um das Potenzial der antimikrobiellen Oberfläche nicht nur unter Laborbedingungen (z. B.: JIS Z 2801/ISO 22196), sondern auch in einer realistischen Umgebung vergleichbar analysieren zu können. Hier könnte das von unserer Arbeitsgruppe neuartige Testverfahren der Auftropfmethode eine Alternative bieten. Bei dieser wird unter realitätsnahen Bedingungen die tatsächliche Aktivität antimikrobieller Oberflächen bestimmt. Erste Ergebnisse zeigen die Durchführbarkeit dieses Testverfahrens.

Die antimikrobielle Beschichtung von patientennahen und medizintechnischen Oberflächen sowie das korrekte Management hygienerelevanter Oberflächen bietet auf Grundlage unserer Ergebnisse ein großes Potenzial, eine zusätzliche Sicherheit für Patient und Personal zu erreichen. Es sollten weitere, längere und größere Studien durchgeführt werden, um verlässlichere und statistisch auswertbare Daten zu erhalten und um systematisch zu bewerten, wie groß dieses Potenzial in der Praxis einzuschätzen ist.

Referenzen:

- [1] https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2018/Ausgaben/06_18.pdf?__blob=publicationFile
- [2] https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2013/Ausgaben/28_13.pdf?__blob=publicationFile
- [3] https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Z/10-Punkte_Antibiotika-Resistenzen.pdf
- [4] Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2004 · 47:51–61 DOI 10.1007/s00103-003-0752
- [5] 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 Jahrgang 2012 Nr. 55, S. 1244–1310

Kontakt:



Dr. rer. nat. Sebastian Buhl

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

se.buhl@oth-aw.de



Alexander Stich, 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



Jeannine Vogt, 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 Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Ibrahim Devrilen
Christina Stigler
Charlotte Schlodder
Marcella Wallis
Katharina Stör
Catarina Cook
Dr. Gabriele M. Murry

Über Vielfalt wird gesprochen, gelebt wird Monotonie

Zusammenfassung

Als Basis für weitere Projekte und die Beratung im Bereich des Diversity Managements in der Region wurden Unternehmen bzgl. ihrer Vielfalt und des Umgangs mit Diversity befragt. Während einige Unternehmen den Umgang mit Diversity in gewissen Teilbereichen schon recht gut meistern und teils Förderprogramme mittragen, so scheinen doch andere Aspekte, wie z. B. der Umgang mit religiöser und kultureller Vielfalt oder selbst unterstützenden Leistungen wie Essensangebote in den Kantinen oder flexible Arbeitszeiten, oft noch optimierungsbedürftig.

Abstract

As a basis for further projects and consultation in the area of Diversity Management in the Northern Upper Palatinate, companies of the region were surveyed in respect to their diversity practices. While some of the organizations appear to manage diversity – at least in some subareas – rather well and partially even support development programs, some other aspects such as dealing with religious and cultural diversity or even supportive offers, i.e. food options in the canteena or flexible work hours, appear to require attention in order to optimize them.

1 Einleitung

Um ein aktives Netzwerk von PersonalerInnen der Region zusammenzubringen sowie den aktuellen Stand der verschiedenen genutzten HR-Maßnahmen und Aktivitäten im Rahmen des Diversity Managements zu erheben, entwickelten die AutorInnen gemeinsam einen Fragebogen und einen Interviewleitfaden. Zielsetzung war es – getreu dem Motto der OTH Amberg-Weiden „Aus der Region, für die Region“ – einen Mehrwert für die regionalen Unternehmen zu schaffen, welcher 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 Diversity Management Tools wurde ein Online-Fragebogen nach wissenschaftlichen Standards auf der Plattform SurveyMonkey erstellt. Der Fragebogen war vom 1. bis 31. August 2018 freigeschaltet. Die ursprüngliche Einladungsmail ging an ausgewählte Unternehmen der bereinigten Liste von genehmigten Praktikumsunternehmen der Region (127),

ausschließlich im Bereich der nördlichen Oberpfalz. Die Kontaktpersonen waren im Vorfeld alle in den Unternehmen angerufen und die Umfrage war avisiert worden. Einige der Unternehmen drückten von Beginn an aus, dass keinerlei Interesse an einer Umfrageteilnahme besteht. Erschreckenderweise kam diese Antwort teils auch von Unternehmen, die sozialen Aufgaben nachgehen und somit eigentlich näher am Thema Diversity sein sollten als z. B. produzierende Unternehmen. Zudem kam erschwerend die Urlaubszeit in den Sommerferien in Bayern hinzu.

Von den verbliebenen Organisationen fanden 35 Unternehmen die Zeit, sich mit der Beantwortung der Fragen auseinanderzusetzen, allerdings füllten nur 27 den Fragebogen komplett aus. Außerdem erklärten sich im Rahmen der ersten Kontaktaufnahme sechs Personalverantwortliche bereit, weiterführende Interviews zu geben, deren Resultate parallel zu den Ergebnissen der Umfrage angeführt werden.

Der Fragebogen wurde bewusst einfach gehalten. Dieser bestand aus insgesamt 18 Fragen und ging hauptsächlich auf das allgemeine Verständnis von Diversity Management

und einzelnen, in den jeweiligen Unternehmen angewandten Aspekten ein. Hier handelte es sich primär um die Erfassung und ggf. um die Sensibilisierung bzgl. weiterer möglicher Diversity-Management-Themen und das Festhalten der jeweiligen Unternehmensstandards.

Die Rubriken des Fragebogens befassten sich erst mit dem Unternehmen selbst sowie mit der Dauer, die die Beantwortenden schon im Unternehmen beschäftigt sind. Danach ging es gezielt um die in der Belegschaft gegenwärtige Kultur, Religion, Nationalität und Hautfarbe. Weiterhin wurden Standards in der Rekrutierung sowie die Vereinbarkeitsthematik mit Familien- und Pflegeaufgaben abgeklärt. Nachdem Barrierefreiheit und auch Verpflegungsmöglichkeiten thematisiert wurden, gab es eine Abfrage zu organisationalen Strukturen, welche Diversity potenziell begünstigen oder hindern können. Letztlich ging es um die von den Personalverantwortlichen geschätzten Prozentsätze der Frauen oder Personen mit Diversitätsmerkmalen in der Belegschaft, ob in Teilzeit, Führung oder Homeoffice.

Die Telefoninterviews wurde zusätzlich zum Online-Fragebogen mit sechs freiwilligen Kontaktpersonen, hauptsächlich mit Personalverantwortlichen, in den jeweiligen Unternehmen aus der oben genannten Liste durchgeführt. Trotz der Urlaubs- und Ferienzeit nahmen sie sich die Zeit, ihren Eindruck im Hinblick auf das Unternehmen sowie im Allgemeinen zum Thema Diversity zu vermitteln.

Die primären Fragestellungen bezogen sich zunächst auf die Unternehmensinformation, die Kategorie des Diversity-Verständnisses allgemein und schließlich die Rolle von Diversity innerhalb der Organisation und deren Verankerung in der Unternehmenskultur. Ebenso wurden mögliche Fördermaßnahmen sowie bisherige Erfahrungen thematisiert; abschließend wurden Einschätzungen zu Herausforderungen und Grenzen abgefragt.

3 Diskussion der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in den beim Fragebogen abgebildeten Rubriken, die der oben aufgeführten Beschreibung folgen. Es setzten sich 35 Unternehmen mit dem Fragebogen auseinander und 27 Firmen haben ihn komplett ausgefüllt. Von diesen gab es nur ein Unternehmen, das weniger als fünf Jahre existiert. Die Mehrheit mit 60 Prozent bilden die Unternehmen, die es bereits zwischen 11 bis 50 Jahren gibt. Die Prozentzahl der mehr als 100 Jahre existierenden Unternehmen liegt bei 23 Prozent. Die restlichen Organisationen gibt es zwischen 51 und 100 Jahren. Diese Angabe schien maßgeblich für die Starre der Strukturen sowie die potenzielle Traditionalität der Unternehmen.

Bei der Branchenzugehörigkeit gab es häufige Angaben in den Bereichen Automobil, Dienstleistung sowie Finanzen, alle anderen Branchen waren weit gestreut und vereinzelt

oder doppelt gelistet. Die Mitarbeitenden der jeweiligen Unternehmen verteilten sich auch recht ausgewogen über die angegebenen Größenordnungen.

Um letztendlich die Validität der gemachten Angaben einschätzen zu können, wurde die Unternehmenszugehörigkeit der beantwortenden Person erfragt. Hier ist von einer grundsätzlichen Vertrautheit mit den respektiven Unternehmen und Wissen um die Unternehmenskultur auszugehen.

Die am Telefoninterview teilnehmenden Unternehmen beschäftigen zwischen 450 bis 19.000 Mitarbeitende national sowie international und sind in verschiedenen Branchen im Gesundheitsbereich bis hin zum produzierenden Gewerbe tätig. Durch die entsprechende Größe der Organisationen lässt sich die Bedeutung von Diversity recht gut einschätzen, da diese die entsprechenden Kapazitäten für Angebote und Aktionen aufweisen.

3.1 Vielfältigkeit im Unternehmen



Abbildung 1: Dimensionen der Vielfalt nach Gardenswartz und Rowe ^[1]

Die befragten Unternehmen sind ihren Angaben zufolge unterschiedlich aufgestellt, wenn es um die Art der Vielfalt geht. Nach Gardenswartz und Rowe ^[1] gibt es verschiedene Dimensionen der Vielfalt (Abbildung 1). Die Merkmale der inneren Dimension sowie Religion bzw. Weltanschauung aus der äußeren Dimension sind in Deutschland durch das seit 2006 in Kraft getretene Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz (AGG), welches umgangssprachlich als Anti-Diskriminierungsgesetz bezeichnet wird, geschützt ^[2].

Von den teilnehmenden Unternehmen hat gut die Hälfte angegeben, dass kulturelle Vielfalt in den Organisationen widerspiegelt wird (Abbildung 2). Dies widerspricht allerdings den Angaben, dass es selten Aktivitäten zur Einbindung internationaler Arbeitnehmender gibt, kaum Vereinigungen von Minderheitsgruppen existent sind oder auch Personen mit kulturellen oder religiösen Kopfbedeckungen im Unternehmen zu finden sind (Abbil-

dung 2). Trotzdem geben die Teilnehmenden an, dass eine Benachteiligung aufgrund der ethnischen oder kulturellen Hintergründe so gut wie nie gegeben ist.

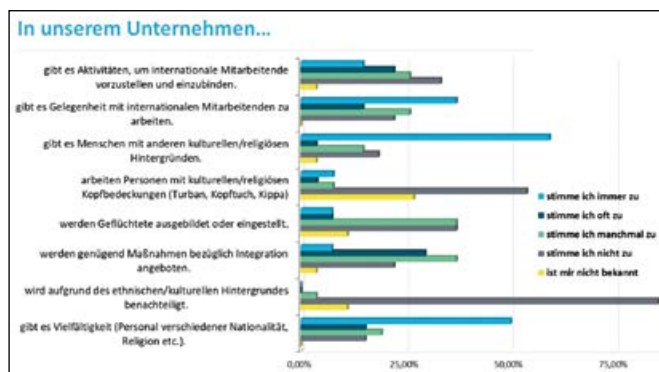


Abbildung 2: Vielfältigkeit im Unternehmen (n = 27) (e. D.)

Im Rahmen des Telefoninterviews wurde das Verständnis von Diversity von den Befragten zum Großteil richtig interpretiert und wahrgenommen, wobei auffiel, dass der Fokus nur auf Teilaspekte, wie zum Beispiel die unterschiedlichen Geschlechter oder Kulturen, gelegt und weniger die ganzheitliche Sicht aller Diversitymerkmale der Beschäftigten einbezogen wird. Dies kann daran liegen, dass manche der Interviewenden durch ihre Position einen Teilbereich des Diversity Managements betreuen und so nur auf diesen Bereich konzentriert sind.

In einigen der Unternehmen gaben die Befragten an, dass die Vielfalt der Mitarbeitenden bereits mit in die Unternehmenskultur einbezogen wurde, dies von den Beschäftigten gelebt oder es zur Bewältigung des Fachkräftemangels angesehen wird. Jedoch kann dieses Thema im Personalbereich ebenfalls Unsicherheit im Hinblick auf die Einhaltung der AGG-Richtlinien sowie die absolute Verhinderung von Diskriminierung verbreiten. Einige der Befragten sehen Diversity als Komponente an, die zum Unternehmenserfolg beiträgt, und viele gaben an, dass alle Beschäftigten dies mittragen und die entsprechenden Maßnahmen annehmen müssten.

Fast übereinstimmend lässt sich erkennen, dass das untersuchte Thema bei den Firmen eine sehr große Rolle spielt und als wichtig anerkannt wird. So werden für einige der Unternehmen die Einstellung und Integration von Geflüchteten als Auszubildende, die Förderung von Frauen, Programme für pflege-/kinderbetreuende Angestellte sowie die Beschäftigung von Menschen mit Behinderung als selbstverständlich aufgefasst oder es findet eine fortführende Reflexion zur Verbesserung statt.

3.2 Rekrutierung

Im Rahmen der Rekrutierung sieht es bei den Oberpfälzer Unternehmen relativ schwach aus. Wenngleich gut die Hälfte der Organisationen nicht zwingend ein Passfoto bei der Bewerbung verlangen, so geben die meisten Unternehmen an, dass ihre Karrierewebsite keine oder kaum

Vielfalt im Bildmaterial widerspiegelt. Ebenso gab die Mehrzahl der Unternehmen an, dass der Ausschreibungstext weder versubstantiviert noch im Rahmen der Rechtsprechung vom 10. Oktober 2017 des Bundesverfassungsgerichts^[3] zusätzlich zu (m/w) als Geschlecht mit d (= divers) oder x (= drittes Geschlecht) versehen wurde (Abbildung 3).

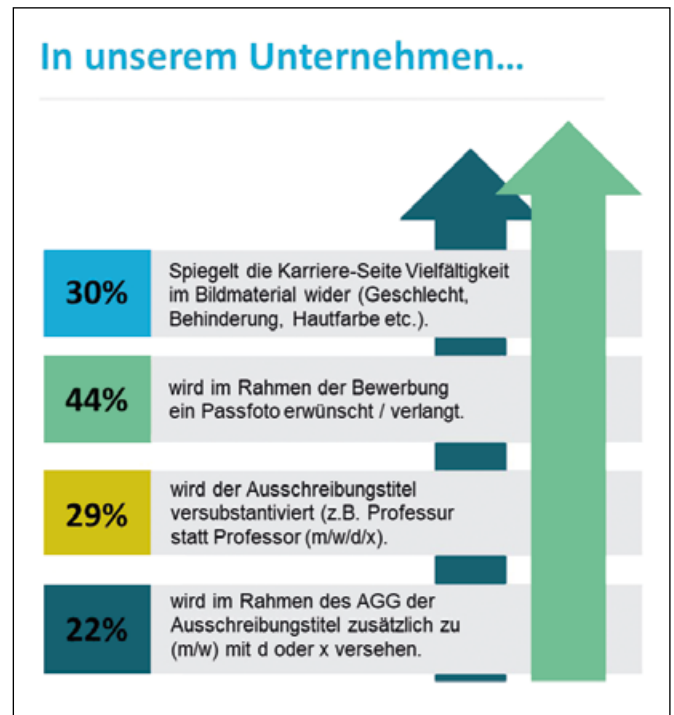


Abbildung 3: Angaben der Unternehmen zu Rekrutierung (n = 27) (e. D.)

Die Kooperation mit Hochschulen, Schulen und sonstigen Bildungsträgern zur Gewinnung von Frauen in technischen Berufen empfinden einige der Firmen laut der Telefoninterviews als sehr wichtig, ebenfalls im Hinblick auf den Fachkräftemangel. Die Anstellung von Geflüchteten wie auch Personen mit Behinderung in Vollzeit ist mittlerweile recht selbstverständlich. Eine Herausforderung stellt die geringe Anzahl an eingehenden Bewerbungen von Frauen in technischen Berufen dar. Hier ist zu hinterfragen, warum dies so ist und ob die Stellenausschreibungen selbst durch z. B. voreingenommenes Bildmaterial Frauen abhalten, sich für die Stelle zu bewerben. Die Rolle des Diversity Managements bei der Rekrutierung spielt keine entscheidende Rolle, da vorrangig die Stelle geeignet besetzt werden soll und Personen mit Diversifikationsmerkmalen ein Plus haben, jedoch dies kein Hauptkriterium sei. Die eingestellte Person muss hauptsächlich die geforderten Qualifikationen aufweisen und ins Team sowie zum Unternehmen passen.

3.3 Familienfreundlichkeit

Wenn es um die Wahrnehmung von Verantwortung im Rahmen der Familienfreundlichkeit der Oberpfälzer Unternehmen geht, so besteht hier noch viel Raum nach oben. Nur eines der Unternehmen bietet eine

Kindertagesstätte sowie ein Eltern-Kind-Arbeitszimmer im Fall von einem Betreuungsausfall an. Ebenso stellen nur drei Unternehmen einen Raum der Ruhe/Eltern-Kind-Zimmer zum Stillen, Ausruhen, Meditieren oder Beten bereit. Allerdings sind immerhin 16 Unternehmen bestrebt, den Kontakt während der Eltern- oder Pflegezeit zu halten, was als gute Bindungsmaßnahme gilt und die soziale Identifikation mit der Organisation erhöht^[4]. Weiterhin ist es in gut der Hälfte der Unternehmen Usus, dass Männer Eltern- oder Pflegezeit beantragen und auch tatsächlich nehmen, wengleich dies natürlich ein rechtlicher Anspruch eines jeden Elternteils ist^[5] (Abbildung 4).

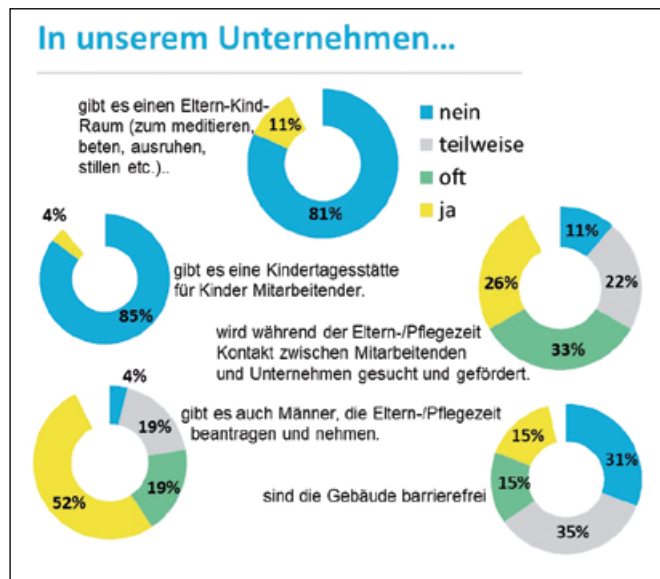


Abbildung 4: Angaben der Unternehmen zu Familienfreundlichkeit und Barrierefreiheit (n = 27) (e.D.)

Die Ergebnisse des Telefoninterviews bestätigen die Resultate aus dem Online-Fragebogen. Einige der Firmen sehen sich verpflichtet, Eltern bei der Vereinbarkeit von Familie und Beruf zu unterstützen. Trotzdem gab nur ein Unternehmen an, dass ein Eltern-Kind-Zimmer, Unterstützung bei der Kinderbetreuung sowie flexible Arbeits- und Teilzeitmodelle angeboten werden.

3.4 Barrierefreiheit im Unternehmen

Wengleich Barrierefreiheit und Inklusion in den Medien und durch die Politik in den letzten Jahren regelmäßig thematisiert wurde, ist die Barrierefreiheit, welche als Grundvoraussetzung für die Teilhabe aller Menschen am gesellschaftlichen Leben darstellt, noch lange keine Selbstverständlichkeit^[6]. Hier haben die Oberpfälzer Unternehmen ebenfalls noch eine Baustelle, auf der es einiges zu tun gibt, z. B. sind nur 40 Prozent der Webseiten meist barrierefrei im Sinne von Vorlesbarkeit, Erhöhung des Kontrastes und der Schriftgröße. Gleiches gilt für die Darstellung der Webseiteninhalte in mindestens einer weiteren Sprache. Schwieriger gestaltet sich die bauliche Barrierefreiheit. Hier haben knapp zwei Drittel der Unternehmen Bausubstanz, welche nie oder nur gelegentlich ohne Erschwernis oder fremde Hilfe für

Personen mit Mobilitäts-Beeinträchtigungen erreichbar sind (Abbildung 4).

Zu barrierefreien Arbeitsplätzen äußerten sich zwei der sechs Kontaktpersonen im telefonischen Gespräch. Diese gaben an, dass höhenverstellbare Schreibtische sowie Aufzüge vorhanden sind und die Einrichtung permanent zur Verbesserung der Barrierefreiheit, auch im Dialog mit den Mitarbeitenden, evaluiert wird.

3.5 Verpflegung im Unternehmen

Etwas mehr als die Hälfte der Unternehmen bieten eine Kantine oder Essensangebote im Unternehmen an. Bei diesen Unternehmen ist auffällig, dass die Essensangebote nicht die Vielfalt widerspiegeln, welche zumindest teilweise in der Belegschaft vorhanden zu sein scheint. Leider fehlen bei 54 Prozent Essensangebote für Vegetarier oder Veganer und zu 61 Prozent Gerichte für Personen anderer Kulturkreise (z. B. halal oder koscheres Essen). Weitere zwei Drittel geben an, dass in der Kantine keinerlei Kennzeichnung bzgl. Allergien, religiöser Einstellung etc. vorhanden ist. Diese Maßnahmen könnten ohne großen Mehraufwand und relativ schnell umgesetzt werden.

3.6 Strukturen im Unternehmen

Da die strukturelle Verankerung entweder Vielfalt unterstützen oder hindern kann^[7], wurden weiterhin Aspekte zur flexiblen Gestaltung von Arbeit sowie auch zu unterstützenden Funktionen im Unternehmen abgefragt. Bei drei Viertel der Unternehmen gibt es die Möglichkeit, der Telearbeit (Home Office) nachzugehen, obwohl dies nur von durchschnittlich 9 Prozent der Belegschaft genutzt wird. Erfreulicherweise muss in den meisten Fällen die Telearbeit nicht jährlich neu beantragt werden.

Weitere zwei Drittel der Unternehmen ermöglichen Führung auch in Teilzeit und sehen es als selbstverständlich an, Frauen sowie Männer in gleichen Positionen gleich zu vergüten, was ja auch nach dem AGG seit 2006 und dem Entgelttransparenzgesetz seit Anfang 2018 forciert wird^[8]. Gut die Hälfte der Unternehmen bieten ebenfalls eine Anlaufstelle zur Problemschlichtung und einen Personal- oder Betriebsrat, wogegen eine beauftragte Person für Gleichstellung nur in 45 Prozent der Unternehmen existiert. Eine gewisse Arbeitszeitflexibilität wird den Arbeitnehmenden durch die Kernarbeitszeit bei allen Unternehmen mit der Ausnahme von einem gewährt, wengleich hier nicht allen Beantwortenden ein klares Verständnis eingeräumt werden kann, da gleichzeitig drei Viertel der Unternehmen ebenfalls Vertrauensarbeitszeit für die Belegschaft haben wollen.

Im Telefoninterview wird der Equal Pay („gleiche Bezahlung“) ebenfalls thematisiert und findet in der Mehrzahl der teilgenommenen Unternehmen nach eigener Aussage

statt. Dies wird zum Teil durch Tarifverträge gewährleistet, wenngleich in einem Fall zugegeben wird, dass gleiche Bezahlung für die gleiche Tätigkeit in der Umsetzung mit unterschiedlichen Vergütungen von Neu- und Altverträgen nicht ganz zutrifft.

Die Prüfung von internen Personalprozessen und die Gewährleistung zur Weiterentwicklung der vielfältigen Fähigkeiten und Talente der Arbeitskräfte sowie die Sensibilisierung von Führungspersonen wird vonseiten einiger Befragten als wünschenswert erachtet. In einem der befragten Unternehmen wurde ein Führungskräfte-Training zum „Fairen Umgang“ durchgeführt, in einer anderen Firma wurden Arbeitskreise gebildet, die verschiedene Aspekte von Diversity aufgreifen und die aktuelle Lage sowie mögliche Verbesserungen analysieren – beides Maßnahmen, die als Best Practice gelten.

3.7 Geschätzte Statistiken zur Belegschaft

Zum Abschluss der Umfrage wurden die geschätzten Statistiken der in der Belegschaft vorhandenen Gruppen abgefragt. Hier stellte sich der Anteil der Frauen und Männer im Mittel ausgewogen dar, wobei es im Schnitt nur 23 Prozent Frauen in Führungspositionen gab. Ähnlich sieht es bei den Positionen in Teilzeit aus (25 Prozent), wobei Führung in Teilzeit hier nur bei 8 Prozent liegt. Weiterhin gibt es geschätzt ein Mittel von 16 Prozent Personen mit Diversity-Merkmalen in den befragten Unternehmen, die dann allerdings wiederum zu nur 5 Prozent in Führungspositionen angestellt sind.

In den Telefoninterviews wird die Problematik von zu wenigen Frauen in Führungspositionen speziell aufgegriffen und findet mehrfach Erwähnung in Sachen Verbesserungen. Selbst in einer Organisation, bei der zum Großteil weibliche Angestellte in der Geschäftsführung tätig sind, bilden hauptsächlich Männer die Führungsebene. Aufgrund dessen wünschen sich die AutorInnen zum Teil mehr Diversität in der Führungsriege und erachten die Förderung von Frauen wie auch die Einstellung von mehr Akademikerinnen als wesentlich.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Umfrage stellen sich die teilnehmenden Unternehmen als moderat weltoffen und verhalten divers aufgestellt dar, was sich vor allem durch einige Widersprüche in der kulturellen Vielfalt einerseits, aber den seltenen Aktivitäten andererseits zur Einbindung der internationalen Arbeitnehmenden abzeichnet. Allerdings ist es erfreulich, dass nach Auskunft der Befragten eine Benachteiligung so gut wie nie gegeben ist, wenngleich dieses Ergebnis teils durch soziale Erwünschtheit zustande gekommen sein mag.

Obwohl das Bildmaterial auf den Karriere- oder Unternehmens-Webseiten kaum Vielfalt darstellt, so ist es erfreulich zu sehen, dass mehr als 50 Prozent der Unternehmen auf die zwingende Einsendung von Bewerbungsfotos verzichten. Dies ist im internationalen Raum sowieso entweder nicht erwünscht oder sogar wegen möglicher vorurteilsbehafteter Wahrnehmungsverzerrung tabu^[9]. Vermehrt sollten Unternehmen den Fokus auf Familienfreundlichkeit setzen, besonders da Männer und Frauen Eltern- und Pflegemaßnahmen in Oberpfälzer Unternehmen wahrnehmen. Somit sollten vermehrt Belegplätze sowie Ruhe- und Eltern-Kind-Räume angeboten werden. Barrierefreiheit beschränkt sich leider meist nur auf Angebote der Homepage oder Karriere-Webseite, aber nicht auf bauliche Merkmale. Weiterhin wäre ein breit aufgestellter Speiseplan in den Kantinen wünschenswert, um den Essgewohnheiten kultureller oder religiöser Gruppen oder moderner Ernährungsweisen entgegenzukommen.

Die Strukturen in den Oberpfälzer Unternehmen lassen eine Verankerung für Diversität durchaus zu, wenngleich die Unternehmen dann allerdings ein Diversity Management, also den strategischen Ansatz von Vielfalt im Unternehmen, gezielt angehen sollten – nicht so wie auch teils in den Interviews bestätigt – meist nur auf einen Diversity-Aspekt hin. Hier bietet sich die Möglichkeit, dass die Unternehmen der Region im Rahmen von Projekt- oder Abschlussarbeiten Beratungsleistungen der OTH Amberg-Weiden in Anspruch nehmen, um sie gezielt bei der Einführung von Diversity Management zu unterstützen.

Referenzen:

- [1] Gardenswartz & Rowe. Schuler, H. & Mussel, P. (2016). Einstellungsinterviews vorbereiten und durchführen. Göttingen: Hogrefe.
- [2] https://www.antidiskriminierungsstelle.de/SharedDocs/Downloads/DE/publikationen/AGG/agg_gleichbehandlungsgesetz.pdf?_blob=publicationFile
- [3] VerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 10. Oktober 2017 – 1 BvR 2019/16 – Rn. (1–69), http://www.bverfg.de/e/rs20171010_1bvr201916.html abgerufen am 2. Sept. 2018
- [4] Felfe, J. (2008). Mitarbeiterbindung. Göttingen: Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG
- [5] Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend. <https://www.bmfsfj.de/bmfsfj/themen/familie/familienleistungen/elternzeit/die-elternzeit/73832> abgerufen am 3. Sept. 2018
- [6] Initiative für eine zukunftsfähige Infrastruktur <http://www.damit-deutschland-vorne-bleibt.de/Aktuelles/Verkehr/Bus--Bahn/Barrierefreiheit/04451/Artikel/Wie-barrierefrei-ist-Deutschland/03740> abgerufen am 2. Sept. 2018
- [7] Bendl, R., Hanappi-Egger, E., & Hofmann, R. (2012). Diversität und Diversitätsmanagement. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- [8] Arbeitsrechtlicher Gleichbehandlungsgrundsatz. https://www.haufe.de/personal/personal-office-premium/arbeitsrechtlicher-gleichbehandlungsgrundsatz-221-lohn-und-gehaltsvereinbarungen-bei-der-einstellung_idesk_PI10413_HI1505433.html abgerufen am 2. Sept. 2018
- [9] Bewerbung International. Karriereletter. <https://www.karriereletter.de/applying-for-a-job-bewerben-in-den-usa/> abgerufen am 2. Sept. 2018

Kontakt:



Die Autoren von links nach rechts: Ibrahim Devrilen, Christina Stigler, Charlotte Schlodder, Marcella Wallis, Katharina Stör, Catarina Cook, Dr. Gabriele M. Murry (alle Fakultät Betriebswirtschaft der OTH Amberg-Weiden)

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

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

g.murry@oth-aw.de

Für den ersten Eindruck gibt es keine 2. Chance! Oberpfälzer Karriere- webseiten auf dem Prüfstand

Zusammenfassung

Um regionalen Unternehmen die Optionen für die Gestaltung einer Karrierewebsite aufzuzeigen, wurden die Möglichkeiten mit den momentan genutzten Aspekten abgeglichen und ausgewertet. Anhand eines Kriterienkatalogs wurde sichergestellt, dass alle erforderlichen Items berücksichtigt werden, wobei in der folgenden Ausarbeitung insbesondere der Bezug zu den Oberkriterien hergestellt wird.

Abstract

In order to present options for the design of career webpages of regional organizations, the possibilities were compared to the currently used aspects and evaluated. To ensure all items were considered, the help of a criteria catalogue was employed; the following paper uses the structure of the major criteria.

Einleitung

Laut der Indeed Studie von 2016 ^[1] haben 42 Prozent der Befragten angegeben, einen Bewerbungsprozess abgebrochen zu haben, da dieser zu kompliziert war. Insgesamt haben 25 Prozent der Probanden in der Bewerbungsstudie mitgeteilt, dass sie eine Stelle aufgrund der mangelnden Wertschätzung im Bewerbungsprozess nicht angenommen haben. Alleine diese beiden Erkenntnisse zeigen auf, wie wichtig das heutige Employer Branding und somit die Gestaltung der Karriereseite für das Anwerben der morgigen Belegschaft ist.

Geht es darum, sich über ein Unternehmen als potenziellen Arbeitgeber zu informieren, so besuchen potenzielle Bewerbende oft die Karrierewebsite des jeweiligen Unternehmens ^[2]. Oft geht es darum, auf den ersten Blick interessante offene Stellen, gebotene Leistungen des Unternehmens sowie auch etwas über die Kultur des potenziellen Arbeitgebers herauszufinden ^[3]. Somit heißt es hier, die Zielgruppe der Bewerbenden möglichst emotional und dennoch authentisch anzusprechen und mit den benötigten Informationen zu bespielen ^[4], wobei die Bedürfnisse der Zielgruppe im Mittelpunkt stehen sollten ^[5].

Bei der Auswahl der Unternehmen fokussierten sich die AutorInnen auf die regional bekanntesten Organisationen, die eine Karrierewebsite vorweisen konnten und deren Hauptsitz in der nördlichen Oberpfalz ist. Von der Fertigungsindustrie über die Dienstleistung, den Handel und IT-Fachfirmen bis zum Gesundheitswesen waren alle Branchen vertreten.

Es ist den AutorInnen wichtig, an dieser Stelle hervorzuheben, dass es nicht um das Herausarbeiten von besonderen Schwächen im Bereich der Unternehmen geht, sondern dass viel mehr ein Fokus auf die schon vorhandenen, gewinnbringenden Best-Practice-Beispiele der Region gelegt wird. Somit werden hierbei auch keine expliziten Handlungsempfehlungen abgeleitet, sondern nur der *Status Quo* ermittelt. Wenngleich es keine Patentlösungen gibt, so können allerdings nach eingehender Analyse detaillierte Empfehlungen für einzelne Unternehmen im Rahmen intensiver Auseinandersetzung in Form von studentischen Beratungsprojekten, Abschlussarbeiten oder aber durch direkte Kontaktaufnahme mit den AutorInnen herausgearbeitet werden.

Methodisches Vorgehen

Um diesen ersten Eindruck der Oberpfälzer Unternehmen systematisch zu evaluieren, haben die AutorInnen deren jeweiligen Karrierewebsites untersucht.

Hier diente ein speziell entwickelter Kriterienkatalog, die Auswertung der respektiven Webseiten mit dem Eyetracker sowie auch das Überprüfen auf Usability als Methodik.

Es wurden die folgenden Oberkriterien gebildet: Auszeichnungen als leistungsorientierter und guter Arbeitgeber, *Storytelling*, Inhalte der Karrierewebsite, Design und Gestaltung der Webseite, technische Gegebenheiten, die Umsetzung von *Responsive Design* und Navigation, Zugänglichkeit und Barrierefreiheit, und letztendlich die Möglichkeiten einer Bewerbung. Diese Oberkriterien wurden weiter von einzelnen Aspekten im Ampelsystem (rot – gelb – grün) anhand der oben genannten Oberkriterien bewertet und vergleichend eingestuft. In der folgenden deskriptiven Darstellung wird gleicher Ansatz verfolgt und detailliert besprochen.

Ergebnisse

Der erste Eindruck auf der *Landing Page* wird unter anderem bestimmt von den sofort ersichtlichen **Auszeichnungen** des Unternehmens, welche auf der Karrierewebsite – meist mit Logo – abgebildet sind. Hierzu zählen unter anderem Familienfreundlichkeit, Work-Life-Balance, Top-Arbeitgeber, Great-Place-to-Work etc. Wo immer ersichtlich war die Vertrauenswürdigkeit der Auszeichnung gegeben; allerdings mangelte es häufig an Aktualität sowie auch der geschickten Platzierung der Auszeichnung, da diese häufig erst am unteren Webseitenrand versteckt war.

Ebenso wurde das **Storytelling** untersucht. Darunter versteht man die erlebnisreiche und authentische Darstellung der Arbeitgebermarke am Arbeitsplatz aus MitarbeiterInnenperspektive. Die beiden wesentlichen Aspekte des Storytellings sind die Ziele und der Inhalt, welche sich insbesondere auf die Emotionalität, das Bildmaterial, die Themenspezifikation, die Vermittlung des Inhalts und die Erreichbarkeit der Zielgruppe fokussieren. Da sowohl junge als auch ältere Bewerbende Social-Media-Kanäle nutzen – wenngleich teils andere Präferenzen je nach Zielgruppe erkennbar sind – so ist auch die Verbreitung des Storytellings dort ein wesentlicher Aspekt. Die meisten Betriebe nutzen keinerlei Storytelling, wobei dies aber von den Zielgruppen oftmals als glaubwürdig angesehen und auch gewünscht wird^[6]. Es fiel auf, dass nur vier der untersuchten Unternehmen im grünen Bereich agierten und dieses Format geschickt und gezielt beim Werben um neue MitarbeiterInnen einsetzen. Alle anderen Unternehmen vergaben die Chance vollständig, hier emotional an die Bewerbenden heranzutreten und sie für ihr Unternehmen zu gewinnen.

Bei der Bewertung der **Inhalte der Karrierewebsite** wurde weiter untergliedert in Darstellung des Unternehmens. Hier fiel auf, dass die meisten Unternehmen Standards zu ihren Werten gaben, allerdings wurden

häufig keine weiteren Details zu Vision und Mission ersichtlich. Ebenso fehlten häufig die Unternehmensziele sowie auch weitere Angaben zum Betrieb als Arbeitgeber, besonders in Hinblick auf Leistungen, Vergütungs- und Anreizsysteme, Karriere- und Entwicklungsmöglichkeiten sowie auch zur Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Weiterhin konnten fast alle Unternehmen in der Darstellung der Karriereseite punkten, da hier die Verständlichkeit, Kompaktheit und die Hervorhebung der wichtigsten Aspekte gegeben waren. Ebenso ist hier zu betonen, dass vier Unternehmen den BerufseinsteigerInnen und SchülerInnen die Bewerbung erleichtern, indem Tipps oder FAQs auf gängige Fehler oder wichtige Elemente hinweisen.

Weiterhin fiel auf, dass zumindest nahezu die Hälfte der Betriebe eine Unterteilung von Zielgruppen im Sinne von SchülerInnen, Studierenden, BerufseinsteigerInnen und Professionals nutzen, welches die Benutzerfreundlichkeit wesentlich erhöht. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass die Zielgruppen teilweise mit DU, teilweise SIE, und von manchen Unternehmen teils inkonsistent und wahllos durchmischt angesprochen wurden. Eine strikte Kontinuität kann hierbei nicht immer als richtig oder falsch ausgelegt werden, da dies stark abhängig von der Unternehmensstrategie ist. Allerdings ist aus Erfahrung bekannt, dass manche Unternehmen intern durch alle Ränge hinweg zum DU übergehen, dies aber nicht konsequent und durchgängig vertreten und Unregelmäßigkeiten in der Außenkommunikation auftreten.

Beim **Design der Webseite** schnitten die meisten Unternehmen sehr gut ab. Hier fiel besonders auf, dass meist professionelles und qualitativ hochwertiges Bildmaterial genutzt wurde, welches im Farbschema ansprechend auf das Logo und allgemeine Design abgestimmt war. Ein weiteres Medium, welches heutzutage ebenfalls gängig und wichtig ist, wurde allerdings von den wenigsten Unternehmen genutzt: das Video. Die wenigen Unternehmen, welche ein Video eingebunden haben, fokussierten sich vor allem auf die Darstellung des Unternehmens aus rein sachlicher Sicht (Zahlen, Fakten, Daten), vergaßen aber die emotionale Vorgehensweise im Werben um die Zielgruppe.

Bei der gewählten Schriftart und den Kontrasten (Typografie) war grundsätzlich bei allen Unternehmen alles im grünen Bereich, wogegen der Einsatz von Icons (intuitiv begreifbare bildliche Darstellung, z. B. „gefällt mir“-Button von Facebook) nur selten genutzt wird und auch nicht immer gelungen ist.

Technik: Auf der technischen Seite ist eine grundlegende Voraussetzung das Gewährleisten eines gut funktionierenden Suchfeldes, welches benutzerfreundlich platziert ist. Dieses Kriterium erfüllten so gut wie alle untersuchten Unternehmen. Weiterhin ist die technische Umsetzung genauso relevant wie die Funktionalität der Prozesse und des Services. Da jedoch die meisten Unternehmen keine

Online-Bewerbung anbieten oder Bewerbermanagementsysteme nutzen, können zu Kriterien wie Job-Alerts (Benachrichtigungen und Empfehlungen zu den für BewerberInnen relevanten Bereichen) und CV-Parsing (Anpassung des hochgeladenen Lebenslaufs an das betriebsintern genutzte System) keine validen Aussagen getroffen werden. Leider konnte gerade im Rahmen der Job-Alerts mehrfach die Beobachtung gemacht werden, dass diese wenig gezielt auf die hinterlegten Wunschpositionen oder Kompetenzen versandt wurden. Weiterhin wurde betrachtet, ob die fehlerfreie Nutzung der Karrierewebsite dem Responsive Design entspricht, also sich die Darstellung dem jeweiligen Endgerät (mobil oder Laptop) anpasst. Hier fiel auf, dass fast alle Unternehmen diesen Ansprüchen genügten und auch die entsprechenden Menüpunkte, Größen und Abstände alle gut leserlich waren.

Unter dem Punkt **Navigation** sind Text- sowie Bildlinks zu verstehen sowie auch Buttons und Schaltflächen. Im Regelfall waren insbesondere Textlinks gut erkennbar, da sie farblich unterlegt oder unterstrichen waren. Nur in einem Fall fiel es auf, dass erst sobald der Cursor auf dem entsprechenden Text war, dort tatsächlich ein Link vorhanden war. Bildlinks waren nur selten vorhanden, dann aber jeweils gut erkennbar. Buttons und/oder Schaltflächen wurden wiederum von fast allen Unternehmen genutzt und waren auch einfach als solche erkennbar.

Insbesondere bedingt durch den demografischen Wandel, die Globalisierung^[7] und die immer wichtiger werdende Inklusion spielen die **Zugänglichkeit und Barrierefreiheit** eine nicht zu vernachlässigende Rolle^[8]. Darunter fallen insbesondere Aspekte der Nutzbarkeit für Sehbehinderte, speziell die Größeneinstellung der Schrift, der Kontrast sowie ggf. auch die Vorlesbarkeit des Textes oder einer vorlesbaren Erklärung von Grafiken. Hier fiel auf, dass bei etwa der Hälfte der Unternehmen beim Vergrößern des Textes ab einem gewissen Grad die Proportionen und Darstellungen verschoben wurden. Der Kontrast war bei zwei Unternehmen auffällig schwach, und die Vorleseoption war nirgends gegeben.

Ebenso wurden die **Spracheinstellungen** betrachtet, da gerade in der grenznahen Region der nördlichen Oberpfalz gelegentlich Grenzgänger aus der benachbarten Tschechischen Republik in der potenziellen Arbeitnehmerschaft zu erwarten sind. Hier war erstaunlicherweise anzumerken, dass nur vier Unternehmen ihre Webseite auch in Tschechisch übersetzt haben, wogegen knapp die Hälfte der Unternehmen die Inhalte optional auch in Englisch, manche sogar in weiteren Sprachen darstellten. Ebenso fiel positiv auf, dass alle Unternehmen durchgängig die Inhalte in verständlicher Sprache und ohne Fachjargon oder betriebsinterne Akronyme darstellten.

Die Annahme der Bewerbung war in vielen Unternehmen auffälligerweise nur in Form von E-Mail-Bewerbung mit Anhängen möglich. Nur einige der größeren Oberpfälzer Unternehmen nutzten Online-Bewerbungen, in welchen die Informationen direkt durch die Bewerbenden in Masken der Bewerberportale eingepflegt werden. Wenn gleich dies die Benutzerfreundlichkeit für Bewerbende mindert, ist dies für die Unternehmen eine wesentliche Zeitersparnis.

Ebenso fiel auf, dass manche Unternehmen nach wie vor explizit ein Foto wünschen, wogegen andere nur die Möglichkeit des Hochladens gaben, aber nicht zwingend ein Bewerbungsfoto verlangten. Hier bleibt anzumerken, dass ein Foto zwar einen ersten Eindruck bietet, durchaus aber auch täuschen kann. Auf der anderen Seite lässt sich keinerlei Bewerberqualifikation vom Foto ableiten. Besonders um Wahrnehmungsverzerrungen zu meiden, sollten hier die Unternehmen auf das Einreichen von Fotos verzichten.

Allgemein bleibt anzumerken, dass der Verlauf beim Besuch einer (Karriere-)Webseite am besten anhand eines Eye-Trackers untersucht werden kann; diese Methode wurde von den AutorInnen auch im Rahmen dieser Auswertung angewandt. Dieses Instrument kann nachverfolgen, wie AnwenderInnen ihre Blicke über den Monitor schweifen lassen, worauf besondere Aufmerksamkeit gelenkt wird und welche Aspekte einer Webseite nur gestreift oder sogar nicht beachtet werden.

Somit lassen sich sogenannte **Gazeplots** (Abbildung 1) erstellen, welche den Verlauf bzw. die Reihenfolge der anvisierten Objekte und die Verweildauer durch die Größe der Vernetzungspunkte darstellen. Ebenso lassen sich **Heatmaps** (Abbildung 2) erstellen, welche dann durch die verschiedenen Farbverläufe anzeigen, wie intensiv oder lange gewisse Teile der Monitoransicht betrachtet wurden.



Abbildung 1: Gazeplot



Abbildung 2: Heatmap

Hier wiederum der Hinweis darauf, dass es nicht um Millisekunden einer Messung geht, sondern eher darum, dass BetrachterInnen ihren Weg durch die Webseite finden und Aufmerksamkeit auf die wichtigen Elemente gelenkt wird. Am wichtigsten ist es allerdings, dass BetrachterInnen nicht aufgeben und die Seite verlassen.

Wenngleich die Karrierewebsite nicht alles ist im Kampf um den Eingang geeigneter Bewerbungen, so kann letztendlich festgestellt werden, dass eine gut durchdachte und aufgebaute Seite zu weniger Bewerbungsabbrüchen führt.

Referenzen:

- [1] Indeed, 2016, Bewerbungsstudie 2016, www.indeed.de abgerufen am 24. Sept. 2018.
- [2] Erlhofer, S. & Brenner, D. (2017), Website-Konzeption und Relaunch: Das Handbuch für die Praxis. Konzepte entwickeln, Seiten optimieren, Besucher begeistern, Rheinwerk Computing abgerufen am 25. Sept. 2018.
- [3] Reller, V. (6. Juni 2013), marktundmittelstand, <https://www.marktundmittelstand.de/personal/was-bewerber-auf-karrierewebsites-suchen-1179311/> abgerufen am 27. Sept. 2018.
- [4] Knabenreich, H. (6. Oktober 2012), personalmarketing2null, <https://personalmarketing2null.de/2012/10/karriere-websites-usability-bewerber-kerkhoff-consulting-karstadt-praxis-check/>, abgerufen am 28. Sept. 2018.
- [5] Erlhofer, S. & Brenner, D. (2017), Website-Konzeption und Relaunch: Das Handbuch für die Praxis. Konzepte entwickeln, Seiten optimieren, Besucher begeistern, Rheinwerk Computing, abgerufen am 25. Sept. 2018.
- [6] Employer Branding Akademie, 2018, www.employerbranding.org, abgerufen am 29. Sept. 2018.
- [7] Globalisierung Fakten, 2018, www.globalisierung-fakten.de, abgerufen am 28. Sept. 2018.
- [8] Bundeskompetenzzentrum Barrierefreiheit, 2018, www.barrierefreiheit.de, abgerufen am 28. Sept. 2018.

Kontakt:



Ibrahim Kaçmaz, M.A.

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

i.kacmaz@oth-aw.de



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

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

g.murry@oth-aw.de

TEAMPLAYERS WELCOME

Aktuelle Karriereperspektiven finden Sie auf unserer Homepage unter www.bhs-world.com/karriere



#jointeambhs



BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Kompetenz, Innovation und Leidenschaft haben uns zum weltweit führenden Lieferanten für Wellpappenanlagen gemacht. Die rund 1900 Mitarbeiter von BHS Corrugated sorgen dafür, dass wir unsere Kunden auch in Zukunft mit richtungsweisenden Ideen und exzellenten Leistungen begeistern können.

Kontakt Personalabteilung

Tel.: 09605-919-664 || E-Mail: human_resources@bhs-corrugated.de

1 Zusammenfassung

Zum Betrieb elektrischer Motoren und Generatoren neuerer Bauart sowie zur Ankopplung von Solarmodulen an die elektrischen Energieversorgungsnetze in Drehstromtechnik werden in großer Stückzahl digitale Wechselrichter benötigt, die Gleichspannung in Wechselspannung umwandeln.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Verwendung von Prozessorarchitekturen, die nicht an einen speziellen Hersteller gebunden sind. Dies ermöglicht einen vergleichsweise schnellen und damit preisgünstigeren Wechsel zu einem anderen Hersteller, wenn Prozessoren abgekündigt werden. Eine solche Prozessorarchitektur bietet die Firma ARM (Advanced RISC Machines Ltd.) mit dem Cortex-M-Kern speziell für den Verbau in eingebettete Systeme an, der weltweit inzwischen eine außerordentliche Verbreitung gefunden hat.

Die vorliegende Untersuchung überprüft daher Prozessoren mit ARM-Cortex-M-Architektur hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit als System on Chip (SoC) zur Verwendung in digitalen Wechselrichtern. Dabei entfallen die sonst üblichen ASICs oder programmierbaren Logikbausteine sowie AD-Wandler und werden durch interne Komponenten eines Mikrocontrollers ersetzt. Benötigt wird also ein preisgünstiger Cortex-M-Prozessor, der neben ausreichender Rechenleistung hochwertige Peripherie auf einem Chip realisiert. Dadurch verringern sich die Kosten und durch die sinkende Bauteilezahl erhöht sich die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

Nach einer Gegenüberstellung in Bezug auf Preis und Ausstattung verschiedener Prozessortypen fiel die Wahl auf eine Variante des STM32H7 der Firma ST Microelectronics. Zur Verifikation wurde eine Prozessorplatine zur Abarbeitung der Wechselrichtersoftware entwickelt und ein Modellwechselrichter in Betrieb genommen. Als Ergebnis zeigt sich, dass dieser Prozessortyp der ARM-Cortex-M-Architektur vollumfänglich geeignet, um damit als SoC leistungsstarke und preisgünstige Wechselrichter aufzubauen.

Abstract

For the operation of recently designed electric motors and generators as well as for coupling of solar modules to modern electrical three-phase power grids, a large number of digital inverters are required to convert DC into AC voltages.

Particular attention is given to processor architectures that are not dependent on a single supplier. In case of a processor's obsolescence, this allows a comparably fast and therefore cheaper transition to another manufacturer. Such a processor architecture is provided by the company ARM (Advanced RISC Machines Ltd.), known as Cortex-M. This architecture was specifically designed for installation in embedded systems. This type of processor has since been widely used.

Hence, the present study examines processors with ARM Cortex-M architecture for their usability as a System on Chip (SoC) design for use in digital inverters. This eliminates the commonly used ASICs, programmable logic devices or AD converters and will be replaced by internal microcontroller's components. Therefore, a low-priced Cortex-M processor is required, which realizes high-quality peripherals on a single chip. Furthermore, this processor needs sufficient computing power to be suitable for all computing tasks.

A comparison in terms of price and features of different processor types identified a variant of the STM32H7 by ST Microelectronics as a promising candidate. For verification, a processor PCB was developed. Already used field oriented control software in other inverters was ported to this hardware. Finally, with this newly designed processor board a model inverter was put into operation. As a result, this processor type of the ARM Cortex-M architecture can function as a SoC and is fully suitable to build very high-performance and low-cost inverters systems.

2 Einführung

Heute am Markt erhältliche Wechselrichter sind meist mit einer digitalen Signalelektronik aufgebaut. Ein Beispiel zur Ansteuerung eines Motors mit einem ARM-Prozessor als zentraler Recheneinheit und einem programmierbaren Logikbaustein (CPLD) sowie AD-Wandler (AD-Converter) zeigt Abbildung 1 [1]. Wahlweise werden die Funktionalitäten in einem CPLD auch über ein FPGA oder über ein ASIC realisiert. Darüber hinaus werden überwiegend zur Rotorlageerfassung der Elektromaschinen Lagegeber oder Resolver verwendet, deren Ankopplung an die Signalelektronik ebenfalls über externe Chiplösungen [2] oder externe AD-Wandler [3] erfolgt.

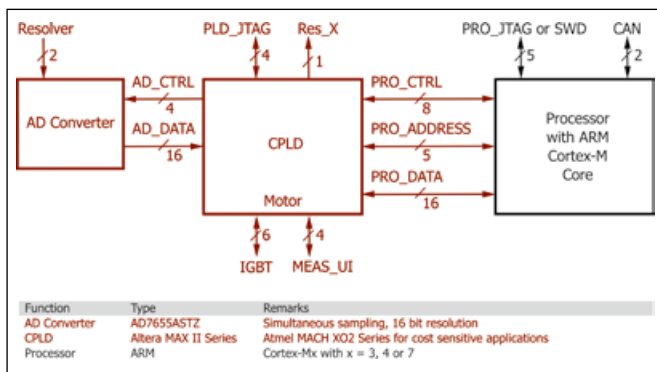


Abbildung 1: Übersicht der Signalelektronik eines digitalen Wechselrichters mit Cortex-M-Kern

Möchte man die Bauteilezahl für solch eine Schaltung reduzieren, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen und die Kosten zu senken, müssen diese Funktionalitäten in einem einzigen Chip – einem System on Chip oder SoC – abgebildet werden. Bezogen auf Abbildung 1 sollten die in roter Farbe dargestellten Komponenten in einem einzigen Chip zusammen mit einem leistungsfähigen Prozessor integriert sein. Dies spart teure programmierbare Logikbau-

steine und AD-Wandler ein und eröffnet Spielräume, um möglichst kleine Bauräume der Wechselrichter-Hardware, auch mit Hinblick auf mobile Anwendungen, realisieren zu können.

Für ein solches Wechselrichtersystem wird daher ein schneller, hochauflösender und flexibler Prozessor mit einer Software mit Echtzeitfunktionalität und vielfältiger On-Chip-Hardware benötigt. Vorzugsweise sollte ein ARM-Cortex-M-Prozessorkern integriert sein, um die Vorteile der Code-Portierbarkeit und der weiteren in [1] erläuterten Vorteile im digitalen Wechselrichter nutzen zu können. Insbesondere sind bei diesem SoC folgende Komponenten für den Modellwechselrichter obligatorisch, wobei Timer, Sigma-Delta-Demodulatoren und AD-Wandler synchronisierbar sein müssen:

- Timer zur Realisierung der Timing-Master-Funktion
- Timer mit komplementären Ausgängen und Totzeitfunktion als dreiphasiger PWM-Generator zur Ansteuerung des IGBT-Moduls
- Timer zur Realisierung der Resolvererregung
- UART für den Hintergrund-Monitor
- vier Sigma-Delta-Demodulatoren zur Erfassung von Strom (2 x Motorstrom, 1 x Zwischenkreisstrom) und Spannung (1 x Zwischenkreisspannung)
- drei AD-Wandler (2 x synchrone Wandler für sin/cos-Resolverkanäle, 1 x für Motortemperatur) mit einer Auflösung von 16 Bit
- ein CAN-Controller nach CAN 2.0 A (11-Bit-Identifier)
- Serial Wire Debug Interface (SWD Interface)

3 Ziel der Untersuchung

Ziel der Studie war es, aufgrund der in der Einleitung genannten Vorteile einen Mikrocontroller mit ARM-Cortex-M-Kern hinsichtlich Verwendbarkeit in einem digitalen

Tabelle 1: Leistungs- und Preisvergleich verschiedener Prozessoren für eingebettete Systeme

Performance Comparison of Different CPUs – for embedded inverter applications –

| OCPU | Manufact. | Core | Clock | DMIPS | Algorithm | CPU Time | Algorithm | CPU Time | |
|-----------|-----------|-----------|--------|---------|-----------|----------|--------------------|------------------------|------------------------|
| MC68332 | Freescale | 68k | 32-bit | 20 MHz | 4 | Sinus | Alg_res with atan2 | 23.8 µs | |
| DSP56F803 | Freescale | DSC | 16-bit | 80 MHz | 40 | | | 0.65 µs | 3.4 µs |
| STM32F103 | ST Micro | Cortex-M3 | 32-bit | 72 MHz | 90 | | | 0.47 µs | 2.0 µs |
| STM32F407 | ST Micro | Cortex-M4 | 32-bit | 168 MHz | 210 | | | 0.20 µs ^(*) | 0.86 µs ^(*) |
| STM32H743 | ST Micro | Cortex-M7 | 32-bit | 400 MHz | 856 | | | 0.072 µs | 0.45 µs |

| Chip | Pins | Flash/kB | RAM/kB | Price p.u ⁽¹⁾ | Price p.u ⁽²⁾ |
|-----------------|------|----------|--------|--------------------------|--------------------------|
| MC68332GCEH20 | 132 | – | 2 | 22.64 € | 24.67 € |
| DSP56F-803BU80E | 100 | 64 | 4 | 15.61 € | 14.68 € |
| STM32F103VCT6 | 100 | 256 | 48 | 7.05 € | 5.34 € |
| STM32F407VGT6 | 100 | 1024 | 192 | 7.17 € | 7.74 € |
| STM32H743ZIT6 | 144 | 2048 | 1024 | 11.72 € | 15.10 € |

- Test algorithms with table lookup for trigonometric functions (sin, atan2)
- MC68332 features an assembly lookup instruction (tbls.w)
- ^(*) Time scaled using STM32F407 to STM32F103 DMIPS ratio
- ⁽¹⁾ Farnell net price without discount for > 300 pcs, (January 03, 2018)
- ⁽²⁾ DigiKey net price without discount for > 300 pcs, (January 03, 2018)

Wechselrichter zum Einsatz als SoC zu finden und näher zu untersuchen.

Als Testplattform wurde zur Evaluierung ein Prozessorboard entwickelt und gebaut sowie mit weiteren eigens entwickelten Platinen zu einem Wechselrichter komplettiert und in Betrieb genommen. Als Software wurde der bereits in ^[1] entworfene und realisierte Echtzeit-Scheduler auf den ausgewählten Prozessor übertragen.

4 Hardware

4.1 Prozessor

Um einen geeigneten Mikrocontroller zu finden, wurde zunächst ein Preis- und Leistungsvergleich neuerer Prozessoren für eingebettete Systeme mit bisher im Labor Mechatronik verwendeten Prozessoren gemäß Tabelle 1 durchgeführt.

Die Darstellung in ^[1] ist hierbei um eine neue Prozessorvariante mit Cortex-M7-Kern erweitert worden. Bis auf den STM32F407 wurden bei der Rechenzeitbestimmung in der Darstellung alle Prozessoren mit maximaler Taktrate betrieben. Bei den ARM-Prozessoren wurden zur Vergleichbarkeit die Algorithmen ohne Änderung des Thumb2-Codes auf die jeweilige CPU übertragen. Sofern im Prozessor vorhanden, arbeiteten alle Prozessoren mit abgeschalteter FPU. Im Falle des STM32H743 wurde der gesamte Code vor Ausführung in das TCM ausgelagert, um ohne Verwendung eines Speicher-Caches maximale Rechenleistung zu erhalten.

Prozessoren mit einem ARM-Cortex-M7-Kern sind zwar schon länger auf dem Markt, jedoch war deren Verfügbarkeit mit maximaler Taktung von 400 MHz bisher stark beschränkt. Bis Ende des Kalenderjahres 2017 war auch der aufgeführte Prozessor noch nicht im Massenmarkt erhältlich, lediglich einige wenige mit dem Prozessor bestückte Testboards waren käuflich zu beziehen ^[4]. Um trotzdem die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit durchführen zu können, stellte der Hersteller ST Microelectronics freundlicherweise dem Labor Mechatronik an der OTH Amberg zwei Muster des Cortex-M7-Prozessors vorab kostenlos zur Verfügung.

Zur Identifikation eines leistungsfähigen und gleichzeitig preisgünstigen Prozessors ist die Erstellung verschiedener Indizes denkbar. Aus der Tabelle 1 wurde unter Vernachlässigung des veralteten 68k-Prozessors MC68332 der Preis je Einheit der beiden Distributoren gemittelt (p.p.u). Anschließend wurden zwei Indizes erstellt, deren qualitativer Verlauf bei zunehmenden Werten auf leistungsfähigere und gleichzeitig preisgünstigere Prozessoren schließen lassen. Die Indizes sind:

- DMIPS/p.p.u in der Einheit DMIPS/€
- $100/[p.p.u \cdot \text{benötigte CPU Zeit}]$: Einheit 100 MHz/€

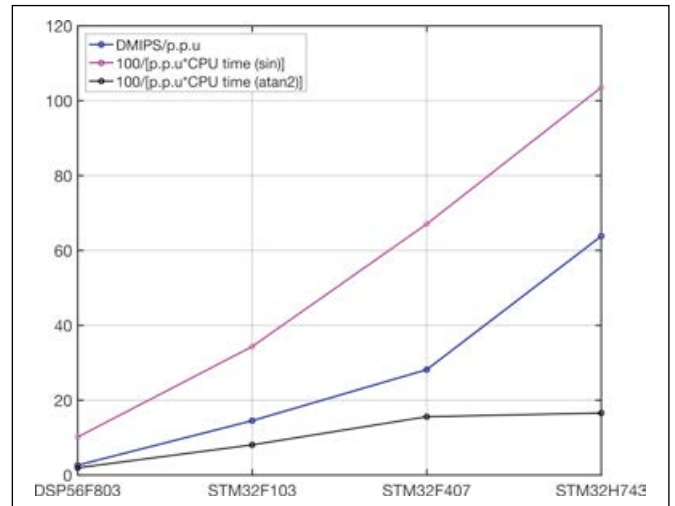


Abbildung 2: Leistungsindizes für verschiedene Prozessoren

Das Ergebnis für die vier verglichenen Prozessoren mit den benötigten CPU-Zeiten zur Berechnung eines Sinus bzw. eines 4-Quadranten-Arkustangens zeigt Abbildung 2. Unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit ergeben sich die beiden Prozessoren STM32F407 und STM32H743 als am preisgünstigsten. Von diesen beiden Prozessorvarianten wurde für die weiteren Untersuchungen der STM32H743 ^[5] ausgewählt, da dieser neben seinem geringen leistungsbezogenen Preis zudem vier Filter für Sigma-Delta-Demodulation und als einer der wenigen Microcontroller auf dem Markt drei AD-Wandler mit 16-Bit-Auflösung integriert hat. Dadurch können im Vergleich zum verwendeten Prozessor in ^[1] aus der Winkelinformation nun auch Drehbeschleunigungen mit hinreichender Genauigkeit noch errechnet werden, ohne auf einen externen AD-Wandler zurückgreifen zu müssen.

4.2 Galvanische Isolation

Aufgrund der Höhe der Zwischenkreisspannung ist vor allem bei mobilen Anwendungen und bei höheren Leistungen ^[6] fast immer eine galvanische Isolation zur Strom-/ Spannungsmessung vorzusehen. Dies erfolgt aufgrund benötigter Isolationsstrecken grundsätzlich über externe Komponenten und kann nicht in einen SoC-Ansatz mit einbezogen werden.

Die Isolationsbausteine in Wechselrichtern haben häufig einen Sigma-Delta-Modulator am Datenausgang, der mit einer Taktrate von bis zu 20 MHz arbeitet, da sich damit die Signalübertragung über die Isolationsbarriere vergleichsweise einfach realisieren lässt. Außerdem ist diese Art des Ausgangssignals wesentlich weniger anfällig gegenüber äußeren Störungen verglichen etwa mit einem analogen Spannungssignal.

Diese Ausgangssignale sind zur Erfassung mit dem ausgewählten Mikrocontroller bestens geeignet. Zur Messung der beiden Motorströme, des Zwischenkreisstromes und der Zwischenkreisspannung wurde ein Isolationsbaustein ^[7] mit einer derartigen Datenschnitt-

stelle ausgewählt. Die Schnittstelle konnte auf der entwickelten Platine direkt mit den vier Filtereingängen der Sigma-Delta-Demodulatoren verbunden werden. Als Taktquelle für die externen Modulatoren diente der eigens im Mikrocontroller dafür vorgesehene Taktgenerator.

Die Resolver Signale sind per se bereits galvanisch von der Zwischenkreisspannung isoliert. Es musste nur auf eine klare Aufteilung zwischen analoger und digitaler Versorgung des Resolvers und der im STM32H743 integrierten 16-Bit-AD-Wandler einerseits sowie der Digitalelektronik andererseits gesorgt werden.

Außerdem wurden im Modellwechselrichter noch folgende Komponenten galvanisch isoliert:

- die Versorgung der IGBT-Gatetreiber
- die Temperaturerfassung des IGBT-Moduls
- das CAN-Modul gegenüber der Prozessorversorgung
- die Prozessorversorgung gegenüber der äußeren Niederspannungsversorgung (24 V)

4.3 Prozessorplatine

Das für den Modellwechselrichter entworfene digitale Mockup sowie die vollständige bestückte Prozessorplatine zeigt Abbildung 3.

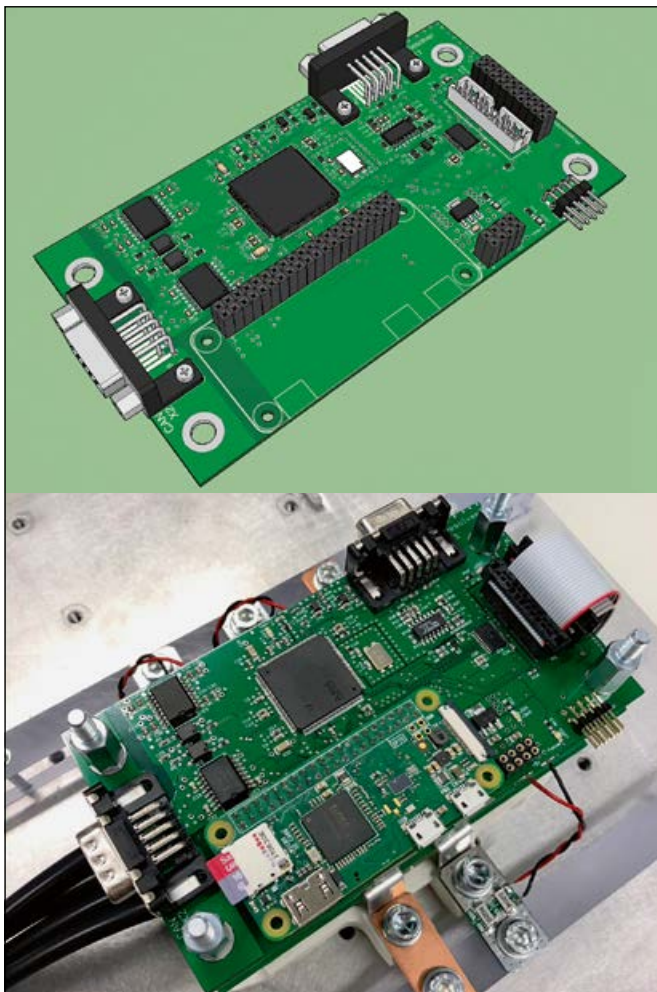


Abbildung 3: Digital-Mockup-Prozessorplatine (oben) und bestückte Platine mit eingestecktem Raspberry (unten)

Das CAN-Interface befindet sich im Bild links. Der isolierte CAN-Transceiver wird feldbusseitig mit einem isolierten DC-DC-Wandler versorgt^[8]. Wahlweise kann für den CAN-Knoten eine ebenfalls isolierte Split-Terminierung eingeschaltet werden. Die Aktivierung erfolgt durch Programmierung des STM32-Prozessors über GPIO.

Rechts hinten im Bild wurde die analoge Versorgung und Analogmasse mit Resolveranschluss realisiert, im Bild rechts sind die Steckverbinder zur Strom- und Spannungsmessplatine sowie zum Anschluss der IGBT-Treiberplatine zu finden. Rechts vorne befinden sich Teststecker und Versorgungseinheit samt LDO-Regulator und Versorgungsstecker sowie ein Stecker zur Verbindung eines Raspberry Pi Zero W.

4.4 Debugging und Monitoring

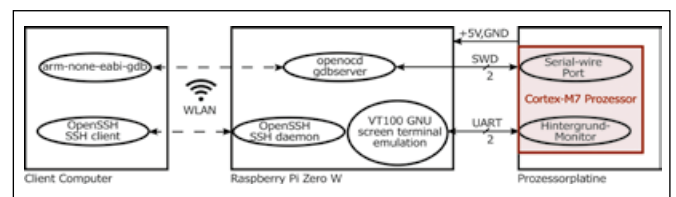


Abbildung 4: Übersicht Debug- und Monitor-Interface

Um das Debugging komfortabler zu gestalten und den Hintergrundmonitor über WLAN bedienen zu können, wurde auf der Prozessorplatine eine neue Schnittstelle zum vergleichsweise preisgünstigen Einplatinencomputer Raspberry Pi Zero W vorgesehen^[9]. Dieser dient nur zur Inbetriebnahme und zur Bedienung des Hintergrundmonitors und ist für den Betrieb des Wechselrichters nicht erforderlich, siehe Abbildung 4. Daher kann der Raspberry Pi selbst während des Betriebs abgesteckt oder dessen Betriebssystem heruntergefahren werden. Auf dem Einplatinencomputer läuft das Standardbetriebssystem Raspbian^[10] in der derzeitigen gültigen Version Stretch, einer Variante des Debian Linux^[11] angepasst auf den ARM11 Prozessor BCM2835 des Raspberry Pi^[12].

Findet das Betriebssystem nach dem Einschalten kein gültiges WLAN-Netz, konfiguriert sich das WLAN-Interface als WLAN-Access-Point. Anderenfalls meldet sich der Raspberry Pi am WLAN an und steht nach Abfrage des DHCP-Servers mit gültiger IP-Adresse als Netzteilnehmer zur Verfügung.

Der Vorteil dieser Konfiguration besteht darin, dass zum einen heute fast jeder Computer über eine WLAN-Schnittstelle verfügt und somit der Wechselrichter von beliebiger Hardware aus bedient und eingerichtet werden kann. Zum anderen entfällt eine zusätzliche Verkabelung zum Wechselrichter.

5 Software

5.1 Synchronisation

Zum störungsfreien Betrieb ist die Synchronisation der SoC-Komponenten bezüglich der Pulsung der IGBTs von entscheidender Bedeutung. Wird beispielsweise während des Abtastvorgangs eines AD-Wandlers ein IGBT die Zwischenkreisspannung von mehreren Hundert Volt an- oder abschalten, wird die Messwerterfassung, z. B. der Resolver signale, unbrauchbar sein. Gemäß Abbildung 5 wird daher die Triggerung der internen Komponenten immer in der Pulspause ausgelöst.



Abbildung 5: Synchronisation interner Peripherie bei positiver Flankentriggerung am Beispiel eines Motorstranges

5.2 Realtime-Scheduler, Hintergrund-Monitor, Algorithmen

Die Basissoftware des Modellwechselrichters ist der bereits in [1] ausführlich beschriebene Realtime-Scheduler mit Assemblermacros, mit umfangreicher Kommentierung und kleiner Codegröße. Abweichend davon wird aufgrund der geringen Größe im neuen Modellwechselrichter der gesamte Code einschließlich aller Algorithmen und NVIC-Vektortabelle nach Initialisierung vom FLASH-Speicher in das TCM transferiert und dort ausgeführt.

Zusätzlich wurde eine Schnittstelle zur Programmiersprache C ergänzt, um auch in den Zeitscheiben bzw. im Hintergrund einfache Funktionen in einer höheren Programmiersprache ergänzen zu können. Der Timing Master wird jetzt mit dem kernnahen SysTick Timer [13] realisiert (SYNC-Signal in Abbildung 5). Dennoch gibt es weiterhin eine Möglichkeit, z. B. für Mehrachsantriebe, eine externe Synchronisation durchzuführen.

Um die zwingend notwendige Synchronisation in allen Betriebsfällen zu gewährleisten, wurde nur ein Interrupt ohne DMA zugelassen. Da der Interrupt-Controller des Cortex-M allerdings keine Unterbrechung einer ISR durch einen Interrupt gleicher Priorität zulässt, löst im Scheduler der SysTick IRQ wieder eine Unterbrechung geringerer Priorität (PendSV) aus und beendet sich anschließend selbst.

Der Hintergrund-Monitor wurde nach Anpassung der Register ebenso aus dem Modellwechselrichter mit Cortex-M3-Prozessor aus [1] übernommen wie auch alle restlichen Algorithmen zur feldorientierten Regelung. Bei diesem seit einigen Jahren gängige Verfahren werden alle Feld- und Zustandsgrößen eines Motors in ein meist mit dem Erregerfeld des Rotors mitrotierendes, orthogonales Koordinatensystem transformiert [14]. Für zukünftige Untersuchungen wären alternativ zur klassischen Realisierung der Feldorientierung auch weitergehende Ansätze zur Stromregelung, z. B. nach [15], denkbar.

6 Ergebnis

Im Rahmen der Untersuchungen konnte die Verwendbarkeit von ARM-Cortex-M-Kernen zum Einsatz als SoC in digitalen Wechselrichtern bestätigt werden. Dabei wurde die bei digitalen Wechselrichtern übliche Signalelektronik nach Abbildung 1 auf ein SoC-Design nach Abbildung 6 reduziert.

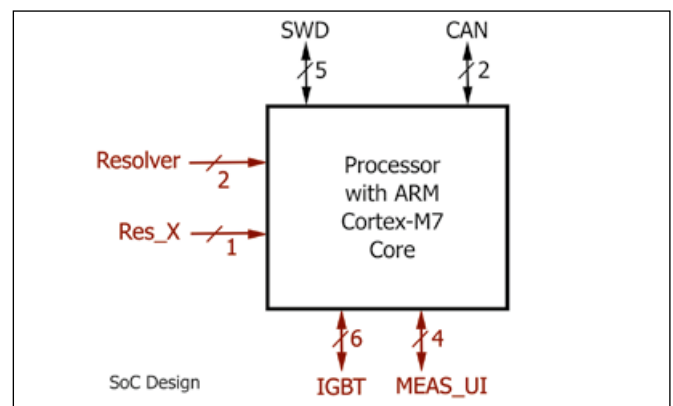


Abbildung 6: SoC-System eines digitalen Wechselrichters

Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Systemansätzen sind die Kostenersparnis, die Platzersparnis hinsichtlich Bauraum der Platinen und Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Reduktion der Bauteilzahl.

Basierend auf den Ergebnissen aus [1] war es somit möglich, innerhalb kurzer Entwicklungszeiten die Software auf den neuen Microcontroller zu übertragen.

Zum Leistungsnachweis wurde ein vollständig funktionsfähiger Wechselrichter aufgebaut, auf dem eine feldorientierte Regelung mit Raumzeigermodulation implementiert wurde. Es wurde ein kurzes Video zu einem ersten Funktionstest des Wechselrichters im Labor Mechatronik an der OTH Amberg angefertigt und kann auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

Die Programme sowie die erstellte Prozessorplatine können zukünftig im Rahmen von Projekten und Vorlesungen, insbesondere im neuen Studiengang „Mechatronik und digitale Automation“, an die Studierenden weitergegeben und die gewonnenen Erfahrungen in die Lehrveranstaltungen integriert werden.

7 Abkürzungen

| | | | |
|---------|---|-----------|---|
| • AC | Alternating Current | • GPIO | General Purpose Input/Output |
| • AD | Analog/Digital | • IGBT | Insulated Gate Bipolar Transistor |
| • ARM | Advanced RISC Machines Ltd. | • IP | Internet Protocol |
| • ASICs | Application Specific Integrated Circuits | • IRQ | Interrupt ReQuest |
| • Bit | Binary Digit | • ISR | Interrupt Service Routine |
| • CAN | Controller Area Network | • JTAG | Joint Test Action Group |
| • CPLD | Complex Programmable Logic Device | • LDO | Low Dropout |
| • DC | Direct Current | • openOCD | open On-Chip Debugger |
| • DHCP | Dynamic Host Configuration Protocol | • PWM | Pulsweitenmodulation |
| • DMA | Direct Memory Access | • RISC | Reduced Instruction Set Computer |
| • DMIPS | Dhrystone Million Instructions Per Second | • SoC | System on Chip |
| • FPGA | Field Programmable Gate Array | • SSH | Secure Shell |
| • FPU | Floating Point Unit | • SWD | Serial Wire Debug |
| • gdb | GNU debugger | • TCM | Tightly-coupled memory |
| • GNU | GNU's not Unix | • UART | Universal Asynchronous Receiver Transmitter |
| | | • VT100 | Virtual Terminal 100 Protocol |
| | | • WLAN | Wireless Local Area Network |

Referenzen:

Alle online verfügbaren Quellen wurden zuletzt am 3. Januar 2018 abgerufen.

- [1] Frenzel, B.: Untersuchung zum Einsatz von ARM Cortex-M Prozessorkernen in voll digitalisierten Wechselrichtern. Forschungsbericht 2015 der OTH Amberg-Weiden, S. 14–23. [Online] Verfügbar unter: <https://www.oth-aw.de/files/oth-aw/Aktuelles/Veroeffentlichungen/Forschungsbericht/Forschungsbericht-2015.pdf>
- [2] ANALOG DEVICES: High Performance, 10-Bit to 16-Bit Resolver-to-Digital Converter. Circuit Note CN-0276, Norwood Massachusetts, 2013 (Rev. 0) – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: <http://www.analog.com/media/en/reference-design-documentation/reference-designs/CN0276.pdf>
- [3] Frenzel, B.; Kurzweil, P.; Parspour, N.: Resolver Based Position Sensing in Automotive Applications. Conference Proceedings PCIM Power Conversion Intelligent Motion (2012), S. 1639–1645
- [4] ST MICROELECTRONICS: STM32 Nucleo-144 Boards. User Manual UM1974 – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: http://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00244518.pdf
- [5] ST MICROELECTRONICS: STM32H7x3 advanced ARM-based 32-bit MCUs. Reference manual RM0433 – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: http://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00314099.pdf
- [6] Frenzel, B.; Kurzweil, P.; Rönnebeck, H.: Electromobility concept for racing cars based on lithium-ion batteries and supercapacitors. Journal of Power Sources 196 Elsevier (2010), S. 5364–5376
- [7] ANALOG DEVICES: 16-Bit Isolated Sigma-Delta Modulator, AD7403. Norwood Massachusetts, 2015 (Rev. B) – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7403.pdf>
- [8] ANALOG DEVICES: 2.5 kV, Isolated DC-to-DC Converter, ADuM5000. Norwood Massachusetts, 2017 (Rev. B) – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM5000.pdf>
- [9] Kurniawan, A.: Getting Started with Raspberry Pi Zero W. Kindle Edition. PE Press (2017)
- [10] Newcomb, A.; Haxsen V.: Linux für Maker: Raspbian – das Betriebssystem des Raspberry Pi richtig verstehen und effektiv nutzen. dpunkt.verlag (2017)
- [11] Jurzik, H.: Debian GNU/Linux: Das umfassende Handbuch. 7. Aufl. Rheinwerk Computing (2017)
- [12] BROADCOM: SBCM2835 ARM Peripherals. Cambridge (2012) – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: <https://www.raspberrypi.org/app/uploads/2012/02/BCM2835-ARM-Peripherals.pdf>
- [13] ARM: ARMv7-M Architecture Reference Manual. Issue E.c Cambridge (2017) – Firmenschrift. [Online] Verfügbar unter: https://static.docs.arm.com/ddi0403/e/DDI0403E_c_armv7m_arm.pdf
- [14] Frenzel, B.; Gebhard, F.; Kurzweil, P.: Physik Formelsammlung. 4. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [15] Frenzel, B.; Kilger, F.: Method for current regulation of permanently excited synchronous motors for guided missiles having an electromechanical actuating drive for the rudder. United States Patent and Trademark Office. April 25, 2002. US20020047680A1

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Bernhard Frenzel

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

b.frenzel@oth-aw.de

Zusammenfassung

Luftschleieranlagen werden für unterschiedlichste Anwendungen, z. B. Supermärkte, Logistikzentren, Reinräume und insbesondere für Tiefkühlanwendungen zur Separierung von Gebäudestrukturen mit unterschiedlichen Temperaturzonen und offenen Verbindungstüren, eingesetzt. Im Rahmen der Studie wurde eine stationäre und transiente CFD-Analyse (Computational Fluid Dynamics) von unterschiedlichen Ausführungen für Luftschleieranlagen zur Bewertung der Separationswirkung und des Energieaufwandes durchgeführt. Basierend auf einer Referenzausführung wurden unterschiedliche Auslegungsparameter wie z. B. Luftgeschwindigkeit, Düsenbreite, Luftstrahltemperatur, Einzel- und Mehrfachdüsen, Luftstrahlwinkelstellung und Absaugung im Auftreffbereich bezüglich Schutzwirkung und Energieaufwand analysiert und bewertet.

Abstract

Air Curtains are used for commercial, industrial and refrigeration environments for temperature control of separated and opened rooms in industry with different temperatures. This study presents a 3D transient and stationary Computational Fluid Dynamics (CFD) modelling and simulation of a cold room to evaluate the air infiltration rate through an air curtain and to prevent heat losses from rooms with different temperatures. Based on a basic design further design proposals like horizontal and vertical airflow, single and twin air flow nozzles and working parameters like air flow rate, air velocity and initial jet angle inclination were investigated to assess their potential to improve thermal performance and energy consumption.

1 Einleitung

Als Luftschleier bezeichnet man horizontal oder vertikal an der Gebäudeöffnung angeordnete Schlitzdüsen, die quer zur Durchgangsrichtung ausblasen. Diese dienen entweder dazu, den Austausch von Luftmassen zwischen zwei Räumen durch die Einbringung einer definierten Luftströmung zu verhindern, oder – falls dies nicht möglich ist – der gezielten Wärmebereitstellung.

Die Wirkung eines Luftschleiers basiert auf dem Impulsatz. Ein Impuls ist eine gerichtete Größe und es bedarf einer Kraft, einen Impulsstrom umzulenken. Mit einem Luftschleier lässt sich in einer Öffnung ein Gegendruck erzeugen, der den Luftdurchtritt behindert. Die Sperrwirkung erhöht sich mit steigender Volumenstrom- oder Strahlgeschwindigkeit, allerdings nehmen gleichzeitig mit der Strahlgeschwindigkeit auch die Mischungsverluste zu.

Typische Einsatzgebiete solcher Abschirmungen finden sich beispielsweise an Eingängen von Verkehrsgebäuden mit hohem Personenaufkommen, in Warenhäusern aus werbetechnischen Gründen zur Vermeidung von Türen, an Industrietoren häufig in Verbindung mit Schnellauftoren, bei Kühlhäusern zur Vermeidung von Feuchteinträgen und in industriellen Produktionsanlagen zur Zonentrennung zwischen Anlagenteilen. Durch den Einsatz solcher Systeme können auch Insekten, Gerüche, Staub und Schmutz abgehalten werden.

Ein weiterer Einsatz solcher Systeme ist an Kühltheken in Supermärkten zu finden. Auch hier sollen die Produkte, z. B. Milch- und Wurstprodukte, in den Kühltheken bei einer definierten Temperatur gelagert werden und zugleich dem Kunden leicht zugänglich sein.

Bezüglich der Ausführungsarten dieser Systeme wird nach Anlagen mit unterschiedlicher Schlitzweite der Luftschleierdüse, Einfach-, Doppel- und Dreifachstrahl, nach vertikaler oder horizontaler Strahlrichtung und mit und ohne gegenüberliegende Absaugung unterschieden.

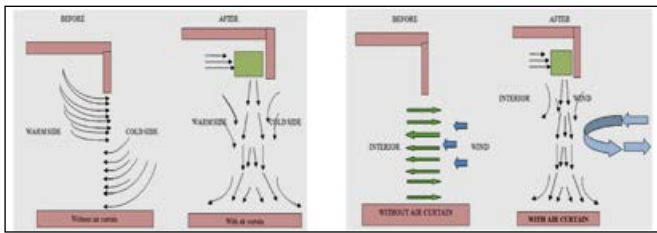


Abbildung 1: Schutzwirkungen von Luftschleieranlage bei Thermik (links) und Wind (rechts)

Bezüglich der Aussagen der Hersteller und des Interessenverbandes von Luftschleieranlagenvertriebern herrscht Übereinstimmung, dass sich durch den Einsatz von Luftschleieranlagen „erhebliche“ Einsparungen erzielen lassen. Bei der Angabe konkreter Energieeinsparpotenziale gibt es allerdings große Unterschiede, die im Bereich von 40 Prozent bis 90 Prozent liegen. Die Angaben über Einsparungen basieren jedoch auf unterschiedlichen Annahmen. Die Hersteller legen meist nur qualitative und keine quantitativen Ergebnisse vor und darüber hinaus ohne genaue Darstellungen der Randbedingungen. In den meisten wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden leider auch wichtige Randbedingungen bei CFD-Simulationen nicht erwähnt, die Ergebnisse von transienten und stationären Simulationen nicht im Detail diskutiert und eine Gesamtenergiebilanzierung nicht durchgeführt.

2 Ausgangssituation

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde der Einsatz eines Torluftschleiers am Beispiel einer Lagerhalle mit zwei verschiedenen Temperaturzonen untersucht. Das Ziel der Untersuchung war die thermische und energetische Analyse und Bewertung bei Einsatz eines klassischen Torluftschleiersystems zur thermischen Trennung von zwei Räumen mit einer Temperatur von 31 °C und 41 °C.

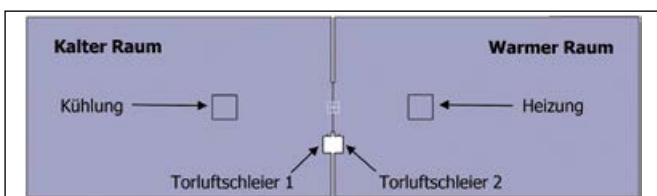


Abbildung 2: Draufsicht 3D-CAD-Modell

Für die Untersuchung wurde ein Basismodell erzeugt, mit dem verschiedene Parameter eines Torluftschleiers, wie z. B. Luftaustrittsgeschwindigkeit, Luftaustrittswinkel, Nachregulierungen der Temperatur, Absaugung, Luftstrom-Prallblech, analysiert und bewertet wurden.

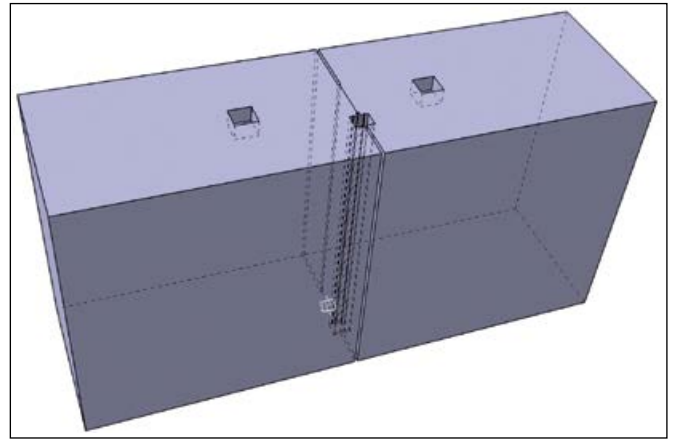


Abbildung 3: 3D-Basismodell

3 CFD-Simulationen

Das primäre Ziel bei diesen Simulationen lag darin, das Verhalten der Temperaturbereiche (warmer und kalter Raum) bei absolut gleicher Geometrie und gleichem Volumen mit unterschiedlichen Betriebsparametern zu analysieren und zu bewerten. Das Simulationsmodell wurde mit ca. 13,9 Mio. Polyhedraeder-Elementen und einer wandnahen Grenzschicht aufgebaut.

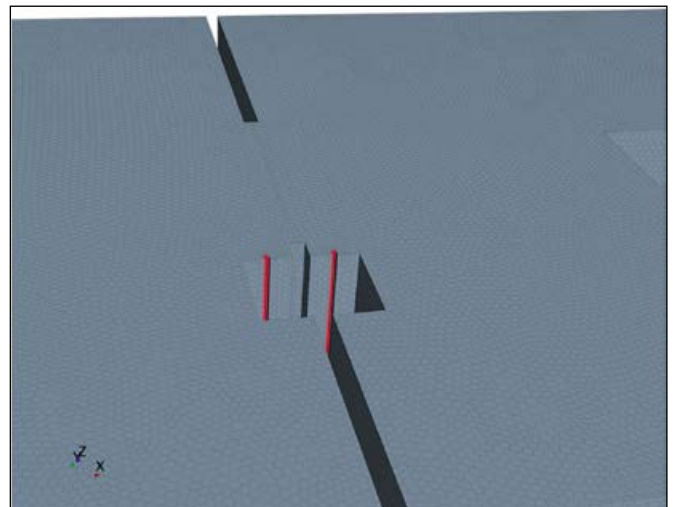


Abbildung 4: Detail Luftschleieraustrittsflächen

Für die numerischen Simulationen wurden folgende physikalische Einstellungen verwendet:

- Berücksichtigung der Schwerkraft
- Ideales Gas
- Multi-Komponenten-Gas
- K-Epsilon-Turbulenzmodell

Nachfolgend sind exemplarisch vier verschiedene Simulationsergebnisse für unterschiedliche Torluftschleierparameter dargestellt.

3.1 Torluftschleiergeschwindigkeit der beiden Systeme bei 5 m/s Austrittsgeschwindigkeit ohne zusätzliche Temperaturregelung

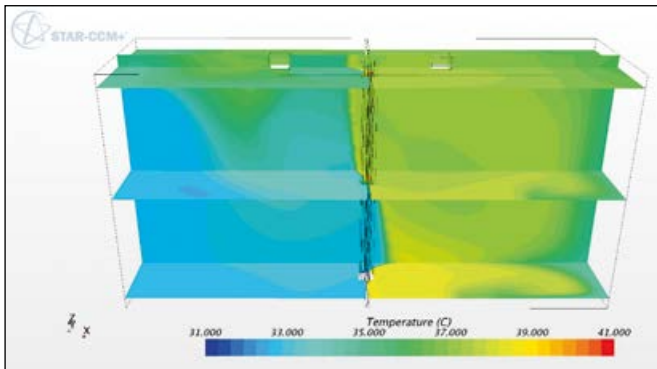


Abbildung 5: Temperaturverteilung an 4 Schnittebenen

3.2 Torluftschleiergeschwindigkeit der beiden Systeme bei 10 m/s Austrittsgeschwindigkeit ohne zusätzliche Temperaturregelung

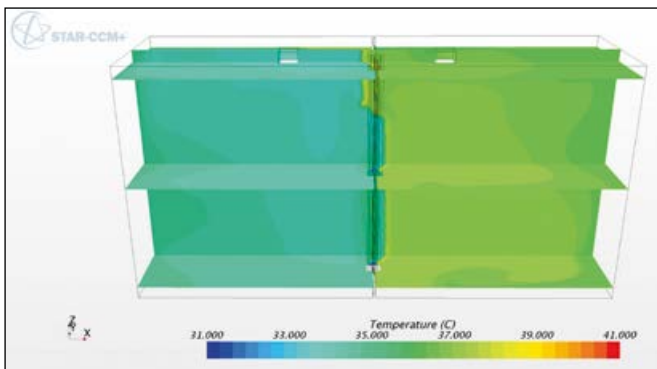


Abbildung 6: Temperaturverteilung an 4 Schnittebenen

3.3 Torluftschleiergeschwindigkeit der beiden Systeme bei 5 m/s Austrittsgeschwindigkeit mit zusätzlicher Temperaturregelung (Kühlung)

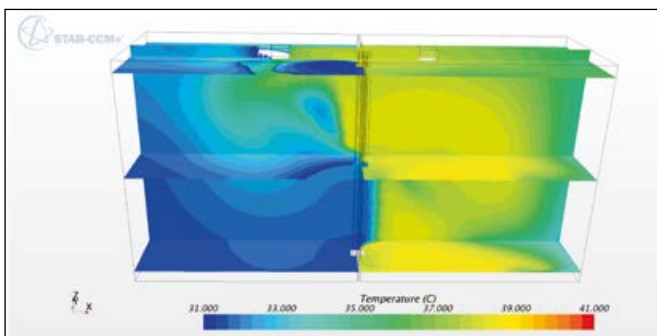


Abbildung 7: Temperaturverteilung an 4 Schnittebenen

3.4 Torluftschleiergeschwindigkeit der beiden Systeme bei 10 m/s Austrittsgeschwindigkeit mit zusätzlicher Temperaturregelung (Kühlung)

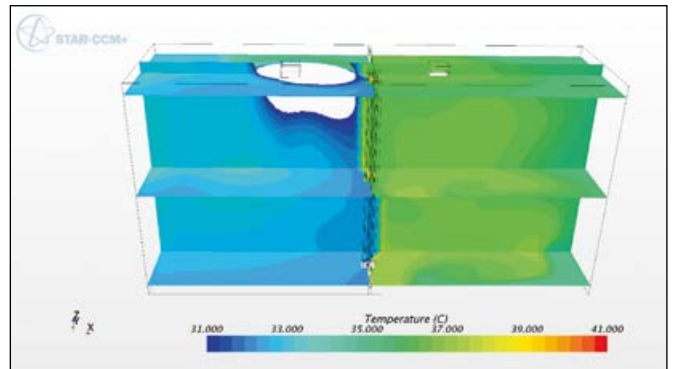


Abbildung 8: Temperaturverteilung an 4 Schnittebenen

4 Bewertung der Ergebnisse

Wind und Thermik rufen an einer Gebäudefassade lokale Druckdifferenzen hervor, die an Öffnungen für einen Luftdurchtritt sorgen. Als Thermik bezeichnet man den Druckunterschied, der durch die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen und die damit verbundene Dichtedifferenz der Luft entsteht. Das Geschwindigkeitsprofil in der Türöffnung kann mit der klassischen Strömungsmechanik berechnet werden. Da die Geschwindigkeit proportional zur Wurzel des Druckes ist, werden bereits bei sehr kleinen Drücken nennenswerte Geschwindigkeiten erreicht.

Die Windwirkung ist abhängig von der Gebäudeform, der Gebäudehöhe, der Umgebungsbebauung, der Lage der Öffnungen, der Windrichtung und der Ausrichtung des Gebäudes. Freistehende Gebäude sind in der Regel wesentlich höheren Winddrücken ausgesetzt als Gebäude im Innenstadtbereich. Eine Temperaturdifferenz ΔT zwischen Innen- und Außenluft erzeugt ein vertikales Druckprofil durch die Dichtedifferenz. Über die Tor-Höhe entsteht eine lokale Druckdifferenz mit einem resultierenden parabelförmigen Geschwindigkeitsprofil, sodass in der oberen Hälfte der Öffnung Luft ausströmt, während in der unteren Hälfte Außenluft eintritt.

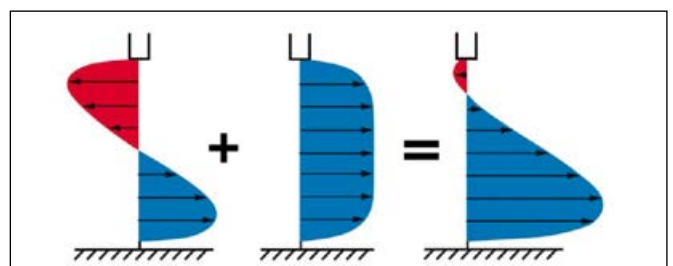


Abbildung 9: Luftströmung im Bereich der Öffnung infolge Windeinfluss und Thermik

Bei Austritt eines Fluids aus einer Öffnung runder, rechteckiger oder spaltförmiger Geometrie in eine Umgebung, in der ein ruhendes Fluid gleicher Art und

Temperatur vorhanden ist, bildet sich ein isothermer Freistrah aus, dessen bewegtes Fluid durch eine freie Strahlgrenze (Trennungsschicht) vom ruhenden Fluid abgegrenzt wird. Es liegt eine Grenzschichtströmung ohne feste Begrenzung vor. Freistrahlen gehören zu den stabilsten strömungstechnischen Erscheinungen und sie folgen strengen Regeln, die nur wenig von äußeren Bedingungen beeinflusst werden.

Für den Fall des turbulenten Freistrahls gehen wir von dem in Abbildung 10 dargestellten Strömungsmodell aus, bei dem das Fluid mit der Geschwindigkeit c_0 als Kolbenströmung aus der Öffnung austritt. Durch Reibungswirkung wird Sekundärfluid aus der Umgebung mitgerissen. Dadurch wächst der im Strahl transportierte Massenstrom an, während sich das Geschwindigkeitsprofil ausbreitet und zunächst an den Rändern abflacht. Es bildet sich ein kegelförmiger Strahlkern aus, in dem die Geschwindigkeit c_0 vorliegt. Außerhalb des Kerns entsteht eine Mischzone.

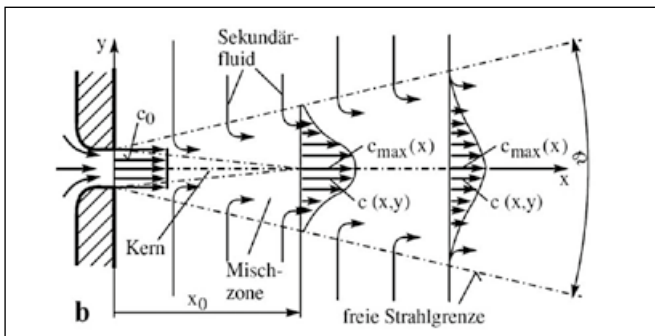


Abbildung 10: Ausbreitung eines isothermen Freistrahls

Der Mischungsverlust eines Luftschleiers lässt sich über die Volumenzunahme des ebenen Freistrahls über Öffnungshöhe H berechnen. Bei einer Schlitzweite von $1/10$ der Öffnungshöhe wird ein zusätzlicher Volumenstrom von 42 Prozent des Strahlvolumens als Sekundärfluid aus dem Raum angesaugt. Bei Innenansaugung wird das Volumen des Düsenstrahls selbst dem Raum entnommen, sodass der Gesamtverlust 142 Prozent des Strahlvolumens beträgt. Bei schmalen Schlitzstrahlen mit $s/H = 100$ beträgt der zusätzliche Volumenstrom 244 Prozent des Strahlvolumens. Bei Innenansaugung beträgt der Gesamtverlust damit 344 Prozent des Strahlvolumens. Luftschleieranlagen erzeugen mit breiten Strahlen generell niedrigere Mischungsverluste als Anlagen mit schmalen Schlitzdüsen. Der Grund ist, dass der gleiche Impulsstrom bei schmalen Düsen nur mit höherer Geschwindigkeit und damit höheren Mischungsverlusten zu erreichen ist.

Ein wichtiger Grund für erhöhte Verluste ist in Abbildung 11 dargestellt. Durch die fehlende seitliche Begren-

zung des Luftschleiers führt die Auslenkung des Strahls dazu, dass seitlich des Luftschleiers zusätzliche Öffnungen freigegeben werden und es zum Kurzschluss und dem unkontrollierten Luftaustausch zwischen den beiden Räumen kommt.

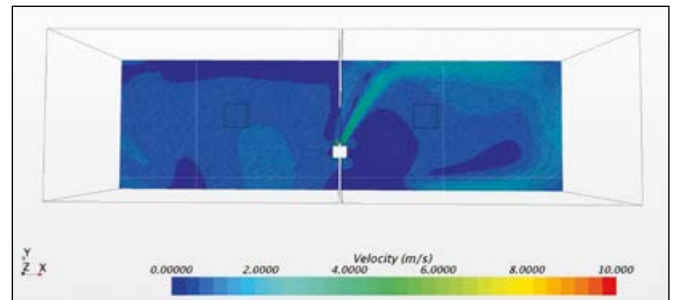


Abbildung 11: Kurzschluss durch fehlende seitliche Begrenzung

5 Zusammenfassung

Das Ziel, die Abgrenzung zweier geschlossener Temperaturbereiche durch den Einsatz von Torluftschleiersystemen als Temperaturbarriere lässt sich infolge der Mischungsverluste und der Luftstrahlumlenkung bei einer stationären Bewertung nicht erreichen. Infolge der unterschiedlichen Temperaturbereiche in den jeweiligen Räumen und der hieraus resultierenden Dichte- und Druckunterschiede reagiert die Luftströmung des Torluftschleiers sehr sensibel. Es muss die Luftstrahlumlenkung und die hieraus folgende Leckageströmung so gut wie möglich vermieden werden. Dies kann durch die individuelle und adaptive Winkeleinstellung der Einströmdüsen verbessert werden. Eine weitere Verbesserung kann durch zusätzliche Regeleinrichtungen zur Klimatisierung der Räumlichkeiten erzielt werden.

Ein Potenzial für Luftschleieranlagen zur Verzögerung des Temperatenausgleichs besteht jedoch nur bei einem kurzzeitigen Betrieb zur Unterstützung von Schnelllaufmotoren. In der Praxis liegen die nutzbaren Gegendrucke meist in einem Bereich von 10 Pa, während die Winddrücke bei großen Hallen leicht das Vielfache betragen. Der Einsatzbereich von Luftschleiern zur effektiven Verlustminderung bleibt daher auf ein eng umrissenes Einsatzgebiet beschränkt wie z. B. Türhöhen bis 3 Meter, tunnelartige Eingänge, bei denen die Luftschleierströmung seitlich durch Wände begrenzt ist, und Gebäude mit großen Luftüberschüssen.

Sind diese Randbedingungen nicht gegeben, dann führt der Einsatz von Luftschleieranlagen nicht zu einer Verminderung des Gesamtenergieverbrauches im Gebäude und es sollte der reine Einsatz von Schnelllaufmotoren in Erwägung gezogen werden.

Kontakt:



Prof. Dr. Franz Magerl

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

f.magerl@oth-aw.de

Kann der Vergleich zweier Konfidenzintervalle einen Zweistichprobentest ersetzen?

Prof. Dr. Benjamin R. Auer
Prof. Dr. Horst Rottmann

Zusammenfassung

Die Nullhypothese bezüglich des Mittelwerts einer Grundgesamtheit kann bei Vorliegen einer Normalverteilung mit dem Gaußtest und bei entsprechend großen Stichproben mit dem approximativen Gaußtest überprüft werden. Alternativ kann man die Überprüfung auch mit einem geeigneten Konfidenzintervall durchführen. In der Praxis ist man oft versucht, diese Vorgehensweise auch einfach auf den Zweistichprobentest zur Überprüfung der Gleichheit zweier Mittelwerte bei zwei unabhängigen Stichproben zu übertragen. Dazu wird nicht immer ein Konfidenzintervall für die Differenz der Mittelwerte berechnet, sondern manchmal auch für die beiden Stichproben jeweils ein Intervall gebildet und die erhaltenen Konfidenzintervalle daraufhin miteinander verglichen. Wir werden im Folgenden zeigen, dass die zweite Vorgehensweise nicht immer zur korrekten Testentscheidung führt.

In der statistischen Grundlagenliteratur ist allgemein bekannt, dass eine Nullhypothese $H_0: \mu = \mu_0$ bezüglich des Mittelwerts μ einer beliebigen Grundgesamtheit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α und hinreichendem Stichprobenumfang (Faustregel: $n \geq 30$) gegenüber der Alternativhypothese $H_A: \mu \neq \mu_0$ abgelehnt werden kann, wenn für die Teststatistik

$$\left| \frac{\bar{x} - \mu_0}{s_{\bar{x}}} \right| > z_{1-\alpha/2} \quad \text{mit} \quad s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (1)$$

gilt (vgl. Auer/Rottmann, S. 365 ff.). \bar{x} und s sind dabei Stichprobenmittelwert und Stichprobenstandardabweichung der Beobachtungen x_i , $i = 1, \dots, n$. $z_{1-\alpha/2}$ ist das $(1-\alpha/2)$ -Quantil der Standardnormalverteilung. Alternativ kann eine Testentscheidung auch über das Konfidenzintervall

$$[\bar{x} - z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}} ; \bar{x} + z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}}] \quad (2)$$

Abstract

In the case of normally distributed data, a null hypothesis with respect to the population mean can be tested with the Gauß test. For very large samples, the approximate Gauß test is adequate. Alternatively, a mean test can be carried out based on a suitable confidence interval. In practice, it is often tempting to simply apply this interval approach to the two-sample case where we test the equality of two means in two independent samples. Specifically, some authors do not calculate a confidence interval for the mean difference but instead compare the two separate intervals for the two samples. We show that the second approach does not always lead to a correct test decision.

herbeigeführt werden, da dieses nur eine Äquivalenzumformung der Ungleichung (1) darstellt (vgl. Auer/Rottmann, S. 362; Fahrmeir et al., S. 418). H_0 ist hiernach zu verwerfen, wenn der hypothetische Wert μ_0 außerhalb des Konfidenzintervalls (2) liegt. μ gilt dann als signifikant von μ_0 verschieden.

Gleichermaßen kann bei zwei unabhängigen Stichproben die Hypothese bezüglich der Differenz zweier Mittelwerte $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ bei beliebigen Verteilungen (mit $n_1 \geq 30$ und $n_2 \geq 30$) über

$$\left| \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \right| > z_{1-\alpha/2} \quad \text{mit} \quad s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (3)$$

(vgl. Auer/Rottmann, S. 373 ff.; Bamberg/Baur, S. 192 ff.) bzw. das zugehörige Konfidenzintervall

$$\left[(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} ; (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} \right] \quad (4)$$

beurteilt werden (vgl. Bley Müller et al., S. 93).

Im Zusammenhang mit diesen Tests ist in der Literatur folgende Aussage (Aussage A) gebräuchlich: „Überlappen sich die individuellen Konfidenzintervalle (2) zweier unabhängiger Stichproben nicht, so kann daraus geschlossen werden, dass die Mittelwerte der zugehörigen Grundgesamtheiten signifikant voneinander verschieden sind.“ Gleichmaßen wird in den Wirtschafts- (vgl. z. B. Knezevic) und Naturwissenschaften (vgl. z. B. Austin/Hux) häufig wie folgt argumentiert (Aussage B): „Eine Überlappung der Konfidenzintervalle deutet auf nicht signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten hin.“ Während die Aussage A korrekt ist, handelt es sich bei Aussage B um eine weit verbreitete Fehlinterpretation. Dies soll im Folgenden anhand eines einfachen Beweises und eines Zahlenbeispiels veranschaulicht werden.

Gegeben seien zunächst die beiden Konfidenzintervalle

$$\left[\bar{x}_1 - z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_1} ; \bar{x}_1 + z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_1} \right] \text{ und } \left[\bar{x}_2 - z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_2} ; \bar{x}_2 + z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_2} \right]. \quad (5)$$

Wie im Fall F2 von Abb. 1 wird zudem angenommen, dass die Untergrenze des ersten Intervalls mit der Obergrenze des zweiten Intervalls übereinstimmt:

$$\bar{x}_1 - z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_1} = \bar{x}_2 + z_{1-\alpha/2} \cdot s_{\bar{x}_2}. \quad (6)$$

Anders ausgedrückt, wird also eine Situation kleinstmöglicher Überlappung betrachtet. Eine Umformung dieses Ausdrucks erlaubt die Darstellung

$$\frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\bar{x}_1} + s_{\bar{x}_2}} = z_{1-\alpha/2}. \quad (7)$$

Aufgrund von $\sqrt{a^2 + b^2} < a + b$ und $a, b > 0$ gilt $s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} < s_{\bar{x}_1} + s_{\bar{x}_2}$. Die Teststatistik in (3) muss daher in dieser Situation größer als $z_{1-\alpha/2}$ sein.

Ein weiteres mögliches Szenario, bei dem die Obergrenze des ersten Intervalls gleich der Untergrenze des zweiten ist, ergibt sich analog. Dabei zeigt sich, dass der linke Term in (7) gleich $-z_{1-\alpha/2}$ ist. Die Teststatistik in (3) muss daher hier ebenfalls größer als $z_{1-\alpha/2}$ sein.

Bei minimaler Überlappung folgt also ein signifikanter Unterschied beider Mittelwerte, womit gezeigt wäre, dass Aussage B nicht richtig sein kann. Lassen wir keine Überlappung zu bzw. betrachten wir Fall F1 in Abb. 1, verwandeln sich die „=“-Zeichen in (6) und (7) zu „>“-Zeichen. Es folgt dann erst recht ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte, womit Aussage A bestätigt wäre.

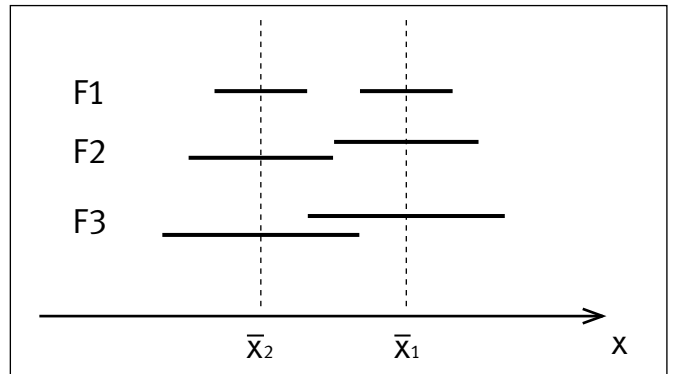


Abbildung 1: Überlappungsfälle bei Konfidenzintervallen

Um auch den in Abb. 1 dargestellten Fall F3 größerer Überlappungen zu diskutieren, könnte ebenso ein Beweis geführt werden. Da dieser jedoch etwas komplexer ist, soll stattdessen auf ein einfaches Zahlenbeispiel zurückgegriffen werden. Gegeben seien dabei die Mittelwerte 17 und 9 zweier unabhängiger Stichproben. Die Standardabweichung der Stichprobenmittelwerte sei jeweils 2,5. Die 95-Prozent-Konfidenzintervalle ergeben sich damit zu

$$17 \pm 1,96 \cdot 2,5 \text{ bzw. } [12,1; 21,9]$$

und

$$9 \pm 1,96 \cdot 2,5 \text{ bzw. } [4,1; 13,9].$$

Sie sind also überlappend. Gleichzeitig beläuft sich die Teststatistik aus (3) auf

$$\frac{17 - 9}{\sqrt{2,5^2 + 2,5^2}} = 2,26.$$

Dies bedeutet, dass die Nullhypothese gleicher Mittelwerte bei einem Signifikanzniveau von 5 Prozent verworfen werden kann. Zur gleichen Schlussfolgerung gelangt man auch über das Konfidenzintervall

$$(17 - 9) \pm 1,96 \cdot \sqrt{2,5^2 + 2,5^2} \text{ bzw. } [1,09; 14,91],$$

da 0 (d. h. der hypothetische Wert für die Differenz) nicht in diesem Intervall liegt.

Insgesamt kann man also festhalten: Wenn sich die Konfidenzintervalle zweier unabhängiger Zufallsstichproben nicht überschneiden, dann sind die Mittelwerte statistisch signifikant voneinander verschieden. Im Gegensatz dazu deuten jedoch überlappende Konfidenzintervalle nicht zwangsläufig auf nicht signifikante Unterschiede zweier Mittelwerte hin. Überlappungen und signifikante Differenzen können simultan auftreten.

Referenzen:

Auer, B. R., Rottmann, H., 2014. Statistik und Ökonometrie für Wirtschaftswissenschaftler – Eine anwendungsorientierte Einführung. 3. Aufl., Springer-Gabler, Wiesbaden.

Austin, P. C., Hux, J. E., 2002. A Brief Note on Overlapping Confidence Intervals. *Journal of Vascular Surgery* 36 (1), 194–195.

Bamberg, G., Baur, F., 2002. Statistik. 12. Aufl., Oldenbourg, München/Wien.

Bleymüller, J., Gehlert, G., Gülicher, H., 2004. Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. 14. Aufl., Vahlen, München.

Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I., Tutz, G., 2007. Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 6. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg.

Knezevic, A., 2008. Overlapping Confidence Intervals and Statistical Significance. *Cornel University StatNews* No. 73.

Kontakt:



Prof. Dr. Benjamin R. Auer

Brandenburgische Technische
Universität Cottbus-Senftenberg
Lehrstuhl für Investition und Finanzierung
Erich-Weinert-Straße 1
03046 Cottbus

auer@b-tu.de



Prof. Dr. Horst Rottmann

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Studiendekan
Fakultät Betriebswirtschaft
Forschungsprofessor am ifo Institut für
Wirtschaftsforschung an der Universität München
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

h.rottmann@oth-aw.de

Zusammenfassung

Gammakameras werden im klinischen Alltag oft als „refurbished systems“ gekauft, da Neusysteme meist sehr teuer sind. Die Komponenten, die wiederverwendet werden, müssen im Vorfeld auf ihre Zuverlässigkeit geprüft werden. Eine zentrale Komponente der Bildgebung ist der Photomultiplier (PMT) der Gammakamera, der nach einem Funktionscheck wieder verwendet werden soll. Ein Ausfall eines Photomultipliers kann die Diagnostik für ein Patientenbild derart einschränken, dass es zum Ausfall von Patientenuntersuchungen kommen kann. Der nachfolgende Austausch des PMT verursacht hohe Kosten.

Damit die PMTs vor dem erneuten Einsatz in einem „refurbished system“ auf ihre Funktionsfähigkeit getestet werden können, wurde ein Prüfstand für einen Photomultiplier entwickelt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Messungen durchgeführt, um die Abhängigkeit der PMT-Signale von den Umgebungsbedingungen, der Intensität einer Lichtquelle sowie der Aktivität und Energie von radioaktiven Isotopen in der Nuklearmedizin zu quantifizieren. Messungen fanden vor allem mittels zweier Photon Counting Units statt, die zusammen als Impulszähler arbeiten. Darüber hinaus wurde eine Messmethode entwickelt, um die PMT-Signale mittels LabVIEW® von einer Messkarte von National Instruments® auszulesen. Die verschiedenen durchgeführten Messungen validieren den PMT-Prüfstand und konnten zeigen, dass beim Photomultiplier R1306-09 der Firma Hamamatsu die Schwankung der Countrate mit zunehmender Warmlaufzeit abnimmt. Es ist außerdem zu erkennen, dass die Countrate mit der Intensität einer externen Lichtquelle bzw. mit zunehmender Aktivität eines Radioisotops ansteigt. Eine Abhängigkeit der Countrate von der Energie der Gammaquanten kann ausgeschlossen werden.

Abstract

Gamma cameras are often bought in clinical practice as “refurbished systems” because new systems are usually very expensive. The components that are reused must be tested in advance for their reliability. A central component of the imaging is the photomultiplier (PMT) of the gamma camera, which is reused after a function check. A failure of a photomultiplier can limit the diagnostics for a patient image so that it can lead to the failure of patient examinations. The subsequent exchange of the PMT causes high costs.

So that the PMTs can be tested for their functionality before being reused in a “refurbished system”, a test bench for a photomultiplier was developed. In this work, measurements were performed to quantify the dependence of PMT signals on environmental conditions, the intensity of a light source, and the activity and energy of radioactive isotopes in nuclear medicine. Measurements were primarily performed by two Photon Counting Units, which work together as a pulse counter. Furthermore a measurement method was developed to read the PMT signals using LabVIEW® from a National Instruments® measurement board. The various measurements carried out validated the PMT test bench and were able to show that with the photomultiplier R1306-09 from Hamamatsu the fluctuation of the countrate decreases with increasing warm-up time. It can also be seen that the countrate increases with the intensity of an external light source or with increasing activity of a radioisotope. A dependence of the countrate on the energy of the gamma quanta can be excluded.

1 Einleitung

Bei Gammakameras im klinischen Alltag kommen oftmals „refurbished systems“ zum Einsatz, bei denen die Photomultiplier (PMT) erhalten bleiben und nur bei Fehlfunktionen ausgetauscht werden. Ab und zu kommt es zu Ausfällen der PMT, die oftmals nur in bestimmten Winkeleinstellungen der Gammakamera auftreten. Diese „sporadischen“ Fehler sind in der klinischen Routine und für die Fehlersuche sehr ungünstig und teuer. Mittels eines von der OTH Amberg-Weiden entwickelten Prüfstandes kann untersucht werden, ob die PMTs voll funktionsfähig sind und ihre Ergebnisse wie Ausbeute, Energieeffizienz, Lagestabilität unter anderem valide sind. In einem ersten Schritt wurde der Teststand entwickelt, der es ermöglicht, einen Photomultiplier in einer lichtundurchlässigen Vorrichtung um 360° zu rotieren^[1,2]. Der eingebaute Photomultiplier ist das Modell R1306-09 (Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Herrsching am Ammersee, Deutschland, Abbildung 1). Zur Aufnahme von Messwerten kann das Ausgangssignalkabel zum einen an die Photon Counting Units C3866 und C8855-01 (Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Herrsching am Ammersee, Deutschland) verbunden werden, die zusammen als Impulszähler arbeiten und mittels einer Auswertesoftware auf einem PC eine Grafik der Impulse pro Zeiteinheit ausgeben. Zum anderen kann der Photomultiplier an das Oszilloskop DSO-X 2002A (Keysight Technologies, Santa Rosa, USA) angeschlossen werden. Ziel dieser Arbeit ist es, die Ausgangssignale des Photomultipliers charakterisieren zu können. Dazu wurde auf Basis von LabVIEW® eine Messkarte von National Instruments® (NI) etabliert, die auch die parallele Messung mit einem zweiten Photomultiplier ermöglicht.



Abbildung 1: Photomultiplier mit Szintillationskristall

2 Material und Methoden

Die Durchführung aller Messungen zur Charakterisierung der Photomultiplier-Signale geht vom gleichen Messaufbau aus. Der verwendete Photomultiplier wird in der lichtundurchlässigen Vorrichtung betrieben. Das Ausgangssignalkabel führt die PMT-Signale in die Photon Counting Units von Hamamatsu, die die Impulse pro Zeiteinheit erfassen können. Jede Messung wurde bei

einer am Photomultiplier angelegten Hochspannung von 1 kV durchgeführt.

Parallel zu diesen Messungen wurde die Messmethode mittels LabVIEW® und einer Messkarte von NI etabliert, um einen zweiten PMT in der Vorrichtung gleichzeitig zu messen.

2.1 Abhängigkeit von den Störgrößen auf das PMT-Signal

Vor der Durchführung einer Messung sollte der Photomultiplier eine Zeit lang warmlaufen, da die Ergebnisse von Messungen ohne Warmlaufen bzw. mit einer zu geringen Dauer variieren können^[3]. Deshalb wurde ermittelt, welche Warmlaufzeit beim aktuellen Photomultiplier nötig ist. Dazu wurden zwei Messreihen mit unterschiedlichen Warmlaufzeiten und bei ein- und ausgeschaltetem Raumlicht durchgeführt. Es wurde außerdem getestet, ob die Vorrichtung komplett lichtundurchlässig ist. Dazu wurden drei Messungen von jeweils 300 s Messdauer durchgeführt. Bei der ersten Messung war kein Licht im Messraum, bei der zweiten Messung war das Raumlicht eingeschaltet und bei der dritten Messung wurde mit einer Taschenlampe in den Kabelkanal der Vorrichtung geleuchtet, da dies die potenziell anfälligste Stelle ist. Bei beiden Parametern wurde die Dunkelzählrate gemessen. Diese stellt die Impulse pro Sekunde ohne Belichtung des PMTs dar.

2.2 Messsignal des PMT in Abhängigkeit der Lichtintensität sowie Aktivität und Energie des Radionuklids

Zur Untersuchung der Abhängigkeit des Messsignals des PMTs von der Lichtintensität wurde die Stromstärke einer sich in der lichtundurchlässigen Vorrichtung befindlichen LED UV-LED YDG-504VC variiert. Dabei wurden im Intervall von 10 μA die Stromstärken von 60 bis 100 μA eingestellt und mittels der Photon Counting Units die Countrate erfasst.

Um bestimmen zu können, inwiefern die Messsignale des PMTs von der Aktivität abhängen, wurde eine Messreihe mit Technetium-99m durchgeführt. Die Aktivität des Technetiums wurde dabei im Bereich von 300 kBq bis 358 MBq variiert, wobei mit sieben verschiedenen Aktivitäten Messungen durchgeführt wurden. Bei jeder Messung wurde die Countrate über die Photon Counting Units erfasst und ausgewertet.

Zur Messung der Abhängigkeit des Messsignals des PMTs von der Energie des Radionuklids wurden drei Messungen mit unterschiedlichen Nukliden – Cäsium-137, Cobalt-57 und Technetium-99m – durchgeführt. Die Aktivität des TC-99m Vials wurde mit einer Aktivität von 900 kBq im Bereich zwischen den 20,47 kBq des Co-57-Prüfstrahlers und den 2,09 MBq des CS-137-Prüfstrahlers gehalten, um

einen Effekt durch die Aktivität möglichst auszuschließen. Die Messergebnisse in Form der Countrate wurden mittels der Photon Counting Units bestimmt.

2.3 Messungen mittels LabVIEW® und NI-Messkarte

Zusätzlich zu den Messungen mit den Photon Counting Units sollte noch eine zweite Messmöglichkeit mittels LabVIEW® und einer NI-Messkarte aufgesetzt werden. Dazu wurde das Ausgangssignal des PMTs von der Messkarte NI-USB 6361 aufgezeichnet. Das Auslesen der Daten von der Messkarte erfolgte dann mittels eines selbst erstellten LabVIEW® VIs, welches die Daten von der Messkarte ausliest und zur Auswertung der Countrate mittels MATLAB® abspeichert. Zudem ist über die Analyse durch Matlab möglich, die Amplitude der Impulse zu erfassen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Abhängigkeit von den Störgrößen auf das PMT-Signal

Die Messungen zur Warmlaufzeit des PMTs zeigen, dass die Countrate bei eingeschaltetem Raumlicht immer höher als bei ausgeschaltetem Raumlicht ist. Außerdem konnte erkannt werden, dass die Countrate vor allem bei geringeren Warmlaufzeiten einer größeren Schwankung unterliegt als nach einer längeren Warmlaufzeit. Allerdings ist zu beachten, dass jede gemessene Countrate im Toleranzbereich von unter 100 Impulsen pro Sekunde (cps) liegt^[3]. Deshalb scheint für den benutzten PMT die Warmlaufzeit vernachlässigbar.

Bei den Messungen auf die Lichtundurchlässigkeit der Vorrichtung zeigte sich, dass die Countrate mit zunehmendem Licht kontinuierlich ansteigt (Abbildung 2).

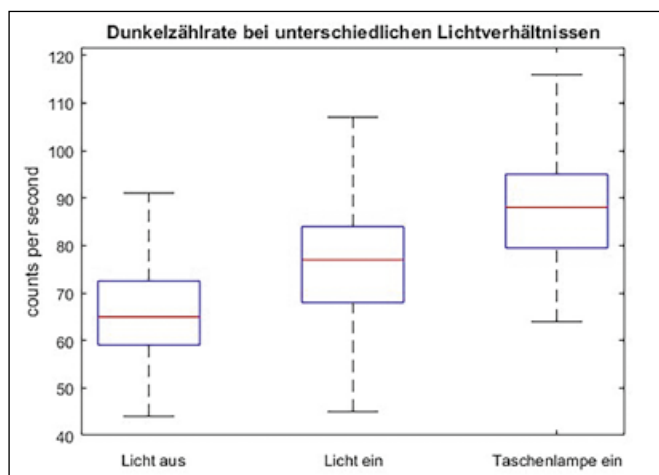


Abbildung 2: Anstieg der Dunkelzählrate bei zunehmenden Lichtverhältnissen. Dargestellt ist der Median, das erste und dritte Quartil und die Spannweite der Daten.

Der Anstieg der Countrate ist dabei aber immer innerhalb der von Hamamatsu angegebenen Toleranz von unter

100 cps^[3], so dass man festhalten kann, dass die Vorrichtung nicht komplett lichtundurchlässig, für die Messungen aber völlig ausreichend ist.

3.2 Messsignal des PMT in Abhängigkeit der Lichtintensität sowie Aktivität und Energie des Radionuklids

Die Messung der Abhängigkeit der Countrate von der Intensität der LED zeigt, dass die Countrate mit zunehmender Stromstärke durch die LED zunimmt (Abbildung 3). So ergibt sich bei einer Stromstärke von 60 μA ein Wert von 846 cps. Danach steigt die Countrate annähernd linear an, bis bei 100 μA der maximal gemessene Wert der Countrate von 2403 cps erreicht wurde. Dieses Ergebnis deckte sich mit dem aus der Literatur zu erwartenden Ergebnis, dass die Countrate mit zunehmender Lichtintensität ansteigen muss^[4].

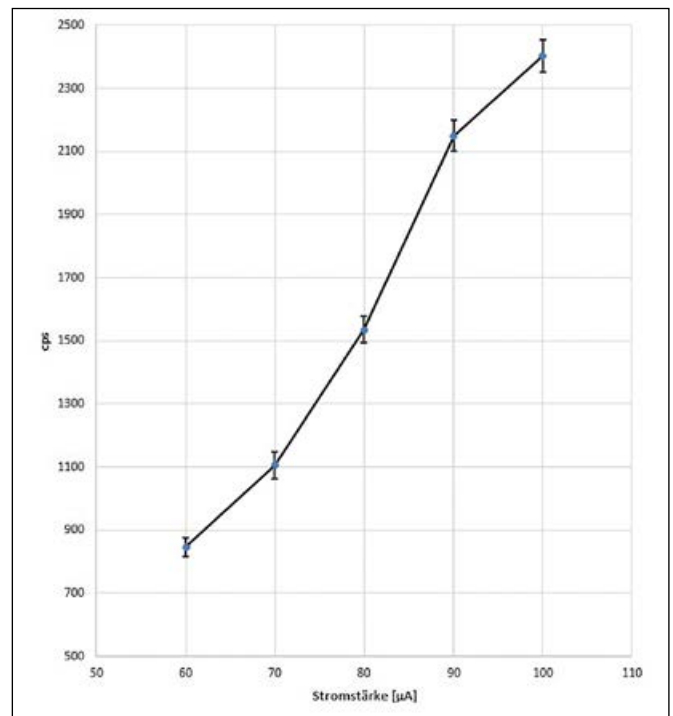


Abbildung 3: Annähernd linear ansteigende Countrate bei steigender Stromstärke (entspricht steigender Beleuchtungsstärke [lx]) durch die LED

Bei der Betrachtung der Abhängigkeit von der Aktivität konnte ebenfalls eine Zunahme der Countrate bei steigender Aktivität des Radionuklids beobachtet werden (Abbildung 4). Bis zu einer Aktivität von 22,21 MBq ist ein annähernd linearer Anstieg der Countrate zu erkennen. Die beiden Messwerte bei 24,49 MBq mit 330.551 cps und bei 284,39 MBq mit 2387 cps passen nicht mehr zur kontinuierlichen Zunahme von zuvor. Aus der Literatur wurde entnommen, dass die Countrate theoretisch mit steigender Aktivität ebenfalls zunehmen müsste^[4]. Die beiden letzten Messwerte passen dementsprechend nicht, können aber damit erklärt werden, dass der PMT bei zu hohen Aktivitäten in einen Sättigungsbereich kommt und nicht mehr alle Impulse richtig erfasst werden können.

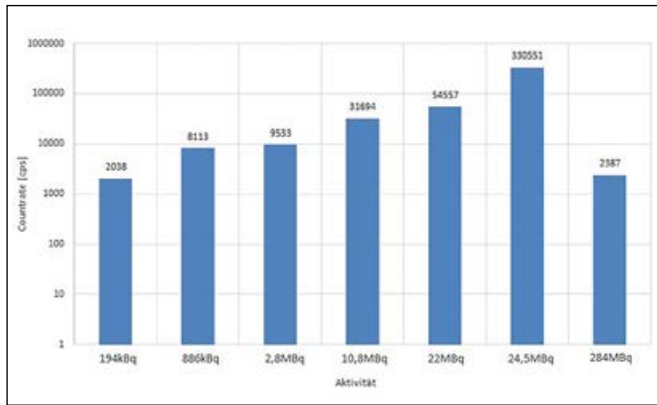


Abbildung 4: Halblogarithmische Darstellung der Countrate bei zunehmender Aktivität von Tc-99m. Bis zu einer Aktivität von 22 MBq konnte ein linearer Zusammenhang reproduziert werden.

Die Messungen zur Bestimmung der Abhängigkeit der Messsignale des PMTs von der Energie des Radionuklids ergaben, dass die Countrate mit dem Cobalt-Prüfstrahler mit einer Countrate von 108 cps am geringsten ist. Im Vergleich dazu wurde mit Technetium schon eine Countrate von 8813 cps erreicht, wobei die Countrate mit 51762 cps bei der Messung mit dem Cäsium-Prüfstrahler mit Abstand am höchsten ist (Abbildung 5). Cobalt-57, das Gammaquanten mit einer Energie von 122 keV emittiert, hat die geringste Countrate. Dagegen ist die Countrate des Technetium-99m, das Gammaquanten mit einer Energie von 141 keV emittiert, sehr viel höher. Diese sehr starke Abhängigkeit von der Energie kann durch die Countrate von Cäsium-137, das Gammaquanten mit einer Energie von 662 keV emittiert, nicht bestätigt werden, da diese Countrate sonst sehr viel höher sein müsste.

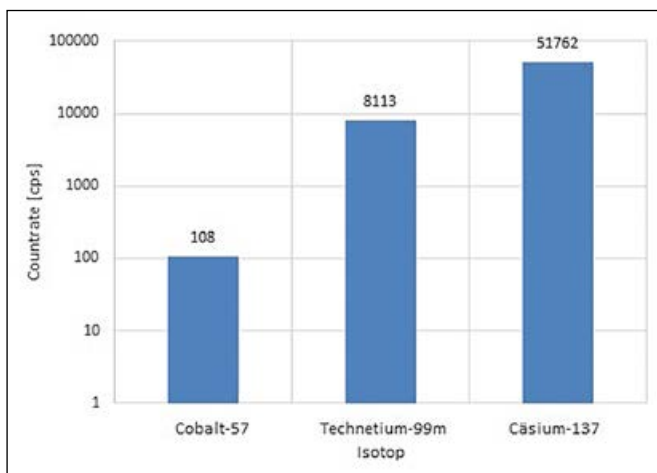


Abbildung 5: Zunehmende Countrate bei verschiedenen Radionuklidenergien ohne erkennbaren Zusammenhang zur Energie

Aus der Literatur konnte entnommen werden, dass eine höhere Energie des Radionuklids eine größere Amplitude des Impulses zur Folge haben muss. Hintergrund davon ist, dass die Ausbeute des Natrium-Iodid-Kristalls energieabhängig ist, was bedeutet, dass eine höhere Energie zu einer höheren Anzahl an Lichtquanten führt. Diese treffen allerdings zeitgleich auf den PMT, was somit nur einen Impuls, dafür aber mit einer größeren Amplitude zur

Folge hat. Die Countrate müsste damit konstant bleiben^[4, 5]. Dieser Zusammenhang konnte nicht gemessen werden, was aber auch sinnvoll ist, da die Photon Counting Units die Amplitude der Impulse in eine binäre Logik umwandeln und so die Amplitude verloren geht.

3.3 Validierung der LabVIEW®-Messmethoden

Es wurde eine Messung mittels der LED mit 100 μ A, analog zur Messung aus Kapitel 3.2, mit der NI-Messkarte durchgeführt und ausgewertet. Die dabei ausgewertete Countrate wurde mit 150 cps im Mittel berechnet (Abbildung 6). Im Vergleich dazu war die mit den Photon Counting Units gemessene Countrate, bei sonst gleichem Messaufbau, mit im Mittel 2403 cps sehr viel höher.

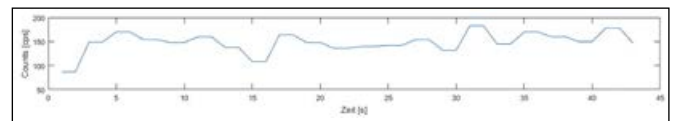


Abbildung 6: Countrate bei der Messung mit einer LED bei der Stromstärke von 100 μ A mit der NI-Messkarte und MATLAB®-Analyse

Wird bei der Auswertung ein Kalibrierfaktor hinzugezogen, erhält man zwei valide arbeitende Systeme. Dabei ist es zusätzlich möglich, dass mittels LabVIEW® eine erweiterte Signalanalyse durchgeführt werden kann.

4 Fazit und Ausblick

Mithilfe dieser Arbeit war es möglich, die Messsignale eines Photomultipliers zu charakterisieren. Dabei wurde die Abhängigkeit der Messsignale sowohl von der Intensität einer Lichtquelle als auch von der Aktivität und Energie des Radionuklids und von den Störgrößen bestimmt. Es wurde auch verglichen, ob die gemessenen Abhängigkeiten mit den aus der Literatur zu erwartenden Ergebnissen übereinstimmen. Mit dem Messaufbau durch eine NI-Messkarte und LabVIEW® ist es möglich, das PMT-Signal weiter zu differenzieren. Die Auswertung mittels MATLAB® ermöglicht eine umfangreiche Signal-Analyse. Dieser Aufbau kann durch einen entsprechenden Vorverstärker und angepasste Auswertung noch sensitiver gestaltet werden.

Referenzen:

- [1] Maiß, Theresa: Entwicklung eines mit Labview zu automatisierenden Prüfstandes zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Photomultipliern in verschiedenen Lagen im Raum. Weiden, OTH Amberg-Weiden, Medizintechnik, Bachelorarbeit 2016
- [2] Ruppert, Leonhard: Entwicklung eines Prüfstands für Photomultiplier zur Überprüfung der Langzeitstabilität und Energieabhängigkeit. Weiden, OTH Amberg-Weiden, Medizintechnik, Bachelorarbeit 2017
- [3] Klose, Norbert, Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Herrsching am Ammersee, Gespräch im Bearbeitungszeitraum der Bachelorarbeit
- [4] Hamamatsu Photonics K.K.: Photomultiplier Tubes : Basics and Applications. 3.a Auflage, Japan, 2007
- [5] Kolanski, Hermann, Wermes, Norbert: Teilchendetektoren: Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Springer Verlag, 2016

Kontakt:



Jonas Habrich, B.Eng.

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



Agnes Pöllmann, M.Sc.

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

a.poellmann@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

Spritzprägen mikrostrukturierter Oberflächen in der Medizintechnik

Dr. Bernhard Schmitt
Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen

Zusammenfassung

Die Herstellung von Mikrostrukturen mittels Spritzgießen stellt eine Herausforderung dar. Bei immer kleiner werdenden Strukturen werden das vollständige Füllen der Kavitäten und damit einhergehend die exakte Abformung der Geometrien zunehmend schwieriger, da über die Werkzeugwand zu viel Temperatur verloren geht und damit die Schmelze einfriert, noch bevor die Struktur abgebildet ist. In bisherigen Versuchen konnte schon die Abformung erster Strukturen gezeigt werden^[1], jedoch hat sich die Abformung von Strukturen im Spritzgießen als schwierig und nur wenig vorhersehbar herausgestellt. Spritzprägen stellt hingegen ein Verfahren dar, mit dem sich filigrane Strukturen besser abformen lassen. Ziel ist es, die Abformbarkeit von Mikrostrukturen im Spritzprägen näher zu untersuchen und wichtige Eigenschaften zu charakterisieren.

Abstract

A challenging task in injection molding is the production of microstructured molded parts. A complete filling of the part is increasingly difficult once the desired structures get smaller and smaller. A too high loss of temperature at the mold wall causes the melt to freeze before the structure is reached by the melt flow. Previous molding trials have led to first microstructures^[1], however it turned out that this process is rather difficult and poorly predictable. In contrast, injection compression molding allows the production of delicate structures more easily. Target is the investigation of the production of microstructures by injection compression molding as well as the characterization of key properties.

Einleitung

Mikrostrukturen stellen eine innovative Möglichkeit dar, Funktionen zu realisieren. Sie können eigene Benetzungseigenschaften zeigen, die Reibung zu einem Partner oder zur Umgebung beeinflussen oder auch als optisch erkennbares geometrisches Element fungieren. So spielen Mikrostrukturen bzw. mikrostrukturierte Oberflächen die Schlüsselrolle bei Compact Discs, sie können aber auch in einem anderen technischen Umfeld eingesetzt werden. Eine Studie zeigt das Potenzial auf, die Haftung der Kunststoffschmelze am Formwerkzeug zu reduzieren^[2]. In^[3] konnte das Verbesserungspotenzial des Reib- und Verschleißverhaltens von Kunststoffketten in Förderanlagen aufgezeigt werden. In der Medizintechnik kommt die Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarung häufig vor. Stechhilfen sollen sehr schnelle Bewegungen realisieren, ein Notfallpen muss auch nach langer Lagerzeit auf Anhub – also ohne Einlaufkurve – zuverlässig funktionieren und auch

beim Insulinpen oder dem Inhaler stellen kinematische Baugruppen die Schlüsselfunktion dar. Allen gemeinsam ist die Notwendigkeit, eine Schmierung durch Öle oder sonstige externe Gleitstoffe zu vermeiden. Bei diversen Anwendungen in der Lebensmittel-, Medizin- und Pharmatechnik ist der Verzicht auf Schmiermittel (sogenannter Trockenlauf) sogar obligatorisch, um eine Kontamination der Produkte mit Lubrikanzien zu vermeiden. Additive im Kunststoff können die Reibung verbessern, wirken sich jedoch häufig negativ auf die mechanische Belastbarkeit des Bauteils aus und müssen zudem zulassungskonform sein.

Ziel des Projekts ist die Herstellung von Probegeometrien mit feinen Linienmustern im Spritzprägen und deren Charakterisierung. Es geht dabei um die Qualität der Abformung selbst, aber auch die Analyse der entstehenden Strukturen hinsichtlich ihrer tribologischen Eigenschaften. Soweit nicht anders angegeben, stammen Bilder

und Daten des Artikels aus der Bachelorarbeit „Spritzprägen mikrostrukturierter Kunststoffbauteile für die Medizintechnik und Untersuchung des Abformverhaltens der Mikrostrukturen“ [4].

Versuchsbeschreibung

Werkzeug

Das Formwerkzeug ist für den Spritzprägevorgang konzipiert. Es umfasst zwei Kavitäten, die jeweils eine Platte der Größe 118 mm x 30 mm x 2 mm abbilden (Abb. 1). Für den besonderen Füllvorgang sind Tauchkanten vorgesehen. Düsenseitig befinden sich die beiden Formeinsätze. Diese wurden mithilfe von ultrakurzen Laserpulsen strukturiert, sodass jeder Einsatz vier unterschiedliche quadratische Felder einer Kantenlänge von 20 mm mit feinen Linien darstellt, wie Abbildung 2 schematisch zeigt. Der prinzipielle Aufbau der Linienstrukturen ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Linienbreite variiert zwischen 20 und 50 µm, die Tiefe zwischen 10 und 20 µm und die Periodizität liegt zwischen 100 und 300 µm bei einer Länge von immer 20 mm. Tabelle 1 listet die verfügbaren Strukturen auf. Die Anbindung der Platten erfolgt von unten über entsprechende Verteiler.

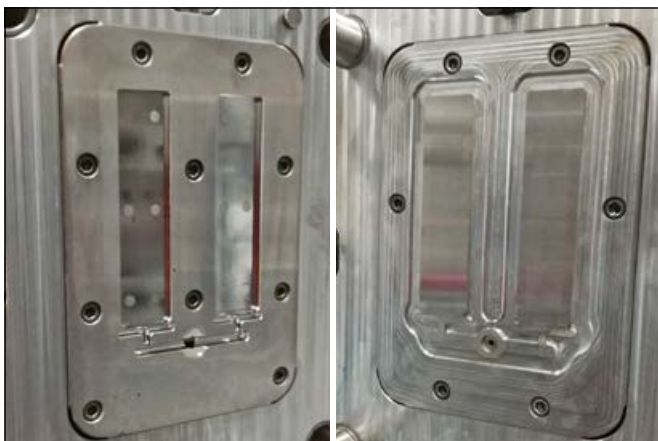


Abbildung 1: Auswerferseitige Werkzeughälfte (links) und düsenseitige Werkzeughälfte mit strukturierten Wechseleinsätzen (rechts)

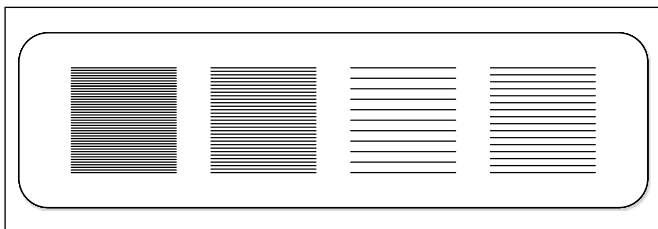


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Linienfelder auf einem Probekörper

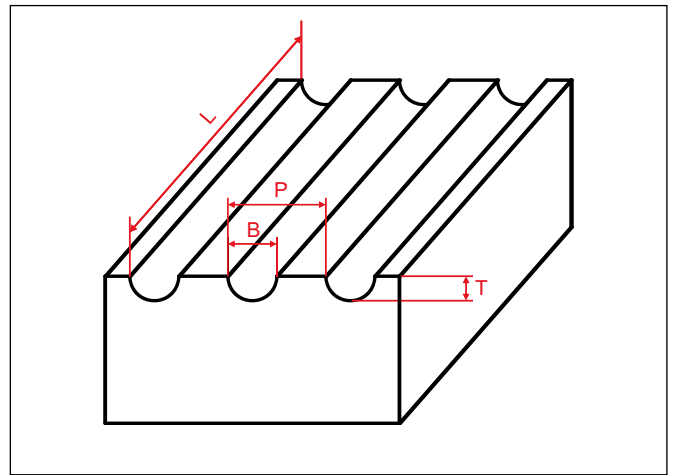


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Strukturen mit den Variablen Länge (L), Breite (B), Tiefe (T) und Periodizität (P)

Tabelle 1: Geometrische Daten der untersuchten Mikrostrukturen

| | Breite B (µm) | Tiefe T (µm) | Periodizität P (µm) |
|-------------|---------------|--------------|---------------------|
| Struktur 1 | 20 | 10 | 100 |
| Struktur 2 | 20 | 20 | 100 |
| Struktur 3 | 30 | 10 | 100 |
| Struktur 4 | 30 | 20 | 100 |
| Struktur 5 | 40 | 10 | 100 |
| Struktur 6 | 40 | 20 | 100 |
| Struktur 7 | 50 | 10 | 100 |
| Struktur 8 | 50 | 20 | 100 |
| Struktur 9 | 20 | 10 | 200 |
| Struktur 10 | 20 | 20 | 200 |
| Struktur 11 | 30 | 10 | 200 |
| Struktur 12 | 30 | 20 | 200 |
| Struktur 13 | 40 | 10 | 200 |
| Struktur 14 | 40 | 20 | 200 |
| Struktur 15 | 50 | 10 | 200 |
| Struktur 16 | 50 | 20 | 200 |
| Struktur 17 | 20 | 10 | 300 |
| Struktur 18 | 20 | 20 | 300 |
| Struktur 19 | 30 | 10 | 300 |
| Struktur 20 | 30 | 20 | 300 |
| Struktur 21 | 40 | 10 | 300 |
| Struktur 22 | 40 | 20 | 300 |
| Struktur 23 | 50 | 10 | 300 |
| Struktur 24 | 50 | 20 | 300 |

Spritzprägen als Alternative zum Spritzgießen

Anders als beim Spritzgießen wird beim Spritzprägen die Form während des Füllvorganges zunächst nicht vollständig geschlossen. Das Werkzeug bleibt um den so genannten Prägespalt geöffnet, während die Kavitäten jedoch bereits durch die umlaufenden Tauchkanten nach außen schmelzedicht abgedichtet sind. Anstatt eines punktuellen Nachdruckes wird in der Endphase des Füllvorgangs

die Form um den Prägespalt (bis auf die Trennebene) geschlossen und so ein homogener flächiger Druck auf das gesamte Bauteil ausgeübt. Die wesentlichen Vorteile des Spritzprägens gegenüber dem Spritzgießen beruhen somit auf dem günstigeren Aspektverhältnis „Fließweglänge zu Fließkanalhöhe“ beim Füllvorgang sowie der gleichmäßigen Verdichtung der Formmasse beim Prägevorgang. Der Prägehub und die Prägegeschwindigkeit sind neben den aus dem Spritzgießen geläufigen thermischen Parametern für diesen Vorgang charakteristisch.

Spritzgießmaschine

Zur Durchführung der Spritzgießversuche wurde von der Firma Gerresheimer Regensburg GmbH, Wackersdorf, eine Spritzgießmaschine der Firma Krauss Maffei vom Typ PX 160-250 bereitgestellt. Die Schließkraft dieser Maschine beträgt maximal 1600 kN.

Materialauswahl

Es wurden Probekörper aus zwei Materialien, einem amorphen und einem teilkristallinen Thermoplast, abgemustert. Ausgewählt wurden ein Polycarbonat vom Typ Makrolon 2458 der Firma Covestro AG, Leverkusen, sowie ein Polyoxymethylen vom Typ Hostaform MT12U01 der Firma Celanese Services Germany GmbH, Sulzbach (Taunus). Bei POM als Werkstoff wurde eine Parametervariation während der Abmusterungen durchgeführt. Tabelle 2 beschreibt die variierten Parameter. Im Folgenden wird eine bestimmte geometrische Struktur, die unter einer der Einstellungen hergestellt wurde, mit Strukturnummer und Versuchsindex bezeichnet. „8.3“ steht beispielsweise für Struktur 8, die mit den Einstellungen 3 entsprechend Tabellen 1 und 2 hergestellt wurde. Für Polycarbonat war ebenfalls eine Studie geplant. Jedoch konnte bislang keine systematische Parametervariation durchgeführt werden, weil sich das Material im Füll- und Schwindungsverhalten als deutlich schwieriger gezeigt hat. Einzelne Proben konnten jedoch für weiterführende Untersuchungen hergestellt werden ^[4].

Tabelle 2: Parametervariation der Abmusterungen mit POM

| Versuchsindex | A Restkühlzeit (s) | B Werkzeugtemperatur (°C) | C Zylindertemperatur/Heißkanaltemperatur (°C) |
|---------------|--------------------|---------------------------|---|
| 1 | 15 | 80 | 190 |
| 2 | 19 | 80 | 190 |
| 3 | 15 | 100 | 190 |
| 4 | 19 | 100 | 190 |
| 5 | 15 | 80 | 210 |
| 6 | 19 | 80 | 210 |
| 7 | 15 | 100 | 210 |
| 8 | 19 | 100 | 210 |
| | 17 | 90 | 200 |

Optische Charakterisierung

Die optische Charakterisierung der abgeformten Strukturen erfolgte an einem Laser-Scanning-Mikroskop Keyence VK-X210 der Firma Arges GmbH, Wackersdorf. Die spezielle Optik des Mikroskops erlaubt eine räumliche Erfassung und Vermessung des Bauteils.



Abbildung 4: Laser-Scanning-Mikroskop Keyence VK-X210

Reibversuche

Die Messung der Reibung folgte dem Kugel-Platte-Prinzip. Eine kommerziell erhältliche Kunststoffkugel mit dem Durchmesser 10 mm aus POM Ultraform H2320 dient als Reibpartner. Die Versuche wurden am ForceBoard Industrial der Firma Industrial Dynamics Sweden, Järfälla (Schweden), durchgeführt.

Tabelle 3: Einstellungen zur Durchführung der Reibversuche

| | |
|---------------------|----------|
| Normalkraft | 1,35 N |
| Prüfgeschwindigkeit | 5 mm/s |
| Messstrecke | 10 mm |
| Sampling Speed | 40 Hz |
| Messzyklen | 50, 1200 |

Ergebnisse

Die Abformung einer relativ groben Struktur (B = 50 µm, T = 20 µm, P = 100 µm, Bezeichnung Struktur 8) ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Es zeigt sich, dass in keiner Einstellung die Struktur vollständig abgeformt werden konnte. Allerdings haben alle Einstellungen zu Strukturen geführt, obgleich diese in Tiefenrichtung meist

eine maximale Erstreckung von nur knapp 15 μm aufweisen, statt der werkzeugseitig vorgegebenen möglichen Tiefe von 20 μm .

Beispielgraph

Bei hinreichender Breite und Tiefe der vorgegebenen Struktur kann eine gute, wenn auch nicht ganz vollständige Abformung erreicht werden.

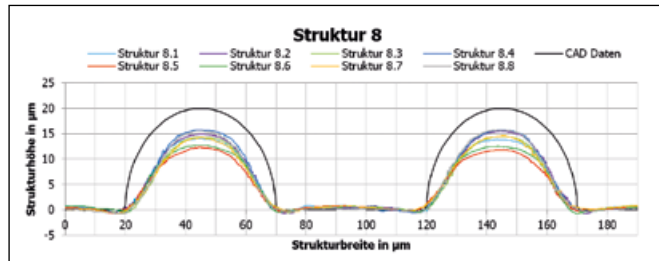


Abbildung 5: Abformung einer Linienstruktur im Spritzprägen im Vergleich zur Sollgeometrie ($B = 50 \mu\text{m}$, $T = 20 \mu\text{m}$ und $P = 100 \mu\text{m}$)

Anders sieht es bei einer flacheren und engeren Struktur ($B = 20 \mu\text{m}$, $T = 10 \mu\text{m}$, $P = 100 \mu\text{m}$, Bezeichnung Struktur 1) aus. Trotz des Prägens konnten nur relativ geringe Strukturhöhen erzeugt werden. Der verhältnismäßig große Abstand der Strukturen ist nicht planar, sondern ebenfalls leicht aufgewölbt. Der Einfluss der Temperaturführung zeigt sich hier deutlicher. Einige Einstellungen führten zu keiner merklichen Struktur, andere erlaubten immerhin eine Strukturhöhe von einigen μm . Eine höhere Werkzeugtemperatur fördert erwartungsgemäß die Ausprägung der Strukturen. Bei höherer Werkzeugtemperatur ist die Abkühlung der Schmelze verzögert, was eine bessere Abformung der Strukturen erklärt. Weniger trivial ist, dass eine hohe Massetemperatur der Ausbildung tendenziell entgegenwirkt. Zunächst ist zu erwarten, dass sich eine heißere Schmelze, nicht zuletzt aufgrund der dann geringeren Schmelzeviskosität, besser in die Form einbringen lässt. Aber ihre Schwindung ist bei höherem Temperaturgradienten größer und der Prägevorgang wirkt nicht in gleichem Maß. Eine Verbesserung der Prägung rein über Temperaturerhöhung konnte in diesem Fall nicht beobachtet werden. Eine verlängerte Kühlzeit erhält den Prägedruck länger aufrecht, was die Qualität der Prägung etwas verbessert.

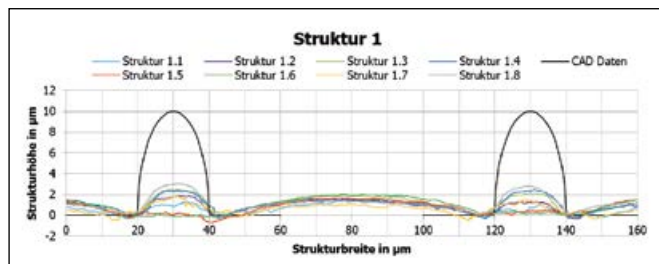


Abbildung 6: Abformung einer feinen Linienstruktur im Spritzprägen im Vergleich zur Sollgeometrie ($B = 50 \mu\text{m}$, $T = 20 \mu\text{m}$ und $P = 100 \mu\text{m}$)

In einem Vergleich mit einer früheren Arbeit^[1] kann gezeigt werden, dass durch Optimierung des Prägevorgangs insgesamt die Ausbildung der Strukturen wesentlich beeinflusst werden kann. Während bei einer Probestruktur in einer ersten Abmusterung eine Höhe von nur etwa 1 μm erreicht werden konnte, ist durch gezielte Variation der maßgeblichen Parameter die Ausbildung einer Struktur bis zu einer Höhe von etwa 10 μm möglich.

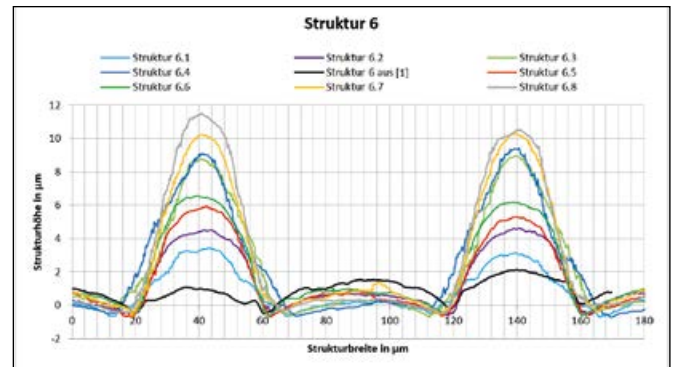


Abbildung 7: Vergleich der Abformqualität einer Struktur mit einer früheren Musterung ($B = 40 \mu\text{m}$, $T = 20 \mu\text{m}$ und $P = 100 \mu\text{m}$)

Mit den oben bereits gezeigten Strukturen wurden Reibversuche durchgeführt.

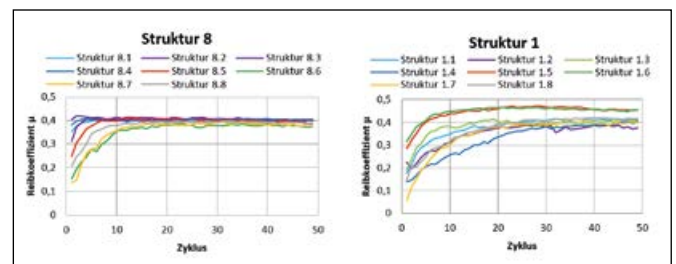


Abbildung 8: Reibkoeffizienten einer strukturierten POM-Oberfläche gegen eine Kugel aus POM.

Es zeigt sich, dass eine geometrisch vollständigere Abformung nicht zu einer großen Reibminderung führt, während visuell schlechter abgeformte Strukturen ein z. T. höheres Potenzial zur Beeinflussung der Reibung zeigen. Für Struktur 8 sind die Werte vergleichbar mit einer glatten POM/POM-Paarung. Der Einfluss der Strukturierung ist nur innerhalb der ersten Zyklen erkennbar und nicht sehr stark ausgeprägt. Für die deutlich kleinere Struktur 1 kann ausgesagt werden, dass ein Fehlen der erhabenen Linien, wie für Strukturen 1.5 und 1.6 zu erkennen, eine gleichförmig hohe Reibung nach sich zieht, wie sie von einer unstrukturierten Fläche erwartet wird. Sind die Strukturen selbst nur im Bereich weniger μm Höhe ausgeprägt, zeigt sich bereits ein Einfluss auf die Reibung. Eine genaue Korrelation aus ermittelter Strukturhöhe und Reibkoeffizient lassen sich bislang jedoch nicht sicher ableiten.

In mikroskopischen Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass die beobachtbare Abschwächung des Einflusses auf die Reibung (= der stationäre Wert von 0,4–0,5) nicht mit

einer Zerstörung der Strukturen korreliert. Es kommt vielmehr zu einer Glättung und leichten Verrundung der Strukturen ohne größeren Abtrag (siehe Abbildung 9).

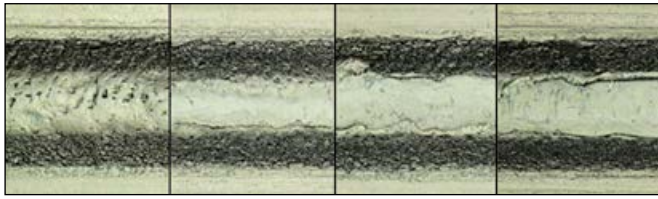


Abbildung 9: Laserbildaufnahme von Struktur 8, Versuch 7 ohne Reibprüfung sowie nach 5, 20 und 50 Reibzyklen (von links nach rechts geordnet)

Reibversuche mit Proben aus Polycarbonat

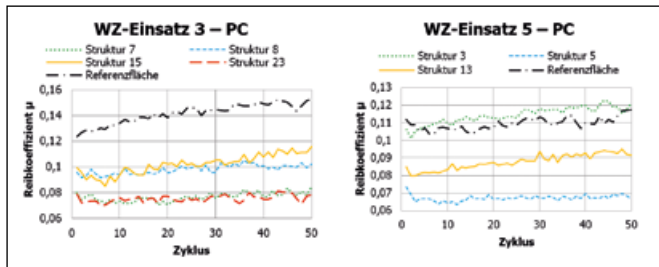


Abbildung 10: Reibkoeffizient einer Paarung aus strukturiertem Polycarbonat gegen eine Kugel aus POM

Die Reibpaarung PC/POM ist naturgemäß günstiger als POM/POM. Obwohl die Reibungskoeffizienten auf der unstrukturierten Referenzfläche mit ca. 0,11–0,15 schon niedrig ausfallen, kann mithilfe von Strukturierungen eine weitere Absenkung auf Werte unter 0,07 erreicht werden. Aufgrund der limitierten Anzahl der möglichen Versuche ist eine tiefer greifende Analyse der Einflussgrößen bei Polycarbonat derzeit nicht möglich.

Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass Spritzprägen bei geeigneten Parametern die Abformung von Mikrostrukturen begünstigt. Allerdings ist das Potenzial an Möglichkeiten damit noch nicht ausgeschöpft. Eine Werkzeugevakuierung wie auch die Option einer variothermen Temperierung sind weitere Herangehensweisen zur noch präziseren geometrischen Abformung. Erstaunlich ist, dass eine weitere Optimierung der Reibung alleine durch verbesserte Abformung nicht erwartet werden kann. Ein tieferes Verständnis zum Zusammenspiel von adhäsiver und deformativer Reibung und der dafür notwendigen Strukturen ist notwendig. Hierzu sind im nächsten Schritt neben praktischen Versuchen auch unterstützend Berechnungen zum Lastfall geplant.

Referenzen:

- [1] D. Will, Spritzprägen von mikrostrukturierten Kunststoffbauteilen für die Medizintechnik und tribologische Untersuchung der resultierenden Oberfläche, Masterarbeit an der OTH Amberg-Weiden, 2017
- [2] D. Conrad, L. Richter, Ultra-short pulse laser structuring of molding tools, Physics Procedia 56 (2014) 1041–1046
- [3] A. Schumann et al, Oberflächenstrukturen zur Reibungs- und Verschleißreduzierung von Kunststoff-Kunststoff-Reibpaarungen in Förderanlagen, 52. Tribologie-Fachtagung, Göttingen 2011
- [4] A. Forster, Spritzprägen mikrostrukturierter Kunststoffbauteile für die Medizintechnik und Untersuchung des Abformverhaltens der Mikrostrukturen, Bachelorarbeit an der OTH Amberg-Weiden, 2018

Projektpartner:

Gerresheimer Regensburg GmbH

Fördergeber:

GERRESHEIMER

Kontakt:

Dr. Bernhard Schmitt

Gerresheimer Regensburg GmbH
Oskar-von-Miller-Straße 6
92442 Wackersdorf

b.schmitt@gerresheimer.com



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



EINE STARKE VERBINDUNG FÜR DIE ZUKUNFT

Erleben Sie wie Industriemineralien von uns zu hochfunktionellen Füllstoffen für die unterschiedlichsten Produkte veredelt werden.

Sie möchten im Rahmen eines Praktikums interessante Einblicke in unsere alltägliche Arbeit gewinnen? Oder Sie studieren Angewandte Chemie, Maschinenbau/Versorgungstechnik, Verfahrenstechnik, Werkstofftechnik oder Wirtschaftsingenieurwesen und stehen kurz vor dem Abschluss?



Dann schauen Sie doch auf unserer Homepage vorbei.
Dort veröffentlichen wir regelmäßig attraktive Stellenausschreibungen,
Abschlussarbeiten oder Praktika.

Gebrüder Dorfner GmbH & Co.
Kaolin- und Kristallquarzsand-Werke KG

Scharhof 1
92242 Hirschau
Deutschland

Tel: 096 22 / 82-0
E-Mail: karriere@dorfner.com

www.dorfner.com



Zusammenfassung

Miniatur-pH-Sensoren auf Basis von Metalloxid-Elektroden versprechen vielseitige Anwendungen in Chemie, Medizin und Technik. Neben der mechanischen und chemischen Beständigkeit der Aktivschicht ist eine inerte Bezugs elektrode für die zuverlässige Potenzialmessung notwendig. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit gedruckten Ag | AgCl-Elektroden und neuartigen Alternativen.

Abstract

Miniaturized pH sensors based on metal oxide electrodes promise various applications in chemistry, medicine and technology. Besides the mechanical and chemical stability of the active layer, an inert reference electrode is required for reliable potential measurements. This article outlines screen-printed Ag | AgCl electrodes and novel alternatives.

1 Was ist eine Referenzelektrode?

Referenz- oder Bezugs elektroden (RE) schließen den Stromkreis zwischen Arbeitselektrode (WE) und hoch-ohmigem Spannungsmessgerät^[1]. Sie sollen ein konstantes Potenzial in beliebiger Lösung liefern, sodass die abgelesene Ruhezellspannung E nur vom gesuchten Elektrodenpotenzial ϕ der Arbeitselektrode bestimmt wird.

$$E = \phi_{WE} - \phi_{RE} \quad (1)$$

Das tabellierte Bezugspotenzial der Referenzelektrode wird üblicherweise gegen eine Normalwasserstoffelektrode (NHE) unter definierten Bedingungen gemessen. Weit verbreitet ist die Silber-Silberchlorid-Bezugs elektrode, ein mit AgCl überzogener Silberdraht, der sich in einer Kaliumchlorid-Lösung befindet. Dieses System wird direkt oder über eine Salzbrücke mit der zu messenden Lösung verbunden. Weitere Referenzsysteme sind in Tabelle 1 aufgeführt. Kommerziellen Bezugs elektroden fehlt die Miniaturisierbarkeit.

Tabelle 1: Referenzpotenziale von Bezugs elektroden gegen NHE bei 25 °C.

| Elektrode (Metall Salz Lösung) | E (mV) |
|---|----------|
| Hg Hg ₂ Cl ₂ KCl gesättigt | 244 |
| Ag AgCl KCl gesättigt | 197 |
| Ag AgCl KCl 3 mol/l | 208 |
| Ag AgCl LiCl ₃ gesättigt in Ethanol | 143 |
| Ag AgCl NaClO ₃ gesättigt in Eisessig | 350 |
| Ag AgNO ₃ 0,1 mol/l in CH ₃ CN | 630 |
| Hg Hg ₂ SO ₄ K ₂ SO ₄ gesättigt | 658 |

2 Sensorbau

Auf Träger aus Natron-Kalk-Glas wurden mittels Siebdruck Silber-Palladium-Leiterbahnen aufgebracht und bei 600 °C eingebrannt^[2]. Die Leiterbahnen bildeten eine Interdigitalstruktur oder eine Dreielektrodenanordnung (Abbildung 1). Die Aktivschicht der Arbeitselektrode bestand (i) aus einer kommerziellen Rutheniumdioxid-Siebdruckpaste, die für 2 Stunden bei 300 °C eingebrannt wurde, oder (ii) aus durch einen Sol-Gel-Prozess aus RuCl₃ gewonnenem RuO₂, das mit 20 Prozent Ethylcellulose in Terpeneol gebunden und bei Raumtemperatur getrocknet wurde. Leiterbahnen, die nicht in Kontakt mit dem Untersuchungsmedium kommen dürfen, wurden mit Epoxidharz versiegelt.



Abbildung 1: Bauarten der Sensoren. Links: Interdigitalstruktur mit Ag | AgCl-Strang und RuO₂-Strang. Rechts: Dreielektrodenanordnung aus Epoxidharz-Grafit, RuO₂/Ethylcellulose und Ag | AgCl mit Epoxidharz-KCl

2.1 Galvanische Referenzelektroden

Silber-Silberchlorid-Elektroden wurden durch anodische Oxidation von Silber-Leiterbahnen in 1-molarer Salzsäure gegen eine Titanblech-Kathode hergestellt (2 min, 1 mA). Die anfangs silberweiße Schicht verfärbt sich dabei gräulich.

2.2 Nafion-Beschichtung

Nafion ist ein protonenleitendes Perfluorsulfonat mit hoher mechanischer und chemischer Stabilität [3]. Durch Tauchbeschichtung mit ethanolischer Nafion-Lösung wurde die Silber-Silberchlorid-Schicht vor Fremdstoffen und Ablösung geschützt. Nach Eintrocknen der Nafion-schicht bei Raumtemperatur wurde die Elektrode verwendet.

2.3 Polyanilin-Beschichtung

Polyanilin ist ein leitfähiges Polymer [4]. Die anodische Beschichtung der Ag | AgCl-Struktur erfolgte aus 1-molaren Lösungen von Anilin und Schwefelsäure (1:1) gegen eine Titanfolie als Kathode (10 min, 1 V) [5]. Die Polyanilin-beschichtung erwies sich als unzureichend für praktische Sensoren.

2.4 Epoxidharz-Salzbrücke

Einer Idee von R. Rahimi et al. folgend, wurde ein Festelektrolyt aus Kaliumchlorid und Epoxidharz hergestellt [6]. Die Paste wurde in 1:1-Mischung mithilfe eines Pinsels auf die Silber-Silberchlorid-Struktur aufgetragen und zwei Tage bei Raumtemperatur zu einer stabilen Schutzschicht eingetrocknet (Abbildung 2).

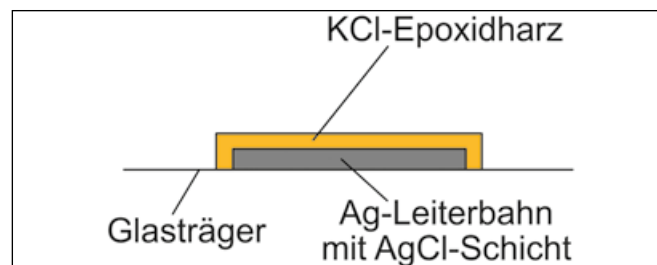


Abbildung 2: Silber-Silberchlorid-Referenzelektrode mit Feststoffelektrolyt als Schutzfilm

2.5 Kugelgraphit

Das elektrisch isolierende Epoxidharz wurde mit Grafitpartikeln leitfähig gemacht. Unsere früheren Untersuchungen haben gezeigt, dass Grafit eine gegenläufige pH-Sensitivität besitzt, die zur Verringerung des Spannungshubs dE/dpH des Sensors führt. Deshalb wurden nicht mehr als 5 Prozent Kugelgraphit im Epoxidharz eingesetzt. Die Paste wurde mit einem Pinsel auf blanke Silberleiterbahnen aufgetragen und getrocknet.

3 Praktische Erprobung

3.1 Ruhepotenzialmessung

Die Reproduzierbarkeit der Beschichtungstechnik zeigt sich anhand der aufgebrauchten Massen (Tabelle 2). Die Referenzelektroden wurden gegen eine kommerzielle Ag | AgCl | KCl-Elektrode in drei pH-Pufferlösungen (pH 4, 7 und 10) getestet. Das Ruhepotenzial wird im geregelten stromlosen Zustand ($I = 0$) bestimmt. Die Linearität der Potenzial-pH-Kurve ist bei der Epoxidharz-KCl-Elektrode am ehesten gegeben (Regression 94 Prozent), gefolgt vom Epoxidharz-Grafit (88 Prozent). Die anderen Systeme zeigen unerfreuliche Messfehler (≤ 63 Prozent) und nicht lineares Verhalten mit Ausreißern bei pH 7.

Tabelle 2: Mittlere Beschichtungsmasse und pH-Sensitivität der Referenzsysteme

| Referenzsystem | m (mg) | mV/pH |
|------------------------|---------------|----------------|
| AgCl | $1,8 \pm 0,2$ | $16,3 \pm 14$ |
| AgCl-Nafion | $3,0 \pm 0,3$ | $14,4 \pm 3,5$ |
| AgCl-Polyanilin | $2,0 \pm 4$ | $14,8 \pm 32$ |
| AgCl-Epoxidharz-Grafit | 46 ± 14 | $15,4 \pm 13$ |
| AgCl-Epoxidharz-KCl | $7,5 \pm 1,4$ | $6,9 \pm 1,9$ |

3.2 Säure-Base-Titration

Die pH-Abhängigkeit der Referenzsysteme ist in drei Pufferlösungen unzureichend beschrieben. Das Ruhepotenzial wurde daher während der automatischen Titration von 0,75-molarer Salzsäure mit 1-molarer Natronlauge aufgezeichnet (Abbildung 3).

Zur theoretischen Fundierung der Ionenstärke wurde der pH-Wert nach der Debye-Hückel-Theorie in der empirischen Erweiterung nach Bromley berechnet (Abbildung 4) [7]. Ausgehend vom Dissoziationsgrad der gelösten Komponenten,

$$\alpha = \frac{-10^{-pK_a} + \sqrt{(10^{-pK_a})^2 + 4\gamma_{\pm}b_a \cdot 10^{-pK_a}}}{2\gamma_{\pm}b_a}$$

der mittleren Ionenaktivität γ_{\pm} und der Molalität b_a der Säure und der vorhandenen Ionen b_i (in mol/kg Wasser) ergibt sich die mittlere Ionenstärke der Lösung für jeden beliebigen Punkt der Titrationskurve:

$$I_m = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i z_i^2 b_i$$

Daraus ergeben sich nach Bromley der individuelle Aktivitätskoeffizient des Protons und der pH-Wert. Die Beiträge der Ionenwechselwirkungen B_{HCl} und B_{HOH} und der Debye-Hückel-Parameter A_m sind Tabellenwerte [7].

$$\log \gamma_{H^+} = -A_m \cdot \frac{\sqrt{I_m}}{1 + \sqrt{I_m}} + b_{Cl^-} \left(\frac{0,06 + 0,6 \cdot B_{HCl}}{(1 + 1,5 \cdot I_m)^2} + B_{HCl} \right) + b_{OH^-} \left(\frac{0,06 + 0,6 \cdot B_{HOH}}{(1 + 1,5 \cdot I_m)^2} + B_{HOH} \right)$$

$$pH = -\log(\gamma_{H^+} \cdot b_{H^+})$$

Mit Blick auf die grüne Kurve in Abbildung 3 zeigt sich, dass sich die hergestellte Ag | AgCl | KCl-Referenzelektrode wenig von der Ionenstärke der Lösung beirren lässt.

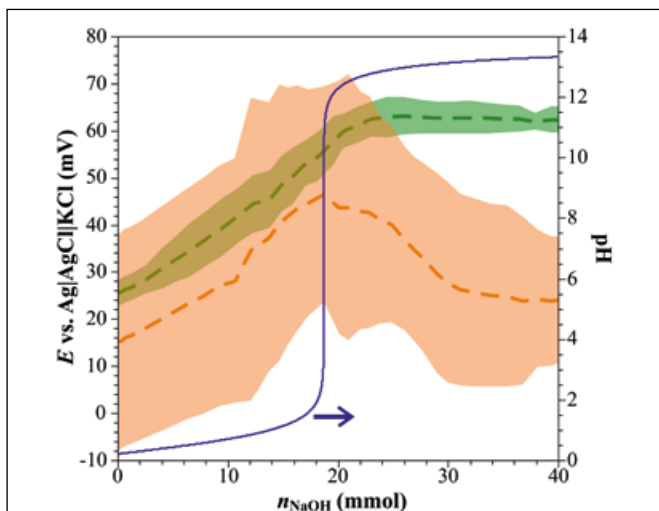


Abbildung 3: Abweichung des Ruhepotenzials gegen eine kommerzielle Silber-Silberchlorid-Elektrode bei der Titration von 25 ml 0,75-molarer HCl mit 1-molarer NaOH: Ag | AgCl-Epoxidharz-KCl (grün), Epoxidharz-Kugelgraphit (orange), berechneter pH-Wert (blau). Mittelwert über drei Elektroden. Die perfekte Bezugslektrode zeigt eine Horizontale.

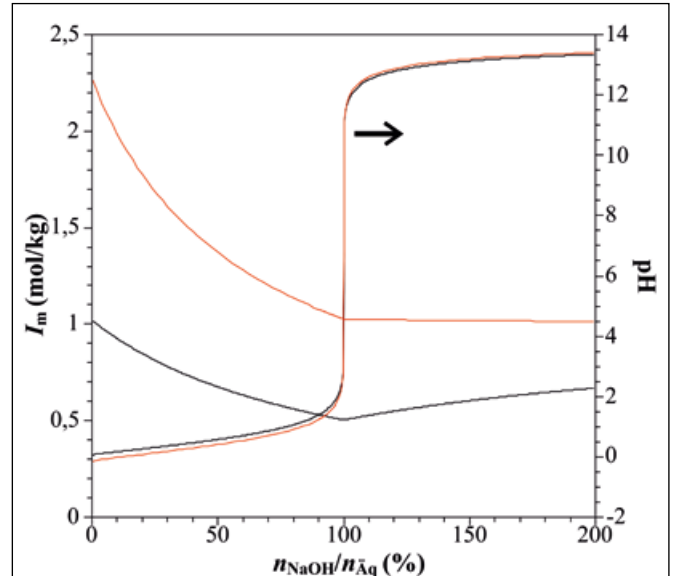


Abbildung 4: Berechnete Titrationskurve und Ionenstärke für 1-molare Schwefelsäure (rot) und 1-molare Salzsäure (schwarz) in Abhängigkeit der zugesetzten Stoffmenge Natronlauge.

4 Folgerungen

Die unbeschichtete Silber-Silberchlorid-Siebdruckschicht neigt zur Ablösung, besonders in konzentrierter Salzsäure. Die blanke und mit Nafion überzogene Ag | AgCl-Elektrode bildet im neutralen pH-Bereich ein unerwünschtes Maximum aus. Die Polyanilin-Beschichtung erweist sich in der Herstellung als problematisch; die elektrochemische Stabilität ist für den Sensorbau nicht ausreichend.

Die Epoxidharz-Kugelgraphit-Schutzschicht misst Ruhepotenziale in Pufferlösungen im sauren Bereich genauer als im alkalischen. Bei der Titration von Salzsäure entsteht das Potenzialmaximum beim Neutralpunkt wohl durch die bei pH 7 geringste Ionenstärke. Die Bezugslektrode reagiert somit auf den Leitwert der Lösung.

pH-Sensitivität und Genauigkeit sind bei der Epoxidharz-KCl-Beschichtung gegeben. Kaliumchlorid, das im Gleichgewicht mit Silber und Silberchlorid steht, stabilisiert das Potenzial relativ unabhängig vom pH-Wert. Der Einsatz von Epoxidharz macht die Elektrode widerstandsfähig und stabil. Bei der Titration in Salzsäure ist im sauren Bereich eine pH-abhängige Potenzialänderung zu sehen, bei der vermutlich Chloridionen eine Rolle spielen. Unsere weitere Arbeit wird das Epoxid-System weiter verfolgen.

Referenzen:

- [1] P. Kurzweil. Chemie. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [2] H. Hartmann, S. Chalupczok, P. Kurzweil. Prototypenentwicklung eines pH-Sensors auf Basis protonenleitender Metalloxide, OTH-Forschungsbericht, Amberg, 2018.
- [3] P. Kurzweil. Brennstoffzellentechnik, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013.
- [4] A. J. Bard, L. R. Faulkner. Electrochemical methods, New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [5] G. Cui, J. S. Lee, S. J. Kim, H. Nam, G. S. Cha, H. D. Kim. Potentiometric pCO₂ sensor using polyaniline-coated pH-sensitive electrodes. The Analyst 123 (1998) 1855–1859.
- [6] R. Rahimi, M. Ochoa, T. Parupudi, X. Zhao, I. K. Yazdi, M. R. Dokmeci, A. Tamayol, A. Khademhosseini, B. Ziaie. A low-cost flexible pH sensor array for wound assessment. Sensors and Actuators B 229 (2016) 609–617.
- [7] M. Luckas, J. Krissmann. Thermodynamik der Elektrolytlösungen, Berlin: Springer, 2001.

Kontakt:



Josef Schottenbauer, B.Eng.

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

jo.schottenbauer@oth-aw.de



Sebastian Chalupczok, M.Eng.

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

s.chalupczok@oth-aw.de



Dipl.-Phys. Christian Schell

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

ch.schell@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

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

p.kurzweil@oth-aw.de

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts „Umweltverträglichkeit von Transformatorenölen – alternative Isolierflüssigkeiten (UMTRIS)“ untersuchen wir in Zusammenarbeit mit den Universitäten Prag und Pilsen, der OTH Regensburg und Industriepartnern umweltfreundliche Alternativen für bislang auf Erdöl basierende Transformatorenöle. Geeignete, biogene Öle müssen isolierende Eigenschaften und Langzeitbeständigkeit aufweisen. Chemische Analysen dienen zur Aufklärung der Zersetzungsprodukte und Alterungsmechanismen von synthetischen und natürlichen Estern im Langzeittest.

Abstract

Within the project “Environmental impact assessment of transformer oils and alternative insulating liquids (UMTRIS)”, in collaboration with the universities in Prague and Pilsen, the OTH Regensburg, and industrial partners, we have studied environmentally friendly alternatives for transformer oils, which have been based on mineral oil so far. Suitable, biogenic oils must exhibit insulating properties and long-term stability. Chemical analyses support the detection of decomposition products and the aging mechanisms in synthetic and natural esters during long-time testing.

1 Einleitung

Typische Fette, die auch die menschliche Ernährung begleiten, sind Ester langkettiger Carbonsäuren mit dem dreiwertigen Alkohol Glycerin ^[1]. Etwa 80 g Fett führen dem Stoffwechsel den täglichen Energiebedarf von 10 MJ (2400 kcal) zu.

Tierische Fette sind reich an gesättigten Fettsäuren, von denen einige im Verdacht stehen, dass sie den Cholesterinspiegel im Blut erhöhen (Tabelle 1). Pflanzliche Öle und Fisch bieten einen größeren Anteil an ungesättigten Fettsäuren, also mit C=C-Doppelbindungen im Molekül. Linol-, Linolen- und Ölsäure sind essenzielle, mehrfach ungesättigte, sogenannte Omega-3-, 6- und 9-Fettsäuren mit C=C-Bindungen unweit des Kettenendes (Abbildung 1). Mangelhafte Zufuhr ruft Haarausfall, Schorf und brüchige Fingernägel hervor. Fettsäuren mit konjugierten Doppelbindungen treten selten in natürlichen Fetten auf. Bei der Lebensmittelverarbeitung und Fetthärtung jedoch entstehen sie und zudem unerwünschte trans-Fettsäuren.

Diese Arbeit beschreibt die analytischen Methoden zur Charakterisierung und Einstufung natürlicher und synthetischer Fette und Öle.

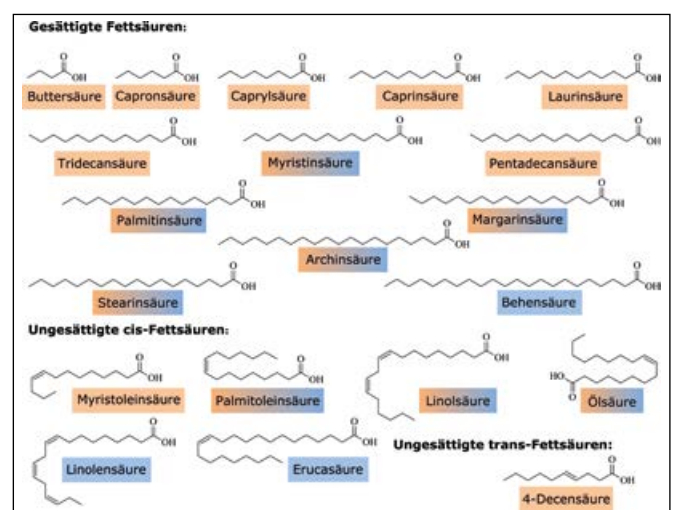


Abbildung 1: Strukturformeln wichtiger Fettsäuren, die in Butter und Sojaöl vorkommen

Tabelle 1: Fettsäuremuster wichtiger tierischer und pflanzlicher Fette in Prozent [1]

| | | Tierische Fette | | | Pflanzlich Fette | | | |
|------|---------------------|-----------------|--------------|------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Butterfett | Schweinefett | Rindertalg | Kokosfett | Olivenöl | Sojaöl | Rapsöl |
| 4:0 | Butansäure | 3,5–4,0 | – | – | – | – | – | – |
| 6:0 | Capronsäure | 1,5–2,0 | – | – | < 0,8 | – | – | – |
| 8:0 | Caprylsäure | 1,0–1,7 | – | – | 7,8–9,5 | – | – | – |
| 10:0 | Caprinsäure | 1,9–2,6 | – | – | 4,5–9,7 | – | – | – |
| 12:0 | Laurinsäure | 2,5–4,5 | – | – | 44–51 | – | – | – |
| 14:0 | Myristinsäure | 8–14,6 | 0,5–2,7 | 2–6 | 13–18,5 | < 1,3 | < 0,4 | |
| 16:0 | Palmitinsäure | 26–30 | 19,1–30,5 | 25–37 | 7,5–10,5 | 7–16 | 2,3–10,6 | 3,2–5 |
| 18:0 | Stearinsäure | 9–10,5 | 4,8–22,9 | 15–30 | 1–3 | 1,4–3,3 | 2,4–6 | 1–2,5 |
| 18:1 | Ölsäure | 19–33 | 19,2–59,3 | 28–45 | 5–8,2 | 64,5–84,5 | 23,5–30,8 | 52,6–63,2 |
| 18:2 | Linolsäure | 2,1–3,7 | 2,8–15,4 | 2–3 | 1–2,6 | 4–15 | 49–51 | 20,7–28,1 |
| 20:0 | Arachinsäure | – | – | – | – | – | < 0,5 | – |
| 22:1 | Erucasäure | – | – | – | – | – | – | < 1,7 |
| | Schmelzbereich (°C) | 28 bis 38 | 26 bis 39 | 45 bis 50 | 20 bis 28 | -5 bis -9 | -7 bis -8 | 0 |

2 Fettsäureprofile

2.1 IR-Spektroskopie

Das Infrarot-Spektrum der untersuchten Fette zeigt die charakteristischen Strukturelemente der Fettsäuren (Abbildung 2). Ein FTIR-Spektrometer mit Diamant-ATR-Einheit wurde verwendet. Die Ölprobe wurde ohne Vorbehandlung direkt aufgebracht. Die Butterprobe wurde wegen des im Spektrum störenden Wassergehaltes vor der Messung geschmolzen, mit Natriumsulfat getrocknet und die Lösung heiß filtriert.

Zur ungefähren Bestimmung ungesättigter Fettsäuren eignen sich die Absorptionsbanden bei 3010–3095 cm^{-1} . Um 1740 cm^{-1} liegen typisch Esterbanden $\nu(\text{C}=\text{O})$ mit zugehörigen C–O-Valenzschwingungen zwischen 1000–1300 cm^{-1} . Bei 1680–1620 cm^{-1} erscheinen isolierte C=C-Bindungen. Im Wellenzahlbereich 960–970 cm^{-1} der $\delta(\text{C}-\text{H})$ -Deformationsschwingung können trans-Fettsäuren nachgewiesen und quantifiziert werden. Zum Kohlenwasserstoffgerüst zählen die $\nu(\text{C}-\text{H})$ -Streckschwingungen bei 2039/2850 cm^{-1} und die Deformation $\delta(\text{CH}_2/\text{CH}_3)$ bei 1470 und 1380 cm^{-1} , sowie $\delta(\text{C}-\text{H})$ bei 720/730–675. [2]

Mit IR-Spektroskopie gelingt der Nachweis der Fetthärtung, bei der C=C-Doppelbindungen zu CH_2CH_2 -Einfachbindungen hydriert werden. Als unerwünschte Nebenreaktion werden cis-Fettsäuren in die trans-Konfiguration überführt. Sojaöl enthält mehr ungesättigte Fettsäuren als Butter, wie die intensiven Banden bei 3009 cm^{-1} und 1655 cm^{-1} zeigen. Die Butterprobe offenbart einen größeren Anteil an trans-Fettsäuren (965 cm^{-1}).

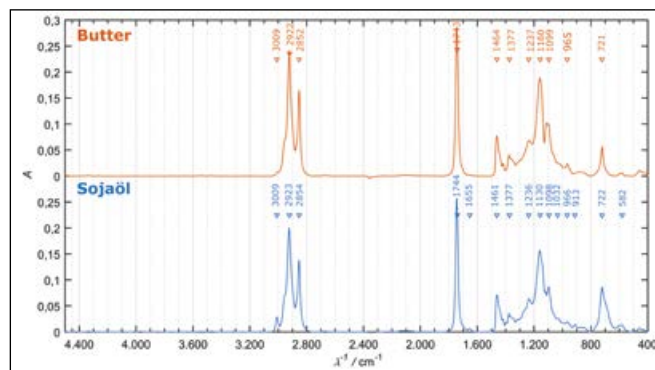


Abbildung 2: IR-Spektren von Butter und Sojaöl: Extinktion gegen Wellenzahl λ^{-1} .

2.2 UV/Vis-Spektroskopie

Die Lage der Absorptionsbanden im ultravioletten und sichtbaren Licht lässt Rückschlüsse auf Alterungsprozesse zu. Aufeinanderfolgende C=C–C–C-Bindungen erzeugen typische Banden in konjugierten Dienen (230–240 nm), Trienen (258, 268, 279 nm) und Tetraenen (300–316 nm).

Die Transmissions-UV-Spektren in Abbildung 3 zeigen jeweils 0,25 g der Fett-/Öl-Probe, gelöst in 100 ml Isooctan. Die Probenlösung wurde gegen eine Referenzküvette mit reinem Isooctan gemessen. Bei der Alterung von Fetten nimmt der Anteil an Dienstrukturen deutlich zu, weil Fettsäuren gespalten werden und umlagern. Aus isolierten C=C-Bindungen entstehen zunehmend konjugierte Systeme. Triene und Tetraene treten bei raffinierten Fetten und Ölen auf; ihre Intensität ändert sich im Lauf der Alterung nicht.

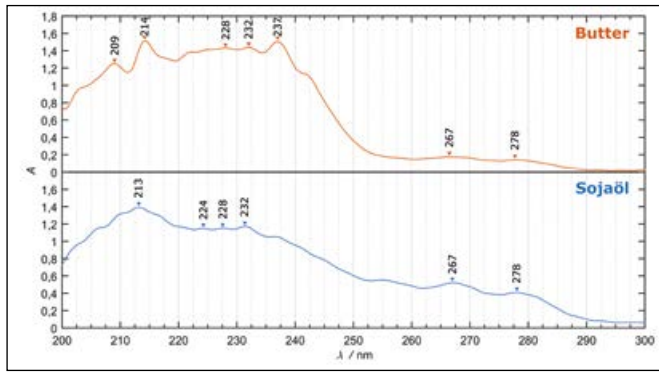


Abbildung 3: UV-Spektren von Butter und Sojaöl: Extinktion gegen Wellenlänge λ

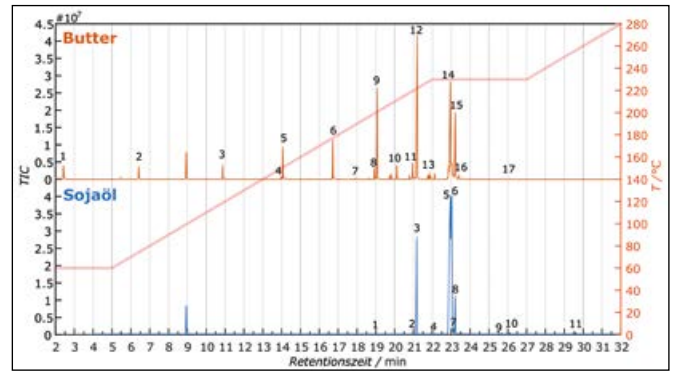


Abbildung 4: Gaschromatografisches Fettsäureprofil von Butter und Sojaöl

2.3 Trennung und Identifizierung von Fettsäuren mittels GC/MS

Fette und freie Fettsäuren können wegen ihrer niedrigen Zersetzungstemperaturen (Tabelle 1) nicht direkt gaschromatografisch untersucht werden. Daher wurden die Triglyceride durch Umesterung in Glycerin und unterschiedliche Fettsäuremethylester (FSME) gespalten. Die Fettprobe wird in Methyl-tert-butylether (MTBE) gelöst und mit Trimethylsulfoniumhydroxid (TMSH) bei Raumtemperatur behandelt.

Die entstandenen Methylester der Fettsäuren wurden auf einer leicht polaren Säule (Agilent 19091S-433) bei konstantem Helium-Fluss von 1 ml/min getrennt. Abbildung 4 zeigt die Gaschromatogramme für Butter und Sojaöl. Die Identifizierung der Fettsäuren erfolgt durch das mit dem GC gekoppelte Massenspektrometer. Eine genauere Betrachtung der Fettsäuremuster ergibt, dass Butter 69 Prozent gesättigte, 30 Prozent einfach ungesättigte und 0,8 Prozent mehrfach ungesättigte cis-Fettsäuren enthält. Außerdem enthält Butter ca. 0,3 Prozent ungesättigte trans-Fettsäuren (Tabelle 2). Sojaöl hingegen setzt sich zusammen aus 20 Prozent gesättigten, 28 Prozent einfach ungesättigten und 52 Prozent mehrfach ungesättigten Fettsäuren.

Tabelle 2: Gemessenes Fettsäuremuster von Butter und Sojaöl (Nachweisqualität ≥ 95 Prozent)

| Methylester | Butter | | | Sojaöl | | |
|------------------|----------------------|------------|----------------|----------------------|------------|----------------|
| | Retentionszeit (min) | Temp. (C°) | Peakfläche (%) | Retentionszeit (min) | Temp. (C°) | Peakfläche (%) |
| Butansäure | 2,43 | 60 | 2.4 | – | – | – |
| Capronsäure | 6,42 | 74 | 1.9 | – | – | – |
| Caprylsäure | 10,88 | 119 | 1.4 | – | – | – |
| 4-Decensäure | 13,96 | 150 | 0.3 | – | – | – |
| Caprinsäure | 14,07 | 151 | 3.4 | – | – | – |
| Laurinsäure | 16,72 | 177 | 4.3 | – | – | – |
| Tridecansäure | 17,91 | 189 | 0.2 | – | – | – |
| Myristoleinsäure | 18,92 | 199 | 1.4 | – | – | – |
| Myristinsäure | 19,07 | 201 | 12.5 | 19,05 | 65 | 0.1 |
| Pentadecansäure | 20,12 | 211 | 2.5 | – | – | – |
| Palmitoleinsäure | 20,95 | 220 | 2.6 | 20,96 | 21 | 0.2 |
| Palmitinsäure | 21,19 | 222 | 27.3 | 21,18 | 222 | 13.8 |
| Margarinsäure | 21,86 | 229 | 2.1 | 22,12 | 230 | 0.1 |
| Ölsäure | 22,95 | 230 | 25.8 | 23,02 | 230 | 27.7 |
| Stearinsäure | 23,21 | 230 | 10.8 | 23,21 | 230 | 5.1 |
| Linolsäure | 23,42 | 230 | 0.8 | 22,96 | 230 | 50.7 |
| Linolensäure | – | – | – | 23,12 | 230 | 0.8 |
| Arachinsäure | 26,11 | 230 | 0.2 | 26,10 | 230 | 0.5 |
| Erucasäure | – | – | – | 25,67 | 230 | 0.4 |
| Behensäure | – | – | – | 29,60 | 256 | 0.5 |

3 Summenparameter

3.1 Iodzahl

Die Iodzahl charakterisiert den mittleren Anteil an Doppelbindungen in der molekularen Zusammensetzung von Fetten und Ölen. Gemäß der Methode nach Kaufmann wird die eingewogene Fettprobe mit einem Überschuss an Brom versetzt, welches sich an die Doppelbindungen der Fettsäuren anlagert. Das chemisch nicht umgesetzte Brom wird mit Iodid zu Bromid reduziert, das entstandene Iod gegen Natriumthiosulfat-Maßlösung rücktitriert: 1 mol C=C entspricht 1 mol Br₂ = 2 mol [S₂O₃]²⁻.

Die Iodzahlen bestätigen das GC-Profil (Tabelle 3). Sojaöl erreicht eine hohe Iodzahl wegen des Gehaltes an Ölsäure (18:1) und Linolsäure (18:2) im Verhältnis zur gesättigten Palmitin- und Stearinsäure. Für Butterfett ist der Wert 49 relativ hoch; Literaturwerte nennen durchschnittlich 30 bis 43. Die Abweichung korreliert wiederum mit den GC-Daten, die bestätigen, dass in der untersuchten Butter verhältnismäßig viel Ölsäure enthalten war.

Tabelle 3: Nasschemische Summenparameter in Lebensmittelproben

| Probe | Iodzahl (g/100 g) | Peroxidzahl (mmol/kg) | Säurezahl (mg/g) |
|--------|-------------------|-----------------------|------------------|
| Butter | 49 | 0,14 | 1,5 |
| Sojaöl | 142 | 1,0 | 2,4 |

3.2 Peroxidzahl

Die Peroxidzahl zeigt den Gehalt an Peroxid-Sauerstoff im Fett, ist somit ein Maß für Alterung und Ranzigwerden; per Definition die Stoffmenge (in mmol Sauerstoffatome pro kg Probe), die Kaliumiodid zu oxidieren vermag. Die Probe wird mit saurer Kaliumiodidlösung im Überschuss versetzt und das ausgefällte Iod mit Thiosulfat gegen einen Stärkeindikator rücktitriert: 1 mol ROOH = 1 mol I₂ = 2 mol [S₂O₃]²⁻. Der Einfluss der Reagentien wird als Differenz zu einer Blindprobe berücksichtigt.

Peroxide und Hydroperoxide entstehen mit der Zeit als Zersetzungsprodukte in tierischen und pflanzlichen Fetten und Ölen, insbesondere bei höheren Temperaturen. Die Peroxidzahl lässt Aussagen über die Oxidationsstabilität des Fettes zu. Die Peroxidzahlen der untersuchten Fette liegen relativ niedrig, wenn man den Leitwert für raffinierte Speisefette und Speiseöle (< 5) betrachtet^[3]. Demzufolge handelt es sich um Proben mit guter Oxidationsstabilität und frisches Sojaöl.

3.3 Säurezahl

Die Säurezahl, englisch Total Acid Number (TAN), ist ein Maß für die in der Probe enthaltenen freien Säuren, definiert als die zur Neutralisation benötigte Menge an Kaliumhydroxid (in mg je g Fett). Sie liegt bei raffiniertem

Pflanzenöl im Bereich 0,2 – 1, bei Rohöl zwischen 1 – 10. Die Säurezahl weist auf fortschreitende Fettzersetzung hin, die in technischen Systemen Korrosionsprobleme auslösen kann. Die als Triglycerid chemisch gebundenen Fettsäuren werden nicht erfasst. Ungenau wird der Wert der Säurezahl, wenn in der Fettprobe zusätzlich Mineral-säuren enthalten sind. Die für ein raffiniertes, gereinigtes Öl eher hohe Säurezahl des Sojaöls in Tabelle 3 deutet auf eine geringe oder qualitätsmindernde Vorbehandlung des Öles hin.

4 Untersuchung von Trafoölen

Transformatorenöle oder Isolieröle werden in der Hochspannungstechnik in Trafos und Kondensatoren zur Isolation und Kühlung eingesetzt. Da der Querschnitt der Drähte durch den beschränkten Raum des Wickelkörpers begrenzt ist, entsteht durch den fließenden Strom nicht unerheblich Wärme, die das Öl abführen muss. Konventionelle Trafoöle auf Mineralölbasis können bei hohen Temperaturen entflammen. Alternativen bestehen aus synthetischen oder natürlichen Estern mit hoher thermischer Beständigkeit und biologischer Abbaubarkeit, die zur Umweltverträglichkeit beiträgt. Dadurch können Transformatoren kompakter gebaut und mit höherer Leistung betrieben werden. Synthetische Ester auf Pentaerithritbasis C[CH₂-O-COR]₄ zeichnen sich durch hohe Flammpunkte (> 250 °C) und Zündtemperaturen (> 375 °C) aus. Natürliche Ester sind Triglyceride mit meist unterschiedlichen, überwiegend geradzahlig-unverzweigten Fettsäuren; ungesättigte Reste sind unerwünscht.

4.1 IR-Spektroskopie

Transformatorenöle auf Esterbasis sind gegenüber Mineralölen an der Esterbande um 1740 cm⁻¹ leicht zu erkennen (Abbildung 5). Das synthetische Öl zeigt erwartungsgemäß gesättigte Reste, während das natürliche Öl ungesättigte Fettsäuren enthält.

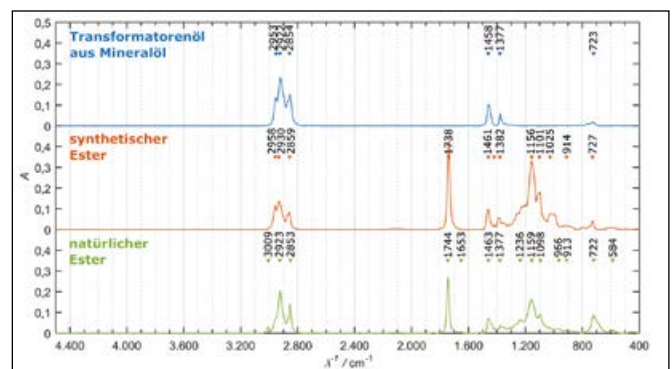


Abbildung 5: Infrarotspektren von Trafoölen auf Mineralöl- und Esterbasis

4.2 UV/Vis-Spektroskopie

Das UV-Spektrum in Abbildung 6 zeigt 0,25 g naturbasiertes Esteröl in 100 ml Isooctan gegen eine Isooctan-Referenzküvette. Im frischen Öl finden sich zwei Dien-Banden (< 210 nm).

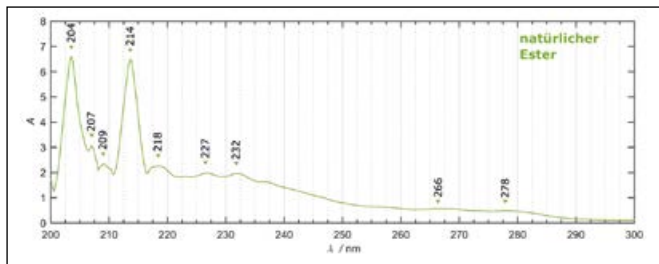


Abbildung 6: UV/Vis-Spektren eines natürlichen Esteröls

4.3 GC/MS-Fettsäureprofil

Die in Methyl-tert-butylether (MTBE) gelösten Trafoöle wurden mit Trimethylsulfoniumhydroxid gespalten und die entstandenen Fettsäuremethylester identifiziert und quantifiziert (Abbildung 7). Im synthetischen Öl finden sich gesättigte Fettsäuren mit weniger als zehn C-Atomen. Das natürliche Öl zeigt längere Ketten und unerwünschte C=C-Doppelbindungen.

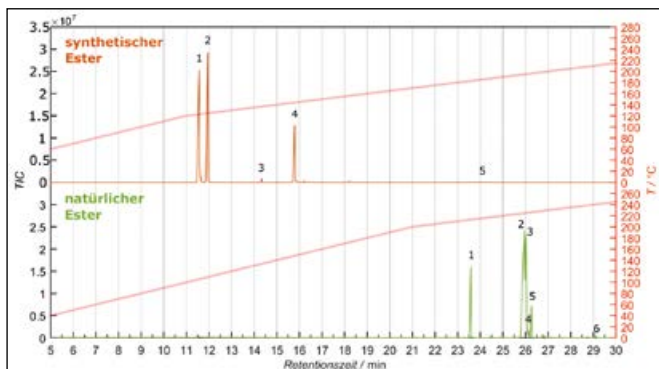


Abbildung 7: Gaschromatogramme von Transformatorölen.

4.4 Summenparameter

Die Iodzahlen bestätigen den GC/MS-Befund, dass biogene Ester ungesättigte Fettsäuren enthalten (Tabelle 4). Allein synthetische Ester gesättigter Fettsäuren enthalten noch weniger ungesättigte Verbindungen wie Mineralöl. Linolsäure, störende Elaidinsäure und Linolensäure in Soja- und Sonnenblumenöl schränken die Verwendbarkeit für langzeitstabile Trafoöle ein.

Die niedrigen Peroxidzahlen der untersuchten Öle sprechen für Oxidationsstabilität und frische Qualität. Beim synthetischen Ester war der Farbwechsel bei der Titration schlecht erkennbar.

Die geringe Säurezahl der frischen Isolieröle spricht für die Isolierfähigkeit, d. h. eine geringe durch Säurepartikel verursachte Leitfähigkeit. Synthetische und pflanzliche Ester sind vergleichbar gut.

Die Verseifungszahl erfasst die in Fetten vorkommenden, durch Kaliumhydroxid spaltbaren Esterbindungen mit gebundenen Säuren. Übliche Werte liegen im Bereich von 100 bis 300. Je höher die Verseifungszahl ist, desto weniger langkettige Fettsäuren sind in der Probe enthalten. Auffällig ist die große Verseifungszahl des synthetischen Esters, was den GC/MS-Befund der kurzkettigen Carbonsäuren (< C₁₀) stützt. In natürlichen Estern dominieren Säuren mit 18 Kohlenstoffatomen. Das Mineralöl kann nicht verseift werden.

Tabelle 4: Nasschemische Summenparameter in Trafoölen

| Öl | Iodzahl (g/100 g) | Peroxidzahl (mmol/kg) | Säurezahl (mg/g) | Verseifungszahl (mg/g) |
|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| Mineralöl | 19 | 0,04 | 0,03 | 0 |
| Synthetischer Ester | 11 | < 0.2 | 0,11 | 274 |
| Natürlicher Ester A | 133 | 0,09 | 0,12 | 170 |
| Natürlicher Ester B | 189 | 0,08 | 0,12 | 176 |

Ausblick

Mit den Methoden der Lebensmittelanalytik ist es möglich, Trafoöle aussagekräftig zu charakterisieren. Unsere weiteren Untersuchungen richten sich auf gebrauchte und in Lebensdauertests verwendete Trafoöle, um die Mechanismen der schleichenden Alterung zu erhellen und bedenkliche Zersetzungsprodukte aufzuklären.

Referenzen:

- [1] R. Matissek, W. Baltes, Lebensmittelchemie, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [2] P. Kurzweil, H. Hug, Tabellenbuch der analytischen Chemie: Stoffdaten, klassische und instrumentelle Methoden, Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel 2017.
- [3] Leitsätze für Speisefette und Speiseöle: www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Lebensmittelbuch/LeitsaetzeSpeisefette.pdf

Fördergeber:

Bayerisch-Tschechische Hochschulagentur (BTHA)

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen,
für Landesentwicklung und Heimat



Kontakt:



Dipl.-Phys. Christian Schell

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

ch.schell@oth-aw.de



Verena Brandl, B.Eng.

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

ve.brandl@oth-aw.de



Josef Schottenbauer, B.Eng.

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

jo.schottenbauer@oth-aw.de



Prof. Dr. Peter Kurzweil

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

p.kurzweil@oth-aw.de

Mass spectroscopy of decomposition products in double-layer capacitors during lifetime testing

Abstract

The gradual deterioration of the performance of double-layer capacitors in the course of long-time pulse-power operation under excess voltage and temperature was investigated by the help of infrared and mass spectrometry.

Zusammenfassung

Die schleichende Verschlechterung der Leistungsdaten von Doppelschichtkondensatoren im Langzeit-Pulsbetrieb unter Überspannung und erhöhter Temperatur wurde mithilfe der Infrarot- und Massenspektrometrie untersucht.

1 Introduction

In the recent decades, electrochemical double-layer capacitors have entered a variety of technical applications in emergency and energy storage systems, wind mills, and electric vehicles^[1]. We have investigated the safety aspects related to the long-term operation of supercapacitors in the course of several years in more detail^[2, 3]. Supercapacitors age by gradual increase in resistance, loss of capacitance, and decrease of useable energy, and fail by the slow effluence of a yellow-brown electrolyte mass through cracks in the deformed capacitor housing^[4]. This work shows that aging by thermal stress under high temperatures causes similar aging products than long-term operation under overvoltage. In both cases, the decomposition of the electrolyte solution and the composite electrodes is important.

2 Disassembly of technical capacitors

After long-time testing of supercapacitors based on acetonitrile solutions, a nearly dry separator is found with deconstruction of burst supercapacitors. The white-brown residues on the cases mainly consist of conducting salt.

2.1 Deposits on the electrodes

On the whole, the composite electrode looks good and behaves still flexible (Figure 1). On the separator at the **cathode** (minus pole), the brown residues smells similar to

popcorn, and consists of abraded carbon and decomposition products of the electrolyte. During aging, the activated carbon layer exfoliates from the aluminum support at local spots near the negative connection. The dark deposit at the negative terminal plate of a defective supercapacitor was characterized by secondary-ion mass spectrometry (SIMS). Marked signals indicate tetrafluoroborate, cyanide, and cyanate (Figure 2). On the aluminum support, volatile fluorides and fluoro aluminates were detected. Silicon and copper are contained in the activated carbon layer and the contact terminal, respectively. The $C_5H_{12}N^+$ peak corresponds to N-methyldiethylamine; $C_6H_{14}N^+$ to N,N,N-triethylamine, and $C_8H_{20}N^+$ to N,N,N-ethyl-diisopropylamine or an isomer thereof. The negative ions having the masses 155, 229, 303, 377, and 433, 507, 581, are related to polymer compounds. The mass difference of 74 u corresponds to a dimethyl siloxane unit, $Si(CH_3)_2O$, although none of the usual polysiloxanes can be derived. The precursors of these siloxanes, however, are contained in the binder system of the composite electrodes.

The **anode** (positive electrode) appears brittle, and behaves stiff and inflexible; although the carbon adheres yet well to the aluminum.

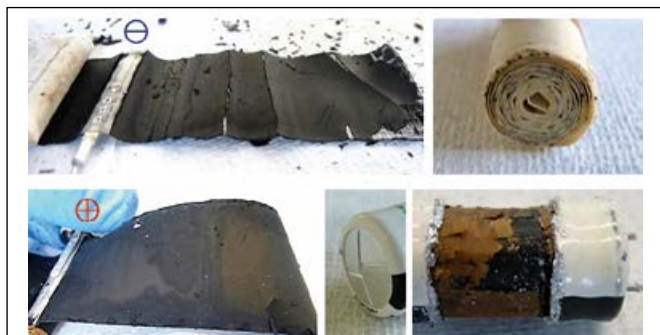


Figure 1: Components of a commercial supercapacitor (50 F, 2.7 V) after life-time testing.

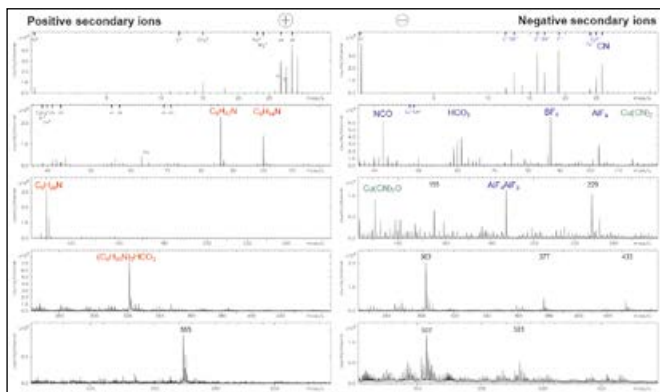


Figure 2: TOF-SIMS spectrum of black deposits on the negative terminal of a burst supercapacitor.

2.2 Solid residues

The FTIR spectra of decomposition products in aged supercapacitors (Figure 3) reveal nitrogen compounds such as amines, imines and nitriles, and their oxidation products with carbonyl and carboxyl groups. Amides arise in the electrolyte after a few hours of operation, while pure acetonitrile is stable in the presence of water.

The chromatograms of solid residues in commercial supercapacitors of the same type show different aging products (Figure 4). Under cyclic stress (electrochemical aging at 3.7 V), fluoro compounds are found that do not appear under thermal stress (heat treatment at 120 °C). Mass spectra of the residues, dissolves in acetonitrile, confirm triethylamine, dimers of acetonitrile, fluorinated silanes, siloxanes, boranes and boric acid esters. Amides at the positive electrode are typical of electrochemical aging. Our XRD spectra confirm acetamide in the crystalline solids in aged supercapacitors of different manufacturers.

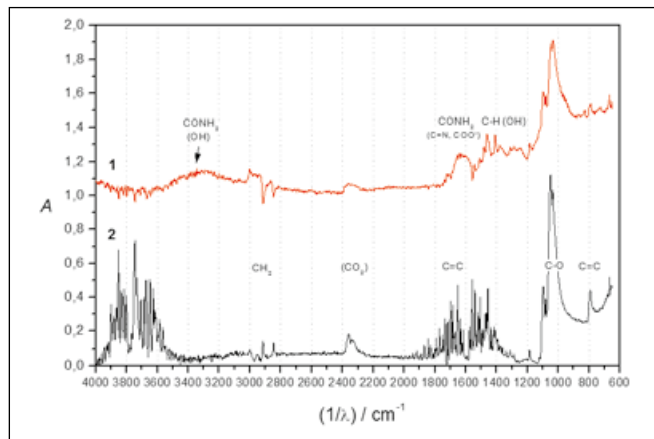


Figure 3: FTIR-ATR-spectra inside of a supercapacitor aged for two years at 2.3 V and 65 °C: 1 Yellowish-brown deposit on the electrode-separator interface. The absorption of the new separator material was subtracted. 2 Activated carbon electrode.

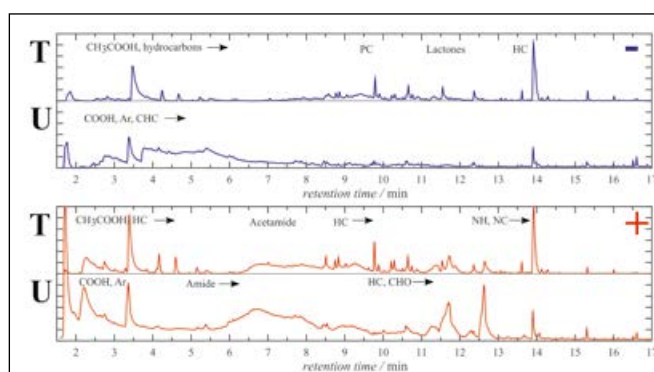
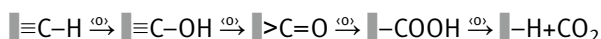


Figure 4: Thermodesorption-GC/MS analysis: chromatographic profiles of the residues at the positive and negative electrode of a supercapacitor (VINA 3 V/50 F) after long-time testing: T after heat treatment, U after overvoltage.

3 Electrolytic formation of carbon

Commercial PTFE-bound activated carbon electrodes on aluminum support were treated in an electrolysis cell in 6-molar potassium hydroxide solution at a mean current density of 170 mA cm⁻² for 10 min. The infrared spectra prove oxygen groups on the anode that intensify with electrolysis time (Figure 5). The stepwise oxidation of the surface (in short C) is known from carbon fibers.



In aqueous solution carboxylic groups were observed ($\approx 3400 \text{ cm}^{-1}$), whereas the gas phase oxidation of graphite stops at hydroxyl and carbonyl groups. On the cathode, hydrogen bubbles plane away the activated carbon coating from the current collector.

This result was compared with synthetic graphite oxide, which is inappropriate as an electrode material in supercapacitors due to its high resistance and narrow voltage window. In contrast to pure graphite, graphite oxide is an electrical insulator, because the conjugated C=C bonds are replaced by oxygen groups. The IR spectrum of graphite oxide shows oxidized functional

groups. In the same way, carbon surfaces alter by oxidative degradation during long-time testing of supercapacitors at high voltages.

We conclude that any formation of activated carbon electrodes in aqueous solution is not beneficial with respect to increasing the storage density of supercapacitors. The aging of supercapacitor electrodes bring about structures similar to graphite oxide.

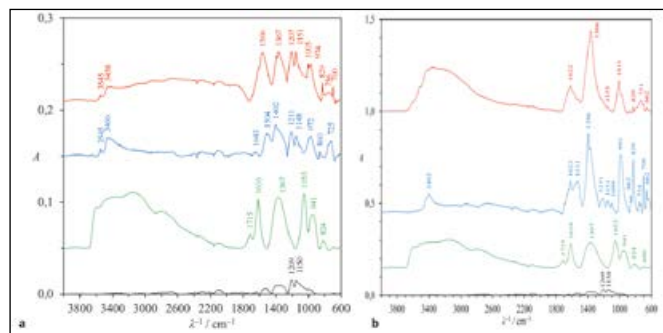


Figure 5: FTIR spectra of activated carbon electrodes after anodic (red) and cathodic formation (blue) in 6-molar KOH solution: **a** after 6902 As ($0,17 \text{ A cm}^{-2}$, $6,5 \text{ V}$), **b** after 7300 As, in comparison with the initial state (black) and graphite oxide (green) as a model substance: $3400 \text{ cm}^{-1} \nu(\text{OH})$, $1719 \text{ cm}^{-1} \nu(\text{C}=\text{O})$, $1614 \text{ cm}^{-1} \nu(\text{C}=\text{C})$, $1360 \text{ cm}^{-1} \delta(\text{C}-\text{OH})$, $1047 \text{ cm}^{-1} \nu(\text{C}-\text{O})$, $924 \text{ cm}^{-1} \nu(\text{C}-\text{O}-\text{C})$ in epoxide.

4 Conclusions

The aging mechanisms in supercapacitors are different at the two electrodes. The solvent is directly involved. Acetonitrile is partly polymerized, whereby pyrimidine intermediates occur.

Heat treatment over a long time generates the aging product trimethylamine by decomposition of the conducting salt. Quaternary ammonium salts (Et_4NBF_4 and $\text{Et}_3\text{MeNBF}_4$) tend to split off ethane and triethylamine by *Hofmann* elimination; see Figure 6. In stabilized electrolytes, various cyclohexanone compounds occur by and by.

Electrochemical aging. Hydrohalogenation of acetonitrile brings about fluorinated amines. Traces of water generate thereof acetamide and alkylated acetamides. We suggest that alkylammonium radicals, generated at the positive

pole by electrochemical oxidation, $-\text{NCH}_2\text{CH}_2$, form amino alcohols and aldehydes, $-\text{NCH}_2\text{CHO}$, which react with acetonitrile to yield acetamides, $-\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{NH}-\text{COCH}_3$. Such *N*-ethylacetamide fragments were verified by our electrolysis. Mass spectra revealed acetonitrile-amine adducts such as ethylene iminoacetonitrile (aziridine derivative).

Heterocyclic compounds are generated by electro-polymerization of acetonitrile, e.g., trimethyltriazine, and alkylated dihydropyrazoles. The radical dimerization of acetonitrile yields butane dinitrile, whereby hydrogen is a by-product. Acetonitrile and ethene react to cyclopentane and cyclobutane carbo-1,2-dinitrile. By traces of water, the nitriles are hydrolyzed to amides and carboxylic acids.

Graphite oxide was identified as a model substance for understanding the aging of carbon surfaces by gradual anodic oxidation. Any electrolytic pretreatment of supercapacitor electrodes is not recommended.

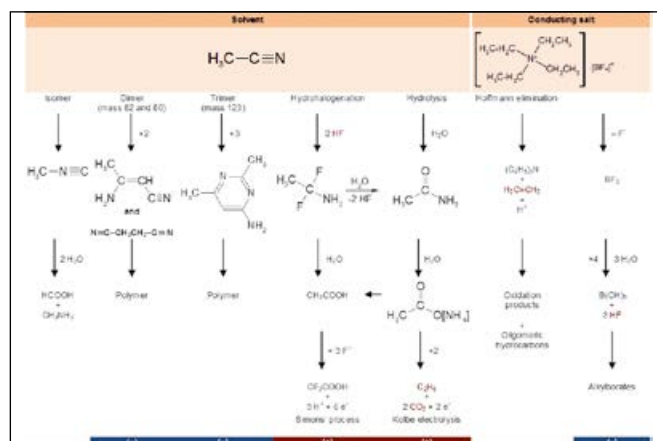


Figure 6: Plausible reactions of acetonitrile and tetraethylammonium-tetrafluoroborate with respect to our analytical findings.

Acknowledgements

This work was by financially supported by the Federal State of Bavaria, Germany (OTH cluster funding). We thank our former students Franziska Eckert and Helmut Hartmann for experimental contributions.

References:

- [1] P. Kurzweil, Electrochemical double-layer capacitors, in: J. Garche, Ch. Dyer, P. Moseley, Z. Ogumi, D. Rand, B. Scrosati (Eds.), Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, Vol 1, Elsevier, Amsterdam, 2009, pp. 607–633, 634–648 (carbon materials), 665–678 (metal oxide capacitors).
- [2] P. Kurzweil, A. Hildebrand, M. Weiß, Accelerated Life Testing of Double-Layer Capacitors: Reliability and Safety under Excess Voltage and Temperature, ChemElectroChem 2 (2015) 150–159, DOI: 10.1002/celc.201402302.
- [3] P. Kurzweil, B. Frenzel, A. Hildebrand, Voltage-Dependent Capacitance, Aging Effects, and Failure Indicators of Double-Layer Capacitors during Lifetime Testing, ChemElectroChem 2 (2015) 160 – 170, DOI: 10.1002/celc.201402300.
- [4] P. Kurzweil, M. Chwistek, Electrochemical stability of organic electrolytes in supercapacitors: Spectroscopy and gas analysis of decomposition products, J. Power Sources 176 (2008) 555–567.

Kontakt:



Prof. Dr. Peter Kurzweil

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

p.kurzweil@oth-aw.de



Dipl.-Phys. Christian Schell

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

ch.schell@oth-aw.de

A tissue-equivalent phantom for detection of malfunctions of active medical implants and electronic devices due to ionizing radiation

Abstract

More and more people suffer from cardiovascular disease during their lifetime and are dependent on active medical implants such as pacemakers or other devices. In addition to that the number of tumor patients is increasing due to an increasing average life time. As the disease progresses, patients are often exposed to ionizing radiation due to diagnostic and therapeutic modalities. Radiation can lead to disturbances up to complete failure of active implants. In order to investigate the influence of ionizing radiation on active medical implants, a tissue-equivalent phantom was developed, which serves as a standard test environment for the influence of radiation on electronic components of implants or for the entire implant.

Zusammenfassung

Immer mehr Menschen erkranken im Laufe ihres Lebens an Herz-Kreislauf-Erkrankungen und sind auf aktive medizinische Implantate wie Herzschrittmacher oder andere medizinische Implantate angewiesen. Bedingt durch eine steigende Lebenserwartung steigt u. a. die Anzahl an Tumorpatienten. Im Zuge des Krankheitsverlaufes sind Patienten häufig ionisierender Strahlung durch diagnostische und therapeutische Modalitäten ausgesetzt. Durch Strahlung kann es somit zu Störungen bis zu vollständigen Ausfällen der Implantate kommen. Um den Einfluss von ionisierender Strahlung auf aktive medizinische Implantate zu untersuchen, wurde ein gewebeäquivalentes Phantom entwickelt, das als Testumgebung zur Untersuchung des Einflusses von Strahlung auf elektronische Bauteile eines Implantats oder auf das ganze Implantat selbst dient.

1 Introduction

The demographic change has caused an increase in age-related diseases that need active medical implants for therapy e.g. pacemakers, cardioverter defibrillators or neurology and hearing aids^[1]. Furthermore, the number of patients with tumors, examined in radiology or treated in radiation therapy, also increased in the last years. The implanted active medical device is often in close proximity to the tumor's Planning Target Volume (PTV). The functionality of the implant can thus be temporarily or permanently impaired by the radiation^[2,3,4]. In order to investigate the influence of ionizing radiation on active medical implants, a tissue-equivalent phantom is first developed. It serves as a test environment for examining the impact of ionizing radiation on electronic components or entire implants.

2 Material and Methods

2.1 The tissue-equivalent Phantom

For the standardized investigation of dysfunctions, a thorax phantom with tissue-equivalent materials for a broad energy range (50 kV–15 MV) was developed. In the phantom, organ structures such as the heart, ribs, spine and lung were fabricated from materials that correspond to the tissue in terms of interaction with radiation. Overall the tissue-equivalent phantom had eight conditions to fulfill (see figure 1). At first the interaction equivalency of the materials had to be the same like the interaction with the human tissues. Furthermore, the organ structures should be anthropomorphic and the materials should be easy to handle. It should also be homogeneous and isotropic materials that have chemical and physical stability. In addition, the selected materials must show no microbiological attack after a certain time.

And finally, the materials should not be too expensive. In addition, the most important requirement for the phantom must be guaranteed: the ability to integrate active medical implants or their electronic components.

After fulfilling the material requirements, a CT scan of every chosen material was made to compare the density and the Hounsfield Units (HU) with a clinical CT dataset. If the parameters were equivalent the material was selected to create the phantom.

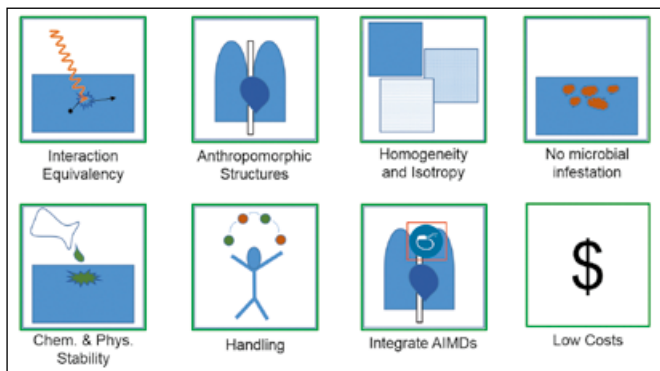


Figure 1: Eight mandatory conditions for a tissue equivalent phantom

2.2 Treatment Planning and Dose Verification

A CT dataset of the phantom was used for treatment planning with a Pinnacle™ system, Philips Medical Systems, at 6 MV and a dose concept of 13 x 4 Gy, analog to patients treatment in radiotherapy. The dose caused by scattered radiation on the implantable medical devices can be calculated. In addition to active medical implants, electronic components can be inserted into the integration port of the phantom and tested for malfunction. For this purpose, capacitors, transistors, flash memory modules and lithium batteries were used. The dose-volume-histogram showed a nearly homogeneously and mean dose of 15,3 Gy at the components (figure 2 right). The calculated dose at a point of interest (POI) near the PTV was checked with a 0.125 cm³ ionization chamber (Semiflex, PTW).

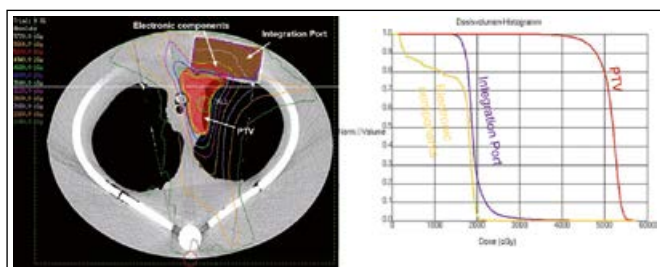


Figure 2: A typical treatment-plan in radiotherapy adapted to the tissue equivalent phantom. Electronic components, such as capacitors, transistors, lithium batteries and flash memory modules, are exposed up to 30 Gy (Integration Port) during the treatment of the tumor. The tumor (red field in the left figure) is exposed to 52 Gy analog to a patient treatment.

3 Results

With the selected tissue equivalent materials and a CAD-model the phantom was assembled (see figure 3-I) together with the inner structures and organ. The lung was milled from tissue-equivalent Styrodur. For this purpose, the lung contour was extracted with the aid of the treatment planning system from a clinical CT data set in order to obtain an anthropomorphic lung structure. The ribs and spine were made from polytetrafluoroethylene (PTFE) and the heart was formed from a carrageenan-based mixture (see figure 3-II). All organ structures were poured in cast resin (see figure 3-III).

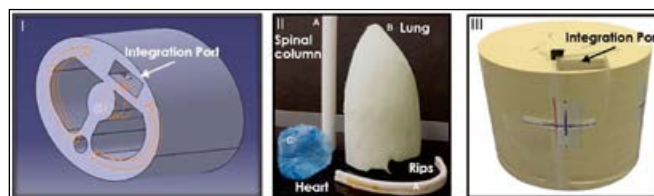


Figure 3: Manufacturing process of the tissue equivalent thorax phantom. 3-I: CAD model; 3-II: tissue equivalent organ structures, 3-III: assembled tissue equivalent phantom

After assembly of the phantom a final CT scan was made to validate the whole phantom with the parameters of a clinical CT dataset. The comparison is shown in figure 4.

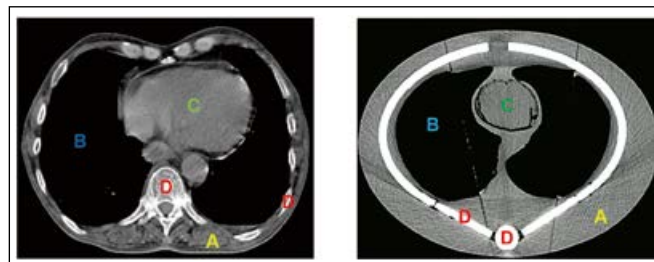


Figure 4: Comparison of the clinical CT dataset (left side) with the CT dataset of the phantom (right side). A = soft tissue, B = lung, C = heart, D = bone structures

The comparison of the density values of the clinical CT dataset with the phantom CT dataset is shown in table 1. Especially the soft tissue (cast resin) and the heart tissue (carrageenan-based mixture) match perfectly with the clinical dataset. Lung tissue (Styrodur) as well as the bones (PTFE) are close to clinical data but will be subject to further improvement. In particular, the lung presents a challenge in the development of a tissue-equivalent and anthropomorphic phantom caused by the bronchial tissue.

Table 1: Comparison of mean and standard deviation of the phantom and clinical densities. Soft tissue and heart show perfect equivalence. Lungs and bones are also good, but can be improved in later studies.

| | Phantom [g/cm ³] | Clinical data [g/cm ³] |
|-------------|------------------------------|------------------------------------|
| Soft tissue | 1,03 ± 0,01 | 1,05 ± 0,02 |
| Bone | 1,59 ± 0,04 | 1,46 ± 0,02 |
| Lung | 0,07 ± 0,04 | 0,25 ± 0,05 |
| Heart | 1,04 ± 0,01 | 1,05 ± 0,01 |

With the tissue equivalent phantom a first preliminary test been done on electronic components. After irradiation of the PTV the components were irradiated up to 30 Gy and no unusual anomalies in the charge and discharge behavior of the capacitors could be observed. Some irradiated transistors showed atypical functions in switching behavior compared to the reference signals. A few batteries showed a conspicuous manner by a faster discharge. Changes to the previously saved bit pattern occurred during the exposure of some flash memory modules by a change in the bit sequence.

4 Conclusion

In summary a tissue equivalent phantom as a standardized test environment was developed. Changes in the function of electronic components such as transistors, batteries and flash memory modules could be detected after irradiation with 6 MV. Further studies with a representative number of electronic components are planned to evaluate significant effects. In order to give evidence about the influence of ionizing radiation on active implants, complex studies are needed.

References:

- [1] Statistik der Arbeitsgruppe Herzschrittmacher und Elektrophysiologie der SGK (CH). <http://www.pacemaker.ch/de/statistik/>, last visited: 20.01.2017.
- [2] Rodriguez F., Filimonov A., Henning A., Coughlin C., Greenberg M., 1991: Radiation-Induced Effects in Multi-programmable Pacemakers and Implantable Defibrillators. *Pace*, Vol. 14, 2005.
- [3] Blamires N. G., Myatt J., 1982: X-Ray Effects on Pacemaker Type Circuits. *Pace* Vol. 5, 1982.
- [4] Gauter-Fleckenstein B., Israel C. W., Dorenkamp M, Dunst J., Roser M., Schimpf R., Steil V., Schäfer J., Höller U., Wenz F., 2015: DEGRO/DKG guideline for radiotherapy in patients with cardiac implantable electronic devices. *Strahlenther Onkol* (2015): 393-404.

Project Partner:

MR:comp, Gelsenkirchen
Klinikum St. Marien Amberg, Amberg

Funding sponsor:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

Funded by: Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, ZF4205702AW6.

Kontakt:



Larissa Blümlein, M.Sc.

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

l.bluemlein@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
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de

Zusammenfassung

Für die Analyse von Schaltlichtbögen in Niederspannungsschaltgeräten wird ein auf Magnetfeldmessung basierender Ansatz verfolgt. Ziel ist die rückwirkungsfreie Ermittlung des Lichtbogenpfads innerhalb des Schaltgeräts. Hierfür wird eine zeitlich wie auch örtlich hochauflösende Magnetfeldsensorik entwickelt. Zudem wird ein Rekonstruktionsalgorithmus entwickelt, welcher aus den Magnetfeldmesswerten eine – dem Pfad des Lichtbogens entsprechende – Stromdichteverteilung berechnet. Mit der bereits produzierten Kamera konnten erste Aufnahmen von Schaltvorgängen erstellt werden.

Abstract

For the analysis of switching arcs in low-voltage switchgear, an approach based on magnetic field measurement is pursued. The aim is to determine the arc's path within the switchgear without influencing its behavior. For this purpose, a high-speed and high-resolution magnetic field sensoric system is developed. In addition, a reconstruction algorithm is being developed which calculates a current density distribution corresponding to the path of the arc from the magnetic field measurement data. With the camera already produced, it has already been possible to take initial pictures of switching processes.

1 Einleitung

Niederspannungsschaltgeräte sorgen für die Energieverteilung in der untersten Netzebene. Darüber hinaus sind sie sicherheitsrelevante Komponenten und schützen vor Fehlfunktionen wie Überstrom. Die Position und Bewegung des Lichtbogens innerhalb des Schaltgeräts ist eine wichtige Information für weitere Verbesserungen von Schaltgeräten, um eine längere Lebensdauer und damit eine höhere Ausfallsicherheit zu erreichen.

Für gewöhnlich werden diese Informationen durch optische Verfahren gewonnen. Dies erfordert jedoch Modifikationen am Schaltgerät: durch Austausch des Gehäuses gegen einen transparenten Kunststoff oder das Einbringen von Lichtwellenleitern in das Gehäuse^[1]. Neben dem Aufwand für solche Modifikationen sorgen sie zudem für eine Veränderung des Lichtbogenverhaltens und somit zu verfälschten Ergebnissen.

Aus diesem Grund wird im Rahmen des Forschungsprojekts RaMagNostic ein magnetischer Ansatz verfolgt. Durch Messung des Magnetfeldes des Lichtbogens und

einer anschließenden Rückrechnung zu einer korrespondierenden Stromdichteverteilung können rückwirkungsfrei Informationen über das Verhalten des Lichtbogens gewonnen werden. Daher wird eine Magnetfeldsensorik entwickelt, welche das Magnetfeld des Lichtbogens während des Schaltvorgangs außerhalb des Schaltgeräts aufzeichnet. Zudem werden Rekonstruktionsalgorithmen entwickelt, welche aus den Magnetfeldmesswerten, die Stromdichteverteilung innerhalb des Schaltgeräts und somit den Pfad des Lichtbogens berechnen^[2].

2 Sensoranforderungen und Sensorauswahl

Zunächst wurden die Anforderungen an räumlicher und zeitlicher Auflösung eines solchen Messsystems ermittelt. Für die Analyse der räumlichen Auflösung wurden lediglich statische Untersuchungen in Form von Messungen und FEM-Simulationen durchgeführt und somit die Anforderungen ermittelt. Die zeitliche Auflösung wurde durch die Messung von Schaltvorgängen ermittelt, wozu Miniatur-Pickup-Spulen zum Einsatz kamen. Als Anforderung konnte so eine erforderliche Abtastrate von mindestens 25 kHz ermittelt werden. Zum Einsatz kommt daher

der Hall-Sensor vom Typ FH5401c von Fraunhofer IIS. Die verwendete Hall-in-One-Technologie ermöglicht die gleichzeitige Messung aller drei Raumkomponenten der magnetischen Flussdichte (B_x , B_y , B_z) in einem Punkt ^[3]. Bei einer Baugröße von lediglich 2 mm x 3 mm ist jeder Sensor mit zwei solcher Sensorzellen ausgestattet, wodurch eine sehr hohe Dichte an Messpunkten ermöglicht wird. Durch die Ansteuerung mit einer maßgeschneiderten Befehlssequenz kann der Sensor genau an die Anforderungen angepasst werden. So ist es z. B. möglich, die Abtastrate zu erhöhen, indem die Auflösung der Sensoren verringert wird. Indem nur eine Pixelzelle verwendet wird, kann eine Abtastrate von 80 kHz für Ein-Achsen- bzw. 25 kHz für 3-Achsen-Messung erreicht werden.

3 Prototyp-Sensorkopf

Die spätere Kamera soll mit über 100 Sensoren bestückt sein. Es wurde vorab jedoch ein Prototyp-Sensorkopf mit lediglich 2 x 3 Sensoren entwickelt. Der Prototyp-Sensorkopf diente dazu, zahlreiche Aspekte bei der Entwicklung des Sensorsystems zu untersuchen. Der Grund hierfür waren zum einen die hohen Anforderungen an die Leiterplatte bezüglich EMV. Das transiente Magnetfeld des Lichtbogens stellt ein leistungsstarkes Störsignal dar, weshalb bei der Leiterplatte ein besonderes Augenmerk auf EMV-Störfestigkeit gelegt wurde. Zum anderen sollte zunächst auch Erfahrung mit der Leiterplattenfertigung und -bestückung gewonnen werden, da Spezialtechnologien wie Via-in-Pad zum Einsatz kommen. Außerdem sollte mit dem Prototyp auch die FPGA-basierte Firmware erstellt und getestet werden. Die Ergebnisse des Prototyps verdeutlichten die Machbarkeit eines solchen Messmittels und ebneten so den Weg für die weitere Entwicklung der Kamera.

4 Magnetfeldkamera

Nach erfolgreicher Erprobung des Prototyps wurde die eigentliche Kamera entwickelt. Das gesamte Kamerasystem ist in Abbildung 1 zu erkennen. Zunächst musste die Anzahl der Sensoren auf dem Sensorkopf (unten links) und deren Abstände festgelegt werden. Da zunächst nur eine Unterbrecherstelle der Doppelunterbrecherschaltkammer analysiert werden soll, wurde die Messfläche auf 60 mm x 42 mm festgelegt. Zudem wurden die Sensoren mit einem Abstand von 2,5 mm x 3,5 mm möglichst dicht zueinander angeordnet, wodurch sich ein Raster von 24 x 12, also insgesamt 288 Sensoren, ergibt. Neben dem Sensorkopf und dem FPGA-Board (unten rechts), besteht das Kamerasystem noch aus einem Piggy-Board (oben links) und einem Adapterboard (oben rechts). Das Piggy-Board sorgt zum einen für eine galvanische Trennung des FPGAs vom Sensorkopf, zum anderen dienen die darauf vorhandenen digitalen Isolatoren als Signaltreiber für die Signale zum Ansteuern des Sensorkopfes, wodurch zahlreiche Kabel eingespart werden konnten. Zudem

ermöglicht es die Entwicklung verschiedener Kameravarianten, ohne die Notwendigkeit, den teuren und aufwendigen Sensorkopf jedes Mal fertigen zu müssen. Das Adapterboard, welches mit dem FMC-Anschluss (FPGA Mezzanine Card) des FPGA-Boards verbunden ist, stellt lediglich eine Anschlussmöglichkeit für die dreifach geschirmten MDR-(Mini-Delta-Ribbon)Kabel dar.

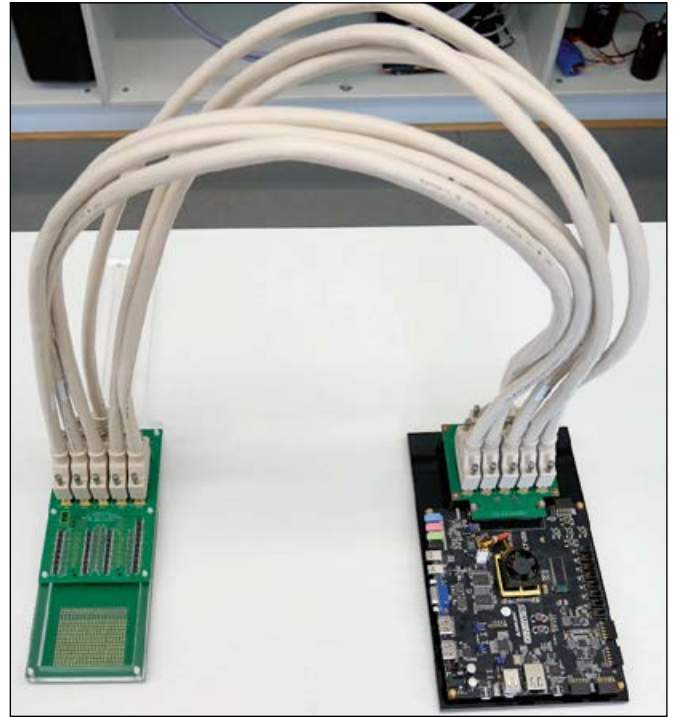


Abbildung 1: Kamerasystem

5 Messungen mit Kamera

Mit der Magnetfeldkamera wurden bereits erste Messungen von Schaltlichtbögen durchgeführt. In Abbildung 2 ist der Verlauf von Strom und Spannung (oben links) sowie die magnetische Flussdichte zu zwei Zeitpunkten (unten links und unten rechts) wie auch die Differenz der beiden Zeitpunkte (oben rechts) dargestellt. Zu diesen beiden Zeitpunkten zeigt sich eine deutliche Differenz in der magnetischen Flussdichte und somit ein weiterer Beweis der Machbarkeit eines solchen Messmittels.

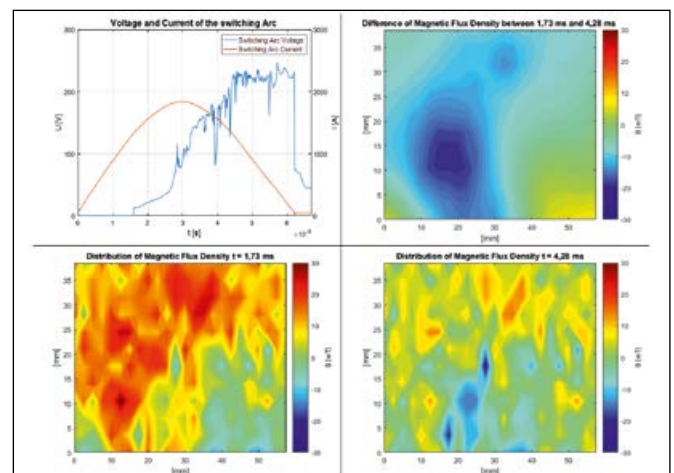


Abbildung 2: Aufgezeichneter Schaltvorgang

6 Ergebnis und Ausblick

Die bisherigen Aufnahmen der Kamera erfolgten lediglich mit einem Offset-Abgleich. Daher ist der nächste Schritt die Kalibrierung der Kamera mit einer entsprechenden Referenz. Daraufhin können aussagekräftige Messungen erfolgen.

Basierend auf der bisherigen Magnetfeldkamera soll das System zu einem Tomografen erweitert werden und durch

gleichzeitige Messung mit mehreren Sensorköpfen die Genauigkeit deutlich erhöht werden.

Neben der Entwicklung der Magnetfeldkamera müssen zudem noch Rekonstruktionsalgorithmen entwickelt werden, um letztlich von den Magnetfeldmesswerten auf die korrespondierende Stromdichteverteilung schließen zu können.

Referenzen:

- [1] P. M. Weaver, J. W. McBride, Arc Motion In Current Limiting Circuit Breakers, 16th International Conference on Contacts, Loughborough (UK), 1992
- [2] 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 1146–1153, 2002
- [3] J. Bretschneider, A. Wilde, P. Schneider, H. Hohe, U. Koehler, „Design of multi-dimensional magnetic position sensor systems based on HallinOne® technology“, 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, IEEE, 2010.

Fördergeber:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kontakt:



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



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



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

Optische Kohärenz- tomografie in der Medizin- technik: ein System für Forschung sowie Lehre und Ausbildung in Technischer Optik und Lasersysteme

Stefan Hofmeister, B.Eng.
Agnes Pöllmann, M.Sc.
Prof. Dr. Ralf Ringler

Zusammenfassung

Die optische Kohärenztomografie (OCT) ist eine etablierte Untersuchungsmethode in der Medizin, die mittlerweile auch in der Industrie zum Einsatz kommt. Durch sie werden hochaufgelöste Bilder in Echtzeit bereitgestellt, ohne dass ein direkter Kontakt mit der Probe erforderlich ist. Somit bietet die optische Kohärenztomografie eine ideale Technik für vielfältige Anwendungen. Im medizinischen Bereich ist die Methode vor allem in der Dermatologie zur nicht invasiven Diagnostik von Hauttumoren und in der Augenheilkunde zur Untersuchung der Netzhaut verbreitet. In der Industrie wird die Technik zur Untersuchung von Oberflächen, z. B. in der Solarindustrie, verwendet. ^[1]

An der OTH Amberg-Weiden wird im Studiengang Medizintechnik im Rahmen „Technische Optik und Lasertechnologie“ des Bachelorstudiengangs ein Praktikum abgehalten, in dem ein Interferenzmuster mittels Michelson-Interferometer erzeugt werden soll. Das Angebot soll um einen eigenständigen optischen Kohärenztomografie(OCT)-Aufbau, der auf dem Grundprinzip des Michelson-Interferometers beruht, erweitert werden.

Hierbei ist es wichtig, dass der Aufbau robust und flexibel einsetzbar ist. Ziel der Konstruktion des neuen Aufbaus ist ein vertieftes Verständnis für die Wirkungsweise von optischen Komponenten zu entwickeln und gleichzeitig einen Versuchsaufbau im Praktikum zu erstellen, mit dem die Ziele der OCT nachgestellt werden können.

Um mögliche Probleme und zeitaufwendige Abschnitte beim Aufbau im späteren Praktikum zu reduzieren, wurde als Lösung eine CAD-Konstruktion erstellt, die mit einer Grundplatte und speziellen Halterungen die Positionierung der optischen Komponenten (u. a. Laser, Lochblende, Strahlteiler) erleichtert.

Abstract

Optical coherence tomography (OCT) is an established method used in both medicine and industry. They provide high-resolution images in real time without the need for direct contact with the sample. Thus, optical coherence tomography offers an ideal technique for a variety of applications. In medicine, the method is mainly used in dermatology for the non-invasive diagnosis of skin cancer and in ophthalmology for examining the retina. In industry, the technique is used in order to inspect surfaces, e.g. in the solar industry. ^[1]

At the OTH Amberg-Weiden, the degree program “Technical Optics and Laser Technology” of the Bachelor’s degree program will be held an internship in which an interference pattern is to be generated by Michelson-Interferometer. The offer is to be extended by an independent optical coherence tomography (OCT) setup, which is based on the basic principle of the Michelson interferometer.

Here it is important that the structure is robust and flexible. The goal of the design of the new setup is to develop a deeper understanding of how optical components work, and at the same time to create an experimental setup that can be used to reconstruct the objectives of the OCT.

In order to reduce potential problems and time-consuming parts during assembly in the subsequent internship, the solution was a CAD design that facilitates the positioning of the optical components (including laser, pinhole, beam splitter) with a base plate and special holders.

1 Einleitung

Die Früherkennung von Erkrankungen ist in der Medizin unabdingbar, um möglichst früh eine Therapie für den Patienten einleiten zu können. Die optische Kohärenztomografie (OCT) spielt hierbei eine wichtige Rolle. Bei der OCT handelt es sich um eine schnelle und nicht invasive Methode zur Untersuchung von rückstreuenden Oberflächenstrukturen, die in unterschiedlichen Disziplinen der Medizin zum Einsatz kommt. Durch Erzeugung von Interferenzen können hochaufgelöste Aufnahmen von Proben in Echtzeit erstellt werden. Die Vorteile dieser Technik gegenüber anderen Verfahren werden im Folgenden beispielhaft für den Bereich der Dermatologie sowie der Augenheilkunde aufgezeigt.

Bei der Untersuchung von Hauttumoren und potenziell darin enthaltenen Unregelmäßigkeiten wird das Gewebe durch den Einsatz von niederenergetischen Lichtquellen geschont. Konkret kann dadurch die schädigende Ionisierung von Atomen bzw. Molekülen im Hautgewebe vermieden werden. Zudem kann bei der Anwendung der OCT ein ausreichend starker Kontrast zwischen gesundem und Tumorgewebe sichergestellt werden, der eine klare Abgrenzung ermöglicht. Röntgen z. B. ist aufgrund der hohen Energie der Strahlung für die Untersuchung oberflächennaher Strukturen ungeeignet.

Im Gebiet der Augenheilkunde kommt ebenfalls der Vorteil der geringen Lichtintensität der OCT-Anwendung zum Tragen, wodurch die physische Belastung für das menschliche Auge minimiert werden kann. Zudem kann die feine Schichtstruktur der Netzhaut (etwa 250 – 300 μm dick) im Vergleich zu anderen Techniken, wie z. B. dem Konfokalmikroskop, besser abgebildet werden. Damit wird die akkurate Diagnose einer Vielzahl von Netzhauterkrankungen, wie z. B. die Makuladegeneration^[2], gewährleistet.

2 Material und Methoden

2.1 Schematische Skizze des Aufbaus

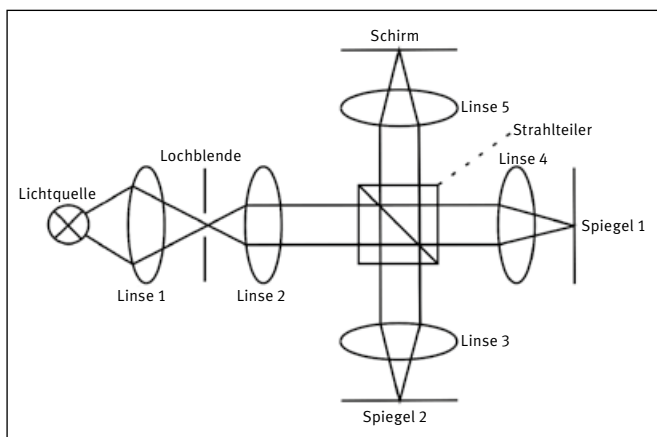


Abbildung 1: Schematische Skizze des Aufbaus

Das Grundprinzip des Aufbaus beruht auf dem sogenannten Michelson-Interferometer, das aus einer Lichtquelle, einem Strahlteiler, zwei Spiegeln und einem Detektor/Schirm besteht. Diese Variante wird, wie in Abbildung 1 zu sehen, um weitere Komponenten ergänzt. Zwischen der Lichtquelle und dem Strahlteiler werden zwei 100 mm Bikonvexlinsen (Linse 1 und Linse 2) und eine Lochblende mit variablem Durchmesser eingefügt, um ein paralleles Lichtbündel zu erhalten. Zusätzlich wird vor den beiden Spiegeln und dem Detektor/Schirm eine 50-mm-Bikonvexlinse (Linse 3, 4 und 5) ergänzt, um das Licht auf den Spiegeln zu bündeln. Spiegel 1 ist wie in Abbildung 1 ersichtlich, in z-Richtung beweglich, Spiegel 2 ist fix.

Das divergente Licht des Lasers mit einer Wellenlänge von 632 nm wird durch die Linse 1 gebündelt und auf die Lochblende abgebildet. Die Blende befindet sich dabei exakt im Brennpunkt dieser Linse. Durch die Abbildung auf die Lochblende wird diese als neue Lichtquelle betrachtet. Mithilfe der zweiten Sammellinse, die im Abstand ihrer Brennweite nach der Lochblende positioniert wird, wird das divergierende Licht in parallele Strahlen umgewandelt. Diese treffen auf den Strahlteiler und werden aufgeteilt. Die eine Hälfte des Lichts trifft auf Spiegel 1, wird von diesem reflektiert und auf dem Schirm abgebildet. Die andere Hälfte analog dazu auf Spiegel 2. Am Schirm überlagern sich die beiden Teilstrahlen wieder. Vor den einzelnen Spiegeln befindet sich jeweils eine Sammellinse, die dafür sorgt, dass das Licht punktförmig auf diese auftrifft. Dadurch wird das Interferenzmuster unempfindlicher gegenüber Positionierungsungenauigkeiten der einzelnen Optikinstrumente. Vor dem Schirm bzw. Detektor befindet sich eine konkave Linse. Diese vergrößert das Interferenzmuster, sodass es deutlicher zu erkennen ist. Für eine einfache, schnelle und exakte Feinjustage ist Spiegel 1 auf einem Mikrometer-Verschiebetisch montiert.

2.2 Vorversuch

Um das Ziel eines eigenständigen Versuchsaufbaus, der flexibel auf- und wieder abgebaut werden kann, zu erreichen, wird der Versuch zuerst mit bereits vorhandenen Komponenten aufgebaut. Dazu werden die Optikinstrumente mittels Magnetfüßen auf kleineren Metallplatten positioniert. Aus diesem Aufbau können die Abstände zwischen den einzelnen Komponenten sowie die Gesamtgröße dessen ausgemessen werden. Nach diesen Maßen wird eine Metallplatte gefertigt, die an den entsprechenden Positionen Gewindebohrungen für spezielle Metallsäulen aufweist. In diesen werden die Optiken mithilfe von sogenannten Stativstiften befestigt.

In der Tabelle 1 befinden sich die ausgemessenen Abstände zwischen den jeweiligen Optikinstrumenten. Bei den Angaben handelt es sich jeweils um den Abstand zwischen den beiden Mittelpunkten der Metallsäulen, auf denen die Bauteile befestigt werden. Daher sind die

Angaben nur spezifisch für diesen Aufbau gültig und nicht allgemein verwendbar.

Tabelle 1: Ermittelte Abstände

| Versuchsabschnitt | Abstand in mm |
|----------------------------------|---------------|
| Lichtquelle bis +100 mm Linse 1 | 187 |
| +100 mm Linse 1 bis Lochblende | 298 |
| Lochblende bis +100 mm Linse 2 | 102 |
| +100 mm Linse 2 bis Strahlteiler | 250 |
| Strahlteiler bis +50 mm Linse 3 | 132 |
| +50 mm Linse 3 bis Spiegel 1 | 68 |
| Strahlteiler bis +50 mm Linse 4 | 132 |
| +50 mm Linse 4 bis Spiegel 2 | 68 |
| Strahlteiler bis +50 mm Linse 5 | 132 |
| +50 mm Linse 5 bis Schirm | 68 |

2.3 Aufbau mit den vorher gewonnenen Daten

Die Grundplatte für den Aufbau wurde in der hauseigenen Werkstatt maßgefertigt. Als Material wurde rostfreier Edelstahl verwendet, damit die Platte lange beständig ist. Die Maße der Platte betragen 1200 mm x 500 mm x 10 mm.



Abbildung 2: Versuchsaufbau

An den im Vorversuch ermittelten Positionen befindet sich jeweils eine M6-Gewindebohrung, in die Metallsäulen mittels Madenschrauben geschraubt werden. So ist es möglich, die Optikkomponenten auf den Stativstiften entweder in einer beliebigen Höhe zu positionieren oder zu rotieren und die Positionierung mittels Stellschraube zu fixieren.

3 Ergebnisse

3.1 OCT-Aufbau

Die Optische Kohärenztomografie wurde mittels eines Michelsons-Interferometers realisiert. Hierfür wurde der Grundaufbau des Interferometers um eine Lochblende und mehrere Linsen erweitert, damit der Versuch mit

einem Diodenlaser durchgeführt werden kann. Zur einfacheren Handhabung wurde eine Metallplatte gefertigt, mit der es möglich ist, den Aufbau schnell auf- und abzubauen.

Die bestellten und hergestellten Komponenten ermöglichen

- schnellen und unkomplizierten Auf- und Abbau
- Erzeugung von Interferenzen sowohl mit einem Laser als auch einer Laserdiode
- Durchführung von Messungen
- Bedienung durch Personen mit geringen Kenntnissen über Interferometrie

3.2 Interferenzmuster

Nach exakter Justierung aller Optikinstrumente haben sich folgende Interferenzmuster für eine Laserdiode sowie einen HeNe-Gaslaser ergeben:

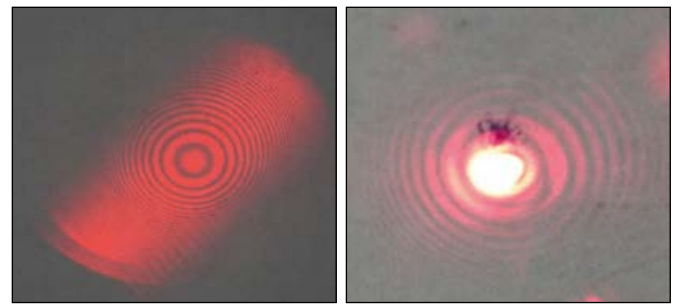


Abbildung 3: Interferenzmuster mit Laserdiode

Abbildung 4: Interferenzmuster mit HeNe-Gaslaser

In beiden Abbildungen deutlich zu erkennen sind die sich abwechselnden hellen und dunklen Ringe, die Maxima und Minima.

Nach erfolgreicher Durchführung des Versuchs mit dem Laser wird dieser gegen einen Diodenlaser ausgetauscht. Um mit der Laserdiode ein ähnliches Muster zu erzeugen, muss der Aufbau angepasst werden. Die 100-mm-Bikonvexlinse, die für die Parallelisierung des Lichts zuständig ist, wird entfernt. Dies dient lediglich zur besseren Veranschaulichung und zum Vergleich zwischen den beiden Lasertypen.

Zu erkennen ist ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Interferenzmustern. Das Muster in Abbildung 3 hat ein ausgeprägteres Zentrum als das in Abbildung 4 sowie nach außen hin zahlreiche deutlich erkennbare helle Interferenzringe. Durch den vordefinierten Spot des Diodenlasers wird das Muster in Abbildung 3 in seiner Breite eingeschränkt, wodurch kein optimales Interferenzmuster erzeugt werden kann.

3.3 Verwendung unterschiedlicher Durchmesser der Lochblenden

Neben der Verwendung zweier unterschiedlicher Lichtquellen, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, wurde untersucht, welche Unterschiede die Verwendung von Lochblenden zweier verschiedener Durchmesser verursachen kann.

Hierfür werden zwei Lochblenden mit jeweils 0,2 mm und 0,6 mm verwendet. Für die Blende mit 0,2 mm wird eine Fassung verwendet, mit der die Öffnung in x- und y-Richtung verschoben werden kann, da die Justierung der Lochblende mit 0,2-mm-Durchmesser hoher Präzision bedarf. Es ist zu erwarten, dass bei einer Variation des Durchmessers eine Veränderung der Intensität und der Auflösung eintritt.

Nach Erzeugung von Interferenzmustern mit beiden Lochblenden kann man feststellen, dass die Verringerung des Durchmessers um $\frac{2}{3}$ nicht ausreicht, um rein optisch die Intensität der Interferenzen zu verringern.

4 Zusammenfassung mit Ausblick

Ziel war es, einen Aufbau zu erstellen, mit dem der bzw. die Anwender Interferenzen erzeugen können. Flexibilität und Mobilität spielen hierbei eine wichtige Rolle.

Dafür wurde eine mobile Grundplattform erstellt, die es ermöglicht, nahezu überall und in wenig Zeit, einen OCT-Versuch aufzubauen. Diese Vorgaben wurden alle erfolgreich umgesetzt. Allerdings wiegt die Grundplatte in der hier verwendeten Form ca. 47 kg. Durch Änderungen der Geometrie in der nächsten Generation ist eine Gewichtsreduktion um bis zu 30 Prozent und somit eine leichtere Handhabung möglich.

Referenzen:

- [1] Wolf, C., Industrielle optische Kohärenztomographie, https://www.ikts.fraunhofer.de/content/dam/ikts/industrieloesungen/optische_pruefsysteme/423_Industrielle_optische_Kohaerenztomographie_2014.pdf, 1.9.2018
- [2] Stürzlinger, H., Fröschl, B., Genser, D.: Wertigkeit der optischen Kohärenztomographie im Vergleich zur Fluoreszenz-Angiographie in der Diagnostik der altersbedingten Makuladegeneration (AMD). DIMDI (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information). HTA-Bericht 51, 2007

Kontakt:



Stefan Hofmeister, B.Eng.

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



Agnes Pöhlmann, M.Sc.

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

a.poellmann@oth-aw.de



Prof. Dr. Ralf Ringler

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

r.ringler@oth-aw.de



Bachelor-Studiengänge

Betriebswirtschaft
Bio- und Umweltverfahrenstechnik
Elektro- und Informationstechnik
Energietechnik und Energieeffizienz
Geoinformatik und Landmanagement
Handels- und Dienstleistungsmanagement
Handels- & Dienstleistungsmanagement berufsbegl.
Industrie-4.0-Informatik
International Business
Internationales Technologiemanagement
Kunststofftechnik
Logistik & Digitalisierung
Maschinenbau
Mechatronik und digitale Automation
Medieninformatik
Medienproduktion und Medientechnik
Medizintechnik
Patentingenieurwesen
Wirtschaftsingenieurwesen

Master-Studiengänge

Angewandte Wirtschaftspsychologie
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



Inserentenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Amberger Freunde der Hochschule | 34 |
| F.EE Industrieautomation GmbH u. Co. KG | 34 |
| IGZ Die SAP Ingenieure | 34 |
| Lang Patent Anwaltskanzlei | 56 |
| OTH Professional | 56 |
| Stadtbau GmbH Weiden | 56 |
| HORN GLASS INDUSTRIES AG..... | 74 |
| WITRON Logistik + Informatik GmbH | 74 |
| PSZ electronic GmbH..... | 94 |
| Bayernwerk AG..... | 119 |
| BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH | 141 |
| Gebrüder Dorfner GmbH + Co Kaolin- und Kristallquarzsand-Werke KG | 168 |
| Herding GmbH Filtertechnik | U4 |

U = Umschlagseite

Impressum

Herausgeber:

Präsidentin
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Prof. Dr. Andrea Klug

Redaktion:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF

Titelgestaltung:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF
Titelbild: stock.adobe.com

Inhalt/Bildmaterial/Copyright:

Die Verantwortung für Inhalt und Bildmaterial der Beiträge
sowie das Copyright liegt bei den jeweiligen Autoren.

Gesamtherstellung:

Mundschenk Druck + Medien, Mundschenkstraße 5, 06889 Lutherstadt Wittenberg

Erscheinungstermin:

März 2019

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/forschungsbericht



reine
Produktivität

Herding
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. Wir bieten Möglichkeiten für

- // **AUSBILDUNG UND DUALES STUDIUM**
- // **PRAKTIKUM**
- // **WERKSSTUDENTENTÄTIGKEIT**
- // **BACHELOR- UND MASTERARBEIT**
- // **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

herding.de

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