

# Forschungsbericht

2014



Herausgegeben von:





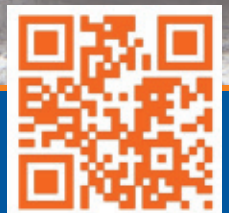
# Wir sorgen für reine Produktivität in der Industrie und schützen Mensch, Umwelt und Maschine

Herding Filtertechnik ist weltweit agierender Systemlieferant und leistungsstarker Partner der gesamten Industrie für Entstaubungssysteme, Filteranlagen und Filtermedien.

Mit dem Sinterlamellenfiltermedium hat Herding die Oberflächenfiltration revolutioniert.

**Absolventen und Studierenden der Fachrichtungen Maschinenbau, Umwelttechnik, Verfahrenstechnik bieten wir Praktika, Bachelor- und Masterarbeiten oder den Direkteinstieg.**

[bewerbung@herding.de](mailto:bewerbung@herding.de)



[herding.de](http://herding.de)

2013 war ein Jahr der Meilensteine für unsere Hochschule.

Am 19. März 2013 zeichnete das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst die Hochschulen Amberg-Weiden und Regensburg im Verbund mit dem Titel Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) aus.

Ein Feiertag nicht nur für die beiden Hochschulen, sondern für den gesamten Hochschulraum.

Die Oberpfalz hat damit ein neues Alleinstellungsmerkmal: Zwei Hochschulen machen sich stark für ihre Region; zwei Hochschulen im Verbund werden eine große Dynamik entwickeln und als Bildungs- und Innovationsmotor einen herausragenden Beitrag zur nachhaltigen Zukunftssicherung der mittleren und nördlichen Oberpfalz leisten.

Wenige Tage später, am 22. März 2013, wurde der Weidener Technologie-Campus (WTC) mit einer Gesamtfläche von 2.500 m<sup>2</sup> eröffnet, knapp zwei Jahre nach dem Bezug des Amberger Technologie-Campus (ATC).

Mit dem doppelten Technologiecampus stärken wir die Hochschulstandorte Weiden und Amberg, und wir schaffen einen Wissens- und Technologietransfer der kurzen Wege. Die gesamte Hochschulregion ist beteiligt an der Idee einer Technologietransferstelle vor Ort und hat sich somit zum Botschafter der Philosophie unserer Hochschule gemacht: Keine Außenstellen, sondern Bündelung der Kompetenzen vor Ort. Magnete statt Satelliten.

Der Technologie-Campus ist ein Zukunftsprojekt, weil er in der Lage ist, nachhaltig Wissenschaftler, Unternehmer und Studierende zusammenzubringen, ihre Kräfte, Ideen und kreatives Potenzial zu bündeln – und so Neues in die Welt zu bringen.

Zukunft gestalten, Innovationen antreiben, Kompetenzen vermitteln – das steht seit ihrer Gründung vor nunmehr 19 Jahren auf der Agenda der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden.

Die Hochschule leistet nicht nur erfolgreich Bildungspolitik, sondern auch in hohem Maße Wirtschafts- und Strukturpolitik. Wissens- und Technologietransfer in enger

Kooperation mit den in der Hochschulregion ansässigen Unternehmen zählt zu den Kernaufgaben der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden und macht sie so zum Motor für den prosperierenden Wirtschaftsraum Oberpfalz.

Ein Spiegel dieser Kernkompetenz ist der vorliegende Forschungsbericht, den die ATC/WTC-Geschäftsführerin Dr. Karin Preißner wieder redaktionell betreut hat.

Im Vergleich zur letzten Ausgabe des Forschungsberichts im Oktober 2012 konnte die Zahl der Beiträge von 14 auf 21 gesteigert werden. Das belegt die Vielzahl und die Vielfalt der gemeinsamen Projekte zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, und es gewährt einen eindrucksvollen Einblick in das Kompetenzprofil aller Fakultäten der Hochschule. Zukünftig wird der Forschungsbericht der OTH Amberg-Weiden jährlich erscheinen.

In dem nun vorliegenden vierten Forschungsbericht erhalten Sie erstmals das Vorwort und die Abstracts der Beiträge in englischer Sprache. Hier arbeiten der Technologie-Campus und das Zentrum für Sprachen, Mittel- und Osteuropa der OTH Amberg-Weiden eng zusammen und tragen der für die Entwicklung des Wirtschaftsraums Oberpfalz unabdingbaren Internationalisierung Rechnung.

Weitere aktuelle Projekte verfestigen die Leuchtturmfunktion unserer Technischen Hochschule:

So wird auf dem Campus in Amberg im kommenden Jahr – auch baulich – das Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kupplung (KWK Campus) entstehen, ein in Bayern einzigartiges Forschungszentrum zur kostengünstigen Energieversorgung. Der Freistaat Bayern investiert in das Projekt, für das unser Technologietransfer-Beauftragter Prof. Dr. Markus Brautsch die Federführung übernommen hat, insgesamt 5,2 Millionen Euro.

Neben Energie- und Ressourceneffizienz gehört die Medizintechnik zu den Forschungsschwerpunkten und zukunftsrelevanten Strategiefeldern unserer Hochschule.

In diesen Bereichen hat die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden gemeinsam mit der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg ein „Technologie und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)“ geknüpft: Diese intelligente, themenorientierte und hochschulübergreifende Vernetzung beider Hochschulen war die Basis für die Kooperation unter dem Dach der Ostbayerischen Technischen Hochschule.

Synergien schaffen in Forschung und Lehre, das ist das Projekt, an dem wir jetzt mit Engagement weiter arbeiten – vor allem in den Themenfeldern, in denen beide Hochschulen stark sind, in denen sie sich ergänzen und weiter voranbringen und noch effektivere Impulse in den Technologietransfer beider Hochschulen unter dem Dach der OTH einbringen.

Gebündelt haben wir diese Kompetenzen in den Leitthemen der Ostbayerischen Technischen Hochschule:

- Energie und Mobilität;
- Information und Kommunikation;
- Lebenswissenschaften und Ethik;
- Produktion und Systeme;
- Gebäude und Infrastruktur
- sowie Sensorik.

Technologietransfer ist nie eine Einbahnstraße; die Ergebnisse aus der angewandten Forschung und dem Wissenstransfer fließen immer direkt in die Lehre zurück. Damit garantieren wir unseren Studierenden ein Studium auf dem aktuellsten Stand der Technik.

Aktuell studieren an beiden Standorten unserer Hochschule 3.250 junge Männer und Frauen in 18 Studiengängen; sie werden von 86 Professorinnen und Professoren unterrichtet – und von 87 Lehrbeauftragten, die direkt aus der Praxis kommen.

Unsere OTH stellt den Unternehmen vor Ort über unsere mittlerweile 3.500 Absolventinnen und Absolventen ein hoch qualifiziertes Nachwuchspotenzial zur Verfügung. 80 % von ihnen bleiben in der Region und sind bei hier ansässigen Firmen beschäftigt.

Prof. Dr. Erich Bauer

Präsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Prof. Dr. Reiner Anselstetter

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

Die Studiengänge der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden sind so ausgerichtet, dass sie Zukunft und berufliche Perspektiven garantieren: In Amberg profiliert sie sich mit den Studiengängen Elektro- und Informationstechnik, Angewandte Informatik (Industrieinformatik und Medieninformatik), Medienproduktion und Medientechnik, Maschinenbau, Umwelttechnik, Erneuerbare Energien, Kunststofftechnik und Patentingenieurwesen. Daran anschließend können Master-Studiengänge wie IT und Automation, Umwelttechnologie, Innovationsfokussierter Maschinenbau oder Medientechnik und Medienproduktion belegt werden.

In Weiden stehen Betriebswirtschaft, Wirtschaftsingenieurwesen, Handels- und Dienstleistungsmanagement, Medizintechnik sowie Sprachen, Management und Technologie zur Auswahl. Master-Studiengänge werden mit den Inhalten Marketing Management, Human Resource Management, Interkulturelles Unternehmens- und Technologiemanagement, Wirtschaft und Recht sowie Betriebswirtschaft angeboten.

Die OTH ist regional verankert und international ausgerichtet – mit 43 Partnerhochschulen in 24 Ländern.

Die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden ist eine junge und innovative Hochschule, die ihren Claim „fördern, führen, inspirieren“ lebt.

Hier zählt Qualität statt Quantität: Das Lernen in kleinen Gruppen, das persönliche Gespräch mit den Lehrenden, der direkte Kontakt mit den Firmen.

Das ist auch ein Grund, warum die OTH immer wieder Spitzenplätze in den Rankings belegt. Hoch bewertet und gelobt werden die hohe Qualität in der Lehre, die Ausstattung der Labore und der beiden Bibliotheken, die funktionierenden Querverbindungen zu den Schulen, die enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft und eben – wie der vorliegende Bericht belegt – die vielen attraktiven Forschungsprojekte.

Ludwig von Stern

Kanzler der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden und 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



2013 has marked a milestone in the history of our University. On 19 March 2013, the Universities of Amberg-Weiden and Regensburg were awarded the title “Ostbayerische Technische Hochschule” (OTH) by the Bavarian State Ministry of Sciences, Research and the Arts – a reason to celebrate, not only for the two universities, but for the whole academic community in this region.

The award represents a unique selling point for the Upper Palatinate: Two universities in a joint effort to stand up for their region; two universities acting as a driving force of education and innovation, thus generating momentum and making an outstanding contribution to safeguarding a sustainable future in the middle and northern Upper Palatinate.

Just a few days later and nearly two years after the opening of the Amberg Technology Campus (ATC), on 22 March 2013, the Weiden Technology Campus (WTC) with a total floor area of 2,500 square meters opened its gates. With technology campuses in both Weiden and Amberg, we are strengthening the two university locations, thus facilitating knowledge and technology transfer over short distances.

The whole academic community in the Amberg-Weiden region shares the idea of an on-site transfer of technology and has hence become an ambassador to our university's mission: clusters of competence instead of outposts, magnets instead of satellites. The Technology Campus is a project of the future, designed to bring scientists, businesses and students together, thus pooling ideas, forces and creative potential to bring forth innovation.

Shaping the future, stimulating innovation, imparting skills – these have been the main points on the OTH's agenda since its inception 19 years ago. However, the OTH does not only make a successful contribution to a better education in the region; it also contributes extensively to its economy and structure. Knowledge and technology

transfer in close cooperation with regional businesses represents one of the key tasks of the OTH, making it the driving force for the prospering economic region of the Upper Palatinate. This research report, once again edited by ATC/WTC managing director Dr. Karin Preißner, clearly reflects these key tasks.

As compared to last year's edition of October 2012, the number of contributions has increased from 14 to 22. This accounts for the variety and multitude of joint projects between science and business and provides a striking insight into the competence profiles of the different faculties of the OTH. In the future, the research report will be published on an annual basis.

For the first time, the research report includes preface and abstracts in English – the result of the close cooperation between the Technology Campus and the OTH's Centre of Languages, Central and Eastern Europe to meet the need for internationalisation, which is so vital to the development of the economic region of the Upper Palatinate.

Other current projects will further strengthen the OTH's flagship position in the region:

Under the supervision of the OTH's commissioner for technology transfer, Prof. Dr. Markus Brautsch, the Amberg campus will soon host a competence center for combined heat and power (KWK Campus) – a center for research into cost-effective forms of energy generation, the only one of its kind in Bavaria. The project is funded by the Free State of Bavaria with a total of € 5.2m.

In addition to energy and resource efficiency, the OTH concentrates its research activities on medical technology as one of the most important strategic fields of the future. In this field, the Universities of Amberg-Weiden and Regensburg have established a joint “Technology and Science Network Upper Palatinate”, an intelligent, topic-related and interdisciplinary network which forms the

basis for their cooperation under the umbrella of the OTH. We are committed to creating synergies in research and teaching – especially in those areas where both our Universities excel, where they complement and foster one another, giving fresh impetus to technology transfer under the umbrella of the OTH.

We have concentrated our competences in the following core areas:

- Energy and Mobility
- Information and Communication
- Life Sciences and Ethics
- Production and Systems
- Buildings and Infrastructure
- Sensor Technology

Technology transfer is anything but a one-way street; the results of applied research and knowledge transfer flow directly back into teaching. This way, we guarantee our students a state-of-the-art education.

The OTH currently enrolls 3,250 students in 18 degree programmes. Its academic staff includes 86 professors and 87 practicing professionals from industry. With more than 3,500 graduates, the OTH provides local industry with a great potential of highly-qualified talents, 80% of which choose to stay in the region and are employed by local companies.

The degree programmes at the OTH are designed to guarantee excellent career prospects:

The Amberg Campus stands out for its degree courses in Electrical Engineering and Information Technology, Applied

Computer Sciences (Industrial and Media Informatics), Media Production and Media Technology, Mechanical Engineering, Environmental Technology, Renewable Energies, Plastics Engineering and Patent Engineering. For a Master's Degree, students can choose between Information Technology and Automation, Environmental Technology, Innovation-Focused Engineering or Media Technology and Media Production.

The Weiden Campus offers Business Administration, Industrial Engineering, Trade and Service Management, Medical Engineering, as well as Languages, Management and Technology. The Master's programmes available in Weiden are Marketing Management, Human Resource Management, Intercultural Management and Technology Management, Business and Law, as well as Business Administration.

The OTH is strongly rooted within its region and yet – with 43 partner institutions in 24 countries – it has a strong international orientation. We are a young and innovative university and we are committed to bringing our claim “fostering, guiding, inspiring” to life. For us, it is quality rather than quantity that matters: Learning in small groups; close contact between students and faculty; direct liaison with local companies. That is one of the reasons why the OTH Amberg-Weiden constantly secures top places in university rankings. The OTH Amberg-Weiden was particularly praised for its high quality of teaching; for its well-equipped laboratories and libraries; for its excellent relationship with the schools of the region; for its close cooperation with industry and finally – as demonstrated by this report – for its many attractive research projects.

Prof. Dr. Erich Bauer

Präsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Prof. Dr. Reiner Anselstetter

Vizepräsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
Wissenschaftlicher Leiter  
des Instituts für Angewandte Forschung  
Vice President of the OTH Amberg-Weiden  
and Scientific Director of the Institute  
of Applied Research

Ludwig von Stern

Kanzler der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden und 1. Vorsitzender des Technologie-Campus an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden e.V.  
Chancellor and Chairman of the Technology Campus at the OTH

Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Technologietransferbeauftragter  
der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
Commissioner for Technology Transfer of the  
Ostbayerischen Technischen Hochschule  
Amberg-Weiden e.V.



<b>Vorwort</b> .....	<b>1</b>
----------------------	----------

<b>Preface</b> .....	<b>3</b>
----------------------	----------

<b>Impressum</b> .....	<b>8</b>
------------------------	----------

Prof. Dr. Thorsten Hock, Dr. Werner Gleißner, Endre Kamaras

<b>Wertorientiertes Credit Management: Zusammenfassung von Rating, Ertragsmarge und Umsatzentwicklung</b> .....	<b>12</b>
1. Einleitung und Problemstellung.....	12
1. Introduction and Problem Statement.....	12
2. Ein einfaches Modell.....	13
3. Modellsimulationen .....	14
4. Modellerweiterungen und zusätzliche Anwendungen.....	15
5. Fazit.....	16

Prof. Dr. Günter Schicker & Prof. Dr. Johann Strassl

<b>Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie?</b> .....	<b>19</b>
Abstract.....	19
1. Entwickeln Sie eine Servicestrategie .....	21
2. Integrieren Sie Kunden in das Servicegeschäft .....	22
3. Entwickeln Sie den Servicegedanken bei den Mitarbeitern .....	22
4. Entwickeln und vermarkten Sie Serviceleistungen wie Produkte .....	22
5. Messen Sie konsequent die Leistung im Service.....	23

Prof. Dr. Franz Seitz, Christina Gerberding, Andreas Worms

<b>Interest Rate Rules and Money as an Indicator Variable*</b> .....	<b>25</b>
Abstract.....	25
1. Introduction .....	26
2. Mapping monetary targeting into an interest rate reaction function .....	26
3. Estimating the reaction function of the Bundesbank.....	29
4. Interpretation of the results .....	30
5. Conclusions.....	32
Zusammenfassung .....	38

Prof. Dr. Andreas Aßmuth und M.Sc. Matthias Söllner

<b>Ein Supercomputer für (fast) 0 €</b> .....	<b>39</b>
1. Einführung/Introduction .....	39
2. Konzept und Realisierung .....	40
3. Experimente und Benchmarks.....	41
4. Zusammenfassung und Ausblick .....	46

Prof. Dr. Dieter Meiller

<b>Web-basierte Heim-Automatisierung</b> .....	<b>48</b>
Zusammenfassung/Abstract.....	48
1. Ausgangssituation .....	48
1. Initial Situation .....	48
2. Vorgehensweise.....	48
3. Die Software .....	49

Prof. Dr. Dieter Meiller, M.Eng. Bernd Gerlang

<b>BHS Projekt Mensch-Maschine Interaktion</b> .....	<b>50</b>
Zusammenfassung .....	50
Summary .....	50
Gegenstand der Forschung und Entwicklung .....	51
Vorgehensweise .....	51

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

M.Eng. Stefan Fuchs, Dipl.-Ing. (FH) Stefan Ries

<b>Forschungsvorhaben Ethercar – Untersuchung u. Vergleich von Profinet u. Ethernet AVB für verteilte Fahrzeugapplikationen und für die Automatisierung</b> .....	<b>53</b>
1. Einleitung .....	53
1. Introduction .....	54
2. Ziele .....	55
3. Systemaufbau.....	57
4. Ausblick .....	59

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

M.Eng. Andreas Fuchs, Dipl.-Ing. (FH) Josef Obendorfer

<b>Forschungsvorhaben KOBA – Möglichkeiten u. Grenzen kontaktloser Backbonesysteme für anreihbare Automatisierungskomponenten</b> .....	<b>62</b>
1. Zusammenfassung/Summary.....	62
2. Forschungsarbeiten und Ergebnisse .....	62
3. Weiterarbeit .....	66
4. Weiterführende Veröffentlichungen .....	66

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Prof. Dr.-Ing. Holger Borchering

<b>F&amp;E am Amberger Technologie-Campus NetEfficient®, Steigerung der Energieeffizienz in elektrischen Anlagen der Industrie mit softwaregestützter Optimierung</b> .....	<b>68</b>
1. Zusammenfassung/Abstract .....	68
1. Abstract .....	68
2. Einleitung .....	68
3. Programmübersicht .....	70
4. Netzauslegung und Effizienz .....	70
5. Berechnungsmethoden .....	71
6. Weiterarbeit .....	72

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt, M.Eng. Daniel Schuler  
**F&E am Amberger Technologie-Campus Drive Controller, Sicherheitsgerichtete Sondersteuerung für Antriebe in der Bühnentechnik**  
 Abstract.....75

Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch  
 M.Sc. Raphael Lechner, Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O'Connell  
**Identifikation von Einsatzmöglichkeiten und Potenzialen der Zündstrahltechnologie ..... 77**  
 1. Abstract .....77  
 2. Ausgangslage .....77  
 3. Aufbau der Versuchsanlage .....78  
 4. Versuchsergebnisse .....79  
 5. Zusammenfassung und Ausblick .....82

Prof. Dr. Peter Kurzweil, M.Eng. Andreas Hildebrand, M.Eng. Anton Riedmayr  
**Analyse von Aromen und Schadensfällen mit einem Ionenmobilitätsspektrometer ..... 84**  
 Experimentelles.....84  
 Hopfenanalytik .....85  
 Apfelaroma .....85  
 Mykotoxine in Mehl .....85  
 Kunststoffgeruch.....85  
 Verbrennungsrückstände.....86  
 Fazit .....86

Prof. Dr. Peter Kurzweil, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Frenzel, B.Eng. Matthias Weiß  
**Leistungsdaten und Alterungsverhalten elektrochemischer Speicher: Lithiumbatterien und Superkondensatoren ..... 89**  
 Superkondensatoren.....89  
 Alterungsstudien .....90  
 Alterungsvorgänge .....90  
 Lithiumionen-Batterien .....90

Prof. Dr. Matthias Mändl und Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Schafberger  
**Schallanalysen für Unfallgutachten..... 93**  
 Abstract.....93  
 Akustische Wahrnehmbarkeit .....93  
 Fall 1: Außenspiegelkollision.....93  
 Messablauf.....94  
 Ergebnisse .....94  
 Fazit .....95  
 Fall 2: Kreuzungskollision mit einem Notarztfahrzeug.....96  
 Messablauf.....96  
 Referenzmessung .....96  
 Ergebnisse .....96  
 Zusammenfassung und Ausblick.....98

Prof. Dr. Ursula Versch  
**Effektivität und Effizienz im Rechercheprozess Herausforderungen bei der technischen Recherche im Innovationsprozess ..... 99**  
 Abstract.....99  
 Abstract.....100  
 1. Recherchearten .....100  
 2. Der Rechercheprozess .....101  
 3. Effektivität von Recherchen: „Die richtigen Dinge tun“..101  
 4. Effizienz von Recherchen – Systematisierung: „Die Dinge richtig tun“.....103  
 5. Beispiel .....105  
 6. Zusammenfassung.....108  
 Danksagung .....111

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk  
**Automatisierte Generierung und Validierung der Steuerungssoftware moderner Produktionsmaschinen/ Automated Generation and Validation of Control Software for Modern Production Machines ..... 114**  
 Automatische Softwareerstellung mit dem Projektgenerator.. 114  
 Generierung eines virtuellen Maschinenmodells.....115  
 Validierung der Steuerungssoftware .....115  
 Fazit und Ausblick.....115

Prof. Dr. med. Clemens Bulitta  
**Lehr- und Forschungs-OP an der OTH – Konzept und Zielsetzungen..... 117**  
 Surgical Teaching and Research at the OTH Amberg-Weiden – Concept and Objectives.....117

Prof. Dr.-Ing. Günter Kummetersteiner  
**Handbuch ÖkoLogistik ..... 120**  
 Manual EcoLogistics.....120

Prof. Dr. Franz Magerl, B.Eng. Frank Guggenmos  
**Einsatz der Mehrkörpersimulation in Verbindung mit Computertomografie in der Produktentwicklung..... 122**  
 Hintergrund .....122  
 Background .....122  
 Die Mehrkörpersimulation .....123  
 Die Computertomografie.....123  
 Einbindung von CT-Aufnahmen in die Mehrkörpersimulation .123  
 Ergebnis.....125

Prof. Dr. Ralf Ringler, Prof. Dr. Clemens Forster  
**Corticale Schmerzverarbeitung bei mentalem Stress – Visualisierung mit funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT)..... 126**  
 Introduction.....126  
 Materials and methods.....126  
 Results.....126  
 fMRI results – GLM-analysis .....127  
 Conclusion.....128

Prof. Dr. Frank Schäfer  
**Russland als Zielmarkt für Exportgeschäfte für Abwassertechnik/Russia as a Target Market for Export Transactions regarding Sewage Technology ..... 129**  
 1. Einführung und Gang der Untersuchung.....129  
 Introduction and Course of our Investigation.....129  
 2. Wasser als globale Engpassressource.....130  
 3. BRIC-Staaten und Umweltverantwortung .....130  
 4. Ausgewählte Perspektiven im Abwassermarkt Deutschland .....131  
 5. Marktakteure im globalen Abwassermarkt .....132  
 6. Eckdaten der russischen Wirtschaft .....132  
 7. Struktur des Wasser- und Abwasser-Sektors in Russland .....133  
 8. Ausgewählte Perspektiven für Russland als Exportmarkt für Abwassertechnik .....133  
 9. Zusammenfassung.....134

**Inserentenverzeichnis ..... 136**



# LÜDECKE

Since 1930. The perfect connection.

## THE PERFECT CONNECTION technology and education



### COUPLING SYSTEMS MADE IN GERMANY

Wir sind seit **mehr als 80 Jahren** der kompetente Ansprechpartner für Kupplungssysteme im Bau- und Industriebereich, ob aus unserem Standardprogramm oder als Sonderanfertigung.

Wir produzieren Armaturen für verschiedenste Branchen zur Verwendung für unterschiedlichste Medien, welche international über den technischen Fachhandel vertrieben werden oder von führenden Maschinenbauern weltweit als Erstausrüstung eingesetzt werden.

**Ergänzen Sie Ihr erworbenes Wissen mit Praxiserfahrung bei uns durch ein Praktikum, eine Abschlussarbeit oder eine Werkstudententätigkeit.**

**Wir bieten Praktikantenstellen für Studenten *m/w* in den Bereichen**

**• Informationstechnik • Maschinenbau • Wirtschaftswissenschaften • Marketing**

Arbeiten Sie mit uns an innovativen Projekten und nutzen Sie die Vorteile unseres dynamischen Unternehmens.



[luedecke.de](http://luedecke.de)

**Herausgeber:**

Der Präsident der  
Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
Prof. Dr. Erich Bauer

**Redaktion:**

Technologie-Campus an der  
Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden  
e. V.  
Dr. Karin Preißner  
Geschäftsführerin

**Titelgestaltung:**

Prof. Dipl.-Kfm. Ralph E. Hartleben  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

**Bildmaterial:**

Autoren der Fachbeiträge

**Gesamtherstellung:**

mediaprint info verlag gmbh  
86415 Mering  
[www.mp-infoverlag.de](http://www.mp-infoverlag.de)

**Auflage:** 2000**Erscheinungstermin:**

Februar 2014

Für die einzelnen Projektberichte liegt die inhaltliche  
Verantwortung bei den jeweiligen Projektleitern.

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
(OTH)

**OTH in Amberg:**

Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg  
Tel.: 09621/482-0, Fax: 09621/482-4991  
[amberg@oth-aw.de](mailto:amberg@oth-aw.de)

**OTH in Weiden:**

Hetzenrichter Weg 15, 92637 Weiden  
Tel.: 0961/382-0, Fax: 0961/382-2991  
[weiden@oth-aw.de](mailto:weiden@oth-aw.de)  
[oth-aw.de](http://oth-aw.de)





**BHS**



## Berufseinstieg bei BHS Corrugated

- die richtige Entscheidung für Ihre erfolgreiche Zukunft!

*Nähere Informationen über aktuelle Stellenanzeigen finden Sie unter [www.bhs-world.com](http://www.bhs-world.com) oder auf Facebook unter [www.facebook.com/bhs.world](http://www.facebook.com/bhs.world)*

We create solutions.

BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Personalabteilung - Harald Hiller

Paul-Engel-Straße 1

92729 Weiherhammer

Tel.: 09605.919.666

Mail: [hhiller@bhs-corrugated.de](mailto:hhiller@bhs-corrugated.de)

Web: [www.bhs-world.com](http://www.bhs-world.com)



Ihr zuverlässiger Partner  
rund ums Wohnen!



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

## Wohnen bei unserer Genossenschaft bietet Ihnen viele Vorteile

Sicherheit und Geborgenheit  
als Genossenschaftsmieter

Unterstützung im Alltag durch  
unsere Seniorenbetreuung

Genossenschaftliche Altersvorsorge  
mit Minderung  
der Miete in der Rente

vom Singleappartement  
bis zum Einfamilienhaus

genossenschaftseigener  
Kindergarten

Hausmeisterdienst

Notdienst rund um die Uhr



Wohnungsbau  
Siedlungswerk  
Werkvolk eG

Hans-Thoma-Str. 9, 92224 Amberg  
Tel. 09621 76630, Fax 09621 766325  
[www.ws-eg.de](http://www.ws-eg.de), [info@ws-eg.de](mailto:info@ws-eg.de)





# Gibt es einen größeren Vorteil, als mit weniger mehr zu tun?

Deutschland geht neue Wege. Mit Antworten für mehr Wettbewerbsfähigkeit.

[siemens.com/answers](http://siemens.com/answers)

Der Wettbewerbsdruck in den globalisierten Märkten wächst. Produkte und Fertigung werden immer komplexer, Entwicklungszyklen immer kürzer. Dazu kommen steigende Energiekosten und erhöhte Anforderungen an den Umweltschutz.

Der Schlüssel für höhere Produktivität und mehr Wettbewerbsfähigkeit liegt in ganzheitlichen Branchenlösungen. Integrierte Planungs- und Fertigungsprozesse ermöglichen es, Produktionsabläufe perfekt aufeinander abzustimmen. Ständige Datenanalyse schafft jederzeit Klarheit über die aktuellen Fertigungszahlen, Lagerbestände und

Ausfallzeiten. Und flexible Logistik steuert die Aufträge so, dass sich Materialfluss und Produktion jederzeit die Waage halten. Das Resultat: Effiziente Kapazitätsplanung mit hoher Auslastung, spürbar verbesserte Kostenstruktur und Reduktion der Markteinführungszeiten um bis zu 50 % erschließen der deutschen Industrie mehr Chancen auf den globalen Märkten.

Die Antworten für mehr Wettbewerbsfähigkeit sind da. Und die Zeit für neue Wege ist jetzt. Denn die Welt von morgen braucht unsere Antworten schon heute.

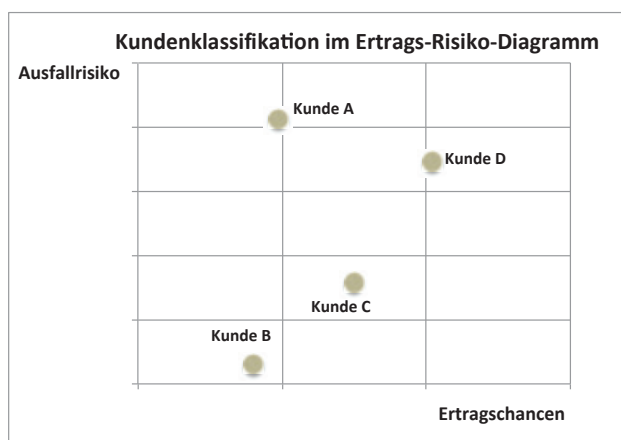
**Answers for industry.**

# Wertorientiertes Credit Management: Zusammenfassung von Rating, Ertragsmarge und Umsatz- entwicklung

Prof. Dr. Thorsten Hock  
Dr. Werner Gleißner  
Endre Kamaras

## 1. Einleitung und Problemstellung

Lieferantenkredite sind insbesondere in Zeiten restriktiver Kreditvergabe durch die Geschäftsbanken ein wichtiger Bestandteil der Finanzierung. Die Unternehmen versprechen sich von gewährten Zahlungszielen nicht zuletzt positive Auswirkungen auf die Kundenbindung, müssen auf der anderen Seite allerdings das Risiko von Zahlungsausfällen tragen. Aufgabe der Credit Manager ist es, frühzeitig auf Problemkunden hinzuweisen damit Forderungsausfälle vermieden werden können (Risikodimension). Diese Fokussierung auf das Risiko bei der Kundenbewertung wird selbstverständlich von der Vertriebsseite nicht geteilt. Aus deren Optik sind Umsatz, Umsatzwachstum oder die Umsatzmarge dominierende Größen zur Kundenklassifikation (Ertragsdimension). Diese zweidimensionale Betrachtung lässt wie folgt grafisch darstellen:



Vergleicht man die Attraktivität von Kunde A mit derjenigen von Kunde B, dann ist der Befund eindeutig. Kunde B offeriert bei ähnlichen Ertragschancen das wesentlich geringere Ausfallrisiko und ist deshalb der bessere Kunde. Größere Schwierigkeiten bereitet dagegen der Vergleich

zwischen Kunde B und Kunde D. Letztgenannter ist zwar aus Ertragssicht eindeutig attraktiver, das Risiko eines Forderungsausfalls ist aber deutlich höher. Die Kundenanalyse im Ertrags-Risiko-Diagramm stößt somit an ihre Grenzen:

- Ist Kunde B oder Kunde D attraktiver für das Unternehmen?
- Wie kann der „Attraktivitätsunterschied“ gemessen werden?
- Was kostet es, wenn das Unternehmen auf Kunde A verzichtet?
- In welchem Umfang müsste die Gewinnmarge von Kunde A erhöht werden, damit er für das Unternehmen ähnlich attraktiv wie Kunde B ist?

Was fehlt ist die saubere Verarbeitung von Ertrags- und Risikoinformationen der Kunden zu einer einheitlichen Kennzahl. Diese soll den Anwender bei der Entscheidung zur Kundenauswahl und – bei gegebenen Ressourcenrestriktionen – zur Priorisierung der Kunden unterstützen. Im Folgenden wird ein Ansatz zur Definition der gewünschten Kennzahl vorgestellt, Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt und Modellerweiterungen diskutiert.

## Value-based Credit Management Summary of Rating, Profit Margin and Sales Development

### 1. Introduction and Problem Statement

Supplier credits have become an important part of financing in times of restrictive lending policies on the part of commercial banks. By granting extended payment targets, companies do not least hope for positive effects on customer loyalty, yet they have to bear the risk of payment defaults. The task of credit managers is to point early to problem customers in order to avoid bad debt losses (risk dimensions). However, the focus on risk when evaluating customers does certainly not find the approval on a sales person's side. From their point of view, the dominating parameters for the classification of customers



are sales volume, sales growth and profit margin (profit dimension). The two-dimensional approach can be shown as follows:

Customer Classification using a risk-return-diagram:

default risk, earnings opportunities, Customer A, .....

When comparing the attractiveness of customer A with that of customer B, the result is obvious: Customer B offers a much slighter default risk but similar earnings opportunities and is therefore the better customer. Comparing customer B and D is more difficult. Although the latter is definitely more attractive from an earnings point of view, the risk of a bad debt loss is clearly higher. Hence, customer analysis using a return-risk-diagram reaches its limits:

- Which of the two is more attractive for the company, customer B or D?
- How can the difference in attractiveness be measured?
- How much will it cost the company to do without customer A?
- To what extent does the profit margin of customer A have to be raised, so that his or her attractiveness for the company is similar to that of customer B?

What we need is the clear processing of customer data regarding risks and earnings to determine a standardized indicator. This is then intended to support the user in his or her decision regarding the selection and – in the presence of resource constraints – prioritization of customers. This paper will present an approach to defining the required indicator, analyze possible applications and discuss model extensions.

## 2. Ein einfaches Modell

Das im Folgenden dargestellte Modell konzentriert sich auf das Wesentliche und versucht die Komplexität auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Ziel ist es, erstens die wichtigsten Einflussgrößen und Ergebnisse zu berücksichtigen, damit richtige Schlussfolgerungen gezogen werden können und zweitens das grundlegende Prinzip zu verdeutlichen. Bei der Beurteilung eines Kunden müssen auf der einen Seite der mögliche Ertrag, auf der andere Seite aber auch das mögliche Risiko eines Forderungsausfalls berücksichtigt werden. Demzufolge muss ein Modell für die Beurteilung der Kunden diese beiden Informationen berücksichtigen und auf eine Kennzahl verdichten (Zielgröße), damit die einzelnen Kunden miteinander vergleichbar werden. Für eine Ableitung der Zielgröße müssen zunächst die Werttreiber quantifiziert werden.

### 2.1. Ertrag und Kosten

Beim Ertrag handelt sich um den ersten Werttreiber. Zwischen Ertrag, Marge und Umsatz besteht eine eindeutige Beziehung:

$$\text{Ertrag} = \text{Umsatz} \cdot \text{Marge}$$

Gleichung 1

Der zukünftige Ertrag kann aus den aktuellen Werten für Umsatz und Marge sowie deren erwarteten Veränderungen geschätzt werden.<sup>1</sup> In Formeln ausgedrückt

$$\text{Ertrag}_{t+1} = \text{Umsatz}_t \cdot (1 + \Delta\text{Umsatz}_{t+1}) \cdot (\text{Marge}_t + \delta\text{Marge}_{t+1})$$

Gleichung 2

wobei „ $\Delta$ Umsatz“ die relative Änderung des Umsatzes gegenüber dem Vorjahr (z. B. +5%), „ $\delta$  Ertragsmarge“ die Änderung der Ertragsmarge in Prozent-Punkten gegenüber dem Vorjahr darstellt und der Index „t“ für die aktuelle Periode und „t+1“ für die Folgeperiode steht. Der Ertrag kann zudem auch als Differenz des Umsatzes und der Kosten definiert werden:

$$\text{Ertrag} = \text{Umsatz} - \text{Kosten}$$

Gleichung 3

Durch Gleichsetzen von Gleichung 1 und Gleichung 3 und auflösen nach den Kosten erhält man:

$$\text{Kosten} = \text{Umsatz} \cdot (1 - \text{Marge})$$

Gleichung 4

### 2.2. Risiko des Forderungsausfalls

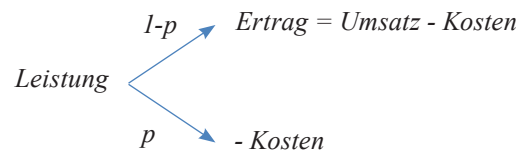
Beim Forderungsausfallrisiko handelt es sich um den zweiten Werttreiber. Dieses kann mit der sogenannten Ausfallwahrscheinlichkeit „p“ quantifiziert werden. Es gibt verschiedene Methoden, diese für ein Unternehmen abzuschätzen. Letztendlich treffen Ratings Aussagen über die Ausfallwahrscheinlichkeit.<sup>1</sup> Ein Rating soll die Fähigkeit eines Unternehmens charakterisieren, seinen Kapitaldienstverpflichtungen auch zukünftig nachzukommen. Für das hier dargestellte Modell wurde ein vereinfachtes Finanzratingsystem basierend auf nur zwei Kennzahlen, nämlich der Eigenkapitalquote (EKQ) und der Gesamtkapitalrendite (ROCE) integriert.<sup>2</sup> Die Ausfallwahrscheinlichkeit „p“ kann folgendermaßen geschätzt werden:

$$p = \frac{0,265}{1 + e^{-0,41 + 7,42 \times \text{EKQ} + 11,2 \times \text{ROCE}}}$$

Gleichung 5

### 2.3. Verdichtung der Informationen zum erwarteten, risikoadjustierten Ertrag

Bisher unbeantwortet ist die Frage, wie die beiden Werttreiber zu einer Zielgröße zusammengefasst und somit die Kunden vergleichbar gemacht werden können. Für das einfache Modell wird zunächst angenommen, dass nur zwei Perioden existieren: Gegenwart (Periode t) und Zukunft (Periode t+1). Für die Periode t+1 existieren nur zwei mögliche Zustände. Entweder begleicht der Kunde seine gesamten Forderungen. Dies führt zu einem Ertrag, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 1-p anfällt. Oder die Forderung fällt in kompletter Höhe aus (Recovery Rate = 0), die Kosten sind vom Unternehmen aber weiterhin zu tragen. Diese Kosten quantifizieren dabei den Verlust pro Kunde, der mit einem Forderungsausfall verbunden ist und treten mit einer Wahrscheinlichkeit von p auf. Das nachfolgende Schaubild visualisiert die Situation:



Der risikoadjustierte Ertrag – also der Ertrag, was „im Mittel“ zu erwarten ist – lässt sich in der Folge durch die folgende Formel bestimmen:

$$\begin{aligned} \text{risikoadj. Ertrag} &= (\text{Umsatz} - \text{Kosten}) \cdot (1-p) + p \cdot (-\text{Kosten}) \\ &= \text{Umsatz} \cdot (1-p) - \text{Kosten} \end{aligned}$$

Gleichung 6

Nun gilt es, die Kostendefinition aus Gleichung 4 zu nutzen und zukünftige Umsatz- und Margenänderungen (Gleichung 2) zuzulassen. In der Konsequenz errechnet sich unsere Zielgröße – der erwartete, risikoadjustierte Ertrag pro Kunde – nach einigen Rechenschritten wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{erwarteter} \\ \text{risikoadj. Ertrag}_{t+1} &= \text{Umsatz}_t \cdot (1 + \Delta \text{Umsatz}_{t+1}) \cdot (\text{Marge}_t + \delta \text{Marge}_{t+1} - p) \end{aligned}$$

Gleichung 7

### 3. Modellsimulationen

Auf Basis der vorgestellten Überlegungen soll beispielhaft ein Kundenportfolio bewertet werden. Als Modellergebnis resultiert eine Rangfolge der Kunden, die auf der Zielgröße erwarteter, risikoadjustierter Ertrag basiert. Zur Simulation werden verschiedene Risiko- und Ertragsinformationen benötigt. Für die vier Kunden im Beispiel sind die folgenden Kennzahlen verfügbar:

		Kundenportfolio			
Kategorie	Kennzahl	Kunde A	Kunde B	Kunde C	Kunde D
Risikoinformationen	EKQ	22,0%	40,0%	35,0%	15,0%
	ROCE	9,0%	10,0%	7,0%	15,0%
Ertragsinformationen	Umsatz €	66.000.000 €	80.000.000 €	50.000.000 €	85.000.000 €
	Marge	9,0%	7,0%	14,0%	9,5%
	Umsatzänderung*	10,0%	9,0%	7,0%	8,0%
	Margenänderung*	2,0%	1,0%	-2,0%	-0,5%

\*Die Eingabe dieser Kennzahlen ist für die weitere Berechnung nicht unbedingt erforderlich.

In einem ersten Schritt wird unterstellt, dass die Erträge nicht mit einem Ausfallrisiko behaftet sind. In diesem Fall lassen sich Erträge berechnen, die Informationen zum Umsatz, zur Marge und den erwarteten Änderungen verarbeiten (Gleichung 2). In einem zweiten Schritt wird nun das Ausfallrisiko in die Simulation integriert und gemäß Gleichung 5 berechnet. Als Konsequenz ergeben sich nun für alle Kunden des Portfolios die erwarteten, risikoadjustierten Erträge (Gleichung 7) als Zielgröße, die das individuelle Ausfallrisiko der Kunden berücksichtigt.

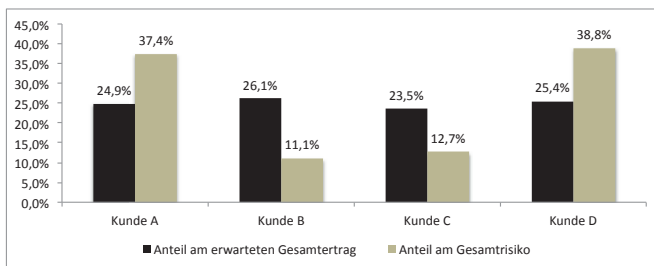
Für unser Beispielfportfolio ergeben sich die folgenden Berechnungen:

		Kundenportfolio			
Kategorie	Berechnungen	Kunde A	Kunde B	Kunde C	Kunde D
ohne Berücksichtigung des Ausfallrisiko	Ertrag	5.940.000 €	5.600.000 €	7.000.000 €	8.075.000 €
	Ertrag (nÄ)	7.986.000 €	6.976.000 €	6.420.000 €	8.262.000 €
	Rangfolge	2	3	4	1
mit Berücksichtigung des Ausfallrisiko	Ausfallrisiko	2,6%	0,7%	1,3%	2,2%
	erwarteter, risikoadj. Ertrag (nÄ)	6.118.786 €	6.406.377 €	5.728.800 €	6.206.898 €
Risikoanalyse	Risiko	1.867.214 €	569.623 €	691.200 €	2.055.102 €
	Anteil am Gesamtrisiko	36%	11%	13%	40%

nÄ: nach Berücksichtigung der Umsatz- und Margenänderungen (Gleichung 2 bzw. Gleichung 7)

Nach dem hier vorgestellten Ansatz kann nun eine klare Rangfolge der Kunden nach der festgelegten Zielgröße – erwarteter, risikoadjustierter Ertrag in EUR – ermittelt werden. Danach handelt es sich bei B um den Kunden mit dem höchsten Potenzial, gefolgt von D, A und C. Mit dieser Attraktivitätsklassifikation erschöpft sich die Analysekapazität des Ansatzes aber keineswegs. So kann beispielsweise das mit jedem Kunden verbundene Risiko in EUR bestimmt werden. Dieses errechnet sich einfach als die Differenz zwischen dem Ertrag ohne Berücksichtigung des Ausfallrisikos und dem erwarteten Ertrag mit Berücksichtigung des Ausfallrisikos. In unserem Beispielportfolio sticht bei dieser Analyse wieder Kunde B heraus: Er hat den größten Anteil am erwarteten Gesamtertrag, liefert aber den geringsten Beitrag zum Gesamtrisiko. Wie eine eindimensionale Umsatzfokussierung in die Irre führen kann, zeigt ein Blick auf Kunde D. Dieser hat mit 85 Mio. EUR zwar den im Quervergleich größten Umsatz. Bei Berücksichtigung des Ausfallrisikos wird er allerdings auf das Niveau eines „Durchschnittskunden“ gestutzt. Zudem zeigt sich die schwächste Ertrags-Risiko-Relation des gesamten Kundenportfolios.

### Kundenanteile am erwarteten Gesamtertrag und Gesamtrisiko



Zudem können mit dem vorgestellten Modellrahmen die Auswirkungen von Änderungen einzelner Parameter auf den Einzelkunden und auf das Gesamtportfolio analysiert werden. Was passiert beispielsweise, wenn das Unternehmen weiterhin in der Lage ist, bei Kunde C die derzeitige Marge von 14% zu halten? Diese Entwicklung hätte enorme Konsequenzen im Vergleich zur erwarteten Margenerosion um 2%-Punkte: Der Kunde würde schlagartig in der Kundenrangfolge nach oben klettern und sich mit einem erwarteten Ertrag von knapp 6,8 Mio. EUR zur entscheidenden Erfolgssäule entwickeln. Oder wie verändert sich das Bild, wenn Kunde A sein Rating über eine Erhöhung der Eigenkapitalquote um 10%-Punkte verbessern kann? In diesem Fall halbiert sich sein Ausfallrisiko und der erwartete, risikoadjustierte Ertrag steigt um knapp 1 Mio. EUR. Kunde A hat mit dieser Maßnahme seine Attraktivität für das Unternehmen deutlich erhöht. Mit dem vorgestellten Modell lässt sich diese Steigerung messen.

## 4. Modellerweiterungen und zusätzliche Anwendungen

Der Fokus in diesem Beitrag liegt darin, das Potenzial des Ansatzes bei der Kundenbewertung und -analyse zu veranschaulichen. Das vorgestellte Modell ist in der Praxis wegen der zu rudimentären Modellstruktur und der starken Vereinfachungen nur bedingt verwendbar. Zielgerichtete Erweiterungen beheben allerdings diese Mängel und resultieren in einer Anwendbarkeit des Modells in der Praxis:

- Zur **Modellstruktur**: Ein einsetzbares Modell muss zunächst die Betrachtung über deutlich mehr als zwei Perioden gewährleisten und eine mögliche Recovery-Rate im Insolvenzfall berücksichtigen. Zudem muss die Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Margen- und Umsatzentwicklung explizit in die Modellierung integriert werden. Eine weitere wesentliche Erweiterung stellt die Barwertbetrachtung der zukünftigen Erträge dar, die auf kundenadäquaten Kapitalkosten basieren.
- Zur **Modellierung der Erträge**: Zentrale – und einfach umsetzbare – Erweiterungen sind die Berücksichtigung von individuellen Zahlungszielen und Preisen für jeden Kunden. Zudem muss die Kostenzuordnung – und damit die technische Aufteilung der variablen und fixen Kosten – explizit verankert werden. Denkbar ist daneben eine Modellierung der kundenindividuellen Margen- und Umsatzentwicklung mit Hilfe von ökonomischen Ansätzen.
- Zum **Rating und Ausfallrisiko**: Direkt integrierbar ist die Prognose von Ausfallwahrscheinlichkeiten durch simulationsbasierte Direktratings. Es können aber auch bestehende Ratinginformationen im Modell verarbeitet werden. Auch Ratings im B2C-Geschäft lassen sich in Ausfallwahrscheinlichkeiten transformieren, so dass die vorgestellte Kundenwertanalyse angewendet werden kann. Generell bestehen hier mehrere Möglichkeiten.
- Zur **Zielgröße**: Auch hier ist Flexibilität gegeben. Beispielsweise könnte der erwartete, risikoadjustierte Ertrag pro Kunde durch den so genannten Value-Spread ersetzt werden, der den (relativen) Wertbeitrag eines Kunden –unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit  $p$  – bezeichnet. Der Value-Spread errechnet sich als Differenz der risikoadjustierten Marge und den risikoadäquaten Kapitalkosten.

Diese Erweiterungen stellen nur eine kleine Auswahl dar. Auch die vorgestellten Analyseanwendungen erschöpfen das Potenzial des Ansatzes keineswegs. Nur ein Beispiel: Neben den Kunden – sind auch **Portfolioauswertungen** möglich. So lassen sich einfach die durchschnittliche Marge bzw. der durchschnittliche Ertrag berechnen. Eine weitere Möglichkeit ist die Bestimmung der Risikoadjustierung des Preises auf Portfolioebene. Hier wird die Frage aufgegriffen, welche prozentuale Preiserhöhung notwendig wäre, um die risikobedingten (kalkulatorischen) Mindereinnahmen genau auszugleichen.

## 5. Fazit

Ein entscheidender Ansatzpunkt des wertorientierten Credit Managements liegt in der Fokussierung der Kundenauswahl und Kundenklassifikation auf einer zentralen Kennzahl, welche die Risiko- und die Ertragsdimension zusammenfassen soll. Mit dem vorgestellten, äußerst rudimentären Ansatz gelingt dieses Vorhaben. Dieser bewertet auf Basis eines statistischen Konzeptes – dem Erwartungswert einer binomialverteilten Zufallsvariable – jeden Kunden des Unternehmens anhand einer einheitlichen Kennzahl: dem erwarteten, risikoadjustierten Ertrag in EUR. Die abgeleitete Zielgröße kann inhaltlich klar und einfach interpretiert werden und hat somit einen entscheidenden Vorteil gegenüber Kundenwertanalysen, die auf Scoring-Modellen basieren. Deren zentrale Schwäche liegt genau an dieser Stelle: Das Ergebnis-Score ist letztendlich ein aus mehreren zusammen gewürfelten Kennzahlen

gewonnener Parameter, der keinerlei inhaltliche Bedeutung hat. Neben diesen entscheidenden Punkten weist der vorgestellte Ansatz noch weitere Vorteile auf. Bei der Transformation des Ratings – im vorgestellten Ansatz vereinfachend ausschließlich auf Basis der EKQ und dem ROCE erstellt – zu einer Prognose für die Ausfallwahrscheinlichkeit werden erstens aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse genutzt. Der Ansatz kann zweitens optional Zukunftserwartungen – bspw. für die Entwicklung der Marge oder für die Entwicklung des Umsatzes – in die Analyse integrieren. Der Pluspunkt bei diesem Vorgehen liegt in der Möglichkeit, neue Kunden mit großem Zukunftspotenzial stringent gemeinsam mit den etablierten Kunden zu bewerten. Dies bildet die Realität der Kundensegmentierung in den Unternehmen wesentlich besser ab als eine Fokussierung ausschließlich auf Basis von Vergangenheitsdaten.

---

### Fußnoten

- <sup>1</sup> Obwohl diese Ratings auf die Ausfälle kalibriert sind, treffen diese Ratings genauer gesagt nur eine Aussage über die Rangfolge der Ausfallwahrscheinlichkeit und keine Aussage über die absolute Höhe.
- <sup>2</sup> Durch die beiden Kennzahlen werden die zwei wichtigsten (Finanz-) Ratingdeterminanten abgeschätzt, nämlich Risikotragfähigkeit (durch Eigenkapitalquote) und Rentabilität (durch Gesamtkapitalrendite, ROCE). Dieses Ratingmodell wurde von der FutureValue Group entwickelt. Vgl.: Gleißner (2011): Grundlagen des Risikomanagements im Unternehmen, 2. Aufl., Vahlen, S.99 sowie Gleißner, W. (2009): Ratingprognose, Solvenztest und Rating-Impact-Analyse. Neue Instrumente für Krisenprävention und Ratingstrategie, in: Kredit & Rating Praxis (KRP), Heft 03/2009, S. 38-40.



**Prof. Dr. Thorsten Hock**  
Fakultät Betriebswirtschaft



# Constantia Hueck Folien



**Wir verpacken weltweit Markterfolge.** Mit flexiblen Verpackungen für Lebensmittel, Pharma und Getränke sind wir als einer der führenden Anbieter in einem attraktiven Wachstumsmarkt tätig. Durch innovative Lösungen, intensive Forschung und modernste Produktionstechnologien setzen unsere über 7.000 Mitarbeiter in mehr als 50 Konzerngesellschaften in 20 Ländern weltweit maßgebende Trends. Mit einem Umsatz von rund EUR 1,5 Mrd. und einer soliden Finanzstruktur sind wir ein verlässlicher Partner bei umweltschonenden, sicheren sowie einfach benutzbaren flexiblen Verpackungen, die uns das alltägliche Leben ermöglichen.

**Ihr Ansprechpartner:**

**Constantia Hueck Folien GmbH & Co. KG**  
Frau Cornelia Uschold  
Pirkmühle 14-16  
92712 Pirk  
Cornelia.Uschold@constantia-hueck.com  
www.constantia-hueck.com

**Wir vergeben:**

- Praktika und Abschlussarbeiten für Studierende des Maschinenbaus, der Druck und Verpackungstechnik, der Chemie, der Elektrotechnik, der angewandten Informatik oder des Wirtschaftsingenieurwesens
- Einstiegsmöglichkeiten als Trainee

Informationen finden Sie auf unseren Karriereseiten unter [www.constantia-hueck.com](http://www.constantia-hueck.com)



» Reinklicken und

Ihre Kommune

mobil erleben «



Sie finden uns unter:

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

# Baustelle Zukunft



## Die Bauindustrie – Partner der Energiewende

Erneuerbare Energie aus Sonne, Wind & Co., klimaschonende Kraftwerke, energieeffiziente Städte und Häuser. Für die Energiewende haben wir uns viel vorgenommen. Von der Erzeugung, Speicherung bis zum Transport muss die komplette Versorgung mit Energie umgebaut werden. Wer das macht? Die Bauwirtschaft.

Alle reden davon, die konkrete Umsetzung aber liefern die Bauprofis. Die Energiewende ist eine Bauaufgabe durch und durch. Willst auch Du dabei sein?

Die Bauindustrie bietet vielfältige Möglichkeiten für einen Berufseinstieg über Praktika, Masterarbeiten oder eine direkte Bewerbung. Informiere Dich bei Deiner Hochschule und werde auch „Partner der Energiewende“.

[www.bauindustrie-bayern.de](http://www.bauindustrie-bayern.de)



 **SCHERDEL**

## VIELFALT ERLEBEN - BEI EINEM INTERNATIONAL AUFGESTELLTEN WELTMARKTFÜHRER

WIR BIETEN AN UNSEREN 29 STANDORTEN IN  
11 LÄNDERN PERSPEKTIVEN FÜR PRAKTIKA,  
ABSCHLUSSARBEITEN UND DEN DIREKTEINSTIEG.

In mehr als 120 Jahren hat sich die SCHERDELGruppe zu einem der führenden Anbieter im Bereich der Metallumformung entwickelt. Wir liefern Premiumprodukte, unter anderem für den Automobilbereich, die Medizintechnik und den Elektronikbereich. Wir vertrauen auf Mitarbeiter, die uns mit Eigenverantwortung, Engagement und Fachkompetenz langfristig begleiten und in unserem kontinuierlich wachsenden Einsatzgebiet ihre persönlichen Ziele erreichen.

Produkte und Leistungen der **SCHERDEL**Gruppe:

- Technische Federn
- Metallumformung
- Forschung und Entwicklung
- Werkzeug-, Maschinen- und Anlagenbau
- Montage- und Fügechnik
- Oberflächentechnik



**SCHERDEL** GmbH  
Scherdelstr. 2  
95615 Marktredwitz  
Tel: 09231 603 0  
[info@scherdel.com](mailto:info@scherdel.com)

Erfahren Sie mehr über die **SCHERDEL**Gruppe  
auf: [www.scherdel.de](http://www.scherdel.de)

# Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie?

**Prof. Dr. Günter Schicker & Prof. Dr. Johann Strassl**  
Institut für industrielles Service Management  
Fakultät Betriebswirtschaft

## Abstract

Das Ausmaß des Servicegeschäfts produzierender Unternehmen hat in den letzten Jahren stark zugenommen und wird sich noch stärker entwickeln, um sich im Wettbewerb in Hochlohnländern zu etablieren und gegenüber günstigeren Anbietern zu behaupten. Dabei lässt sich jedoch beobachten, dass es zwischen den Unternehmen erhebliche Unterschiede in Bezug auf die Professionalität und die Profitabilität im Servicegeschäft gibt. Während der letzten drei Jahre untersuchten wir Unternehmen in der Investitionsgüterindustrie, um zu verstehen, wie diese Serviceexzellenz profitabel planen, entwickeln und umsetzen. Wir führten 22 Interviews mit Managern aus verschiedensten Branchen, wie Medizindiagnosesysteme, Abfülltechnologie, Maschinenbau, Automobilhersteller und -zulieferer, Energieerzeuger und -verteiler und Elektronikfertigung. Anschließend führten wir eine großangelegte Studie mit 503 teilnehmenden Führungskräften durch. Wir haben herausgefunden, dass produzierende Unternehmen, die ihr Servicegeschäft besser planen, entwickeln und betreiben, deutlich profitabler sind als andere Unternehmen. Weltmarktführer wie Siemens, MAN und Krones haben dies für sich bereits entdeckt.

Um exzellente Serviceleistungen zu bieten, sind fünf grundlegende Schritte erforderlich. Wir empfehlen Unternehmen, genau zu planen, in welchem Umfang das Servicegeschäft betrieben werden soll – zum Beispiel mit Service Portfolio Management. Unternehmen sollen ihre Kunden deutlich stärker in den Geschäftsbetrieb integrieren als bisher. Mitarbeiter müssen verstärkt den Servicegedanken entfalten können – dazu müssen Unternehmen entsprechende Anreize anbieten. Unternehmen müssen Serviceleistungen wie Produkte entwickeln und vermarkten. Unternehmen brauchen ein Qualitätsmanagement mit geeigneten Leistungskennzahlen für das

Servicegeschäft. Durch die Berücksichtigung dieser fünf Schritte haben Unternehmen einen deutlich höheren Gewinn mit ihrem Servicegeschäft erzielt.

## How Professional is the Service Business in Industry?

### Abstract

Service business of companies in the manufacturing industry has increased considerably over the past years and will continue to develop in order to establish itself in the competitive markets of high-wage countries and to maintain its competitiveness against more favorable providers.

However, there appear to be considerable differences between companies with regard to the level of professionalism and profitability of their service business. Over the past three years, we have examined companies in the capital goods industry in order to understand how these plan, develop and implement service excellence in a profitable way. We carried out 22 interviews with managers from different industries, such as medical diagnostic systems, filling technology, mechanical engineering, car manufacturers and suppliers, energy producers and utilities and electronics. Subsequently, we conducted a large-scale study with 503 managers.

The study showed that those companies in the manufacturing industry that plan, develop, and operate their service business more efficiently are by far more profitable than other companies; a fact which global market leaders such as Siemens, MAN, and Krones have already discovered.

In order to ensure excellent services, five underlying steps have to be considered:

- 1) We recommend that companies plan carefully to what extent they want to run a service business, e.g. using Service Portfolio Management.



- 2) Companies should allow customers to be more closely involved in their business operations than before.
- 3) Employees have to be encouraged to develop a strong commitment to service, which companies have to offer appropriate incentives for.
- 4) Companies have to develop and sell services in much the same way as they develop and sell products.
- 5) Companies require a suitable quality management with appropriate key performance indicators for their service business.

Having taken these five steps into account, companies were able to increase their profit significantly with their service business.

### Serviceleistungen in der Industrie – mehr als nur „Reparaturen“

Unternehmen erbringen für interne und externe Kunden industrielle Serviceleistungen über alle Phasen der Wertschöpfung an Produkten, Maschinen und Anlagen. Wir unterscheiden vier Serviceklassen, die sich am Produktlebenszyklus des Kernprodukts orientieren. Die Verbreitung der Serviceleistungen in den befragten Unternehmen wird im Folgenden dargestellt (vgl. Abbildung 1): Presales- und Engineering-Serviceleistungen dienen der Geschäftsanbahnung im Kerngeschäft oder sie unterstützen die Planung, Entwicklung und Realisierung von Kernprodukten bis zur tatsächlichen Nutzungsphase. Dazu gehören die Entwicklung von Soft- und Hardware (27 %), Engineering-Tätigkeiten (43 %) oder die Montage und die Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen (51 %). Verfügbarkeits- und Verwendungsserviceleistungen unterstützen die Nutzungs-, Verwendungs- oder Betriebsphase des Kernproduktes. Instandhaltung und Reparaturen

gehören mit 68 % ebenso dazu wie das Ersatzteil- und Zubehörgeschäft (62 %), Service-Hotline (50 %) und Trainingsleistungen (50 %). Auch Serviceleistungen wie die technische Dokumentation (35 %), Remote Services (30 %), internetbasierte Serviceleistungen (20 %) oder die Übernahme von Betreiberleistungen für Kunden (13 %) sind dieser Serviceklasse zuzuordnen, obgleich sie seltener angeboten werden.

End-of-Life-Serviceleistungen begleiten das ‚Phase out‘ von Kernprodukten und werden am Ende des Produktlebenszyklus angeboten. Dazu gehören der Umbau und die Erweiterung und Modernisierung von Produkten (35 %) ebenso wie die Altmaschineninstandsetzung (30 %). Das Recycling, die Verschrottung und Entsorgungsdienste (15 %) gehören ebenfalls zu dieser Klasse von Serviceleistungen.

Beratungs-, Optimierungs- und Finanzserviceleistungen unterstützen über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg, wie Beratungs- und Optimierungsserviceleistungen (33 %) und Finanzierungsserviceleistungen (13 %).

### Die Bedeutung industrieller Serviceleistungen nimmt zu

Die Bedeutung industrieller Serviceleistungen steigt (Engelhardt & Reckenfelderbäumer, 2006; Müller, 1998) und das Gewicht des Servicegeschäfts in wettbewerbsintensiven Märkten nimmt zu Lasten des Kernproduktes zu (Lange, 2009). Heute erwirtschaften bereits 41 % der Unternehmen in Deutschland, Österreich und der Schweiz mehr als ein Viertel ihres Gesamtumsatzes mit Serviceleistungen (Strassl & Schicker, 2012).

Ein wesentlicher Grund für die wachsende Bedeutung von industriellen Serviceleistungen ist einerseits die Tatsache, dass 80 % der Produktlebenszykluskosten auf

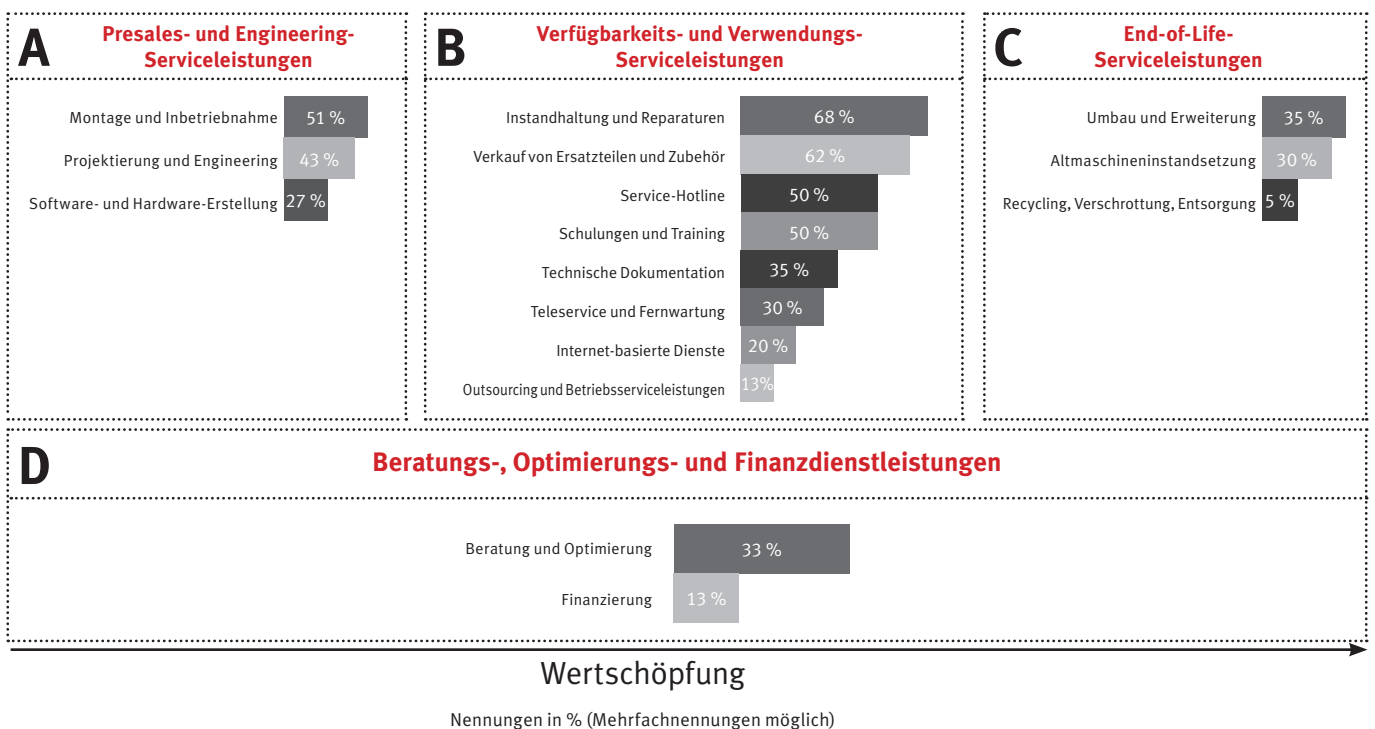


Abbildung 1: Klassifizierung und Verbreitung industrieller Services



## Fünf Handlungsfelder auf dem Weg zur Exzellenz und Profitabilität im industriellen Servicegeschäft

Hervorragende Unternehmen unterscheiden sich von den Unternehmen, die weniger professionell arbeiten, darin, dass sie ihre Serviceleistungen besser strategisch planen, neue Serviceleistungen besser entwickeln und diese Serviceleistungen besser umsetzen. Unternehmen müssen fünf Schritte konsequent und erfolgreich umsetzen.

	<b>Entwickeln Sie eine Servicestrategie</b>	<b>Integrieren Sie Kunden in Ihr Servicegeschäft</b>	<b>Entwickeln Sie den Servicegedanken bei Mitarbeitern</b>	<b>Entwickeln und vermarkten Sie Service wie Produkte</b>	<b>Messen Sie konsequent die Leistung im Service</b>
<b>Schlüsselfrage</b>	<p>Wie ist Ihre Servicestrategie mit der Unternehmensstrategie abgestimmt?</p> <p>Bewerten Sie neue Serviceideen gemäß dem Marktbedarf und den Kundensegmenten?</p> <p>Verlangen Sie ausreichend Geld von Kunden für Serviceleistungen?</p>	<p>Definieren und entwickeln Sie gemeinsam mit den Kunden Serviceleistungen?</p> <p>Wie definieren Sie die Kundenerwartungen und nutzen diese zur Entwicklung neuer Serviceleistungen?</p> <p>Wie verfolgen Sie das Kundenfeedback systematisch und erstellen Aktivitäten zur Verbesserung?</p>	<p>Kommunizieren und messen Sie Serviceziele?</p> <p>Wie bilden Sie Mitarbeiter aus und motivieren diese, um Serviceexzellenz zu erreichen?</p> <p>Haben Sie Stellen realistisch gestaltet unter der Voraussetzung der Ausbildung und Motivation?</p>	<p>Haben Sie eine "Installed Base" und nutzen Sie die Information, um Serviceleistungen zu entwickeln, zu verkaufen und zu liefern?</p> <p>Haben Sie ein Vermarktungskonzept für jeden verfügbaren Service?</p> <p>Arbeiten Ihre Produkt- und Serviceorganisation reibungslos zusammen?</p>	<p>Haben Sie Leistungskennzahlen entwickelt?</p> <p>Wie messen Sie die Leistung der Serviceentwicklung und -umsetzung entlang des Lebenszyklus?</p> <p>Wie gestalten Sie Servicekapazität systematisch?</p>

Abbildung 2: Fünf Handlungsfelder zum Service Champion

Serviceleistungen fallen und nur 20 % auf den Produktkauf sowie die zunehmende Homogenität der Produkte, Systeme und Anlagen (Müller 1994). Die Orientierung als Produkt- bzw. Technologieführer ist bereits nicht mehr ausreichend, um sich am Markt zu differenzieren. Der Service ist der zentrale Erfolgsfaktor, um sich im Wettbewerb in Hochlohnländern zu etablieren und gegenüber günstigeren Anbietern zu behaupten. Der Aufbau von Servicestrukturen, das Wissen und die Fähigkeiten der Mitarbeiter und die Erfahrungen der Serviceabläufe erschweren eine Nachahmung deutlich mehr als das Imitieren von Produkteigenschaften.

Im Laufe unserer Analyse wurde schnell deutlich, dass sich die Auswahl der geeigneten Servicestrategie, das effektive Management des Serviceportfolios und die systematische Entwicklung und Gestaltung der Serviceleistungen nicht nur in einer höheren Serviceprofessionalität auszahlt, sondern jene Unternehmen auch profitabler sind als deren Wettbewerber.

Erfolgreiche Unternehmen haben eine ausgeprägte Servicestrategie und ein systematisches Service Portfolio Management. Sie beziehen ihre Kunden bereits in die Entwicklung über den gesamten Lebenszyklus ein. Je mehr Servicegeschäft das Unternehmen prägt, desto stärker müssen Anreiz- und Entwicklungssysteme für Servicemitarbeiter und -verkäufer und eine entsprechende Servicekultur geschaffen werden. Die 'Installed Base' wird genutzt, um Serviceleistungen entlang eines Serviceentwicklungsprozesses zu entwickeln und zu vermarkten. Schließlich wird die Serviceentwicklung und -umsetzung

mit geeigneten ergebnisorientierten Leistungskennzahlen gemessen. Sehen Sie sich die fünf Handlungsfelder im Detail an.

### 1. Entwickeln Sie eine Servicestrategie

Viele erfolgreiche Unternehmen sind mit der gleichen Situation konfrontiert: ihre Produkte ähneln den anderen immer mehr. Deshalb setzen Unternehmen zunehmend auf das Servicegeschäft und positionieren sich gegenüber ihren Kunden als Lösungsanbieter.

Nehmen Sie zum Beispiel die Krones AG. Der Weltmarktführer hat sich auf dem Markt der Verpackungs- und Abfüllanlagen etabliert. Ihre Kunden, wie Coca-Cola oder Heineken, fordern nun seit einigen Jahren nicht nur eine hohe Qualität der Abfüllanlage, sondern auch eine Optimierung der Gesamtkosten in der Herstellung und der Verpackung. Der Vorstand von Krones drückt es so aus: „Kunden wollen nicht Maschinen kaufen, ihr Ziel ist die Produktion und der Verkauf von Getränken.“ Krones hat ein Serviceportfolio entwickelt, das den Kunden als Ganzes betrachtet.

In vielen Branchen lassen sich die Serviceleistungen der Unternehmen nur schwer in Rechnung stellen und werden von Kunden als selbstverständlicher Teil der Produktleistung wahrgenommen. Umso erstaunlicher ist es, dass rund ein Viertel der Unternehmen Serviceleistungen anbieten, die nicht profitabel sind und die Kunden diese nicht nachfragen (Strassl & Schicker, 2012).

Eine klare strategische Stoßrichtung mit greifbaren Geschäftszielen für das Servicegeschäft (Gebauer, 2008; Mathieu, 2001; Raddats, 2011; Raddats & Burton, 2011) kann jedoch nur erfolgen, wenn Unternehmen die Branche mit ihren aktuellen und potenziell neuen Wettbewerbern, aktuellen Produkten und Serviceleistungen und möglichen Substituten (Porter, 2008) verstehen.

23%

**der Unternehmen bieten  
Servicedienstleistungen an,  
die nicht profitabel und  
von Kunden nicht nachgefragt werden.**

## 2. Integrieren Sie Kunden in das Servicegeschäft

Die Bedeutung der Kundenorientierung im Servicegeschäft und die Integration des Kunden in die eigenen Prozesse betonen sowohl Unternehmen als auch Wissenschaft und plädieren für eine stärkere Einbindung des Kunden in die Entwicklung und die Wertschöpfung der Kunden (Ramaswamy 1996; Kleinaltenkamp et al., 2009; Prahalad & Ramaswamy, 2000; Wecht 2005).

Etwa 80 % der Unternehmen proklamieren eine Strategie der Kundenpartnerschaft für sich bzw. mehr als die Hälfte streben eine Kombination aus Kundenpartnerschaft und Produktführerschaft als strategische Stoßrichtung an. Etwa drei Viertel der Unternehmen bieten Serviceleistungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus bzw. unterstützen in allen Phasen des Kundenprozesses (Strassl & Schicker, 2012). Obwohl viele Unternehmen eine Kundenpartnerschaft ausrufen, wird sie häufig mangelhaft gelebt. Nur die Hälfte der Unternehmen holen sich aktiv Kundenfeedback ein und ein Viertel legen die Erwartungen der Kunden an Serviceleistungen vor der Entwicklung fest.

## 3. Entwickeln Sie den Servicegedanken bei den Mitarbeitern

„Service business is people business“. Die Bedeutung der Mitarbeiter für den Erfolg im Servicegeschäft ist unumstritten. Peter Drucker betont die Rolle des Mitarbeiters als Quelle strategischer Wettbewerbsvorteile (Drucker, 2002). Frei stellt das Personalmanagement als eines der vier Elemente der Service Excellence dar (Frei, 2008) und Heskett et al. stellen den Mitarbeiter an den Beginn ihrer Service-Profit Chain und machen damit deutlich, dass zufriedene Mitarbeiter die Voraussetzung für hohen Servicewert, Kundenzufriedenheit und daraus folgende Einnahmesteigerungen und Profitabilität darstellen

(Heskett et al., 1994). Umso erstaunlicher ist die Tatsache, dass nur etwa 60 % der Unternehmen über definierte Serviceziele verfügen und diese an ihre Mitarbeiter kommunizieren (Strassl & Schicker, 2012). Ohne angemessenes Anreiz- und Entwicklungssystem lässt sich jedoch eine Veränderung in der Organisation nicht manifestieren. Dem ehemaligen Manager der Klöckner-Werke AG, Hans Christoph von Rohr, wird folgendes Zitat zugeschrieben: „Kapital lässt sich beschaffen, Fabriken kann man bauen, Menschen muss man gewinnen“. Dies gilt sicher für alle Unternehmen, aber ganz besonders für diejenigen, die mit Service erfolgreich sein möchten. Die erfolgreichen Unternehmen haben das erkannt und wissen, dass sie qualifizierte und motivierte Mitarbeiter nur dann finden und binden können, wenn sie ihre Mitarbeiter nicht nur fordern, sondern auch konsequent fördern.

Die aktuellen Herausforderungen rund um den demografischen Wandel in Deutschland und der sich verschärfende Mangel an qualifizierten Mitarbeitern weisen gleichermaßen auf die Bedeutung dieses Handlungsfelds für die Praxis hin (Brenken & Gudergan, 2010). Gerade vor dem Hintergrund, dass das Servicegeschäft in den nächsten fünf Jahren signifikant wachsen wird, ist das Finden, Binden und Weiterentwickeln qualifizierter und motivierter Mitarbeiter einer der Schlüsselfaktoren für den Erfolg in der Zukunft.

## 4. Entwickeln und vermarkten Sie Serviceleistungen wie Produkte

Obwohl viele Unternehmen sich als Kundenpartner über den vollständigen Lebenszyklus betrachten, entwickeln und vermarkten nur etwa ein Viertel der Unternehmen ihre Serviceleistungen systematisch (Strassl & Schicker, 2012), obwohl Serviceleistungen anspruchsvoller, Zyklen länger werden und Entscheidungsprozesse komplexer werden. Auch MAN Truck & Bus entwickelte seinen Servicekernprozess neu. Grund war die Unvorhersehbarkeit im Servicegeschäft von Nutzfahrzeugen. Schätzungsweise 80 % der Arbeiten sind ungeplant, müssen für den Kunden jedoch rasch umgesetzt werden, weil dieser sonst die längste Zeit der Kunde war. So entwickelte MAN in sechs Pilotbetrieben die Serviceprozesse in den Werkstätten mit den Teilschritten Terminvereinbarung, Terminvorbereitung, Fahrzeugannahme, Arbeitsvorbereitung, Leistungserbringung, Kalkulation, Qualitätssicherung, Rechnungsstellung, Fahrzeugübergabe und Feedback. Mit regelmäßigen Kunden- und Mitarbeiterbefragungen während der Pilotphase nahm MAN weitere Feinjustierungen vor. Anschließend wurde der Servicekernprozess in 153 Servicetrieben eingeführt. Die Potenziale des Servicegeschäfts werden von Unternehmen häufig nicht im gewünschten Ausmaße genutzt. Einschlägige Studien nennen als häufige Ursache die mangelhafte Vermarktung der Serviceleistungen. Erfolgreiche Unternehmen betrachten den Service- und Vermarktungsprozess ganzheitlich und erhalten so eine 360°-Sicht auf den Kunden.

## 5. Messen Sie konsequent die Leistung im Service

Entscheiden und Umsetzen sind in einem Unternehmen zwei grundsätzlich unterschiedliche Aktivitäten. Dennoch ist es für ein Unternehmen heute unabdingbar, in beiden sehr gut zu sein. Um hervorragende Ergebnisse zu erreichen, sind eine effektive Strategie und die fehlerfreie Umsetzung der Strategie erforderlich. Dabei hat die Bedeutung der Management-Philosophie „You can't manage what you don't measure“ keineswegs an Bedeutung verloren. Dennoch überprüfen nur 32 % der Unternehmen anhand von Kennzahlen die definierten Leistungsstandards regelmäßig im Servicebetrieb (Strassl & Schicker, 2012). Häufig zögern Unternehmen, weil sie unsicher sind, welchen Ansatz sie verfolgen sollen. Ein systematisches Performance Measurement ist Voraussetzung für Unternehmen, um den Status Quo zu kennen und Maßnahmen zur Verbesserung einzuleiten. Ein Umdenken hat insofern zum Teil in der Praxis bereits stattgefunden, als dass der Verlass auf monetäre Messgrößen allein nur zu kurzfristigem Denken und einseitigem Handeln führt (Neely & Al Najjar, 2006). Seit Kaplan und Norton (Kaplan & Norton, 1996) die Balanced Scorecard in die Unternehmenswelt brachten, wurde deren Anwendung überarbeitet und weiter entwickelt.

\*\*\*

Das Servicegeschäft ist ein wichtiger Teil für Unternehmen, um Kunden stärker an sich zu binden. Service ist aber auch ein Mittel, um Unternehmen vom Produktgeschäft zum Lösungsgeschäft zu transformieren. Eine Manager bei Krones drückte es wie folgt aus: „Krones ist vom Anlagenhersteller zum Lösungsanbieter gewachsen. Wir verkaufen nicht mehr Eisen und Stahl, sondern Ideen.“ Durch die mit dem Servicegeschäft etablierte Kundenbeziehung können Produzenten ihr zukünftiges Geschäft stärker einschätzen. Dieser beträchtliche Nutzen kann nicht von heute auf morgen umgesetzt werden. Die fünf Handlungsfelder, die wir in diesem Artikel darstellen, werden den Prozess beschleunigen, um die Professionalität und die Gewinne der Unternehmen steigern.

---

### Referenzen

- Brenken, B. & Gudergan, G., 2010, Fakten und Trends im Service, Print Production M. Wolff, Aachen.
- Drucker, P.F., 2002, They're not employees, they're people, Harvard Business Review, 80(2), p. 70.
- Engelhardt, W.H. & Reckenfelderbäumer, M. 2006, Industrielles Service-Management, in Markt- und Produktmanagement, Springer, pp. 209–318.
- Frei, F.X., 2008, The four things a service business must get right, Harvard Business Review, 86(4), p. 70.
- Gebauer, H., 2008, Identifying service strategies in product manufacturing companies by exploring environmentstrategy configurations, Industrial Marketing Management, 37(3), pp. 278–91.
- Heskett, I.L., Lones, T.O., Loveman, G.W. & Sasser, W.E., 1994, Putting the Service-Profit Chain to Work, Harvard Business Review, pp. 165–74.
- Kaplan, R.S. & Norton, D.P., 1996, The balanced scorecard : translating strategy into action, Harvard Business School Press, Boston, Mass..
- Kleinaltenkamp, M., Bach, T. & Griese, I. 2009, Der Kundenintegrationsbegriff im (Dienstleistungs-) Marketing, in M Bruhn & B Stauss (eds), Kundenintegration, Gabler, pp. 35–62.
- Lange, I., 2009, Leistungsmessung industrieller Dienstleistungen Prozess und Leistungstransparenz als Basis für das Management von Produkt-Service-Systemen, ETH Zürich, Zürich, Schweiz.
- Mathieu, V., 2001, Service strategies within the manufacturing sector: benefits, costs and partnership, International Journal of Service Industry Management, 12(5), pp. 451–75.
- Müller, R., 1998, Kommerzialisierung industrieller Dienstleistungen – dargestellt am Beispiel der Schweizer Werkzeugmaschinenindustrie, Universität St. Gallen, Hochschule für Wirtschaft-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG), St. Gallen, Schweiz.
- Neely, A. & Al Najjar, M., 2006, Management Learning Not Management Control: The true role of performance Measurement? California Management Review, 48(3), pp. 101–14.
- Porter, M.E., 2008, The five competitive forces that shape strategy, Harvard Business Review, 86(1), p. 25.
- Prahalad, C.K. & Ramaswamy, V., 2000, Co-opting customer competence, Harvard business review, 78(1), pp. 79–90.
- Raddats, C., 2011, Aligning industrial services with strategies and sources of market differentiation, Journal of Business & Industrial Marketing, 26(5), pp. 332–43.

Raddats, C.O. & Burton, J., 2011, Strategy and structure configurations for services within product-centric businesses, Journal of Service Management, 22(4), pp. 4-

Ramaswamy, R., 1996, Design and management of service processes, Addison-Wesley, Reading, MT.

Roland Berger Strategy Consultants, 2010, Industrieservices in Deutschland: Status Quo und zukünftige Entwicklung.

Strassl, J. & Schicker, G., 2012, Der richtige Weg zur mehr Professionalität: Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie? Institut für industrielles Service Management, Service For Industry, Weiden i.d. OPf. Germany.

Wecht, 2005, Frühe aktive Kundenintegration in den Innovationsprozess, St. Gallen, Schweiz.



**Prof. Dr. Günter Schicker**  
Institut für industrielles Service Management



**Prof. Dr. Johann Strassl**  
Institut für industrielles Service Management



# Interest Rate Rules and Money as an Indicator Variable\*

**Christina Gerberding\***  
**Prof. Dr. Franz Seitz#**  
**Andreas Worms\***

\*) Deutsche Bundesbank  
Economics Department  
Wilhelm Epstein Str. 14  
D-60431 Frankfurt  
Germany

#) University of Applied Sciences  
Weiden, WSB Poznan  
Hetzenrichter Weg 15  
D-92637 Weiden  
Germany

## Abstract

The paper derives the monetary policy reaction function implied by using money as an indicator variable. It consists of an interest rate response to deviations of the inflation rate from target, to the change in the output gap, to money demand shocks and to the lagged interest rate. We show that this type of inertial interest rate rule characterises the Bundesbank's monetary policy from 1979 to 1998 quite well. This result is robust to the use of real-time or ex post data. The main lesson is that, in addition to anchoring long-term inflation expectations, money introduces inertia and history-dependence into the monetary policy rule. This is advantageous when private agents have forward-looking expectations and when the level of the output gap is subject to persistent measurement errors.

Der Artikel leitet die geldpolitische Reaktionsfunktion ab, die Geld als eine Indikatorvariable voraussetzt. Diese ergibt sich aus der Zinsreaktion auf die Abweichung der Inflationsrate vom Sollwert, auf die Veränderung in der Produktionslücke, auf Geldnachfrageschocks sowie auf verzögerten Zinssatz. Wir zeigen, dass diese Form der verzögerten Zinsregel charakteristisch für die Geldpolitik der Bundesbank von 1979 – 1998 ist. Dieses Ergebnis ist aussagekräftig für die Anwendung bei Echtzeitdaten sowie Ex-Post Daten. Die wesentliche Lehre ist, dass Geld zusätzlich zur Verankerung langfristiger Inflationserwartungen eine gewisse Trägheit und Geschichtsabhängigkeit in die geldpolitischen Regeln miteinführt. Dies ist von Vorteil, wenn private Geldakteure vorausschauende Erwartungen haben und wenn das Niveau der Produktionslücke ständigen Messfehlern unterliegt.

**JEL-Classification:** E43, E52, E58

**Keywords:** Monetary policy, Taylor rule, money growth targets, history dependence

---

## Fußnote

\* We thank Heinz Herrmann, Vitor Gaspar, seminar participants at the OENB, the Central Bank of Belarus, the Universities of Stuttgart-Hohenheim, Bayreuth, Bochum, Gießen and participants at the annual meeting of the Verein für Socialpolitik 2008 and the ROME network as well as an anonymous referee for helpful comments. The views expressed in the paper are those of the authors and should not be interpreted as those of the Deutsche Bundesbank.

## 1. Introduction

There is an extensive literature on optimal and estimated monetary policy reaction functions. These range from the „classic“ Taylor rule (Taylor, 1993) and numerous variants of it (e.g. Clarida et al., 1998; Mehra, 2001; Christiano and Rostagno, 2001; Gerlach-Kristen, 2003; Chadha et al., 2004) to nominal income rules (e.g. McCallum and Nelson, 1999; Rudebusch, 2002) and different specifications of speed limit policies (Orphanides, 2003b; Walsh, 2004; Stracca, 2007). In the last decade, the most prominent monetary policy rules were those in the spirit of Taylor (1993). According to these rules, the short-term real interest rate should be raised if inflation increases above target and/or if the level of real output rises above trend. The popularity of such rules stems from their simplicity and their alleged robustness across a wide array of macroeconomic models. In addition, the case for Taylor rules has been strengthened by the claim made by Clarida et al. (1998) and others that the monetary policy of many central banks, especially the Fed’s monetary policy under Paul Volcker and Alan Greenspan and the Bundesbank’s monetary policy during the era of monetary targeting (1979-1998) can very well be captured by a forward-looking variant of the Taylor rule.

However, one shortcoming of these studies is that they abstract from the measurement problems which policymakers face with respect to key variables entering the Taylor rule like the equilibrium level of the real interest rate and the level of the output gap. For the US, Orphanides (2001, 2003b) has demonstrated that the use of real-time information can considerably change the outcome of an analysis of past monetary policy decisions. In particular, he finds that a Taylor rule based on real-time data tracks the Fed’s monetary policy in the 1970s quite closely and thus would not have been helpful in avoiding the policy mistakes of that era which can be identified today with the advantage of hindsight. In a similar vein, Gerberding et al. (2004, 2005) have shown that the use of real-time data for Germany considerably changes the assessment of the Bundesbank’s monetary policy reaction function. According to their analysis, the Bundesbank did not respond to the level of the output gap as suggested by the Taylor rule, but rather to the change in the output gap as well as to deviations of (expected) inflation and money growth from their respective target values. Furthermore, their results suggest that the monetary policy of the Bundesbank was characterised by a high degree of interest rate inertia.

Interestingly, targeting the rate of change rather than the level of the output gap has recently been advocated by a number of authors, such as Orphanides (2003a) and Walsh (2003, 2004). They point out that output growth targeting is advantageous if estimates of the level of the output gap are subject to greater uncertainty than estimates of its change (as has historically been the case). Another advantage is that targeting the change in the output gap makes monetary policy more history-dependent, which is

an important element of the optimal commitment policy in forward-looking models (Woodford, 1999). However, the latter argument has been put forward only recently, and thus does not answer the question why the Bundesbank might have looked more at changes than at the level of the output gap.

In the present paper, we take up this question and argue that the Bundesbank’s focus on inflation and output growth – and the resulting robustness against misperceptions of the level of the output gap – was a direct consequence of its use of money growth as an intermediate target variable. To shed further light on this issue, we develop an analytical framework which allows to derive the interest rate reaction function implied by monetary targeting (part 2 of the paper). We do this for the simple case of strict monetary targeting, but we also consider several modifications. In particular, we allow for the possibility that the central bank accommodates shocks to money demand, and we take into account that the central bank’s objective function may include other targets besides the money growth target. In our model, money-based interest rate rules feature a response to the lagged interest rate, to deviations of inflation from target, to the change in the output gap and possibly, but not necessarily, an additional response to short-run movements of money.<sup>1</sup> In the third part of the paper, we show that this type of inertial interest rate rule characterises the Bundesbank’s monetary policy from 1979 to 1998 quite well. Furthermore, we demonstrate that this result is robust to the use of ex post or real-time data. In section 4, we discuss the economic reasoning and consequences of all the arguments incorporated in the interest rate rule. Section 5 summarises and concludes.

## 2. Mapping monetary targeting into an interest rate reaction function

From 1975 to 1998, the Bundesbank announced annual targets for monetary growth. According to the Bundesbank’s own descriptions, the money growth targets were used as intermediate targets which served to attain the ultimate objective of safeguarding the value of the currency.<sup>2</sup> In this section, we develop an analytical framework that allows to derive the interest rate rule implied by the Bundesbank’s version of monetary targeting (MT). As a starting point, we outline the method used for the derivation of the target values. In a second step, we derive the interest rate rule for the simple textbook case of strict monetary targeting, defined as a strategy where the central bank only cares about achieving the money growth target. In the third section, we show how this interest rate rule has to be modified if the central bank takes a medium-term perspective and follows a policy of accommodating shocks to money demand. Finally, we extend the analysis to the case where the central bank’s objective function includes other targets besides the (medium-term) money growth target.<sup>3</sup>

## 2.1. Determinants of the target values

The analytical background for the derivation of monetary targets is provided by the quantity theory of money.<sup>5</sup> The quantity theory states that for given long-run rates of the change in velocity and real output, trend inflation can be pinned down by controlling trend money growth:

$$(1) \Delta \bar{p}_t = \Delta \bar{m}_t - \Delta \bar{y}_t + \Delta \bar{v}_t$$

where  $p$ ,  $m$ ,  $y$  and  $v$  are the (logs of the) price level, the money stock, real income and the income velocity of money, respectively, and the bars denote trend values. Starting from Eq. (1), the target value for money growth in year  $t$ ,  $\Delta m_t^T$ , is derived from three macroeconomic benchmark figures: (1) a price assumption or price norm reflecting the maximum price increase the central bank is willing to tolerate,  $\Delta p_t^T$ , (2) the growth rate of production potential,  $\Delta y_t^*$ , and (3) the trend rate of change in the velocity of circulation  $\Delta v_t^*$ . While the first has to be set normatively, the latter two are unknown and hence have to be estimated:

$$(2) \Delta m_t^T = \Delta p_t^T + \Delta y_t^{*,est} - \Delta v_t^{*,est}$$

Despite its quantity-theoretic foundations, the implementation of monetary targeting in general differs from conventional monetarist thinking in a number of ways. First, the targets are usually not formulated in terms of the monetary base, but in terms of a broadly defined monetary aggregate.<sup>5</sup> Second, central banks do not attempt to control the money stock directly, but follow an indirect approach of influencing money demand by varying key money market rates and bank reserves. Third, even though the actual targets usually have a one-year horizon, the Bundesbank Council for example stressed their medium-term nature and was prepared to tolerate short-term deviations of money growth from the target path if that seemed justified with respect to the ultimate objective of price stability.

## 2.2. Deriving the interest rate rule implied by strict monetary targeting

Despite this built-in flexibility (to which we will come back in section 2.3), it is useful to first derive the interest rate rule implied by the simple textbook case of “strict” monetary targeting.<sup>6</sup> Hence, for the time being, let us assume that the central bank sets interest rates with a view of minimising deviations of money growth from target only ( $L$  indicates the loss):

$$(3) L_t = (\Delta m_t - \Delta m_t^T)^2$$

Furthermore, to keep matters simple, let us assume that the link between money and interest rates can be adequately described by a standard money demand function that relates real money holdings to output  $y$

(which proxies the transactions volume) and the interest rate  $i$  (which proxies opportunity costs):<sup>7</sup>

$$(4) (m_t - p_t) = \gamma_1 \cdot y_t - \gamma_2 \cdot i_t + \varepsilon_t$$

The parameters  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  denote the income elasticity and the (semi) interest elasticity of money demand, respectively. In (4),  $\varepsilon_t$  captures short-run dynamics and shocks to money demand. Specifying (4) and (2) in growth rates ( $\Delta$ ) and abstracting from potential changes in the steady-state level of the nominal interest rate (as the Bundesbank did),<sup>8</sup> yields the following formula for the money growth gap (see Gerberding et al., 2009, section 2.2)

$$(5) \Delta m_t - \Delta m_t^T = (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \gamma_1 (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + (\gamma_1 - \hat{\gamma}_1) \Delta y_t^{*,est} - \gamma_2 \cdot \Delta i_t + \Delta \varepsilon_t$$

where  $\hat{\gamma}_1$  denotes the central bank’s estimate of  $\gamma_1$ . Setting the money growth gap equal to zero (as implied by the minimisation of Eq. (3)) and solving for the nominal interest rate, we arrive at the interest rate rule implied by *strict* monetary targeting:

$$(6) i_t = i_{t-1} + \frac{1}{\gamma_2} (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \frac{(\gamma_1 - \hat{\gamma}_1)}{\gamma_2} \Delta y_t^{*,est} + \frac{1}{\gamma_2} \Delta \varepsilon_t$$

Provided that the central bank’s estimate of  $\gamma_1$  is unbiased, the term  $(\gamma_1 - \hat{\gamma}_1) \Delta y_t^{*,est}$  can be subsumed into an error term,  $u_t$ , which leaves us with:

$$(6a) i_t = i_{t-1} + \frac{1}{\gamma_2} (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \frac{1}{\gamma_2} \Delta \varepsilon_t + u_t$$

According to Eq. (6a), strict monetary targeting implies interest rate inertia (due to the presence of the lagged interest rate among the feedback variables) and further interest rate reactions to deviations of inflation from target, to deviations of actual output growth from potential output growth (which is equivalent to the change in the output gap), and to  $\Delta \varepsilon_t$  which captures (changes in) short-run dynamics and fluctuations of money demand.<sup>9</sup>

## 2.3. Modelling medium-term monetary targeting

The implied response to money demand shocks is usually viewed as a major drawback of monetary targeting. To avoid the associated inefficiency, the Bundesbank from the outset interpreted its money growth targets as medium-term rather than short-term targets. In line with this interpretation, it practised a policy of accommodating short-term fluctuations in money demand which were judged to be irrelevant for trend money growth and thus for trend inflation (see, e.g. Baltensperger, 1998; Deutsche Bundesbank, 1998, 36f.).<sup>10</sup> To capture this element of the Bundesbank’s strategy, we replace Eq. (3) by the assumption that the Bundesbank Council targeted an adjusted money growth variable,  $\Delta m_t^{adj}$ , which was supposed to capture trend money growth:

$$(3a) L_t = (\Delta m_t^{adj} - \Delta m_t^T)^2$$

$\Delta m_t^{adj}$  is defined as actual money growth minus the central bank's estimate of the money demand shock,  $\Delta \varepsilon_t^{est}$ :

$$(7) \Delta m_t^{adj} = \Delta m_t - \delta \cdot \Delta \varepsilon_t^{est}$$

In order to allow for less than full accommodation of shocks, the term  $\Delta \varepsilon_t^{est}$  is multiplied by a parameter  $\delta$  which measures the degree of accommodation ( $0 \leq \delta \leq 1$ ).<sup>11</sup> Combining (7) with (5), we get the following formula for the adjusted money growth gap

$$(8) \Delta m_t^{adj} - \Delta m_t^T = (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \gamma_1 (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + (\gamma_1 - \hat{\gamma}_1) \Delta y_t^{*,est} - \gamma_2 \cdot \Delta i_t + (1 - \delta) \Delta \varepsilon_t + \delta (\Delta \varepsilon_t - \Delta \varepsilon_t^{est})$$

Setting the adjusted money growth gap once more equal to zero and solving for the interest rate yields the interest rate rule implied by *medium-term* monetary targeting:

$$(9) i_t = i_{t-1} + \frac{1}{\gamma_2} (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \frac{(1 - \delta)}{\gamma_2} \Delta \varepsilon_t + u_t'$$

where all estimation errors have once again been subsumed into the error term  $u'$ . Eq. (9) encompasses the polar cases of strict short-term monetary targeting (with  $\delta=0$ ) and of "optimal" medium-term monetary targeting where short-term fluctuations of money growth around trend are fully accommodated (with  $\delta=1$ ).

Direct estimation of (9) would require information about policymakers' real-time perceptions of  $\Delta \varepsilon_t$ . However, Eq. (5) allows us to circumvent this problem by expressing  $\Delta \varepsilon_t$  in terms of observable variables only

$$(5a) \Delta \varepsilon_t = \Delta m_t - \Delta m_t^T - (\Delta p_t - \Delta p_t^T) - \gamma_1 (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) - (\gamma_1 - \hat{\gamma}_1) \Delta y_t^{*,est} + \gamma_2 \cdot \Delta i_t$$

Substituting (5a) into (9) yields:

$$(10) i_t = i_{t-1} + \frac{1}{\gamma_2} (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \frac{(1 - \delta)}{\delta \gamma_2} (\Delta m_t - \Delta m_t^T) + u_t'$$

where the estimation errors have again been subsumed into the error term  $u'$ . Note that in this specification of the interest rate rule, the coefficient of the money growth gap captures the degree to which the interest rate setting by the central bank responds to money demand shocks. As a consequence, if the central bank fully accommodates shocks to money demand ( $\delta=1$ ), one would only observe a response to inflation and the change in the output gap, but no response to the money growth gap at all. By contrast, if there is no accommodation at all ( $\delta=0$ ), the feedback coefficient of the money gap would go to infinity.

#### 2.4. Admitting additional short-term objectives

Up to now, we have assumed that the central bank's objective function is one-dimensional in the sense that it only cares about achieving the (intermediate) monetary target. However, and realistically, we now take into account that the central bank pursues further goals. Potential candidates are the standard objectives of minimising deviations of inflation, output and the interest

rate from their respective target/natural rate levels.<sup>12</sup> The corresponding intertemporal loss function is

$$(11) E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [(\Delta p_t - \Delta p_t^T)^2 + \lambda_y (y_t - y_t^*)^2 + \lambda_i (i_t - i_t^*)^2 + \lambda_m (\Delta m_t^{adj} - \Delta m_t^T)^2]$$

where  $\beta$  is the discount factor,  $E$  is the expectations operator and  $\lambda_y$ ,  $\lambda_i$  and  $\lambda_m$  are the relative weights attached to the output, interest rate and money growth stabilisation objectives. The implications of including a money growth target in an otherwise standard central bank objective function have been analysed by Söderström (2005) and Beyer et al. (2012). In their setup, the money growth target acts as a commitment device which helps the central bank to get closer to the optimal, but infeasible commitment solution. As shown by Beyer et al. (2012), under certain reasonable assumptions, the targeting rule characterising optimal discretionary policy under this type of objective function can be transformed into an implicit interest rate rule of the following form:

$$(12) i_t = (1 - \rho) \cdot [i_t^* + \phi_p \cdot (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \phi_x \cdot (y_t - y_t^*) + \phi_m \cdot (\Delta m_t^{adj} - \Delta m_t^T)] + \rho \cdot i_{t-1}$$

where the response coefficients  $\phi_p$ ,  $\phi_x$ ,  $\phi_m$  and  $\rho$  are functions of the model parameters. Eq. (12) differs from the interest rate rules we have considered so far – that is Eqs (6a), (9) and (10) – by introducing an additional response to the *level* of the output gap and by allowing the degree of interest rate smoothing to differ from one. Setting  $\Delta m_t^{adj} = \Delta m_t$ , and thus ignoring the medium-term nature of money growth targets, allows to estimate (12) directly. This is in fact done by many empirical studies, such as Clarida et al. (1998). However, the framework developed in Section 2.3 enables us to gain additional insights into the degree of medium-term orientation of a monetary targeting strategy. By substituting (5a) into (8), we are able to express the adjusted money growth gap in terms of observable variables and forecast errors:

$$(8a) \Delta m_t^{adj} - \Delta m_t^T = \delta (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \delta \gamma_1 (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \delta (\gamma_1 - \hat{\gamma}_1) \Delta y_t^{*,est} - \delta \gamma_2 \cdot \Delta i_t + (1 - \delta) (\Delta m_t - \Delta m_t^T) + \delta (\Delta \varepsilon_t - \Delta \varepsilon_t^{est})$$

Using (8a) to replace the adjusted money growth gap in (12), and subsuming the estimation errors once again into the error term,  $\xi_t$ , yields:

$$(13) i_t = (1 - \rho) \cdot \left[ i_t^* + (\phi_p + \phi_m \delta) \cdot (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \phi_x \cdot (y_t - y_t^{*,est}) + \phi_m \delta \gamma_1 \cdot (\Delta y_t - \Delta y_t^{*,est}) + \phi_m (1 - \delta) \cdot (\Delta m_t - \Delta m_t^T) \right] + \rho \cdot i_{t-1} + \xi_t$$

$$\text{with } \rho' = \frac{\rho + (1 - \rho) \cdot \phi_m \cdot \delta \cdot \gamma_2}{1 + (1 - \rho) \cdot \phi_m \cdot \delta \cdot \gamma_2} \geq \rho$$

In our view, Eq. (13) encompasses all potentially important elements of flexible monetary targeters such as the Bundesbank. First of all, it takes into account that the central bank may have at least partially accommodated shocks to money demand (that is,  $\delta > 0$ ). As a consequence, the weight that policymakers attach to the money growth targets does not only show up in the interest rate response to actual money growth, but also in the response to inflation and to output growth. Note that in the limit, if



the central bank fully accommodates all shocks to money demand, Eq. (13) will not feature a response to money growth at all, despite the fact that it follows a strategy of monetary targeting. Second, (13) encompasses the feedback variables implied by monetary targeting as well as the ingredients of more standard interest rate rules such as the popular Taylor rule. Hence, this specification of the policy rule enables us to test various hypotheses about a central bank's monetary policy strategy. For instance, if the estimated coefficients of the inflation gap and the output gap turn out to be significantly positive, whereas the coefficients of the change in the output gap and the money growth gap are insignificant, we would regard this as evidence in favour of the claim made by Clarida et al. (1998) and Bernanke and Mihov (1997) that the Bundesbank preached monetary targeting, but in fact followed a Taylor rule. If, however, we find the estimated coefficients of the output growth gap and/or the money growth gap to be significantly positive, we will interpret this as evidence that the money growth targets played an important role in the policy decisions.

### 3. Estimating the reaction function of the Bundesbank

In this section, we provide empirical evidence on the Bundesbank's monetary policy reaction function during the era of monetary targeting. In line with other studies (e.g. Clarida et al., 1998), we neglect the first turbulent and volatile years (1975–1978) and focus on the more stable period after the inception of the EMS (1979–1998).<sup>14</sup> The specification of the reaction function is based on the interest rate rule derived in the previous section. However, the theoretical model imposes some complications which need to be dealt with. One difficulty is that, obviously, not all the parameters can be identified by estimating Eq. (13). One way to solve this problem would be to estimate the structural version of Eq. (13) for given values of the parameters of the money demand function,  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$ . Note, however, that in order to test the hypotheses we are interested in, it suffices to pin down the Bundesbank's overall response to each of the feedback variables included in (13). Hence, we restrict ourselves to estimating the following reduced-form version of (13):

$$(14) \quad i_t = (1 - \rho) \cdot \left[ i_t^* + \phi_{\Delta p} \cdot (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \phi_y \cdot (y_t - y_t^{*est}) + \phi_{\Delta y} \cdot (\Delta y_t - \Delta y_t^{*est}) + \phi_{\Delta m} \cdot (\Delta m_t - \Delta m_t^T) \right] + \rho \cdot i_{t-1} + \eta_t$$

where  $\eta_t$  is a linear combination of the forecast errors included in  $\zeta_t$  and an exogenous disturbance term.

Another difficulty is that in general, the contemporaneous values of the rate of inflation, (the change in) the output gap and money growth will not be known to policymakers at the time the decisions are made and hence have to be estimated. Unfortunately, for the period in question, real-time data on policymakers' or Bundesbank staff forecasts of most of the variables in question are not available. On the other hand, the RHS variables of Eq. (14)

are determined simultaneously with the policy instrument, and hence may not be uncorrelated with the error term. To avoid the resulting endogeneity problems, we use instrumental variables estimation and instrument the RHS-variables of (14) by a vector of variables  $I_t$  (where  $t$  means available to policy makers at time  $t$ ) which are (sufficiently closely) correlated with the explanatory variables but orthogonal to  $\eta_t$  (for details on the instrument sets, see the notes below Tables 1a-2b).

In any empirical work on monetary policy reaction functions, an important question is to which extent one is able to reconstruct policymakers' real-time information sets. The first generation of empirical studies on monetary policy reaction functions in the spirit of Taylor (1993) was based on ex post revised data. Influential examples include Clarida and Gertler (1997) or Clarida et al. (1998, 2000). However, Orphanides (2001, 2003c) has pointed out that ex post data on key macro variables may differ considerably from the information available to policymakers at the time the decisions are made. This so-called real-time data problem stems from the fact that some potential determinants of monetary policy suffer from considerable measurement problems and are often substantially revised over time. Indeed, with the advantage of hindsight we now know that measurement problems are particularly pronounced for the level of the output gap, which plays a prominent role in interest rate rules of the Taylor type. Interestingly, this is not specific to the US but seems to be an international phenomenon (see Gerberding et al., 2005 for Germany, Gerdemeier and Roffia, 2005 for the Euro Area, Kamada, 2004 for Japan, Nelson and Nikolov, 2003 for the UK and Orphanides, 2001 for the US). For the purpose of practical monetary policy, estimating reaction functions on revised data is hence inappropriate *a priori* since it introduces measurement errors into the estimated equations, leading to biased estimates (and test statistics).

On the other hand, more recently, the argument has been put forward that the available real-time data sets do not fully reflect the information set available to policymakers at the time the decisions are taken. For instance, the analysis of a broad set of indicators may enable policymakers to implicitly circumvent the measurement problems underlying real-time estimates. If this were true, policymakers' own estimates of key macro variables may differ from those contained in real-time data sets (which are usually based on published data and staff estimates).

As the outcome of this debate is still open, our approach is to use ex post data as well as real-time data to estimate the Bundesbank's reaction function. Looking at both sets of results seems particularly appropriate in the context of the present paper since money growth targeting implies a response to the "true" rate of inflation and the "true" rate of output growth which determine the observed change in money demand.<sup>14</sup> As our benchmark ex post series, we

match the last available vintage of official Bundesbank estimates of the production potential (dating from Jan. 1999) with the March 1999 vintages of all other data.<sup>15</sup> To calculate real-time output gaps, we have used Bundesbank sources (official publications and internal briefing documents) to reconstruct the Bundesbank's real-time estimates of potential output. The reconstruction of real-time data sets for actual and potential output enables us to calculate the Bundesbank's real-time estimates of the output gap.

Table 1a summarizes the results of estimating Eq. (14) on ex post data. Note that in the estimations, the natural rate of interest,  $i_t^*$ , was proxied by the sum of a constant and the (time-varying) price assumption,  $\Delta p_t^T$ . Furthermore, in line with the one-year horizon of the money growth targets, we have estimated policymakers' response to annual rather than quarterly rates of inflation, output growth and money growth. Finally, in order to generalize our analysis to contemporary and forward-looking specifications of the policy rule, we have replaced the inflation variable in (14) by  $(\Delta p_{t+n} - \Delta p_{t+n}^T)$  and allow  $n$  to vary between 0 and 6.<sup>16</sup> Turning to the results, note first that in all cases, the J-statistic confirms the validity of the over-identifying restrictions.<sup>17</sup> Second, the coefficient of the inflation gap,  $\phi_{\Delta p}$ , is significantly positive for all values of  $n$ . Third, the coefficient of the level of the output gap,  $\phi_y$ , is significant only for  $n=0$ , suggesting that in this case, the output gap acts as an indicator of future inflation rather than as an independent feedback variable. Fourth, the coefficients of the output growth gap,  $\phi_{\Delta y}$ , and of the money growth gap,  $\phi_{\Delta m}$ , are significantly positive for all values of  $n$ . Fifth, with estimated values of  $\rho'$  between 0.80 and 0.91, the rule exhibits a high degree of interest rate smoothing. Finally, dropping the insignificant output gap leaves the results unchanged with the only exception that  $\phi_{\Delta p}$  increases somewhat for most forecast horizons (see Table 1b). As a consequence, the response to inflation becomes significantly larger than one for all values of  $n$ .

Before turning to the interpretation of these results, we check whether using real-time data instead of ex post data makes any difference. For that purpose, we re-estimate Eq. (14) using the real-time data set compiled by Gerberding et al. (2004). We find that all real-time estimates reveal a significant reaction to the inflation gap, to the *change* of the output gap and to the money growth gap, while the feedback from the *level* of the output gap turns out to be insignificant. The rule also exhibits a high degree of interest rate smoothing.<sup>18</sup> Moreover, the parameters of the change in the output gap and the inflation gap are not too far apart from each other.<sup>19</sup> In fact, for  $n=0$ , the point estimate of  $\phi_{\Delta y}$  is even slightly above  $\phi_{\Delta p}$ , which is perfectly in line with the parameter restrictions implied by monetary targeting in the case of  $\gamma_1 > 1$  (see Eqs (10) and (13)).<sup>20</sup>

These results prove to be quite robust to changes in the forecast horizon  $n$  ( $1 \leq n \leq 6$ ), to the exact timing of the

inflation and output variables, to the concrete specification of the money gap (annual growth rates, annualised 6-month growth rates, level specifications), and to the choice of alternative proxies for the unobserved forecasts of inflation (consumer prices, output deflator, consensus forecasts).<sup>22</sup>

However, what is perhaps most surprising is that the results based on real-time data differ only slightly from the results in the ex-post setting. One explanation for this congruence is that (in contrast to other central banks) policymakers at the Bundesbank focussed their attention on indicator variables which were exposed to measurement errors only to a comparatively small extent. Figure 1 illustrates that this is indeed the case. First of all, as shown in Figure 1(a), the measurement errors regarding the *change* in the output gap are much smaller and much less persistent than the measurement errors regarding the *level* of the output gap. Second, when splitting up the change in the output gap into actual output growth and potential output growth (Figure 1(b)), we find that the measurement errors in output growth and the change in the output gap follow very similar patterns, while the measurement errors regarding potential output growth are smaller, but more persistent. Finally, as illustrated by Figure 1(c), revisions in consumer prices and in money growth are even smaller in size throughout the sample period, with money growth figures being hardly ever revised at all. While this may not be true for other countries over different sample periods, Coenen et al. (2005) reach very similar conclusions with respect to euro-area data since 1999.

## 4. Interpretation of the results

Several of the results presented in the previous section deserve further discussion. Therefore, we first interpret the estimated responses to inflation, output growth and money growth in light of the theoretical model developed in Section 2. Second, we outline potential advantages of responding to the change rather than to the level of the output gap. Third, we discuss the results for forward-looking specifications of the policy rule ( $n > 0$ ).

### 4.1. Interpreting the estimated response to the money growth gap

Taken literally, our theoretical model of monetary targeting derived in Section 2 implies an interest rate response to (policymakers' estimates of) contemporaneous inflation, output growth and money growth (see Eqs (10) and (13)). And in fact, for  $n=0$ , our estimates of the feedback coefficients correspond well with the predictions of the theoretical model, particularly in the real-time setup. Recalling the "structural" version of the interest rate rule:

$$(13) i_t = (1 - \rho') \cdot \left[ i_t^* + (\phi_p + \phi_m \delta) \cdot (\Delta p_t - \Delta p_t^T) + \phi_y \cdot (y_t - y_t^*) + \left[ \phi_m \delta \gamma_1 \cdot (\Delta y_t - \Delta y_t^{est}) + \phi_m (1 - \delta) \cdot (\Delta m_t - \Delta m_t^T) \right] \right] + \rho' \cdot i_{t-1} + \xi_t$$

it is even possible to use the estimates of the reduced-form coefficients (from Table 1a and 2b) to extract some information on  $\delta$ , the degree of accommodation of money demand shocks. To illustrate the linkages, Table 3 shows the values of  $\delta$  which result for given values of the reduced-form coefficients taken from Table 1a ( $\hat{\phi}_{\Delta p} = 1.03$ ;  $\hat{\phi}_{\Delta y} = 1.25$ ;  $\hat{\phi}_{\Delta m} = 0.54$ ) and Table 2b ( $\hat{\phi}_{\Delta p} = 2.30$ ;  $\hat{\phi}_{\Delta y} = 2.57$ ;  $\hat{\phi}_{\Delta m} = 1.05$ ), respectively, and two alternative values of  $\gamma_1$ , namely 1 and 1.3. Interestingly, with values of  $\delta$  between 0.64 and 0.71, this simple exercise suggests that the Bundesbank Council either accommodated most, but not all shocks to money demand or that it accommodated (some) shocks only partly. The remaining influence of money demand disturbances on the Bundesbank's interest rate decisions (which, in our model, is reflected in the estimated values of  $\phi_{\Delta m}$ ) may simply reflect policy mistakes, possibly due to difficulties in identifying the shocks in real time.<sup>22</sup>

#### 4.2. Role of the Output Gap

The strong and robust influence of the *change* in the output gap on interest rate decisions points to an omitted variables bias in *standard* Taylor rule specifications of the Bundesbank reaction function like the one estimated by Clarida et al. (1998). In this sense, our results throw serious doubt on the widespread practice of using the Taylor rule as a reasonably accurate ex-post description of monetary policy which may be exploited, for instance, in the estimation of DSGE models based on ex-post data.

From a normative point of view, targeting the change rather than the level of the output gap can be advantageous for two different reasons. First, as demonstrated by Orphanides et al. (2000) and Walsh (2004), there may be a case for responding to the *change* in the output gap rather than to its *level* if the measurement errors in the level of the output gap are large and highly persistent. The measurement errors in the *level* of the output gap are defined as (the tilde refers to real-time values):

$$(15) (y_t - y_t^*) - (\tilde{y}_t - \tilde{y}_t^*) = (y_t - \tilde{y}_t) - (y_t^* - \tilde{y}_t^*)$$

As shown in Figure 1, the measurement errors in the Bundesbank's estimates of the output gap were sizable and quite persistent, as it was the case not only for the Bundesbank estimates and not only in Germany. This high degree of persistence implies that, e.g., high positive errors in period  $t$  usually follow high positive measurement errors in  $t-1$ . However, given this high degree of level persistence, the measurement errors of the *change* of the output gap

$$(16) (\Delta y_t - \Delta y_t^*) - (\Delta \tilde{y}_t - \Delta \tilde{y}_t^*) = [(y_t - \tilde{y}_t) - (y_t^* - \tilde{y}_t^*)] - [(y_{t-1} - \tilde{y}_{t-1}) - (y_{t-1}^* - \tilde{y}_{t-1}^*)]$$

are much smaller. Therefore, it may be preferable to focus on output growth (relative to trend growth) rather than on the level of the output gap. Orphanides (2003a), Orphanides et al. (2000) and Walsh (2004) show that in

the presence of imperfect information about the level of potential output, difference rules or speed limit policies outperform simple Taylor-type rules.

Second, responding to the change in the output gap may be welfare-improving since it introduces history-dependence into the policy rule, thereby stabilising inflation expectations and, via the expectations channel, stabilising also actual inflation. To fully understand the argument, consider the following example.<sup>23</sup> Assume that policymakers care about stabilising inflation, output and the interest rate around their respective target values. In this case, the central bank's objective function takes the form:

$$(17) W = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [(\Delta p_t - \Delta p_t^*)^2 + \hat{\lambda}_y (y_t - y_t^*)^2 + \hat{\lambda}_i (i_t - i_t^*)^2]$$

where  $\hat{\lambda}_y$  and  $\hat{\lambda}_i$  are the relative weights attached to output and interest rate stabilization.<sup>24</sup> Assume further that the aggregate demand and supply equations are of the standard New-Keynesian type. Under these assumptions, the first order conditions which characterize optimal monetary policy under *discretion* can be transformed into

$$(18) i_t = i_t^* + \hat{\phi}_{\Delta p} (\Delta p_t - \Delta p_t^*) + \hat{\phi}_y (y_t - y_t^*)$$

Eq. (18) can easily be interpreted as a policy rule of the Taylor type. However, with forward-looking price setting and a short-run output inflation trade-off, there are gains from commitment to a policy rule. Under commitment, the central bank takes the effects of its own actions on private sector expectations into account. As a consequence, optimal policy is not purely forward-looking, but history-dependent in the sense that it implies systematic responses to the lagged interest rate, to the lagged change in the interest rate and to the lagged output gap. Choosing the commitment solution that is optimal from a timeless perspective, the interest rate rule takes the form:<sup>25</sup>

$$(19) i_t = (1 - \hat{\rho}_1) i_t^* + \hat{\rho}_1 i_{t-1} + \hat{\rho}_2 \Delta i_{t-1} + \hat{\phi}_{\Delta p} (\Delta p_t - \Delta p_t^*) + \hat{\phi}_y (\Delta y_t - \Delta y_t^*)$$

Comparing Eq. (19) with Eqs (6) and (10), we find that the optimal time-invariant policy rule under commitment shares many features with the interest rate representation of medium-term (or flexible) monetary targeting derived in Section 2, albeit from a complete different perspective. Of course, as discussed in Section 2, the performance of a strategy which uses money as an indicator variable may suffer from the fact that it implies an additional response to money demand disturbances. However, as shown by Söderström (2005), augmenting society's true loss function by an additional money growth target can be beneficial even if the central bank does not make any adjustment for money demand shocks. In fact, in the hybrid New Keynesian model considered by Söderström, augmenting the loss function by a money growth target enables the central bank to bridge about 80% of the gap between the outcome under discretion and the optimal commitment solution. Moreover, according to Scharnagl

et al. (2010), extending the type of policy rule described by Eq. (19) to include an additional response to money growth is beneficial even in a standard New Keynesian framework if one accounts for a realistic degree of output gap uncertainty. The main reason for the welfare gain is that the information on current output growth contained in money growth data allows the central bank to reduce its response to current inflation, thus enabling it to avoid inefficient reactions to cost push shocks. According to Kilponen and Leitemo (2007), the case for money growth targeting is further strengthened when the underlying macro model features lags in the effects of monetary policy.

#### 4.3. Interpreting the results for $n > 0$

In line with the predictions of our theoretical model, the focus of our empirical analysis is on a policy rule which features a response to contemporaneous values of the RHS variables. However, as a robustness check, we have also reported results for different horizons of the inflation variable,  $n$ , allowing it to increase from 0 up to 6 quarters (see Tables 1a-2b). While the key results of our analysis are robust to increases in the horizon of the inflation variable, there are still some differences which deserve further comments. In particular, note that in each case, increasing the horizon of the inflation gap lowers the standard error of the regression for many specifications with  $n > 0$ . This points to the presence of a forward-looking element in the Bundesbank's interest rate decisions which is absent from the policy rule we have derived in Section 2.

From a theoretical perspective, responding to the inflation outlook  $n$  periods ahead rather than to current inflation may be beneficial if private sector expectations are primarily backward-looking or if there are lags in the effects of monetary policy (Leitemo, 2008). With lags in the transmission mechanism, money may be a leading indicator of inflation, a feature which is absent from the simple model underlying our theoretical derivation. The presence of a link between current money growth and future inflation may also explain why increasing the time horizon of the inflation forecast from zero up to three lowers the coefficient on  $\phi_{\Delta m}$ , just to increase again for  $n > 3$ . Canova and Menz (2011, 597) argue that responding to money in the interest rate feedback rule is an indirect way of reacting to inflation. Therefore, in rules neglecting money, the estimate of the inflation coefficient is likely to be biased.

If policymakers are forward-looking and money growth leads inflation, the estimated response to the money growth gap in the baseline specification (with  $n=0$ ) may pick up the response to the inflation outlook which is not (explicitly) included in the policy rule. However, the fact that the coefficient on money growth remains significant for all values of  $n$  points to an independent role of money, beyond the one as a leading indicator of inflation.<sup>26</sup>

## 5. Conclusions

In the present paper, we have developed an analytical framework which enabled us to derive the interest rate feedback rule implied by using money as an indicator variable for monetary policy. We have shown that medium-term monetary targeting implies an interest rate response to deviations of inflation from target, to the *change* in the output gap, to the lagged interest rate and to the money growth gap. The latter vanishes if the central bank accommodates all shocks to money demand. The results of our empirical analysis suggest that the Bundesbank followed such a strategy and to a large extent, but not fully, accommodated short-run fluctuations of money demand.

We have pointed out that, from a normative point of view, the response to the lagged interest rate and to the change in the output gap implied by monetary targeting may be beneficial because it introduces inertia and history-dependence into monetary policy. As shown by Giannoni and Woodford (2003), both features are important ingredients of optimal monetary policy in standard New-Keynesian models with forward-looking expectations. In addition, responding to the change in the output gap rather than to its level may be advantageous when the latter is subject to large and persistent measurement errors as has historically been the case.

Hence, the outcome of our analysis differs markedly from the results of other studies, like, e.g., Rudebusch and Svensson (2002) who conclude that the reaction function resulting from monetary targeting is quite unsuitable for stabilizing inflation and the output gap, even if there are no shocks to money demand. One reason for their negative verdict on monetary targeting is that their analysis abstracts from the problem of data uncertainty. In fact, they argue that it is not obvious that monetary targeting would be favoured under such uncertainty since money data are also subject to important revisions.<sup>27</sup> While this may be true for the US (Amato and Swanson, 1999), this was not the case for Germany during the era of monetary targeting. Moreover, Coenen et al. (2005) show that M3 in the euro area is subject to only small revisions after the first quarter and to negligible revisions in subsequent quarters.

Hence, the available empirical evidence suggests that the lessons from German data, together with the insights from recent research on optimal monetary policy under commitment, are more relevant for the euro area than the lessons from US data presented by Rudebusch and Svensson. Having said this and against the background of the increased uncertainty monetary policy makers in EMU are confronted with, the Eurosystem's prominent role for money seems to be a sensible approach. Taken seriously, this orientation introduces the necessary ingredients of a robust and inertial monetary policy rule. However, in



order to arrive at more definite conclusions, the present analysis needs to be complemented by further studies which take account of the structural relationships as well as of the degree of model and data uncertainty currently prevailing in the euro area. This is an important task for future research.

---

## References

- Apel, M. and P. Jansson (2005): Some Further Evidence on Interest-Rate Smoothing: The role of measurement errors in the output gap, Working Paper no. 178, Sveriges Riksbank, March.
- Baltensperger, E. (1998): Monetary Policy under Conditions of Increasing Integration (1979–96), in: Deutsche Bundesbank (ed.), *50 Years of the Deutsche Mark*, Clarendon Press, 439–524.
- Bernanke, B.S. and I. Mihov (1997): What does the Bundesbank Target?, *European Economic Review* 41, 1025–1053.
- Bernhardsen, T., Ø. Eitrheim, A.S. Jore and Ø. Røisland (2005): Real-time Data for Norway: Challenges for Monetary Policy, *North American Journal of Economics and Finance* 16, 333–350.
- Beyer, A., V. Gaspar, C. Gerberding, and O. Issing (2012): Opting Out of the Great Inflation: German Monetary Policy after the Breakdown of BrettonWoods, in: Bordo, M. and A. Orphanides (eds.), *The Great Inflation*, Chicago University Press, Chicago, 529–614.
- Bruggemann, A., P. Donati and A. Warne (2003): Is the Demand for Euro Area M3 Stable?, in: Issing, O. (ed.), *Background Studies for the ECB's Evaluation of its Monetary Policy Strategy*, Frankfurt, 245–300.
- Canova, F. and T. Menz (2011): Does Money Matter in Shaping Domestic Business Cycles? An International Investigation, *Journal of Money, Credit and Banking* 43, 577–607.
- Chadha, J.S., L. Sarno and G. Valente (2004): Monetary Policy Rules, Asset Prices, and Exchange Rates, *IMF Staff Papers* 51, 529–552.
- Christiano L.J. and M. Rostagno (2001): Money Growth Monitoring and the Taylor Rule, NBER Working Paper No. 8539, October.
- Clarida, R. and M. Gertler (1997): How the Bundesbank Conducts Monetary Policy, in: Romer, C. and D. Romer (eds.), *Reducing Inflation: Motivation and Strategy*, Chicago, 363–412.
- Clarida, R., J. Galí and M. Gertler (1998): Monetary Policy Rules in Practice: Some International Evidence, *European Economic Review* 42, 1033–1067.
- Clarida, R., J. Galí and M. Gertler (2000): Monetary Policy Rules and Macroeconomic Stability: Evidence and some theory, *Quarterly Journal of Economics* 115, 147–180.
- Coenen, G., A. Levin and V. Wieland (2005): Data Uncertainty and the Role of Money as an Information Variable for Monetary Policy, *European Economic Review* 49, 975–1006.
- Deutsche Bundesbank (1992): The Correlation Between Money Growth and Price Movements in the Federal Republic of Germany, *Monthly Report* January, 20–28.
- Deutsche Bundesbank (1995): *The Monetary Policy of the Bundesbank*, Frankfurt 1995.
- Deutsche Bundesbank (1998): Monetary Policy Strategies in the Countries of the European Union, *Monthly Report* January, 33-47.
- European Central Bank (2005): Price-setting Behaviour in the Euro Area, *Monthly Bulletin*, November, 63-74.
- Galí, J., M. Gertler and D. Lopez-Salido (2001): European Inflation Dynamics, *European Economic Review* 45, 1121–1150.
- Gerberding, C., F. Seitz and A. Worms (2004): How the Bundesbank Really Conducted Monetary Policy: An analysis based on real-time data, Deutsche Bundesbank Discussion Paper 25/2004.
- Gerberding, C., F. Seitz and A. Worms (2007): Money-based Interest Rules: Lessons from German data, Deutsche Bundesbank, Discussion Paper 06/2007.
- Gerberding, C., M. Kaatz, F. Seitz and A. Worms (2005): A Real-Time Data Set for German Macroeconomic Variables, Schmollers Jahrbuch, *Journal of Applied Social Science Studies* 125, 337–346.
- Gerberding, C., F. Seitz and A. Worms (2005): How the Bundesbank Really Conducted Monetary Policy, *North American Journal of Economics and Finance* 16, 277–292.
- Gerberding, C., F. Seitz and A. Worms (2009), Interest Rate Rules and Monetary Targeting: What are the links?, ROME Working Paper 2009–01, June.

- Gerdesmeier, D. and B. Roffia, (2004): Taylor Rules for the Euro Area: The issue of real-time data, Deutsche Bundesbank Discussion Paper 37/2004.
- Gerlach-Kristen, P. (2003): Interest Rate Reaction Functions and the Taylor Rule in the Euro Area, ECB Working Paper No. 258, September.
- Giannoni, M. and M. Woodford (2003): Optimal Interest Rate Rules: I. Theory, NBER Working Paper 9419.
- Hubrich, K. (1999): Estimation of a German Money Demand System - a long-run analysis, *Empirical Economics* 24, 77–99.
- Issing, O. (1992): Theoretical and Empirical Foundations of the Deutsche Bundesbank's Monetary Targeting, *Intereconomics* 27, 289–300.
- Kajanoja, L. (2003): Money as an Indicator Variable for Monetary Policy when Money Demand is Forward Looking, Bank of Finland Discussion Paper 9-2003.
- Kamada, K. (2004): Real-Time Estimation of the Output Gap in Japan and its Usefulness for Inflation Forecasting and Policymaking, Deutsche Bundesbank Discussion Paper Series 1, No 14/2004.
- Kamps, C. and C. Pierdzioch (2002): Geldpolitik und vorausschauende Taylor-Regeln — Theorie und Empirie am Beispiel der Deutschen Bundesbank, Kiel Working Papers 1089.
- Kara, A. H. (2007): Monetary Policy under Imperfect Commitment: Reconciling theory with evidence, *International Journal of Central Banking* 3, 149-177.
- Kilponen, J. and K. Leitemo (2007): Discretion and the Transmission Lags of Monetary Policy, Bank of Finland Research Discussion Paper 08/2007.
- Kilponen, J. and K. Leitemo (2008): Model Uncertainty and Delegation: A case for Friedman's k-percent money growth rule?, *Journal of Money, Credit and Banking* 40, 547-556.
- Leitemo, K. (2008): Inflation-targeting Rules: History-dependent or forward-looking?, *Economics Letters* 100, 267–270.
- McCallum, B.T. and E. Nelson (1999): Performance of Operational Policy Rules in an Estimated Semiclassical Structural Model, in: Taylor, J.B. (ed.), *Monetary Policy Rules*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 15–54.
- Mehra, Y.P. (2001): The Bond Rate and Estimated Monetary Policy Rules, *Journal of Economics and Business* 53, 345–358.
- Nelson, E. (2003): The Future of Monetary Aggregates in Monetary Policy Analysis, *Journal of Monetary Economics* 50, 1029–59.
- Nelson, E. and K. Nikolov (2003): UK Inflation in the 1970s and 1980s: The Role of Output Gap Mismeasurement, *Journal of Economics and Business* 55, 353–70.
- Neumann, M.J.M. (1997): Monetary Targeting in Germany, in: Kuroda, I. (ed.), *Towards more Effective Monetary Policy*, Macmillan, Basingstoke, Hampshire, 176–198.
- Orphanides, A. (2001): Monetary Policy Rules Based on Real-Time Data, *American Economic Review* 91, 964–985.
- Orphanides, A. (2003a): The Quest for Prosperity without Inflation, *Journal of Monetary Economics* 50, 633–663.
- Orphanides, A. (2003b): Historical Monetary Policy Analysis and the Taylor Rule, *Journal of Monetary Economics* 50, 983–1022.
- Orphanides, A. (2003c): Monetary Policy Evaluation with Noisy Information, *Journal of Monetary Economics* 50, 605–631.
- Orphanides, A., R.D. Porter, D. Reifschneider, R. Tetlow, R. and F. Finan (2000): Errors in the Measurement of the Output Gap and the Design of Monetary Policy, *Journal of Economics and Business* 52, 117-41.
- Rudebusch, G. (2002): Assessing Nominal Income Rules or Monetary Policy with Model and Data Uncertainty, *Economic Journal* 112, 402–432.
- Rudebusch, G. and L. Svensson (2002): Eurosystem Monetary Targeting: Lessons from U. S. data, *European Economic Review* 46, 417–442.
- Scharnagl, M. (1998): The Stability of German Money Demand: Not Just a Myth, *Empirical Economics* 23, 355–370.
- Scharnagl, M., C. Gerberding and F. Seitz (2010): Should Monetary Policy Respond to Money Growth? New Results for the Euro Area, *International Finance* 13, 409–441.
- Söderström, U. (2005): Targeting Inflation with a Role for Money, *Economica* 72, 577–596.
- Stock, J.H. and M. Yogo (2005): Testing for Weak Instruments in Linear IV Regression, in: Andrews, D.W.K. and J.H. Stock (eds.), *Identification and Inference for Econometric Models: A Festschrift in Honor of Thomas Rothenberg*, Cambridge University Press, Cambridge, 80–108.
- Stracca, L. (2007): A Speed Limit Monetary Policy Rule for the Euro Area, *International Finance* 10, 21–41.
- Svensson, L. (1999): Inflation Targeting: Some extensions, *Scandinavian Journal of Economics* 101, 337–361.

Taylor, J.B. (1993): Discretion versus Monetary Policy Rules in Practice, *Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy* 39, 195–214.

Taylor, J.B. (1999): A Historical Analysis of Monetary Policy Rules, in: Taylor, J.B. (ed.), *Monetary Policy Rules*, The University of Chicago Press, Chicago, 319–341.

Walsh, C.E. (2002): Speed Limit Policies: The output gap and optimal monetary policy, manuscript, July 2002; a shorter version was published in the *American Economic Review* 93, 265–278.

Walsh, C.E. (2004): Implications of a Changing Economic Structure for the Strategy of Monetary Policy, in: *Monetary Policy and Uncertainty*, Jackson Hole Symposium 2003, Federal Reserve Bank of Kansas City, 297–348.

Wolters, J., T. Teräsvirta and H. Lütkepohl (1998): Modeling the Demand for M3 in the Unified Germany, *Review of Economics and Statistics* 80, 399–409.

Woodford, M. (1999): Optimal Policy Inertia, NBER Working Paper 7261, August.

Woodford, M. (2003): *Interest and Prices – Foundations of a Theory of Monetary Policy*, Princeton University Press, Princeton and Oxford.

---

### Fußnoten

1. It is true that such a speed-limit type of feedback rule might also be justified by other reasons (see, e.g., Woodford, 2003, chs. 7 and 8). We concentrate on the role of money as an additional feedback variable as the Bundesbank officially followed a strategy of monetary targeting and since the usefulness of monetary indicators has been intensively discussed in monetary history, theory and practice, see e.g. the papers in the December 2008 issue of the JMCB and Gerberding et al. (2005), Section V, as well as the ECB's two-pillar strategy.
2. See, for instance, Deutsche Bundesbank, Report for the Year 1980, p. 32.
3. This last extension is quite natural against the background that money growth targets are only means (an indicator variable or intermediate target) to reach the final goal of monetary policy, e.g. price stability.
4. For the following considerations, see also Issing (1992) and Neumann (1997).
5. From 1975 to 1987, the Bundesbank, for example, targeted the central bank money stock, defined as currency in circulation plus the required minimum reserves on domestic deposits calculated at constant reserve ratios with base January 1974. The ratios were 16.6 % for sight deposits, 12.4 % for time deposits and 8.1 % for savings deposits. After the mid-eighties, the heavy weight on currency increasingly proved to be a disadvantage, and when setting the target for 1988, the Bundesbank switched to the money stock M3. See Deutsche Bundesbank (1995), p. 81f.
6. Taylor (1999), Orphanides (2003b) as well as Kilponen and Leitemo (2007, 2008) also consider this case.
7. Such a money demand equation may be derived from first principles as in Woodford (2003).
8. While it can be argued that the successive lowering of the Bundesbank's price norm from 5 % in 1975 to 2 % in 1985 did in fact lead to a decrease in the trend rate of inflation, the Bundesbank did not take this into account when deriving its money growth targets but assumed that the nominal interest rate is constant (or at least stationary) in the long-run, see Deutsche Bundesbank (1992, p. 27f). One reason for ignoring an expected (short-run) downward trend in the nominal interest rate due to a trend decline in inflation is that it would imply an upward correction of the money growth target which would in turn decrease the speed at which the trend rate of inflation is brought down.
9. Taylor (1999, 323ff.) also starts with the quantity equation to derive a monetary policy rule, but he restricts his analysis to the classical Taylor rule.
10. Long-run money demand for M3 in Germany showed a stable pattern over the whole monetary targeting period, even after German unification (see, inter alia, Hubrich, 1999; Scharnagl, 1998; Wolters et al., 1998).
11. The estimates of the Bundesbank's reaction function presented by Neumann (1997) suggest that money demand shocks were not fully accommodated (see p. 187f). However, as pointed out by Neumann (FN 15), this result may also be due to the fact that the variable which he uses to proxy money demand shocks is likely to mix in an unknown fashion shocks to money demand and innovations in money supply.
12. For a welfare-theoretic justification of these objectives, see Woodford (2003, Chapter 6).
13. For an estimation over a longer sample period (1965 – 1998) see Beyer et al. (2012). They show the differences of the monetary targeting regime to the period before and to the reaction functions of the Fed and the Bank of England in terms of reactions to the forecast of inflation and to the (change of) the output gap.
14. Coenen et al. (2005) analyse the role of money as an indicator of current real output. See also Scharnagl et al. (2007).

15. See Gerberding et al (2004), p. 7 ff and footnote 9.
16. The interpretation of the results for  $n > 0$  is discussed in more detail in Section 4.3. For expository reasons, we only show the results for  $n = 0, 4, 6$ . For the other cases see Gerberding et al. (2009).
17. As a test of the strength of the instruments we use the first-stage regression of the variables to be instrumented on the instruments. These regressions in most of the specifications (in the real-time as well as in the ex-post cases) yield an adjusted  $R^2$  of over 80 % (and which is never below 60 %). Moreover, the results of weak instrument tests analogous Stock and Yogo (2005) also suggest the validity of our instruments set. All these results are available upon request.
18. In Gerberding et al. (2007), section 4.2, it is shown that the significance of the lagged interest rate reflects “true” interest rate smoothing and is not caused by measurement errors in the target interest rate or by the omission of important RHS variables (serially correlated errors).
19. Rudebusch (2002a) shows that nominal income targeting performs well when inflation is forward-looking.
20. The income elasticity of broad money demand is generally estimated to be greater than one in the case of the euro area and in Germany, see e.g., Bruggemann et al. (2003) and Scharnagl (1998).
21. See Table 2 in Gerberding et al. (2004) and further calculations which are available upon request.
22. Additional reasons why it might be helpful for policymakers to look at money are discussed in Gerberding et al. (2004), Section 5.
23. See Giannoni and Woodford (2003) and Kara (2007).
24. For simplicity, we abstract from the complications arising from a difference between the efficient and the natural level of output.
25. The advantages of focussing on this solution are explained in Woodford (2003, p. 464ff)
26. In this respect, our results differ from those of Kamps and Pierdzioch (2002).
27. See Rudebusch and Svensson (2002), footnote 26.



**Christina Gerberding**  
Deutsche Bundesbank  
Economics Department  
Wilhelm Epstein Str. 14  
D-60431 Frankfurt, Germany



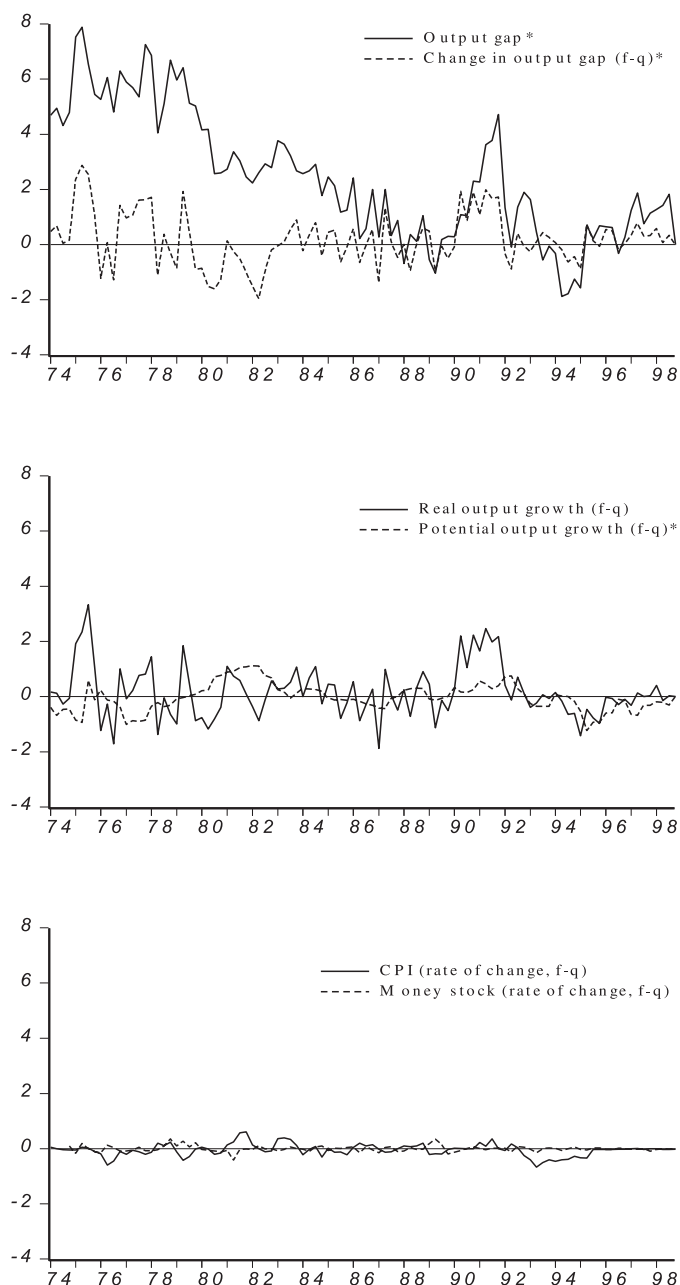
**Prof. Dr. Franz Seitz**  
University of Applied Sciences  
Weiden, WSB Poznan  
Hetzenrichter Weg 15  
D-92637 Weiden, Germany



**Andreas Worms**  
Deutsche Bundesbank  
Economics Department  
Wilhelm Epstein Str. 14  
D-60431 Frankfurt, Germany



**Figure 1: Measurement error in key monetary policy indicators, 1975-19981)**



1) The measurement errors are defined as the differences between the ex post figures (March 1999 vintages) and the initial figures.

\* The calculation is based on Bundesbank estimates of potential output.

**Table 1a: Ex-post estimates of the Bundesbank's interest rate rule**

Estimation equation:

$$i_t = (1 - \rho^l) \cdot \left[ i_t^* + \phi_{\Delta p} \cdot E((\Delta p_{t+n} - \Delta p_{t+n}^*) | \Omega_t) + \phi_y \cdot E((y_t - y_t^*) | \Omega_t) + \phi_{\Delta y} \cdot E((\Delta y_t - \Delta y_t^*) | \Omega_t) + \phi_{\Delta m} \cdot E((\Delta m_t - \Delta m_t^*) | \Omega_t) \right] + \rho^l \cdot i_{t-1} + \mu_t$$

	n=0	n=4	n=6
$\phi_{\Delta p}$	1.03** (0.41)	2.37** (1.02)	2.99** (1.39)
$\phi_y$	0.55** (0.23)	0.19 (0.38)	0.44 (0.46)
$\phi_{\Delta y}$	1.25** (0.53)	1.74** (0.68)	2.33** (1.06)
$\phi_{\Delta m}$	0.54*** (0.19)	0.40** (0.18)	0.61** (0.27)
$\rho^l$	0.83*** (0.04)	0.88*** (0.03)	0.91*** (0.03)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.94	0.95	0.95
<b>SEE</b>	0.61	0.57	0.56
<b>JB</b>	0.00	0.87	0.09
<b>J-stat</b>	0.51	0.72	0.53

\*\*\*(\*\*/\*) denotes significance at the 1% (5%/10%) level. Estimation period: 1979Q1 to 1998Q4.; estimation method: GMM; HAC-robust standard errors in parentheses. Variables: left-hand-side variable: 3-month money market rate (end-of-quarter); right-hand-side variables: inflation according to CPI; level and change in the output gap with Bundesbank's own estimates of production potential, money growth measured by central bank money stock (until end of 1987) and M3 afterwards; ex-post series as of March 1999. To correct for extreme outliers in the residuals, we include a dummy variable in the estimations which is one in the first quarter of 1981 and zero otherwise. For further details on the data see Gerberding et al. (2004). The instrument set includes the contemporary values of inflation and the price assumption (which were known to policy makers at the end of each quarter) as well as two lags of each explanatory variable. Pretesting suggests that this instrument structure is sufficient. R<sup>2</sup>: adjusted coefficient of determination; SEE: standard error of the regression; J-stat: p-value of the J-statistic on the validity of overidentifying restrictions ; JB: p-value of the Jarque Bera test of the normality of residuals.

**Table 1 b: Ex-post estimates of the Bundesbank's interest rate rule with  $\phi_y = 0$**

	n=0	n=4	n=6
$\phi_{\Delta p}$	1.91*** (0.41)	2.73*** (0.68)	3.45*** (1.08)
$\phi_{\Delta y}$	2.22** (0.92)	1.78*** (0.65)	2.07** (0.83)
$\phi_{\Delta m}$	0.98*** (0.36)	0.38** (0.15)	0.60** (0.24)
$\rho^l$	0.86*** (0.05)	0.87*** (0.03)	0.90*** (0.03)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.89	0.95	0.95
<b>SEE</b>	0.87	0.57	0.56
<b>JB</b>	0.00	0.90	0.10
<b>J-stat</b>	0.67	0.79	0.57

\*\*\*(\*\*/\*) denotes significance at the 1% (5%/10%) level. Estimation period: 1979Q1 to 1998Q4.; estimation method: GMM; HAC-robust standard errors in parentheses. For further notes see Table 1a.

**Table 2a: Real-time estimates of the Bundesbank's interest rate rule**

Estimation equation:

$$i_t = (1 - \rho') \cdot \left[ \begin{array}{l} i_t^* + \phi_{\Delta p} \cdot E((\Delta p_{t+n} - \Delta p_{t+n}^*) | \Omega_t) + \phi_y \cdot E((y_t - y_t^*) | \Omega_t) + \\ \phi_{\Delta y} \cdot E((\Delta y_t - \Delta y_t^*) | \Omega_t) + \phi_{\Delta m} \cdot E((\Delta m_t - \Delta m_t^*) | \Omega_t) \end{array} \right] + \rho' \cdot i_{t-1} + \mu_t$$

	n=0	n=4	n=6
$\phi_{\Delta p}$	2.17*** (0.48)	2.64*** (0.71)	3.56*** (1.07)
$\phi_y$	0.06 (0.18)	0.00 (0.23)	-0.16 (0.31)
$\phi_{\Delta y}$	2.41*** (0.77)	2.57*** (0.87)	3.57*** (1.19)
$\phi_{\Delta m}$	0.98*** (0.31)	0.60** (0.23)	0.91*** (0.34)
$\rho'$	0.84*** (0.04)	0.89*** (0.02)	0.92*** (0.02)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.90	0.95	0.94
<b>SEE</b>	0.82	0.57	0.61
<b>JB</b>	0.00	0.91	0.04
<b>J-stat</b>	0.68	0.49	0.44

\*\*\*(\*\*/\*) denotes significance at the 1% (5%/10%) level. Estimation period: 1979Q1 to 1998Q4.; estimation method: GMM; HAC-robust standard errors in parentheses.  
Variables: left-hand-side variable: 3-month money market rate (end-of-quarter); right-hand-side variables: inflation gap according to CPI; level and change in the output gap with Bundesbank's own estimates of production potential, money growth measured by central bank money stock (until end of 1987) and M3 afterwards. For details on the construction of the real-time data base see Gerberding et al. (2004). To correct for extreme outliers in the residuals, we include a dummy variable in the estimations which is one in the first quarter of 1981 and zero otherwise. The instrument set includes the contemporary values of inflation and the price assumption (which were known to policy makers at the end of each quarter) as well as two lags of each explanatory variable. Pretesting suggests that this instrument structure is sufficient.  
R<sup>2</sup>: adjusted coefficient of determination; SEE: standard error of the regression; J-stat: p-value of the J-statistic on the validity of overidentifying restrictions ; JB: p-value of the Jarque Bera test of the normality of residuals.

**Table 2 b: Real-time estimates of the Bundesbank's interest rate rule with  $\phi_y = 0$**

	n=0	n=4	n=6
$\phi_{\Delta p}$	2.30*** (0.33)	2.64*** (0.58)	3.07*** (0.88)
$\phi_{\Delta y}$	2.57*** (0.71)	2.57*** (0.86)	3.44*** (1.25)
$\phi_{\Delta m}$	1.05*** (0.30)	0.60** (0.23)	1.04*** (0.39)

$\rho'$	0.85*** (0.04)	0.89*** (0.02)	0.92*** (0.02)
<b>R<sup>2</sup></b>	0.90	0.95	0.94
<b>SEE</b>	0.82	0.56	0.60
<b>JB</b>	0.00	0.91	0.06
<b>J-stat</b>	0.76	0.58	0.53

\*\*\*(\*\*/\*) denotes significance at the 1% (5%/10%) level. Estimation period: 1979Q1 to 1998Q4.; estimation method: GMM; HAC-robust standard errors in parentheses; for further notes see table 2a.

**Table 3: Inferred values of  $\delta$  for different values of  $\gamma_1$**

	$\gamma_1=1$	$\gamma_1=1.3$
Coefficient estimates based on ex post data	$\delta=0.70$	$\delta=0.64$
Coefficient estimates based on real-time data	$\delta=0.71$	$\delta=0.65$

## Zusammenfassung

Das vorliegende Papier leitet die geldpolitische Reaktionsfunktion einer Zentralbank ab, wenn das Geldmengenwachstum als Inflationsindikator verwendet wird. Die resultierende Reaktionsfunktion umfasst eine Reaktion des Leitzinses auf Abweichungen der Inflationsrate vom Zielwert, auf Änderungen der Produktionslücke, auf Geldnachfrageschocks und auf den verzögerten Zinssatz. Wir zeigen, dass sich die Geldpolitik der Bundesbank von 1979 bis 1998 durch diese Art einer trägen Zinsregel gut abbilden lässt. Dies gilt unabhängig davon, ob die empirische Analyse auf Basis von Echtzeitdaten oder von revidierten Daten erfolgt. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass die Orientierung am Geldmengenwachstum neben einer Verankerung der langfristigen Inflationserwartungen dafür sorgt, dass die geldpolitische Reaktionsfunktion träge und vergangenheitsabhängig ist. Beide Eigenschaften sind im Sinne von Robustheit vorteilhaft, wenn die Erwartungsbildung der privaten Wirtschaftssubjekte vorausschauender Natur ist und wenn die Echtzeitschätzungen der Produktionslücke persistenten Messfehlern unterliegen.

# Ein Supercomputer für (fast) 0 €

**Prof. Dr. Andreas Aßmuth und  
M.Sc. Matthias Söllner**

## 1. Einführung

Supercomputer sind Hochleistungsrechner, die in puncto Rechenleistung herkömmliche Arbeitsplatzrechner weit hinter sich lassen. Sie ermöglichen die Berechnung von Lösungen zu Problemstellungen, die auf einem Standard-PC nicht lösbar sind oder diesen zumindest für einen sehr langen Zeitraum komplett auslasten würden. Bekannte Beispiele für den Einsatz von Supercomputern sind die Berechnung von Wettervorhersagen (vgl. [1]) oder generell die Simulation naturwissenschaftlicher Phänomene im Rahmen der aktuellen Forschung. Zweimal jährlich, im Juni und im November, wird eine Liste der fünfhundert schnellsten Supercomputer weltweit veröffentlicht. In der Liste vom Juni 2013 belegt der Rechner „Tianhe-2“ aus China mit deutlichem Vorsprung den Spitzenplatz, allerdings sind in den Top-10 auch zwei Supercomputer aus Deutschland zu finden: „JuQUEEN“ vom Forschungszentrum Jülich auf Platz 7 und „SuperMUC“ vom Leibniz-Rechenzentrum in München auf Platz 9 (vgl. [2]). Um einmalig in dieser Liste aufgeführt zu werden, bedarf es einer Investition im zwei- bis dreistelligen Millionen-Euro-Bereich. Da sich außerdem die Rechenleistung nach dem Moore'schen Gesetz (vgl. [3]) etwa alle achtzehn Monate verdoppelt, werden stets weitere Mittel notwendig, möchte man denn in der Top-500-Liste bleiben – und dabei sind die Kosten für den Betrieb noch nicht berücksichtigt!

Für eine Hochschule, die sich nicht schwerpunktmäßig mit High Performance Computing beschäftigt, sind solche Computer absolut unerschwinglich. Mitte der 1990er-Jahre entwickelten die NASA-Wissenschaftler Thomas Sterling und Donald J. Becker jedoch eine kostengünstigere Alternative: den Beowulf-Cluster (vgl. [4], [5]). Dabei handelt es sich um einen Verbund von handelsüblichen PCs, die über Ethernet vernetzt sind und die Berechnungen auf alle verfügbaren Prozessoren verteilen. Als Betriebssystem

wird das quelloffene Linux eingesetzt. Becker und Sterling konnten durch mehrere Benchmarks zeigen, dass ihr Rechner „Marke Eigenbau“ in Bezug auf die Rechenleistung in der gleichen Liga spielte wie damalige Supercomputer von IBM oder Cray.

Unser Ziel war es, an der Fakultät Elektro- und Informationstechnik ein auf Linux basierendes Cluster-System aus handelsüblichen Rechnern aufzubauen, das in Forschung und Lehre eingesetzt werden kann, falls die Rechenleistung eines einzelnen PCs nicht mehr ausreicht. Dabei sollte zudem keine Hardware neu beschafft, sondern ausschließlich bereits verfügbare Komponenten verwendet werden. Des Weiteren spielte die Einbeziehung interessierter Studierender ebenfalls eine große Rolle.

## Introduction

Supercomputers are high performance computers, which – as far as the processing power is concerned – leave common office computers far behind. They make the computation of solutions to those problems possible which cannot be solved on a standard PC or which would at least require it to operate at full capacity for a very long period of time. Well-known examples for the use of supercomputers are the computation of the weather forecast or, in general, the simulation of scientific phenomena within the framework of current research. Twice a year, in June and November, a list of the fastest computers worldwide is published. In the list of June 2013, the “Tianhe-2” from China takes the top position, well ahead of all the others. However, two high-speed computers from Germany were also to be found in the top ten: “JuQUEEN” from the research centre in Jülich ranked 7th and “SuperMUC” from the Leibniz Supercomputing Centre of the Bavarian Academy of Sciences and Humanities in Munich achieved the 9th place (ref. [2]). An investment in the double-digit or three-digit million euro range is required to achieve a one-time mention in this list. But as according to Moore's law (ref. [3]), computer performance is doubled almost every eighteen months,

further funds will always be necessary if you want to stay among the top 500 – not even having considered any operating costs yet.

For a university which is not primarily involved in high performance computing research, such computers are absolutely unaffordable. However, in the mid-1990s, NASA scientists Thomas Sterling and Donald J. Becker developed a cheaper alternative: the Beowulf Cluster (ref. [4], [5]). Here, a network of commercially available computers is connected via Ethernet, and the computations distributed over all processors available. Its operating system was the open source OS Linux. Using several benchmarks, Becker and Stirling were able to show that their "do it yourself" supercomputer was in the same league with regard to computer power as the former IBM or Cray supercomputers.

It was our aim at the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology to set up such a cluster system made from commercially available computers based on a Linux system, which can be used in research and teaching, in case the performance of a single PCs is no longer sufficient. Hence, no new hardware should be required, but only the already available components should be used. Furthermore, the involvement of interested students was also of vital importance for our project.

## 2. Konzept und Realisierung

### 2.1. Hardware

Die Hardware des Clusters ist in der Fakultät Elektro- und Informationstechnik in verschiedenen Räumlichkeiten untergebracht. Die beiden Kernbestandteile sind dabei das Labor „Netze und Systeme“ (Raum EI 206) und der Raum EI 006. Im Labor stellen bei Bedarf die zwölf Arbeitsplatzrechner ihre Rechenleistung zur Verfügung, im Raum 006 wurden ausgemusterte PCs gesammelt und in den Rechnerverbund integriert. Um die Stromaufnahme bei Letzteren möglichst gering zu halten, wurden alle Laufwerke und Festplatten abgesteckt, sodass sie lediglich Mainboard, Prozessor(en) und Arbeitsspeicher enthalten. Die Monitore werden ohnehin nicht benötigt und auch nicht benötigte OnBoard-Peripherie ist im BIOS deaktiviert. Die Rechner sind so konfiguriert, dass sie sich nach dem Einschalten das Betriebssystem automatisch von einem Server über das Netzwerk laden (engl. diskless node with network boot). Die Verbindung innerhalb der Räume besteht jeweils aus einem 1-Gbit/s-Netzwerk, zwischen den Räumen aus dem vom Rechenzentrum betriebenen Hochschulnetz (Fast Ethernet, 100 MBit/s; vgl. Abbildung 1).

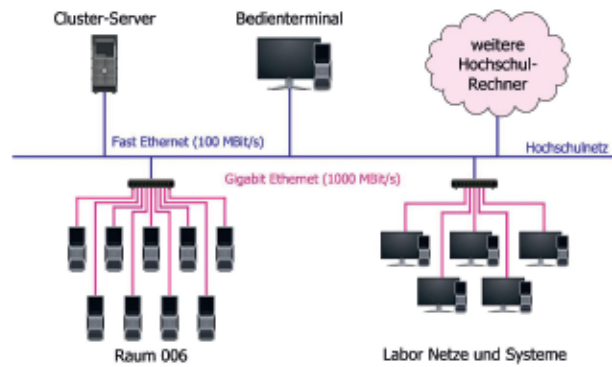


Abbildung 1: Hardware-Konfiguration des Clusters

Die Steuerung des Clusters erfolgt über einen virtualisierten Cluster-Server. Grundsätzlich lassen sich weitere Rechner aus dem Hochschulnetz in den Cluster integrieren, so dass auch freie Kapazitäten (z. B. in der Nacht oder am Wochenende) zur Rechenleistung des Clusters beitragen können. Getestet wurde dies mit den PCs im Labor „Schaltungstechnik“, prinzipiell ist dies aber mit jedem PC möglich, der über das Hochschulnetz booten kann. Der Kern des Clusters besteht aktuell aus 80 Rechenkernen, im Test konnten diese bereits auf 96 Kerne erweitert werden. Bei den Experimenten in Abschnitt 3 wurden allerdings nur die Rechner des Labors „Netze und Systeme“ verwendet (bis zu 48 Rechenkern).

### 2.2. Software

Die Software des Clusters basiert auf der Linux-Distribution Ubuntu 12.04 LTS und der Open-Source-Bibliothek OpenMPI 1.4.3. Diese stellt dem Programmierer Lösungen für Cluster-spezifische Aufgaben, wie z. B. die Verwaltung der Knoten, das Prozess-Management und den Nachrichtenaustausch über eine standardisierte Programmierschnittstelle zur Verfügung. Diese Schnittstelle wird „Message Passing Interface“ (MPI) genannt. Eine MPI-Anwendung besteht aus mehreren, parallel ablaufenden Prozessen, die auf mehrere Rechner und Rechenkern verteilt sein können. Die gestellte Aufgabe wird nach dem Teile-und-Herrsche-Prinzip in mehrere Teilaufgaben zerlegt und auf verschiedene Prozesse verteilt, wodurch bei entsprechender Programmierung und verteilter Hardware eine effektive Reduzierung der Bearbeitungszeit erreicht wird (vgl. Abbildung 2).





Abbildung 2: Software-Umgebung des Clusters

Um wie zuvor beschrieben beliebige Rechner innerhalb des Hochschulnetzes in den Cluster einbinden zu können, wurde eine Ubuntu Live-CD um die benötigten MPI-Bibliotheken, Compiler und Interpreter sowie einen Nagios-Client ergänzt. Letzterer ermöglicht eine Fernüberwachung der Rechner des Clusters über das Monitoring-System Nagios. Zur Unterstützung verschiedener Architekturen wurde dieses Betriebssystem sowohl für 32-Bit- als auch für 64-Bit-Systeme erstellt. Beide lassen sich durch ein PXE-System mittels TFTP über das Hochschulnetz von einem Server booten. Der wesentliche Vorteil daran ist, dass auf diese Weise nichts auf den Festplatten der ggf. nur zeitweise eingebundenen Rechner verändert werden muss. Damit alle Cluster-Rechner die gleichen Anwendungsprogramme und Daten zur Verfügung haben, wird ein gemeinsames Server-Verzeichnis auf den Cluster-Rechnern als Home-Verzeichnis eingehängt. In diesem zentralen Verzeichnis können die Anwendungsprogramme und Quellcodes abgelegt werden, sodass jeder Rechner darauf Zugriff hat. Auf dem Cluster wird ein Master-Prozess ausgeführt, der die Client-Prozesse steuert und mit Daten bedient. Die Kommunikation der einzelnen Rechner untereinander erfolgt verschlüsselt mittels Secure Shell (SSH). MPI-Anwendungen können in den Sprachen C/C++ oder Python, letztere mit der zusätzlichen Bibliothek mpi4py, programmiert werden.

### 3. Experimente und Benchmarks

Setzt man anstelle eines herkömmlichen Rechners für eine bestimmte Problemstellung einen Cluster ein, dann möchte man natürlich wissen, was der Cluster im Vergleich zum herkömmlichen PC „bringt“. Zur Herleitung geeigneter Vergleichsgrößen beziehen wir uns auf die Darstellung in der Arbeit von Bauke und Mertens (vgl. [5]).

Sei  $\sigma$  die Ausführungszeit eines Programms, die für nicht parallelisierbare, und sei  $\pi$  die Ausführungszeit, die für parallelisierbare Anweisungen benötigt wird, dann lässt sich die Laufzeit  $T(p)$  eines Programms auf einem System mit  $p$  Prozessoren mit Hilfe der Formel beschreiben.

$$T(p) = \sigma + \frac{\pi}{p}$$

Voraussetzung für die Parallelisierung eines Problems ist demnach, dass  $\sigma$  möglichst klein ist. Als Kennzahlen für den Vergleich der Laufzeit auf einem herkömmlichen PC und einem Cluster können der sog. „Speedup“  $S(p)$  sowie die daraus abgeleitete Effizienz  $\varepsilon(p)$  dienen:

$$S(p) = \frac{T(1)}{T(p)} \quad \text{bzw.} \quad \varepsilon(p) = \frac{T(1)}{pT(p)} = \frac{S(p)}{p}$$

dienen. Der Speedup ist somit ein Maß dafür, um wie viel schneller die Ausführung eines Programms auf einem System mit  $p$  Prozessoren gegenüber dem sequentiellen Abarbeiten der Anweisungen auf einem einzelnen Prozessor erfolgt. Ergänzend dazu beschreibt die Effizienz, welchen zeitlichen Anteil die Prozessoren mit „nützlicher“ Arbeit verbringen. Der Idealfall wäre somit ein Speedup  $S(p) = p$  und eine Effizienz von 1. Dies lässt sich allerdings in der Praxis nicht erreichen, da die Aufgabenverteilung und Koordinierung der einzelnen Prozessoren nicht völlig verlustlos erfolgt. Diese Verluste kommen beispielsweise durch den Austausch von Daten oder auch durch eine unausgewogene Lastverteilung zustande: Speedup und Effizienz sinken, wenn einer oder mehrere Prozessoren nicht weiterarbeiten können, weil sie auf die Ergebnisse anderer Prozesse warten müssen.

Wir werden uns im Folgenden auf die beiden genannten Vergleichsgrößen beschränken, obwohl in der Praxis das „Standardmaß“ zum Vergleich von Supercomputern der LINPACK-Benchmark (vgl. [6]) ist. Dies begründet sich durch die heterogene Struktur des an der Hochschule aufgebauten Clusters (verschiedene Prozessoren, verschiedene Architekturen usw.), vor allem aber dadurch, dass nicht der Vergleich mit den Supercomputern der Top-500-Liste, sondern der mit einem einzelnen herkömmlichen PC im Vordergrund steht. Dazu wurden auf dem Cluster-System drei Experimente durchgeführt, die eine Weiterführung der Inhalte der Vorlesung „Kryptologie 1“ darstellen.

#### 3.1. Kryptoanalyse monoalphabetischer Chiffren

Eine sehr alte und in dieser Form heute für die Praxis nicht mehr relevante Art der Verschlüsselung ist die sog. monoalphabetische Substitution. Darunter versteht man eine Abbildung, die jedem Zeichen eines Klartextalphabets eindeutig ein Zeichen eines Geheimtextalphabets zuweist. Ein bekanntes historisches Beispiel ist die Cäsar-Chiffre, bei der das Geheimtextalphabet gegenüber dem Klartextalphabet um drei Stellen zyklisch nach links verschoben ist. Daraus entsteht eine Abbildung, die dem Klartextzeichen „A“ das Geheimtextzeichen „D“ zuordnet, Klartext-„B“ entsprechend Geheimtext-„E“ usw. Um eine Nachricht zu verschlüsseln, werden sämtliche Klartext-

zeichen durch die jeweiligen Geheimtextzeichen ersetzt. Bei Verwendung des Alphabets der 26 Großbuchstaben ist die Anzahl der möglichen Verschiebungen, hier: Schlüssel, sehr gering. Lässt man jedoch beliebige bijektive Zuordnungen von Klar- und Geheimtextzeichen zu, dann beträgt die Anzahl möglicher Abbildungen  $26! \approx 4 \cdot 10^{26}$ . Diese Anzahl ist so groß, dass ein Ausprobieren aller Möglichkeiten (sog. „Brute-Force“-Angriff) selbst mit dem Cluster nicht realisierbar ist. Stattdessen wurde ein Algorithmus entwickelt, der nur anhand des Geheimtextes unter Verwendung der Statistik der Sprache der Nachricht die richtige Zuordnung von Klar- und Geheimtextalphabet, also den Schlüssel, bestimmt.

Jede Sprache hat ihre eigene statistische Verteilung, was sich beispielsweise auch die Kandidaten der Fernsehsendung „Das Glücksrad“ zunutze machen: In der Regel wird als erster Vokal das Zeichen „E“ gekauft, die meist zuerst geratenen Konsonanten sind beispielsweise „N“, „R“ oder „S“. Aus der relativen Häufigkeit, mit der einzelne Zeichen in einer Sprache bezogen auf die jeweilige Textlänge auftreten, kann durch einen Grenzübergang zu unendlich langen Texten die Monogrammstatistik gewonnen werden. Diese besagt, dass der Buchstabe „E“ im Deutschen mit einer Wahrscheinlichkeit von  $p(„E“) \approx 18\%$  am häufigsten auftritt (vgl. [7]). Eine ähnliche Statistik lässt sich für Bigramme (Buchstabenpaare) generieren. Die häufigsten Bigramme der deutschen Sprache sind „EN“, „ER“ und „CH“, was für uns aufgrund unseres Sprachgefühls plausibel ist. Die häufigsten Bigramme im Englischen sind hingegen „TH“, „HE“ und „AN“. Zudem lässt sich für Bigramme eine Übergangswahrscheinlichkeit  $p(2. \text{ Zeichen} | 1. \text{ Zeichen})$  für die jeweilige Sprache ermitteln, d. h. die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Buchstabe auf einen bestimmten, vorangegangenen folgt. So ist in der deutschen Sprache  $p(„H“ | „C“)$ , d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein „H“ auf ein „C“ folgt, deutlich größer als im Englischen, hingegen ist  $p(„H“ | „T“)$  im Deutschen ganz im Gegensatz zum Englischen sehr gering.

Mit den Auftretenswahrscheinlichkeiten für Monogramme und den Übergangswahrscheinlichkeiten für Bi- oder allgemein  $n$ -Gramme lassen sich Markov-Modelle (vgl. beispielsweise [8]) aufstellen und berechnen, auf deren Grundlage Texte entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu beliebigen Sprachen bewertet werden können. Anhand von „Trainingstexten“ in einer bestimmten Sprache werden die Auftretens- und Übergangswahrscheinlichkeiten ermittelt. Liegen diese vor, wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bestimmter Nachrichten – oder allgemeiner: Zeichenketten – in der jeweiligen Sprache berechnet. Für eine Zeichenkette  $x_1 x_2 x_3 \dots x_l$  der Länge  $l$  ergibt sich bei Berücksichtigung der beiden jeweils unmittelbar vorangegangenen Zeichen (Trigramm-Modell) die Wahrscheinlichkeit

$$\tilde{s} = p(x_1) \cdot p(x_2|x_1) \cdot p(x_3|x_2x_1) \cdot \dots \cdot p(x_l|x_{l-1}x_{l-2}).$$

Entstammt die Zeichenkette der jeweiligen Sprache, dann erhält man eine höhere Wahrscheinlichkeit als für beispielsweise eine Folge zufällig gewählter Zeichen. Somit kann man diese Wahrscheinlichkeit als eine Kennzahl (engl. score)  $\tilde{s}$  definieren und mit ihr bewerten, wie „gut“ eine Zeichenkette zu der betreffenden Sprache passt. Betrachtet man nun einen Geheimtext, dann sind die Auftretens- und Übergangswahrscheinlichkeiten der Zeichen zunächst nicht bekannt („versteckt“). Man spricht in diesem Zusammenhang deshalb von sog. „Hidden Markov Models“. Da bei monoalphabetischer Substitution nur die einzelnen Zeichen ersetzt werden, die Sprachstatistik allerdings vollständig erhalten bleibt, gilt es nun anhand der Auftretens- und Übergangswahrscheinlichkeiten im Geheimtext die Zuordnung von Klar- und Geheimtextzeichen herauszufinden, die mit denen der jeweiligen Sprache optimal übereinstimmt. Unter Berücksichtigung der Länge des Textes (Normierung) bedeutet ein höherer Score eine bessere Übereinstimmung mit der Statistik der jeweiligen Sprache.

Da alle Faktoren des Produkts kleiner sind als eins, wird der Wert  $\tilde{s}$  bereits für kurze Zeichenkette sehr klein. Es bietet sich an, mit einer von  $\tilde{s}$  abgeleiteten Kennzahl  $s$  zu arbeiten, die aus den logarithmierten Wahrscheinlichkeiten hervorgeht:

$$s = \log(p(x_1)) + \log(p(x_2|x_1)) + \log(p(x_3|x_2x_1)) + \dots + \log(p(x_l|x_{l-1}x_{l-2})).$$

Zur Bestimmung der korrekten Zuordnung von Klar- und Geheimtextzeichen (des Schlüssels) wurde folgendes Vorgehen implementiert (vgl. [9]): Zuerst wird ein zufälliger Schlüssel gewählt und damit der Geheimtext entschlüsselt. Dieser mutmaßliche Klartext wird dann wie zuvor beschrieben mit dem Markov-Modell bewertet. Da der geratene Schlüssel sehr wahrscheinlich falsch ist, erhält man einen sehr kleinen Wert  $s$ . Nun vertauscht man zufällig zwei Positionen des Schlüssels, entschlüsselt mit dieser neuen Zuordnung von Klar- und Geheimtextalphabet den Geheimtext erneut und bewertet das Ergebnis. Ist  $s$  größer als zuvor, behält man die Vertauschung bei und setzt mit dem neuen Schlüssel fort. Wird ein schlechterer „Score“ erzielt, wird die letzte Vertauschung zurückgenommen. Durch wiederholtes zufälliges Vertauschen und anschließendes Bewerten erreicht man eine immer bessere Annäherung des entschlüsselten Ergebnisses an die Originalnachricht und den korrekten Schlüssel, eine hinreichend große Anzahl von Wiederholungen vorausgesetzt. Es ist denkbar, dass durch unzuverlässige Vertauschungen nach einer vorgegebenen Anzahl von Wiederholungen nicht der richtige Klartext gefunden wird, beispielsweise wenn in jedem Schritt die gleichen Buchstaben vertauscht und anschließend wieder zurückgetauscht werden. Deshalb wird das beschriebene Verfahren mit mehreren unterschiedlichen Startwerten (Schlüsseln) durchgeführt. Das beste Ergebnis aller Durchläufe

entspricht dann dem korrekten Schlüssel am besten. Die Durchführung des gleichen Vorgehens mit unterschiedlichen Startwerten legt eine Parallelisierung und damit eine Ausführung auf einem Cluster nahe.

Der in Python entwickelte Algorithmus basiert auf einem Markov-Modell 2. Ordnung (d. h. Trigramme,  $n = 3$ ). Zur Untersuchung des Algorithmus wurden unabhängig voneinander die Parameter Textlänge, Anzahl der Vertauschungen und Anzahl der Wiederholungen variiert. Als Vergleichsmaß wurde die Anzahl der korrekten Stellen im ermittelten Schlüssel (basierend auf dem Alphabet der 26 Großbuchstaben) betrachtet. Jede Messung wurde dreifig Mal wiederholt und das Ergebnis gemittelt.

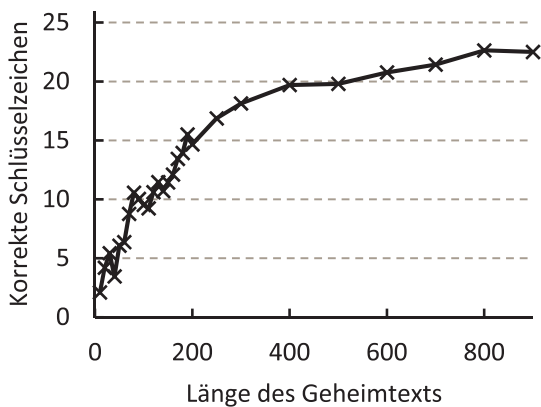


Abbildung 3: Anzahl korrekter Schlüsselzeichen in Abhängigkeit von der Länge des Geheimtextes

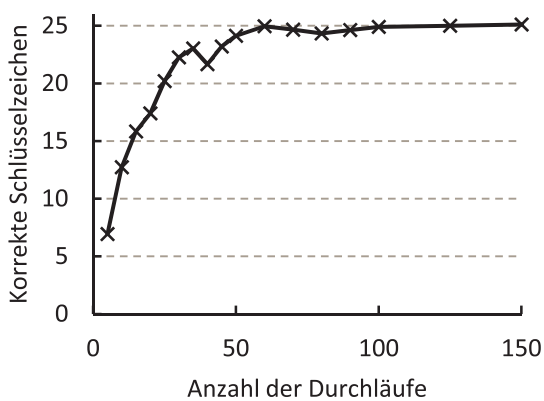


Abbildung 4: Anzahl korrekter Schlüsselzeichen in Abhängigkeit der Anzahl der Durchläufe

Die Ergebnisse zeigen, dass der Geheimtext länger als 300 Zeichen sein sollte, damit mehr als fünfzehn Zeichen des Geheimtextalphabets korrekt zugeordnet werden. Das ist die Voraussetzung, dass die Nachricht für einen Menschen einigermaßen lesbar erscheint. Außerdem sind etwa 50 Durchläufe notwendig, um den korrekten Schlüssel zuverlässig zu bestimmen. Auf dem Cluster wurden 47 parallele Durchläufe (48 Knoten – 1 Masterprozess) ausgeführt. Die Dauer der Schlüsselsuche kann so signifikant reduziert werden. Für einen Text der Länge  $l = 80000$  dauert die Schlüsselbestimmung auf dem Cluster mit 141 (= 47 Knoten, je 3) Durchläufen und je

2000 Vertauschungen etwa 22 Sekunden. Die Ausführung der gleichen Aufgabe auf einem Einzelrechner als einzelner Prozess dauert dagegen etwa 15 Minuten. Daraus ergibt sich ein Speedup von  $S(48) = 40,91$  und eine Effizienz von  $\epsilon(48) = 0,85$ .

### 3.2. Kryptoanalyse des Hill-Kryptosystems

Der amerikanische Mathematiker Lester S. Hill veröffentlichte im Jahre 1929 ein polygraphisches Kryptosystem (vgl. [10]), das invertierbare Matrizen als Schlüssel verwendet. Im Gegensatz zur monoalphabetischen Chiffre werden bei diesem Kryptosystem nicht einzelne Zeichen des Klartextes ersetzt, sondern mehrere Zeichen gleichzeitig (sog. Blöcke). Wie viele Zeichen ein Block enthält, lässt sich über die Anzahl der Spalten der Schlüsselmatrix festlegen. Vor der Ver- oder Entschlüsselung müssen die Zeichen des Klar- bzw. Geheimtextes mit Hilfe eines Zahlenalphabets kodiert werden. Verwendet man wie in Abschnitt 3.1 das Alphabet der 26 Großbuchstaben, ist die folgende Kodierung zweckmäßig:  $A \mapsto 0, B \mapsto 1$  usw. bis  $Z \mapsto 25$ . Alle Berechnungen werden dann im Restklassenring  $\mathbb{Z}/26\mathbb{Z}$  durchgeführt.

Allgemein lassen sich Ver- und Entschlüsselung mit dem Hill-Kryptosystem wie folgt beschreiben: Sei  $n$  eine natürliche Zahl, sei  $K$  eine über  $\mathbb{Z}/26\mathbb{Z}$  invertierbare  $(n, n)$ -Schlüssel-Matrix und sei der kodierte Klartext  $x$  in Zeilenvektoren aus  $(\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n$  angeordnet. Zur Verschlüsselung werden die Zeilenvektoren mit der Schlüsselmatrix multipliziert:

$$e_K: (\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n \rightarrow (\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n, e_K(x) = xK.$$

Der kodierte Geheimtext  $e_K(x) = y$  liegt somit ebenfalls in Form einzelner Zeilenvektoren aus  $(\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n$  vor. Sei  $K^{-1}$  die zu  $K$  inverse Matrix, d. h. es gelte  $K \cdot K^{-1} = K^{-1} \cdot K = I_n$ , wobei  $I_n$  die  $(n, n)$ -Einheitsmatrix ist. Eine  $(n, n)$ -Matrix ist genau dann invertierbar im Restklassenring  $\mathbb{Z}/n\mathbb{Z}$ , wenn die Determinante der Matrix teilerfremd zur Anzahl der Zeichen des verwendeten Alphabets ist. Im Falle des oben genannten Alphabets muss somit  $\text{ggT}(\det(K), 26) = 1$  gelten.

Bei der Entschlüsselung werden die Zeilenvektoren des Geheimtextes mit der inversen Matrix multipliziert:

$$d_K: (\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n \rightarrow (\mathbb{Z}/26\mathbb{Z})^n, d_K(y) = yK^{-1}.$$

Da es sich bei der Verschlüsselungsfunktion um eine lineare Funktion handelt, stellt die Kryptoanalyse der Chiffre in einem Szenario, in dem ein Angreifer über einen Klar- und zugehörigen Geheimtext verfügt, kein Problem dar. Aufgrund der Linearität lässt sich mit diesen Informationen ein lineares Gleichungssystem aufstellen und nach den Unbekannten – wahlweise den einzelnen Einträgen in der Schlüsselmatrix  $K$  oder denen der inversen Schlüsselmatrix  $K^{-1}$  – (eindeutig) auflösen.

Für das zweite Experiment wurde allerdings nicht das Angriffsszenario mit bekanntem Klartext, sondern ein schwierigeres gewählt. Wie im ersten Experiment soll die Schlüsselinformation, hier: die inverse Schlüsselmatrix  $K^{-1}$ , nur aufgrund des Geheimtextes bestimmt werden. Die Tatsache, dass auch das Hill-Kryptosystem nicht in der Lage ist, die statistischen Besonderheiten der Sprache des Klartextes im Geheimtext zu verbergen, eröffnet Möglichkeiten für die Kryptoanalyse. Basierend auf dem Vorgehen in Abschnitt 3.1 wäre es denkbar, die Einträge der inversen Schlüsselmatrix zunächst zufällig zu wählen. Mit dieser Matrix wird dann die Entschlüsselung durchgeführt und mit Hilfe des Markov-Modells bewertet, wie gut dieser vermeintliche Klartext der deutschen Sprache entspricht. Die Wahrscheinlichkeit, alle Komponenten richtig zu erraten, ist vergleichsweise gering – das beschriebene Vorgehen wird deshalb mehrfach wiederholt werden müssen. Letztlich führt dieses Vorgehen dazu, dass sämtliche Möglichkeiten ausprobiert werden. Da zur Verschlüsselung von Klartextblöcken der Länge  $n$  eine  $(n, n)$ -Schlüsselmatrix verwendet wird, müssen bei der Kryptoanalyse entsprechend die  $n^2$  Komponenten der inversen Schlüsselmatrix bestimmt werden. Daher kann durch Variation der Blocklänge  $n$  der Aufwand für die Kryptoanalyse mit einfachen Mitteln beliebig skaliert werden, wodurch sich diese Aufgabenstellung gut als weiterer Benchmark für den Cluster eignet.

Um die Problemstellung für die beteiligten Studierenden interessanter zu gestalten, wurde als Experiment 2 nicht die beschriebene Brute-Force-Attacke durchgeführt. Die Multiplikation von Matrizen ermöglicht eine Reduzierung des Problems auf einzelne Spaltenvektoren der inversen Schlüsselmatrix. Sollen Klar- und Geheimtexte aus dem Alphabet mit den 26 Großbuchstaben bestehen, dann existieren  $26^{n^2}$  verschiedene  $(n, n)$ -Matrizen, die allerdings nicht alle im Restklassenring  $\mathbb{Z}/26\mathbb{Z}$  invertierbar sind. Bei der Entschlüsselung werden die Zeilenvektoren des Geheimtextes nacheinander mit den einzelnen Spalten der inversen Schlüsselmatrix  $K^{-1}$  multipliziert, wodurch die einzelnen Spalten der resultierenden Klartext-Matrix entstehen. Somit können die einzelnen Spaltenvektoren von  $K^{-1}$  zunächst getrennt voneinander untersucht werden, wodurch sich der Suchraum bereits auf  $26^n$  mögliche Spaltenvektoren reduziert. Darüber hinaus können Spaltenvektoren, die aufgrund des Laplace-schen Entwicklungssatzes in Verbindung mit dem zuvor genannten Kriterium zu einer nicht invertierbaren inversen Schlüsselmatrix führen würden, direkt vernachlässigt werden. Angelehnt an den Aufsatz von Bauer und Millward (vgl. [11]) lässt sich das Vorgehen in Experiment 2 wie folgt beschreiben:

1. Zunächst wird ein Spaltenvektor der inversen Schlüsselmatrix gewählt und überprüft, ob dieser zu einer nicht invertierbaren Matrix führt. Ist dies der Fall, wird der Vektor verworfen und neu gewählt.
2. Die Zeilenvektoren des kodierten Geheimtextes werden

mit dem Spaltenvektor aus 1. multipliziert, wodurch ein Spaltenvektor eines (kodierten) potenziellen Klartextes entsteht.

3. Wurde ein korrekter Spaltenvektor der inversen Schlüsselmatrix gewählt, dann ist der entstandene Klartextanteil eine Stichprobe aus der Sprache des ursprünglichen Klartextes. Deshalb ist zu erwarten, dass im entschlüsselten Klartext die einzelnen Zeichen des verwendeten Alphabets ungefähr mit den gleichen relativen Häufigkeiten auftreten, wie sie für die jeweilige Sprache typisch sind. Anhand dieser Auftretswahrscheinlichkeiten wird der potenzielle Klartext bewertet, indem die einzelnen „Scores“ der Zeichen (vgl. Tabelle 1) des entstandenen Klartext-Spaltenvektors addiert werden.

Zeichen	A	B	C	D	E	...	N	...	Q	...	Z
Kodierung	0	1	2	3	4	...	13	...	16	...	25
Auftretswahrsch. $p$ [in %]	6,47	1,93	2,68	4,83	17,48	...	9,84	...	0,02	...	1,14
„Score“ $s = \ln(100p)$	1,87	0,66	0,99	1,57	2,86	...	2,29	...	-3,91	...	0,13

Tabelle 1: Auszug der Tabelle mit den Auftretswahrscheinlichkeiten (vgl. [10]) und „Scores“ für die deutsche Sprache, basierend auf dem Alphabet der 26 Großbuchstaben.

4. Die Spaltenvektoren, welche die höchsten „Scores“ erzielen, werden in einer Liste gespeichert.
5. Aus dieser Liste wird, beginnend mit einer zufälligen Reihenfolge der Spaltenvektoren, mit Hilfe des Markov-Modells aus Abschnitt 3.1 die korrekte inverse Schlüsselmatrix bestimmt.

Ausgehend von einem vorgegebenen Klartext der Länge  $l = 900$  Zeichen wurden in Abhängigkeit der Spaltenanzahl  $n$  zufällige Schlüsselmatrizen erzeugt und mit diesen die entsprechenden Geheimtexte berechnet. Diese wurden als Experiment 2 anschließend nach dem zuvor beschriebenen Verfahren analysiert und die korrekten inversen Schlüsselmatrizen bestimmt. In Abbildung 5 ist dargestellt, für welche Spaltenanzahlen  $n$  in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Prozessoren  $p$  die Problemstellung in etwa einer halben Stunde gelöst werden kann. Wie erwartet wächst der Aufwand für eine zunehmende Spaltenanzahl  $n$  stark an: Beispielsweise lässt sich mit 48 Prozessoren eine  $(5,5)$ -Schlüsselmatrix in 75,5 s bestimmen, die Lösung der Aufgabenstellung für  $n = 6$  dauert jedoch bereits länger als eine halbe Stunde (1829 s). Abbildung 5 verdeutlicht zudem, dass die Verwendung mehrerer Prozessoren im Vergleich zu einem einzelnen die Lösung von Problemstellungen mit höherem Aufwand ermöglicht. Abbildung 6 stellt den Speedup  $S(p)$  sowie die Effizienz  $\varepsilon(p)$  in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Prozessoren dar. Mit zunehmender Anzahl der Prozessoren wächst der Speedup linear, die Effizienz liegt stets bei über 90 %, was beides für eine zweckmäßige Implementierung des Algorithmus spricht.



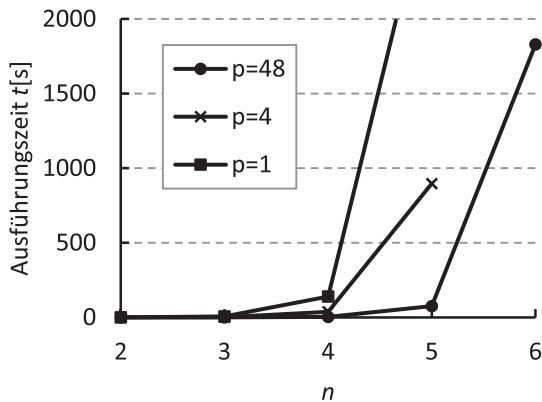


Abbildung 5: Bestimmung der korrekten inversen Schlüsselmatrix in Abhängigkeit der Anzahl der Spaltenvektoren  $n$  und Prozessoren  $p$  für einen Geheimtext der Länge  $l = 900$  Zeichen

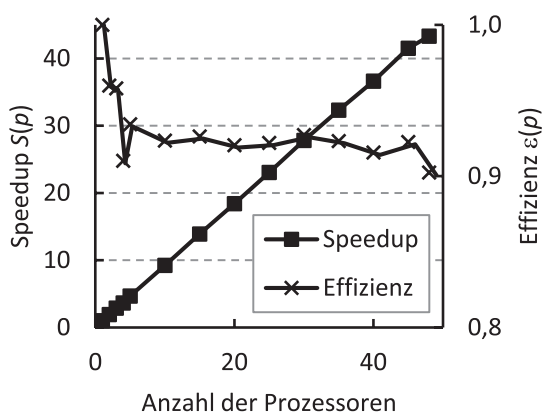


Abbildung 6: Speedup und Effizienz bei der Bestimmung einer (4,4)-Schlüsselmatrix in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Prozessoren für einen Geheimtext der Länge  $l = 900$  Zeichen

### 3.3. Windows-Passwörter „knacken“

Login-Informationen, d. h. ein Benutzername mit zugehörigem Passwort, müssen geschützt abgespeichert werden. Sonst können sie von einem Angreifer einfach ausgelesen werden, der sich dann unter Vortäuschung der Identität eines regulären Benutzers an einem PC anmelden kann. Zu diesem Zweck werden zur Absicherung der Passwörter kryptographische Hashfunktionen eingesetzt. Eine Hashfunktion bildet eine Eingabe beliebiger Länge auf eine Ausgabe mit einer vorgegebenen Länge (meist eine bestimmte Anzahl von Bits) ab. Kryptographische Hashfunktionen sind sog. Einwegfunktionen, das bedeutet, es ist im Sinne der Komplexitätstheorie nahezu unmöglich, aus einem Hashwert eine zugehörige Eingabe zu berechnen. Darüber hinaus darf es (praktisch) nicht möglich sein, zwei Eingaben zu finden, die den gleichen Hashwert erzeugen (sog. Kollision), oder zu einer bestimmten Eingabe ein weiteres Urbild zu finden, welches den gleichen Hashwert erzeugt.

In älteren Versionen des Betriebssystems Microsoft Windows wurde als Hashfunktion „Lan Manager Hash“ (LMHash) eingesetzt, obwohl es sich dabei nicht um eine kryptographische Hashfunktion mit den o. g.

Eigenschaften handelt. Sie berechnet den Hashwert aus eingegebenen Passwörtern wie folgt (vgl. [12]):

1. Zunächst werden alle Zeichen des Passworts in Großbuchstaben umgewandelt.
2. Das Passwort wird durch Anhängen von NULL-Zeichen auf eine Länge von vierzehn Zeichen gebracht und
3. im nächsten Schritt in zwei Hälften zu je sieben Zeichen aufgeteilt.
4. Beide Hälften werden um die entsprechenden Paritätsbits ergänzt, sodass sie als Schlüssel für das Kryptosystem „DES“ (Abk. f. Data Encryption Standard, vgl. [13]) verwendet werden können. Verschlüsselt wird stets ein konstanter String.
5. Die Konkatenation der beiden Geheimtexte ergibt den 128 Bit langen Hashwert.

Den meisten Computeranwendern sind die wichtigsten Tipps und Hinweise hinreichend bekannt, wie „gute“ Passwörter erzeugt werden können: Das Passwort sollte möglichst lang sein und die zufällig gewählten Zeichen aus einem möglichst großen Zeichenvorrat stammen (vgl. Abbildung 7). Die Berechnung der Hashwerte mit dem Algorithmus LMHash weist mehrere Schwachstellen auf, die beim „Knacken“ von Windows-Passwörtern ausgenutzt werden könnten. Es gibt ferner einige bekannte Techniken zum „Cracken“ von Passwörtern, beispielsweise durch einen sog. „Time-Memory-Tradeoff“ mit Hilfe von Regenbogentabellen (vgl. [14], [15]). Diese werden auch in der Realität gegen Windows-Passwörter eingesetzt, exemplarisch sei an dieser Stelle die Software „Ophcrack“ (vgl. [16]) genannt. In Experiment 3 wurden jedoch weder die Schwachstellen von LMHash ausgenutzt noch existierende Regenbogentabellen verwendet. Stattdessen sollte lediglich unter Verwendung von LMHash untersucht werden, um wie viel schneller die Berechnung von Hashwerten mit dem Cluster im Vergleich zu einem herkömmlichen PC erfolgen kann. Diese Problemstellung wurde so implementiert, dass ein Prozessor (Master) die Aufgabe übernimmt, die unterschiedlichen Passwörter zu generieren und an die übrigen Prozessoren (Clients) zu verteilen. Der Master selbst berechnet keine Hashwerte. Zu Beginn wird jedem Client ein Passwort geschickt. Sobald ein Client einen berechneten Hashwert zurückliefert, bekommt er das nächste Passwort zur Berechnung vom Master geschickt. Dies wird so lange wiederholt, bis alle Passwörter abgearbeitet wurden. Auf diese Weise sollte eine Verteilung auf die Clients erreicht werden, welche die Geschwindigkeit der einzelnen Clients berücksichtigt. Schnellere Rechner können so mehr Hashwerte berechnen als langsamere, wodurch Leerlaufzeiten vermieden werden sollen.

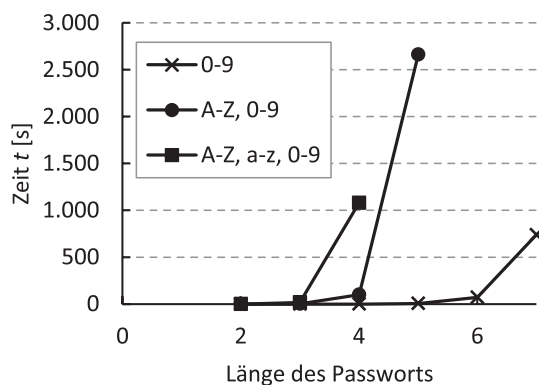


Abbildung 7: Berechnung der Hashwerte aller möglichen Passwörter in Abhängigkeit von deren Länge und gewählttem Zeichenvorrat

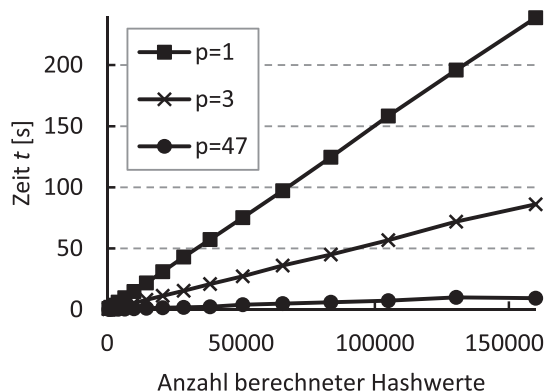


Abbildung 8: Berechnung von Hashwerten in Abhängigkeit der Anzahl verwendeter Prozessoren

Die Anzahl der berechneten Hashwerte in Abhängigkeit der Anzahl der verwendeten Prozessoren (Clients) ist in Abbildung 8 aufgetragen. Wie erwartet berechnet der Cluster eine vorgegebene Anzahl von Hashwerten deutlich schneller als ein einzelner herkömmlicher PC. Allerdings werden für Speedup  $S(47) = 25,67$  bzw. Effizienz  $\varepsilon(47) = 0,55$  weniger gute Werte erreicht. Zum Vergleich betragen Speedup  $S(3) = 2,77$  und Effizienz  $\varepsilon(3) = 0,92$ . Dies lässt darauf schließen, dass es bei der Verteilung durch bzw. Rückgabe der Hashwerte an den Master zu Wartezeiten kommt, die bessere Werte von Speedup und Effizienz verhindern. Daher wäre es zweckmäßiger, wenn der Master den einzelnen Clients nicht einzelne Hashwerte, sondern hinreichend und unterschiedlich große Passwort-Teilmengen zuweisen würde. Dieses Experiment verdeutlicht sehr anschaulich, wie anhand der erzielten Ergebnisse Rückschlüsse auf die Effizienz der bei der Implementierung gewählten Struktur möglich sind.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Aufsatz wurde beschrieben, wie durch Vernetzung herkömmlicher, an der Hochschule bereits vorhandener PCs über Ethernet ein Supercomputer aufgebaut werden kann, der für Problemstellungen, deren Lösung eine höhere Rechenleistung erfordert, in Forschung und Lehre eingesetzt werden kann. Die Funktionalität des

Clusters wurde anhand von drei Experimenten nachgewiesen. Die Programmierung erfolgt mit Programmiersprachen, die die Studierenden der Fakultät Elektro- und Informationstechnik während ihres (Bachelor-)Studiums erlernen, wodurch eine Einbindung der Studierenden möglich ist. An dieser Stelle möchten wir deshalb auch

- Herrn Maximilian Heim (Studiengang Medientechnik; Aufbau und Inbetriebnahme des Cluster-Systems),
- Herrn René Galle (Medientechnik; Kryptoanalyse mono-alphabetischer Chiffren),
- Frau Theresia Janker und Frau Marion Kiesel (beide Elektrotechnik; Kryptoanalyse des Hill-Kryptosystems)

für ihre Mitarbeit, ihr Engagement und ihre hervorragenden Leistungen danken. Sie haben durch ihr Interesse und ihre Arbeit an den zuvor dargestellten Ergebnissen einen wichtigen Anteil.

Das offene Design des Clusters in Verbindung mit der Möglichkeit, beliebige Rechner aus dem Hochschulnetz ohne zusätzliche Installation von Software oder Veränderung deren Betriebssystem in das Cluster-System integrieren zu können, eröffnen für die Zukunft Chancen, die Rechenleistung, beispielsweise durch Integration der Rechner in den PC-Pools des Rechenzentrums während der vorlesungsfreien Zeit, weiter zu erhöhen. Diese kann gerne auch von Kolleginnen und Kollegen für deren Projekte oder Lehrveranstaltungen genutzt werden – weitere Anwendungen und Vorschläge sind jederzeit willkommen!

Sollte die verfügbare Rechenleistung an der Hochschule für einzelne Projekte trotzdem nicht ausreichen, kann der Cluster als „Vorstufe“ für die Entwicklung der Algorithmen dienen, für die dann zur eigentlichen Berechnung Rechenleistung je nach Bedarf in Form von Cloud-Diensten angemietet werden kann.

Somit besteht für die Hochschule derzeit keine Veranlassung, eigene Kapazitäten in Sachen High Performance Computing aufzubauen. Ein Supercomputer für (fast) 0 € ist schließlich bereits verfügbar ...

---

## Literatur

- [1] Heise Online (Hrsg.): „Deutscher Wetterdienst kauft Cray-Supercomputer.“ Meldung vom 16.01.2013, 14:16 Uhr, URL: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Deutscher-Wetterdienst-kauft-Cray-Supercomputer-1785045.html>, zuletzt aufgerufen am 21.09.2013.
- [2] Top500 (Hrsg.): „June 2013.“ URL: <http://www.top500.org/lists/2013/06/>, zuletzt aufgerufen am 21.09.2013.
- [3] Moore, Gordon E.: „Cramming more components onto integrated circuits.“ *Electronics*, 38(8), o. S., 1965.
- [4] Becker, Donald J. et al.: „BEOWULF – A Parallel Workstation for Scientific Computation.“ In: *Proceedings of the 24th International Conference on Parallel Processing*, S. 11ff, 1995.
- [5] Bauke, Heiko und Stephan Mertens: „Cluster Computing“. S. 10ff, Springer, 2006.
- [6] The LINPACK Benchmark. URL: <http://www.netlib.org/benchmark>, zuletzt aufgerufen am 23.09.2013.
- [7] Bauer, Friedrich L.: „Entzifferte Geheimnisse. Methoden und Maximen der Kryptologie.“ 3. Auflage, S. 304, Springer, 2000.
- [8] Schönfeld, Dagmar, Herbert Klimant und Rudi Piotraschke: „Informations- und Kodierungstheorie.“ 4. Auflage, S. 20ff, Springer, 2012.
- [9] Hasinoff, Sam: „Solving Substitution Ciphers.“ URL: <http://people.csail.mit.edu/hasinoff/pubs/hasinoff-quipster-2003.pdf>, zuletzt aufgerufen am 22.09.2013.
- [10] Hill, Lester S.: „Cryptography in an Algebraic Alphabet.“ *The American Mathematical Monthly*, Ausgabe 36, Nr. 6, S. 306ff, 1929.
- [11] Bauer, Craig und Katherine Millward: „Cracking Matrix Encryption Row by Row.“ *Cryptologia*, Ausgabe 31, S. 76ff, 2007.
- [12] Microsoft (Hrsg.): „Microsoft Windows 2000 Security Hardening Guide. Chapter 3 – Operating System Installation.“ URL: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/dd277300.aspx>, zuletzt aufgerufen am 24.09.2013.
- [13] National Institute of Standards and Technology (Hrsg.): „Data Encryption Standard (DES).“ *Federal Information Processing Standards Publication 46-3*, URL: <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips46-3/fips46-3.pdf>, zuletzt aufgerufen am 24.09.2013.
- [14] Hellman, Martin E.: „A Cryptanalytic Time-Memory Trade-Off.“ *IEEE Transactions on Information Theory*, Ausgabe IT-26, Nr. 4, S. 401ff, 1980.
- [15] Oechslin, Philippe: „Making a Faster Cryptanalytic Time-Memory Trade-Off.“ In: *Lecture Notes in Computer Sciences (LNCS)*, Nr. 2729, S. 616ff, Springer, 2003.
- [16] Ophcrack. URL: <http://ophcrack.sourceforge.net/>, zuletzt aufgerufen am 26.09.2013.



**Prof. Dr. Andreas Aßmuth**  
Fakultät Elektrotechnik/Informationstechnik



**M. Sc. Matthias Söllner**  
Fakultät Elektrotechnik/Informationstechnik

# Web-basierte Heim-Automatisierung

**Prof. Dr. Dieter Meiller**

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg  
d.meiller@oth-aw.de

## Zusammenfassung

In diesem Projekt wurde eine web-basierte Steuerung von Hausgeräten realisiert, die dem Nutzer eine intuitive Bedienung ohne Konfigurationsaufwand erlaubt. Die Anwendung ist lernfähig.

## Abstract

In this project we realized a web-based control system of household devices, allowing intuitive operation without any further configuration efforts. The application is adaptive.

## 1. Ausgangssituation

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer web-basierten Anwendung, die es erlaubt, mit Tablet-Computern einzelne Geräte innerhalb eines Hauses über das Internet zu bedienen. Die Software wurde mittels standardisierter Technologien realisiert und ist auf dem iPad sowie auf Android-Geräten lauffähig. Zusätzlich kann die Steuerung auch vom Desktop-Rechner aus erfolgen. Dabei soll der Nutzer immer das Gefühl der vollständigen Kontrolle haben, indem ihm ein direktes Feedback gegeben wird.

## 1. Initial Situation

The objective of this project was the development of a web-based application allowing for the operation of individual household devices via the internet using a tablet computer. The software was realized using standardized technologies and can be run on both the iPad and android

systems. Control can also be effected from a desktop computer. The user should feel in full control of the application at all times by receiving direct feedback.

## 2. Vorgehensweise

Zuerst wurde in einem Benchmarking die Konkurrenzsoftware analysiert. Zudem wurde eine Befragung der künftigen Nutzer durchgeführt, um deren Anforderungen zu ermitteln. Zur besseren Verdeutlichung der neuartigen Interfacekonzepte wurde eine User-Interface-Galerie implementiert, die den Testnutzern ein Look-and-Feel der einzelnen Elemente vermitteln konnte. Die Testnutzer wurden per E-Mail befragt, dazu wurde ihnen auch ein Link zur Galerie und ein Online-Fragebogen übermittelt. Aus den Erkenntnissen der Analyse wurde das Design und die Softwarearchitektur abgeleitet. Es stellte sich heraus, dass die vorwiegend männlichen Nutzer eine lernfähige und aufgabenorientierte Steuerung bevorzugen, ohne dabei selbst konfigurieren zu müssen [Ba]. Die grundlegenden zu benutzenden Technologien wie Programmiersprachen und Softwarebibliotheken wurden dann identifiziert. Die Technik soll gut zu warten und zukunftssicher sein. Auch eine Nutzung auf zukünftig erscheinenden Geräten soll möglich sein. Dabei musste zudem die Lizenz-Problematik berücksichtigt werden.



Abbildung 1: Die Startoberfläche



### 3. Die Software

Service-Techniker sollen die Software einrichten und konfigurieren können, da eine aufwändige Konfiguration durch den Nutzer nicht erwünscht ist. Zu diesem Zweck wurde eine Administrations-Oberfläche realisiert, die es den Technikern erlaubt, eine Repräsentation der Haus-Umgebung einzurichten und zu modifizieren. Die Client-Oberfläche wurde als separates Modul implementiert. Diese wird über das Web von einem Server an den Tablet-Computer geliefert. Dieser kommuniziert dann mit dem Server, der eine stehende Verbindung mit dem Haus-Server des jeweiligen Hauses aufbaut. Der Haus-Server steuert dann die einzelnen Hausgeräte an und meldet das Ergebnis zurück an den Server, der diese Aktion dann in eine Datenbank einträgt und die Oberfläche des Clients aktualisiert. Die Anwendung ist lernfähig und wertet Muster und aufgenommene Nutzer-Aktionen aus, die dann erneut ausgeführt werden können. So sind verknüpfte Operationen ohne die Realisierung einer komplexen Hierarchie möglich [Ky11]. Der Nutzer kann die Haustechnik zusätzlich über einen Panorama-Raumplan und eine Liste der Geräte, sortiert nach Typ, kontrollieren. Zusätzlich bietet die Software weitere Features, beispielsweise eine ortsbasierte Wetteranzeige.



Prof. Dr. Dieter Meiller  
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

### Literaturverzeichnis

- [Ba] Blackwell, A.; Rode, J.; Toye, E: How do we program the home? Gender, attention investment, and the psychology of programming at home. In: International Journal of Human-Computer Studies, Volume 67, Issue 4, April 2009; S 324–341.
- [Ky11] Kao, Y.; Yuan S.: User-configurable semantic home automation. Computer Standards & Interfaces Volume 34, Issue 1. Januar 2012; S. 171–188.

## EIN STARKES TEAM BRAUCHT AUCH MAL PAUSE



AUTOMATION

# baumann

### Freiraum für Ideen

Leistungsbereitschaft, Verantwortungsgefühl und Teamfähigkeit sind für unsere Mitarbeiter selbstverständlich. Als Arbeitgeber mit sozialer Kompetenz wissen wir aber auch, dass gute Ideen Spielraum brauchen. Deshalb leisten wir in einer kreativen Atmosphäre Überdurchschnittliches. Begleiten Sie uns auf dem Weg im internationalen Wettbewerb nicht nur gute, sondern die besten Maschinen zu bauen.

Wir suchen:

**Ingenieure Bachelor/Master (m/w) und Praktikanten (m/w)**

aus den Bereichen **Maschinenbau** und **Elektrotechnik**. Vielfältige Kundenanforderungen und wechselnde Aufgabenstellungen in unseren Geschäftsbereichen Photovoltaic, Handling & Assembly und Testsolutions machen die Arbeit bei Baumann zu einer spannenden und abwechslungsreichen Herausforderung. Erfahren Sie mehr über unser weltweit operierendes Unternehmen unter [www.baumann-automation.com](http://www.baumann-automation.com).


Baumann GmbH, Oskar-von-Miller-Straße 7, 92224, Amberg  
Tel.: (+49) 9621/6754-0, Fax: (+49) 9621/6754-921  
[bewerbung@baumann-automation.com](mailto:bewerbung@baumann-automation.com)

# BHS Projekt Mensch-Maschine Interaktion

**Prof. Dr. Dieter Meiller**  
**M.Eng. Bernd Gerlang**

## Zusammenfassung

Die Firma BHS Corrugated möchte ihr Engagement in der Forschung und Entwicklung auf den Bereich Mensch-Maschine Interaktion ausweiten. Hierzu wurde in Kooperation mit der Fakultät Elektro- und Informationstechnik ein Forschungsprojekt initiiert.

Eine besondere Herausforderung bei der Steuerung von Industrieanlagen ist die zunehmende Digitalisierung der Bedienelemente. Mehr und mehr werden Maschinen im industriellen Umfeld mittels Bedienoberflächen von portablen Computern (beispielsweise Laptops, Tablets oder Handys) bedient. Dabei muss die Benutzung nicht mehr an der Maschine ausgeführt werden. Sie kann genauso gut von weit entfernten Orten aus erfolgen. Diesen Übergang von mechanischen zu digitalen Bedienelementen kann man als eine neue industrielle Revolution betrachten, die Chancen und Risiken birgt. Die Wissenschaft hat gerade erst begonnen, sich mit dieser Thematik zu beschäftigen. Das Projekt „Mensch-Maschine Interaktion“, welches von der HAW in Zusammenarbeit mit der Firma BHS Corrugated ins Leben gerufen wurde, wird sich mit den damit verbundenen Herausforderungen beschäftigen.

Die Firma BHS Corrugated mit Sitz in Weiherhammer ist der weltgrößte Hersteller von Wellpappenanlagen und Riffelwalzen. Das Unternehmen agiert weltweit in 26 Ländern und beschäftigt 1500 Mitarbeiter (BHS). Es bestehen vielfältige Kontakte zur HAW, zum Beispiel hat BHS einen Sitz im Hochschulrat. Um auch in Zukunft innovative Produkte anbieten zu können, möchte die Firma BHS ihr Engagement im Bereich Forschung und Hochschulkooperationen ausweiten. Hierzu sollen verstärkt Informations- und Kommunikations-Technologien fokussiert werden.

Seit dem 15. April 2013 arbeitet Bernd Gerlang, ein Absolvent des Masterstudiengangs Medientechnik und -produktion aus der Fakultät Elektro- und Informationstechnik, an der Umsetzung der Projektziele. Die fachliche Betreuung an der HAW erfolgt durch Prof. Dr. Josef Pösl und Prof. Dr. Dieter Meiller. Auf Seiten von BHS Corrugated wird das Projekt durch Helmut Kraus und Marc Wiedemann betreut.

## Summary

The company BHS Corrugated intends to extend its commitment in research and development to the field of human-machine interaction. In order to do so, a research project was initiated in cooperation with the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology.

The increasing digitalization of operating elements is a particular challenge for the control of industrial plants. More and more machines in the industrial environment are operated via user interfaces of portable computers (i.e. notebooks, tablets or other mobile devices). The operation of the machinery no longer has to be performed on the machine itself. It can be carried out equally well from distant locations. This transition from mechanical to digital control elements can be considered an industrial revolution bearing opportunities and risks alike. Science has only just started investigating this topic. The human-machine interaction project initiated by the East Bavarian Technical University Amberg-Weiden (OTH) in cooperation with BHS Corrugated will deal with corresponding challenges.

BHS Corrugated with its head office in Weiherhammer is the world's biggest producer of anvil rollers and corrugated paper systems. The company globally operates in 26 countries and employs 1500 staff (BHS). BHS has various contacts with the OTH and holds a seat in the University Council. In order to be able to offer innovative products in the future, BHS aims to expand its

commitment in the field of research and the cooperation with universities, whereby the focus is intended to lie increasingly on information and communication technology.

Since 15 April 2013 Bernd Gerlang – a graduate of the Master programme „Media Technology and Production“ of the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology – has been working on putting the aims of the project into practice. Prof. Dr. Josef Pösel and Prof. Dr. Dieter Meiller provide technical support. Helmut Kraus and Marc Wiedemann oversee the project on behalf of BHS.

### **Gegenstand der Forschung und Entwicklung**

Gegenstand des Vorhabens sind die Analyse, das Design und die Entwicklung neuartiger Bedienoberflächen zur Steuerung von Industrieanlagen. Kernziel hierbei ist die möglichst optimale Mensch-Maschine Interaktion. Eine hohe Effektivität und Effizienz (Herczeg) dieser Interaktion sowie eine hohe „Usability“ (Krug) der Entwicklungen wird angestrebt. Die Benutzer bekommen eine „User-Experience“ vermittelt, die zur Steigerung ihrer Zufriedenheit beiträgt.

Drei Schwerpunkte sind zu bearbeiten, die sich ihrerseits in einzelne Arbeitspakete aufgliedern:

#### **Optimierung der Benutzbarkeit und Ergonomie**

Ziel ist der Entwurf von expressiven und effektiven Bedienoberflächen. Dies erfolgt durch eine iterative Entwicklung, bei der sich Entwurf, Prototypenbau und Benutzerstudien abwechseln.

#### **Ästhetische und kulturelle Optimierung**

Einzelne visuelle Elemente werden mithilfe ästhetisch ansprechender Animationen gestaltet. Dabei werden kulturelle Traditionen und Sehweisen berücksichtigt.



Abbildung 1: Kickoff-Meeting am 30. April 2013 von rechts: Marc Wiedemann (BHS), Helmut Kraus (BHS), Karin Preißner (ATC), Bernd Gerlang (OTH), Dieter Meiller (OTH)

### **Technologische Herausforderungen**

Die technische Realisierung der Kommunikation von webbasierten Steuerungen mit den Anlagen stellt hohe Anforderungen an die Sicherheit, die Geschwindigkeit und die Zuverlässigkeit der Technologie.

### **Vorgehensweise**

#### **Benutzerführung analysieren und optimieren**

Die Bediener der BHS Anlagen Management Software sind unterschiedlichen Anforderungs- und Berechtigungsstufen zuzuordnen. Aufgabe ist es, das Bedienverhalten diverser Benutzer zu analysieren und herauszuarbeiten, welche Tätigkeiten Benutzer welcher Stufe wie oft erledigen. Anschließend wird das User Interface für jede Stufe einzeln optimiert.

#### **Webapplication als Client für die BHS Anlagen Management Software**

Der Client der BHS Anlagen Management Software wird im BHS Netzwerk in der Kundenanlage, aber auch im Kunden-netzwerk genutzt. Um Wartung und Updates zu vereinfachen, wäre eine zentrale Web-Anwendung interessant. Ziel der Arbeit ist es, zu prüfen, wie weit eine Web-Anwendung einen Rich-Client ersetzen kann. Dabei ist besonders zu beachten, wie schnell Änderungen in der Datenbank an die Oberfläche durchgereicht und auf dem Client angezeigt werden können. Parameteränderungen sollten innerhalb einer Sekunde in der Oberfläche visualisiert werden. Aber auch die Bedienbarkeit mit Touchbildschirmen und einer Web-Oberfläche und mehr ist zu evaluieren.

#### **WPF Animationen für Maschinen und Steuerelemente**

Die Microsoft Windows Presentation Foundation (kurz WPF) hat die Möglichkeit, umfangreiche Transformationen und Animationen von Elementen der Benutzeroberfläche ohne zusätzliche Hilfsmittel, nur mit ihrem XAML XML-Dialekt, zu beschreiben.

Untersucht wird, für welche Elemente der Oberfläche (Maschinen bzw. Teile davon, Hinweise, Fenster, etc.) welche Animationen (sich drehende Papierrollen, blinkende Lampen, ...) oder Transformationen sinnvoll sind. Anschließend werden die erarbeiteten Konzepte in Prototypen umgesetzt.

---

## Quellen

BHS Homepage: <http://www.bhs-world.com> (Abgerufen: 1.7.2013)

Herczeg, Michael: Interaktionsdesign – Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme; München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006.

Krug, Steve: Don't make me think! Heidelberg: Redöline GmbH, 2006.



**M.Eng. Bernd Gerlang**

wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt Mensch-Maschine Interaktion  
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg  
[be.gerlang@haw-aw.de](mailto:be.gerlang@haw-aw.de)



**Prof. Dr. Dieter Meiller**

Studiengangsfachberater Bachelor Angewandte Informatik  
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik  
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg  
[d.meiller@haw-aw.de](mailto:d.meiller@haw-aw.de)





gefördert vom  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Forschungsvorhaben

# Ethercar – Untersuchung u. Vergleich von Profinet u. Ethernet AVB für verteilte Fahrzeug- applikationen und für die Auto- matisierung

**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt<sup>1/2</sup>**  
**M.Eng. Stefan Fuchs<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. (FH) Stefan Ries<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden,  
Fakultät Elektro- und Informationstechnik;

<sup>2</sup>iaia automations institut An-Institut der Ostbayerischen  
Technischen Hochschule Amberg-Weiden, im Amberger  
Technologie-Campus ATC

Kontakt [h.schmidt@oth-aw.de](mailto:h.schmidt@oth-aw.de)

Aufgrund des erhöhten Datenaufkommens und Vernetzungsgrades der Anwendungen im Fahrzeug werden zunehmend mehr Ethernet-basierte Systeme eingesetzt. In naher Zukunft sollen diese nun auch für sicherheitskritische und Echtzeitfähige Systeme genutzt werden. Die Eignung von Profinet, einer in der Automatisierung eingeführten echtzeitfähige Ethernetvariante als Kommunikationssystem, ist Gegenstand dieser Untersuchung. Andererseits werden im Automotivumfeld Ethernetvarianten und Übertragungstechniken untersucht, die zudem auch für die Automatisierungstechnik relevant sein können. Die hier vorgestellten Grundlagenuntersuchungen sollen zu der Einführung dieser Technologien beitragen.

## 1. Einleitung

Der Trend in der Fahrzeugtechnik geht weiter in Richtung autonomes Fahren, von Systemen, die den Fahrer unterstützen bis hin zu vollständig fahrerunabhängig agierenden Fahrzeugen. Für diese Anwendungen ist ein reibungsloses Zusammenspiel vieler Sensoren, Steuergeräte und Aktoren notwendig. Das Zusammenspiel der verteilten Anwendungen hängt dabei stark von der Kommunikation zwischen den einzelnen Anwendungen ab. Dazu werden Bussysteme benötigt, die einerseits die geforderte Bandbreite bereitstellen und andererseits ein deterministisches Übertragungsverhalten bieten können.

Verteilte Regelungsanwendungen, wie z. B. X-by-Wire Regelungen, ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) oder ACC (Adaptive Cruise Control, aktive Geschwindigkeitsregelanlage) werden bereits serienmäßig eingesetzt, diese fordern einen hohen Vernetzungsgrad der Steuergeräte. Zudem stellt sich ein erhöhter Bedarf an Bandbreite ein, bedingt durch komplexe Sensor- und Bildverarbeitungssysteme sowie neue Sensorfusionsansätze. Diese Anforderungen können durch die derzeit im Fahrzeug etablierten Bussysteme nur schwer erfüllt werden: Entweder sind die zur Verfügung gestellte Bandbreite oder das Echtzeitverhalten nicht ausreichend oder es ist eine aufwendige Projektierung und Programmierung für das entsprechende Bussystem erforderlich. Mit proprietären Bussystemen, die genau auf eine Anwendung zugeschnitten sind, können diese Anforderungen erfüllt werden. Dadurch steigt jedoch die Anzahl der unterschiedlichen Bussysteme im Fahrzeug. Bei diesem Szenario werden zunehmend mehr Buskoppler benötigt, welche die Weiterleitung von Daten zwischen den verschiedenen Bussystemen übernehmen, um den hohen Vernetzungsgrad zwischen den Systemen zu gewährleisten. Ein weiterer diesbezüglicher Ansatz ist es, ein Ethernet-basiertes Kommunikationssystem zu verwenden. Dieses stellt die benötigte Bandbreite zur Verfügung, ist skalierbar, standardisiert, bereits weitverbreitet und in den unterschiedlichsten Einsatzgebieten erprobt. Es ist damit bestens für die vielseitigen Anforderungen der In-Car Kommunikation geeignet.

Ziel ist es daher, in naher Zukunft weniger verschiedene, aber dafür ein skalierbares Bussystem einzusetzen, mit dem alle Steuergeräte im Fahrzeug vernetzt werden können. Dadurch wird ein Austausch von Daten zwischen den Systemen ermöglicht, ohne verschiedene Bussysteme im Fahrzeug koppeln zu müssen.

Derzeit ist die Anwendung von Ethernet im Fahrzeug noch stark eingeschränkt. Es gibt allerdings erste Fahrzeuge, in denen Ethernet zum „Flashen“ von Steuergeräten sowie zur Diagnose eingesetzt wird. Diese beiden Anwendungen kommen jedoch nicht während der Fahrt zum Einsatz, sondern lediglich während der Wartung des Fahrzeugs. Neben dem Einsatz zur Wartung hat Ethernet bereits in den Infotainment-Bereich Einzug erhalten und wird außerdem zur Vernetzung von Kamerasystemen und zur Generierung von Surround-View-Bildern eines Fahrzeugs eingesetzt [1].

Um eine durchgehende Vernetzung mit nur einem Busmedium und Zugriffsverfahren im gesamten Fahrzeug zu erhalten, wird Ethernet auch in andere Bereiche des Fahrzeugs Einzug halten. Ethernet ermöglicht eine skalierbare Bandbreite von 100Mbit/s, 1Gbit/s und 10Gbit/s. Der auf einer ungeschirmten, verdrehten Zweidrahtleitung beruhende Physical Layer reduziert zudem die Kosten für Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Steuergeräten.

Neben Standard-Ethernet-Systemen werden Echtzeit-Ethernet-Systeme eine signifikante Rolle im Automotivumfeld spielen; angefangen bei der Übertragung von Audio- und Video-Daten, die mit geringen Latenzen und zueinander synchronisiert übertragen werden müssen, bis hin zu Steuergerätedaten, bei denen der Fokus auf Übertragungssicherheit und schnellen Reaktionszeiten liegt. In der Automatisierungstechnik werden bereits seit mehreren Jahren echtzeitfähige Ethernet-Systeme eingesetzt. Dazu gehören unter anderen EtherCat, Powerlink, SERCOS-III und Profinet IO. Diese Systeme haben sich zum Ziel gesetzt, Echtzeitkommunikation auf Basis der Ethernet-Übertragungstechnik zu ermöglichen. Alle Systeme verwenden dafür spezifische Echtzeitprotokolle. Durch Echtzeitprotokolle sind bei Profinet IO Zykluszeiten bis zu 250 Mikrosekunden möglich. Es wird bereits an der weiteren Verringerung der Zykluszeiten auf bis zu 32,5 Mikrosekunden gearbeitet. Der Jitter kann mit den Echtzeit-Ethernet-Systemen bis auf wenige Mikrosekunden bzw. Nanosekunden reduziert werden. Durch die geringen Übertragungslatenzen und Jitter haben Ethernet-basierte Kommunikationssysteme in der Automatisierungstechnik bereits Einzug in Motion Control Anwendungen gehalten.

Im Rahmen des Forschungsprojekts Ethercar, das am 01.12.2012 an der Hochschule Amberg gestartet ist, wird die für die In-Car Kommunikation benötigte Basistechnologie in Form der Echtzeit-Ethernet-Protokolle und des Physical Layers untersucht. Außerdem wird die Eignung der Technologien für eine Anwendung in der Automatisierungstechnik geprüft. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Gemeinschaftsprojekt der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden und der Hochschule Ostwestfalen-Lippe kam im Rahmen der Förderlinie „FHprofUnt“ im Programm „Forschung an Fachhochschulen“ zustande.



An dem Projekt sind Firmen aus der Automobilbranche sowie Institute der Hochschulen beteiligt, darunter aia automations institut GmbH, Elektrobit Automotive GmbH, Infineon AG, KW-Software GmbH, LEONI Kabel GmbH, OWITA GmbH und die TU Darmstadt.

## 1. Introduction

In automotive engineering, the trend is toward autonomous driving, from systems that support the driver through to vehicles acting completely independently of their drivers. For these applications, a smooth interaction between many sensors, electronic control units, and actuators is necessary. The interaction of shared applications depends heavily on the communication between the individual applications. For this purpose, bus systems are necessary, which both supply the required bandwidth and can offer a deterministic transmission behavior.

Shared control applications such as X-by-Wire control systems, ESP (Electronic Stability Program) or ACC (Adaptive Cruise Control) have already been included as standard. However, they require a high degree of cross-linking of electronic control units. In addition, a higher bandwidth is needed, due to complex sensor and image processing systems as well as new sensor fusion approaches.

These demands can hardly be met by the currently existing bus systems, as either the provided bandwidth or real-time behavior is not sufficient or a time-consuming projection and programming for the respective bus system is necessary. By using proprietary bus systems that have been precisely tailored for one particular application, the above demands can be met. However, the number of different bus systems in a vehicle would increase and in the event, more and more gateways would be needed to transmit data between the different bus systems in order to ensure the high degree of cross-linking between the systems. A further approach would be to use an Ethernet-based communication system. Such a system would supply the required bandwidth, and it is scalable, standardized, already widely used and well-proven in many different areas of application. It is therefore ideally suited to meet the various requirements regarding in-car-communication.

Accordingly, instead of using many different systems, our goal is to implement one scalable bus system in the near future, with which all electronic control units in the vehicle can be cross-linked, thus ensuring an exchange of data between the systems without having to couple different bus systems.

Currently, the application of Ethernet in vehicles is still heavily limited. There are, however, some cars in which Ethernet is used for both flashing of control devices and diagnosis. Yet, both applications are not used during operation but only during the servicing of the car. In addition to its use for servicing, Ethernet has already found its way into infotainment and is also used for linking camera systems and generating surround-view images of vehicles.

In order to obtain a thorough cross-linking with only one bus medium and one access method within the entire vehicle, Ethernet is soon going to be used in other areas of car technology. It provides a scalable bandwidth of 100Mbit/s, 1 Gbit/s, and 10Gbit/s. Its physical layer is based on an unshielded twisted single pair of wires, which additionally reduces costs for wiring between the individual control devices.

Besides standard Ethernet systems, real-time Ethernet systems will play a significant role in automotive technology – from the transmission of audio and video data, which have to be transmitted with low latency and synchronized with each other, through to electronic control unit data whose key features are transmission reliability and fast reaction times.

In automation technology, real-time capable Ethernet systems have been used for several years now. Among these are EtherCat, Powerlink, SERCOS-III and Profinet IO, whose purpose is to facilitate real-time communication based on Ethernet transmission technology. All systems use specific real-time protocols for this purpose.

With real-time transfer protocols cycle times of up to 250 microseconds are possible for Profinet IO, and further reductions of cycle times of up to 32.5 microseconds are currently being developed. Jitter can be reduced to a few microseconds or nanoseconds respectively using real-time Ethernet systems. Due to their low transmission latency and jitter, Ethernet based communication systems in automation technology have already found their way into motion control applications.

The aim of the research project „Ethercar“, which started at the OTH on January 1, 2012, is to investigate into basic technology for in-car communication with regard to real-time protocols and physical layer. In addition, these technologies will be examined with regard to their suitability for use in automation technology. The joint project is carried out by the Universities of Applied Sciences Amberg-Weiden and Ostwestfalen-Lippe and funded by Federal Ministry of Education and Research as part of the funding line “FHprofUnt” within the funding program “Research at Universities of Applied Sciences”.

Several companies from the car industry as well as university institutes are involved in the project, including aia automations institut GmbH, Elektrobot Automotive GmbH, Infineon AG, KW-Software GmbH, LEONI Kabel GmbH, OWITA GmbH and Technical University Darmstadt.

## 2. Ziele

Im Rahmen des Forschungsprojekts Ethercar wird untersucht, ob die in der Automatisierungstechnik existierende echtzeitfähige Ethernetvariante Profinet IO inklusive der dazugehörigen Werkzeugketten für Automotive Anwendungen relevant ist. Ein Vergleich zu Profinet IO wird durch Ethernet AVB erzielt. Die Echtzeit-Ethernetvariante Ethernet AVB wird bezüglich der Anwendbarkeit im Automotivumfeld sowie in der Automatisierungstechnik evaluiert.

Während Echtzeit-Ethernet-Ansätze in der Automatisierungstechnik bisher weitestgehend auf den konventionellen Physical Layer mit verdrehten und geschirmten Kabeln aufsetzen, wurden in der Automobilbranche bereits zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, um die physikalische Ethernet-Infrastruktur an die automotiven Anforderungen anzupassen [1], [2]. Als vielversprechender Ansatz hat sich dabei die bidirektionale Übertragung über einzelne, ungeschirmte, verdrehte Aderpaare (UTSP, unshielded twisted single pair) herausgestellt. Mittels der BroadR Reach Technik lassen sich damit Übertragungsraten von bis zu 100 MBit/s bei deutlich reduzierten Kosten, Gewicht und elektromagnetischer Störaussendung sowie unter Verwendung von Standard-Automobilsteckverbindern realisieren [1], [2]. Durch die Kombination bewährter, echtzeitfähiger Ethernet-Systeme aus der Automatisierungstechnik mit den optimierten physikalischen Übertragungsmedien aus dem Automotivbereich wird einerseits der Weg für den Einsatz von Echtzeit-Ethernet-Systemen in Automobilen geebnet, andererseits ergeben sich hierdurch interessante Möglichkeiten der Kostenreduktion für die Automatisierungstechnik.

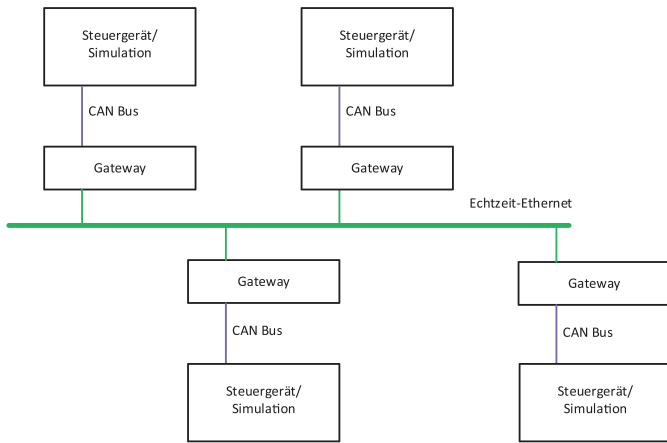


Abbildung 1: Echtzeit-Ethernet Backbone System

Die beiden Echtzeit-Ethernet-Systeme, Profinet IO und Ethernet AVB, werden vergleichend gegenübergestellt. Anhand eines Ethernet-Backbone-Systems für die In-Car Kommunikation wird die grundsätzliche Eignung der beiden Systeme untersucht und es werden für jedes System dessen Vor- und Nachteile aufgezeigt. Für das Backbone-System wird ein Teil eines CAN Busses freigeschnitten und durch ein Echtzeit-Ethernet-System ersetzt. Die CAN Bus Kommunikation wird somit über Ethernet umgelenkt. Die Kopplung zwischen Ethernet und CAN übernehmen Gateways. Anhand dieses Aufbaus werden die Verzögerungszeiten, die durch das Echtzeit-Ethernet-System in den Gesamtaufbau eingebracht werden, untersucht.

Durch diese Variante der Anbindung von CAN Bussystemen an Ethernet können sowohl einzelne Steuergeräte als auch ganze CAN Busstränge über ein Gateway an das Ethernet gekoppelt werden. Dieses System kann eingesetzt werden, um eine gemeinsame Kommunikationseinheit im Fahrzeug zu realisieren. Über das Backbone-System können auch weitere Bussysteme, wie z. B. FlexRay oder MOST, ange-koppelt werden. Außerdem können Steuergeräte, die über eine entsprechende Ethernet-Schnittstelle verfügen, direkt auf das Ethernet-System zugreifen.

Je mehr Systeme über den Ethernet-Backbone vernetzt sind, umso höher wird die benötigte Bandbreite. Hierbei kommen die zusätzlichen Eigenschaften von Echtzeit-Ethernet im Gegensatz zu Standard-Ethernet (UDP/IP, TCP/IP) zum Tragen. Durch den Einsatz von Echtzeit-Ethernet kann eine Priorisierung der Daten vorgenommen werden. Datenübertragungen, die ein deterministisches Verhalten benötigen, z. B. Steuerdaten für verteilte Regelungen, werden mittels Echtzeit-Telegrammen übertragen. Bild-daten von Kameras können hingegen mit den Standard-Ethernet Verfahren auf dem gleichen Bus übertragen werden. Durch die Koexistenz von Standard-Ethernet und Echtzeit-Ethernet auf einem Kommunikationsme-dium können sowohl datenintensive Anwendungen, wie z. B. Video-Streams, als auch zeitkritische Daten über

das gleiche System übertragen werden, ohne sich dabei gegenseitig zu beeinflussen. Des Weiteren kann eine Priorisierung der über Ethernet übertragenen Daten vorge-nommen werden.

Bei dem Einsatz eines Ethernet-Backbone-Systems müssen zusätzliche Verzögerungen im System berück-sichtigt werden: einerseits die Durchlaufzeiten der Tele-gramme durch die Gateways, andererseits die Laufzeit auf dem Ethernet-System selbst. Mithilfe des Systems, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, werden diese Daten ermit-telt. Es werden Latenz und Jitter, die durch das jeweilige Ethernet-System eingebracht werden, bestimmt. Mithilfe dieser Daten kann ein Vergleich der Latenz und des Jitters zwischen Profinet IO und Ethernet AVB erfolgen. Zudem erfolgt dabei ein Vergleich bezüglich der benötigten Bandbreite.

Die BroadR Reach Technik wird in Verbindung mit der Über-tragung von Echtzeit-Ethernetdaten untersucht. Es erfolgt ein Vergleich zwischen simulativ ermittelten und am Back-bone-System gemessenen Ergebnissen. Damit werden die Einsatzmöglichkeiten und Anforderungen sowohl des Stan-dard Physical Layers als auch der BroadR Reach Technik, bewertet. Durch den Einsatz der BroadR Reach Technik können im Fahrzeug die gleichen Leitungen wie auch für den CAN Bus und FlexRay verwendet werden. Zudem entfallen das Auflegen von Schirmen und die Verwendung von speziellen Steckverbindern, wie es bei geschirmten Kabeln der Fall ist. Bei der Untersuchung der BroadR Reach Technik wird die Auswirkung verschiedener Störeinstrah-lungen und Netzstrukturen simuliert und anschließend mit dem realen System verglichen. Der Einsatz der BroadR Reach Technik ist in ersten Serienfahrzeugen für Ende 2013 geplant. Dadurch ist eine grundsätzliche Eignung des Systems sichergestellt. Inwiefern sich die Anforderungen bei der Übertragung von Echtzeit-Ethernet-Daten ändern, wird hier gezeigt.

Ethernet AVB und die BroadR Reach Technik werden zudem für den Einsatz in der Automatisierungstechnik untersucht. Die Anforderungen in der Automatisierungstechnik sind teilweise sehr unterschiedlich zu den Anforderungen für ein Automotive-System; Als Beispiele seien hier die benö-tigte Switchtiefe und die unterschiedliche Ausbreitung des Gesamtsystems genannt. Während im Fahrzeug die Ausbreitung des Systems beschränkt ist, sind die zurück-gelegten Strecken in der Automatisierungstechnik sehr unterschiedlich. Hier reichen die Übertragungsstrecken von wenigen Metern für Verbindungen im Schaltschrank bis hin zu 100 Metern zur Verbindung von Anlagenteilen. Diese Faktoren sowie auch deren Einfluss auf die Übertra-gung werden an dieser Stelle gesondert betrachtet und abschließend wird ein Fazit für den Einsatz der Techniken im Automatisierungsumfeld gezogen.



### 3. Systemaufbau

#### 3.1. Profinet IO

Für die Verwendung von Profinet IO, als Backbone-System für die In-Car Kommunikation werden Gateways eingesetzt, die den Datenaustausch zwischen CAN und Profinet IO ermöglichen. Die Gateways bestehen aus einem UNI PN (Universal Profinet IO) Modul und einem CAN Controller. Das UNI PN Module wurde an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden zusammen mit dem An-Institut „aia automations institut“ entwickelt.



Abbildung 2: Profinet UNI PN Modul

Das UNI PN Modul besteht aus einem ERTEC200 Profinet Controller ASIC von Siemens und dessen Peripherie (4 MB FLASH, 64 MB SRAM, JTAG Schnittstelle). Die gesamte Steuerung des Gateways, die Anbindung an Profinet und die Kommunikation mit dem CAN Controller übernimmt der ERTEC200. Mit dem Gateway wird die bidirektionale Weiterleitung der Daten zwischen Profinet und CAN ermöglicht.

Zusätzlich zu den Gateways wird ein Profinet Controller benötigt, wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Die Gateways können nicht direkt untereinander kommunizieren, alle Daten der Gateways werden an den Profinet Controller übertragen. Dieser übernimmt die Auswertung und die Weiterleitung der empfangenen Daten an die entsprechenden Gateways. Die Entscheidung über die Weiterleitung der Daten an die Gateways wird im Profinet Controller anhand von Routing Tabellen getroffen. Der Controller besitzt zudem die Möglichkeit, die einzelnen Gateways zu konfigurieren und gegebenenfalls Diagnosefunktionen zu übernehmen. CAN Telegramme werden somit direkt an den Gateways ausgewertet.

Um eine möglichst effiziente Auslastung der zur Verfügung stehenden Bandbreite zu gewährleisten, wird nicht jedes einzelne CAN Telegramm in ein Profinet Telegramm verpackt. Stattdessen werden mehrere CAN Telegramme in ein Profinet Telegramm integriert. Wie viele CAN Telegramme in einem Profinet Telegramm enthalten sind, ist nicht festgelegt. Es werden dynamisch alle CAN Telegramme (bis zu vier) zusammengefasst, die in einem Kommunikationszyklus am Gateway empfangen werden.

Der Profinet Controller besteht aus einem PC System mit einer Profinet-Schnittstellenkarte (CP 1616) von Siemens. Das verwendete Betriebssystem muss echtzeitfähig sein,

um eine deterministische Untersuchung und Weiterleitung der von den Gateways empfangenen Daten zu gewährleisten. Dazu wird RTAI (Real Time Application Interface) verwendet.

#### Kommunikation

Zur Kommunikation zwischen den Gateways und dem Profinet Controller wird Profinet IO IRT (Isochronous Real Time) verwendet. Damit wird eine synchronisierte Verbindung zwischen den Teilnehmern aufgebaut. Alle Netzwerk-Teilnehmer sind auf eine gemeinsame Zeitbasis synchronisiert, die Datenübertragung erfolgt in einem reservierten Zeitschlitz, in dem lediglich Profinet IO IRT-Daten übertragen werden können. Die Kommunikation zwischen den Profinet Teilnehmern erfolgt mit einer Zykluszeit von 500 Mikrosekunden. In einem Buszyklus werden zwischen jedem Gateway und dem Profinet Controller 64 Byte Daten übertragen. Damit können zwischen jedem Gateway und dem Controller im Profinet-Netzwerk bis zu vier CAN Telegramme plus Steuerdaten in einem Zyklus übertragen werden.

Mit diesem System können Telegramme zwischen zwei und mehr CAN Bus-Systemen über Profinet ausgetauscht werden. Neben den CAN Bus-Daten können gleichzeitig weitere echtzeitfähige sowie nicht echtzeitfähige Daten über das Backbone-System übertragen werden. Eine Übertragung eines Telegramms zwischen CAN Bus 1 und CAN Bus 2 erfolgt dabei, wie in Abbildung 3 zu sehen ist.

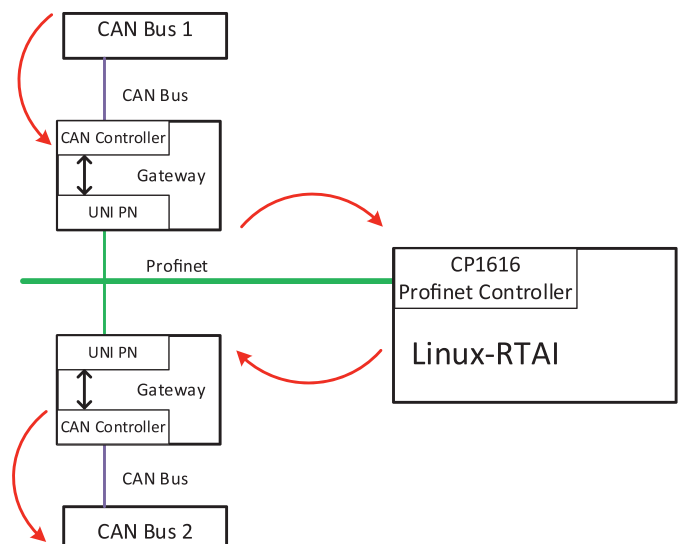


Abbildung 3: CAN Kommunikation über Profinet

#### Timing

Auf dem CAN Bus wird die Zeit zwischen dem Senden eines Telegramms von der Quelle bis zum Empfangen des Telegramms an der Senke lediglich von der Signallaufzeit auf dem Bus bestimmt. Durch die Umleitung der Telegramme über das Ethernet Backbone-System wird eine zusätzliche Latenz in das System eingebracht. Diese liegt zwischen ca. 600 und 1050 Mikrosekunden. Diese Zeit wird hauptsächlich von der Profinet Zykluszeit (500 Mikrosekunden)

bestimmt, da Daten in dem Profinet-System lediglich einmal pro Zyklus zwischen den Teilnehmern übertragen werden können. Die Verzögerungszeit setzt sich aus drei Teilen, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, zusammen.

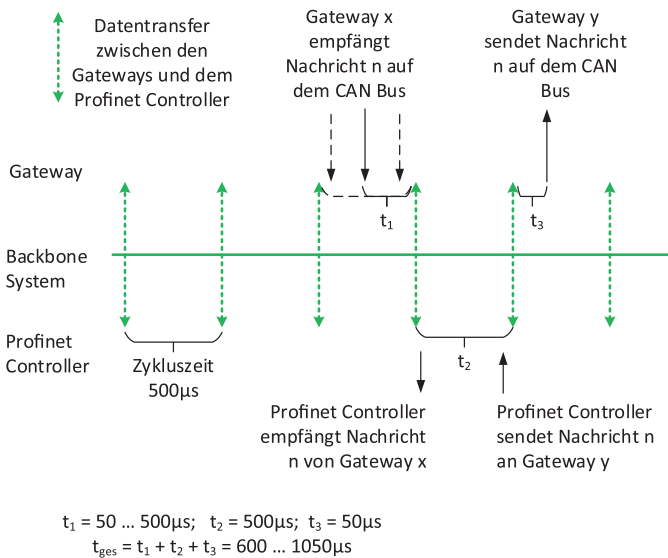


Abbildung 4: Profinet Timing

Durch eine Verringerung der Zykluszeit auf 250 Mikroskunden kann die Verzögerungszeit nochmals nahezu halbiert werden.

Auch bei einer hohen Auslastung des Ethernet-Systems ist sichergestellt, dass die Telegramme ohne zusätzliche Verzögerungen übertragen werden.

### 3.2. Ethernet AVB

Um einen Vergleich mit einem eventgesteuerten Ethernet-System zu erhalten, wird der Aufbau, der bei Profinet genutzt wird, mit Ethernet AVB nachgebildet. Für das Ethernet AVB Backbone-System werden ebenfalls Gateways für die Kopplung von Ethernet AVB und CAN eingesetzt. Es entfällt jedoch der zusätzliche Controller wie bei Profinet. Ethernet AVB Teilnehmer kommunizieren direkt miteinander, ohne den „Umweg“ über einen Controller zu nehmen.

Ein Gateway besteht aus einem Mikrocontroller, der lediglich um Transceiver für CAN und Ethernet erweitert wird. Als Controller wird ein Aurix, 32-bit multicore TriCore™, Mikrocontroller von Infineon verwendet. Durch die integrierten CAN Controller und die Ethernet MAC Einheit mit IEEE 1588 Timestamp Unterstützung kann der Controller als Standalone Gateway betrieben werden. Unterstützt wird die Entwicklung durch das aia An-Institut, welches langjährige Erfahrung bei der sicherheitsgerichteten Softwareentwicklung für TriCore™ und multicore-Systeme im Automotivumfeld besitzt.

Zusätzlich zur Mikrocontrollerbasierten Lösung wird eine PC-basierte Lösung zur Ethernet AVB Kommunikation

verfolgt. Mit deren Hilfe können weitere Teilbereiche der Kommunikation evaluiert werden. Der PC als Ethernet AVB Teilnehmer stellt eine wichtige Diagnose- und Engineering-Funktionalität zur Verfügung. Mit Linux Preempt RT [3] als Echtzeit-Betriebssystem und dem Intel I210 Ethernet Controller wird ein PC um eine Ethernet AVB Schnittstelle erweitert.

### Protokolle

Die für Ethernet AVB benötigten Protokolle werden zusätzlich zu einem Standard-Ethernet Stack implementiert. Dadurch ist sowohl die Verwendung von Ethernet AVB als auch die Verwendung von TCP/IP und UDP Kommunikation möglich. Die Integration der Ethernet AVB Protokolle ist in Abbildung 5 (rot dargestellt) zu sehen.

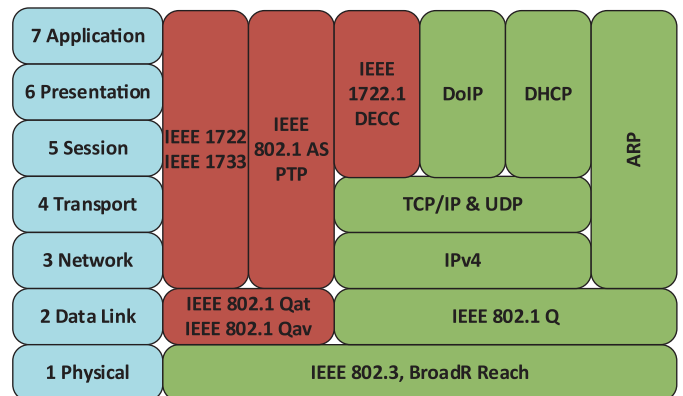


Abbildung 5: Ethernet AVB OSI Referenzmodell [4]

Das PTP (Precision Time Protocol – IEEE 802.1AS) wird zur Synchronisation der Teilnehmer in einem AVB Netzwerk verwendet. Ein Teilnehmer erhält dabei den Master-Status, alle weiteren Teilnehmer synchronisieren sich auf den Takt des Masters.

Um im Netzwerk die gewünschte Bandbreite zu reservieren und dadurch eine unterbrechungsfreie Datenübertragung zu gewährleisten, wird das SRP (Stream Reservation Protocol – IEEE 802.1Qat) verwendet. Bevor mit dem Senden von Daten begonnen werden kann, muss zunächst die benötigte Bandbreite zum Senden der Daten registriert werden. In jedem Switch, der zur Übertragung der Daten benötigt wird, werden diese Anforderungen geprüft. Erfüllen alle Teilnehmer die Anforderungen, können daraufhin die Daten übertragen werden.

Um Sendebursts zu vermeiden, wird ein Traffic Shaping Verfahren (IEEE 802.1Qav) eingesetzt. Durch dieses wird sichergestellt, dass die zu übertragenden Daten gleichmäßig und nicht burstartig auf den Bus übertragen werden.

In IEEE 1722 und IEEE 1733 werden die Layer 2 und Layer 3 Transportprotokolle beschrieben, die zur echtzeitfähigen Kommunikation eingesetzt werden. Mit diesem Protokoll können die Vorteile einer Übertragung zwischen

synchronisierten Teilnehmern genutzt werden. In IEEE 1722a wird zudem die Übertragung von CAN Telegrammen in Ethernet AVB Frames spezifiziert.

Die Spezifikation IEEE 1722.1 beinhaltet drei Protokolle (Device Connection Management Protocol, Device Control Procedures Protocol, Device Discovery Protocol), welche die Interoperabilität zwischen Ethernet AVB Endgeräten, die Streams nach 1722 nutzen, ermöglichen.

### Timing

Ethernet AVB ist im Gegensatz zu Profinet ein ereignisgesteuertes System, d. h. am CAN Bus eintreffende Telegramme können sofort über Ethernet AVB versendet werden. Die Übertragung ist nicht, wie bei Profinet, an einen Buszyklus gekoppelt. Die durch Ethernet AVB, als Ethernet Backbone-System, in das CAN Bus-System eingebrachten Verzögerungen sind daher nicht abhängig von Zykluszeiten wie bei Profinet. Die Verzögerungen werden von Durchlaufzeiten der Daten durch die Gateways sowie von Latenzen im Netzwerk definiert. Bei Ethernet AVB werden zudem nur dann Daten zwischen den Teilnehmern übertragen, wenn CAN Telegramme zur Übertragung bereitstehen. Bei Profinet hingegen werden in jedem Zyklus die projektierten Daten übertragen, auch wenn keine CAN Telegramme zur Übertragung vorhanden sind.

Die beiden Systeme werden daher, mit Blick auf die benötigte Bandbreite und die eingebrachten Verzögerungszeiten, vergleichend untersucht.

### 3.3. BroadR Reach

Das Ethernet Backbone-System wird mittels der BroadR Reach Technik als ungeschirmte verdrehte Zweidrahtleitung (UTSP) ausgeführt. Diese Technik wird auf die Einsatzfähigkeit in Automotive Anwendungen hin evaluiert.

Ein wichtiger Punkt ist die Übertragung von Echtzeit-Ethernet-Daten, da bei dieser Art der Übertragung der Verlust von Paketen zu einem Fehler im Ethernet-System führt. Bei der Übertragung von Kamerabildern mittels UDP hingegen kann der Verlust einzelner Frames toleriert werden. Dies führt höchstens zu einem Qualitätsverlust bei der Anzeige der Video-Daten. Die Störfestigkeit für die Übertragung von Echtzeit-Ethernet-Daten muss daher gesondert betrachtet werden. Hierzu werden die maximal zulässige Störeinstrahlung sowie der Einfluss der Verlegart der Leitung untersucht. Die Ergebnisse werden simulativ ermittelt und mit realen Versuchsträgern überprüft. Dadurch entsteht ein verifiziertes Simulationsmodell, mit dem weitere Eigenschaften des Physical Layers untersucht werden. Dabei werden Übertragungsunterschiede sowohl zwischen dem Standard Physical Layer und der BroadR Reach Technik als auch zwischen den unterschiedlichen Echtzeit-Ethernet-Systemen analysiert und verglichen.

Auch die Verlegart und die Kabelqualität werden genauer betrachtet, um deren Auswirkung auf die Übertragung zu analysieren. Bei der Verlegeart der Leitungen ist eine Änderung der Übertragungseigenschaften in Abhängigkeit zum Abstand zu metallischen Fahrzeugteilen als auch zu Spannungs-Versorgungsleitungen denkbar. Des Weiteren hängt die Kabelqualität direkt mit der Übertragungsqualität zusammen.

Nach der Validierung der Modelle können die Anforderungen und Ergebnisse auf die Automatisierungstechnik übertragen werden, wodurch eine Aussage zur Einsatzfähigkeit in Automatisierungsanlagen getroffen werden kann.

## 4. Ausblick

Durch eine Restbussimulation verschiedener CAN Busstränge wird der Einsatz der verschiedenen Echtzeit-Ethernet-Systeme verglichen und der Unterschied eines zeit- und eines ereignisgesteuerten Echtzeit-Ethernet-Systems herausgestellt. Durch die Simulation der CAN Busstränge können die Auswirkungen verschiedener Busauslastungen auf Seiten des CAN Busses untersucht werden. Eine direkte Gegenüberstellung der genutzten Bandbreite des CAN Bus und des Ethernet-Backbone-Systems zeigt den zusätzlichen Overhead, der für die Echtzeit-Ethernet Übertragung benötigt wird.

Als Abschluss des Projekts wird ein Echtzeit-Ethernet-Backbone-System in ein Versuchsfahrzeug integriert. Zusammen mit den Untersuchungen am Physical Layer können somit die Auswirkungen der Echtzeit-Ethernet-Technologie im realen Betriebsumfeld erprobt und verifiziert werden.

## Literatur

- [1] Ethernet for automotive applications; Bruckmeier R., Freescale Technology Forum, Orlando, 2010
- [2] Ethernet/IP in Automotive E/E-Architectures; Streichert T., Kern A., Buntz S., Leier H., Schmerler S.; Daimler AG, 16.11.2010
- [3] Open Source Automation Development Lab (OSADL), <http://www.osadl.org/>
- [4] Standards-based Security in Ethernet AVB for Automotive; Boatright R., 2nd Ethernet & IP Techday, 2012



**M.Eng. Stefan Fuchs**

2012 Abschluss des Studiums IT und Automation an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden als Master of Engineering. Seit 2012 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt „Ethercar“ an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden angestellt. Doktorand zu dem Thema Industrial Ethernet in Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



**Dipl.-Ing. (FH) Stefan Ries**

Abgeschlossene Ausbildung als Energieelektroniker Fachrichtung Anlagentechnik. 2010 Abschluss des Studiums Software – Systemtechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden. Seit 2010 Mitarbeiter am An-Institut „aia automations institut“ als Softwareingenieur tätig.



**Prof. Dr. Ing. H.-P. Schmidt**

Seit 1997 Professor an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik. Gründer und Leiter des An-Instituts „aia automations in-stitut“ an der OTH. Fachgebiet und Laborleiter Anlagen- und Simulationstechnik, Tätigkeitsschwerpunkt in angewandter Forschung und Entwicklung: Gemeinsames Übertragen von Energie und Daten.

**Modern Drive**  
TECHNOLOGY



ECO-Training



Coaching/Consulting



Flottenmonitoring

Ihr Lieferant für Informationen aus Fuhr- und Maschinenpark

Amberger Straße 82 Tel.: +49 9181 50980-0 E-Mail: [info@moderndrive.de](mailto:info@moderndrive.de)  
92318 Neumarkt Fax: +49 9181 50980-90 Web: [www.moderndrive.de](http://www.moderndrive.de)

Flexibel. Innovativ. Effizient.



# world of cabling systems

BORDNETZE | KOMPONENTEN | ENGINEERING



ZUKUNFT BRAUCHT VISIONEN  
**WIR SETZEN SIE UM!**

23 STANDORTE | 4 KONTINENTE | 7.000 MITARBEITER

Nexans autoelectric entwickelt die Technik  
für die Mobilität der Zukunft:

Mehr Effizienz und weniger Emission mit intelligenten  
Systemen für die Fahrzeuge von morgen.



**nexans**  
autoelectric

Nexans autoelectric GmbH  
Vohenstraußer Straße 20  
D-92685 Floß

info@autoelectric.de  
[www.autoelectric.de](http://www.autoelectric.de)



# KOBA – Möglichkeiten u. Grenzen kontaktloser Backbonesysteme für anreihbare Automatisierungskomponenten



**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt<sup>1/2</sup>**  
**M.Eng. Andreas Fuchs<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. (FH) Josef Obendorfer<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik,

<sup>2</sup>iaia automations institut An-Institut der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, im Amberger Technologie-Campus ATC

Kontakt h.schmidt@oth-aw.de

## 1. Zusammenfassung

Die Möglichkeiten und Grenzen der kontaktlosen Energie- und Datenübertragung wurden für zwei Einsatzvarianten in der Automatisierung untersucht. Für beide Anwendungsfälle wurde daraus eine Realisierungsmöglichkeit für den industriellen Einsatz abgeleitet und die Machbarkeit mit einem Demonstrationsmodell nachgewiesen. Zum einen wurde für den Einsatz im Schaltschrank ein System mit relativ geringen Leistungen, kleiner Ausdehnung und hoher Datenrate betrachtet. Zum anderen wurde für die Versorgung von Motoren und Aktoren im Feld versucht, möglichst große Ausdehnungen bei nennenswerten Leistungen und moderaten Anforderungen an die Datenübertragung zu realisieren.

Diese Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (StMWfK) von 2009 bis Ende 2012 gefördert. Im Zeitraum von 2013 bis Dezember 2015 werden die Arbeiten zur Versorgung von Aktoren im Feld durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des ZIM-Programms gefördert.

## 1. Summary

The possibilities and limits of contact less power and data transmission were examined for two alternative areas of application in automation engineering. For both alternatives, possible ways of implementation for

industrial application were derived, and their feasibility was verified with the help of a demonstration model. For one thing, we examined a system with a relatively low output power, little spatial expansion and high data transmission rates with regard to its application in a control cabinet. For supplying motors and actuators in the field, by contrast, we tried to achieve the greatest possible spatial expansion at appreciable outputs and with moderate requirements as to the data transmission rate.

This research and development project was funded by the Bavarian Ministry of Science, Research and Arts (StMWfK) from 2009 until the end of 2012. From 2013 through 2015, our investigations into the supply of actuators in the field are funded by the Federal Ministry of Economy and Technology (BMWi) as part of the ZIM Program.

## 2. Forschungsarbeiten und Ergebnisse

### 2.1. Kontaktloses Backbonesystem für den Einsatz im Schaltschrank

Es wurde ein System entworfen, das für Daten- und Energieübertragung sowohl räumlich als auch elektrisch getrennte, unterschiedliche Verfahren vorsieht. Die Anbindung an das übergeordnete Automatisierungssystem erfolgt mit Hilfe eines Systemkopplers (Gateway), der als Schnittstelle zwischen dem kontaktlosen System und dem weiterführenden Feldbus und der Energieversorgung fungiert. Er übernimmt sowohl die Umsetzung der Adressierung als auch die Organisation der kontaktlos angebotenen Teilnehmer in Form einer automatischen Adresszuweisung. Der generelle Systemaufbau ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Den unterschiedlichen Übertragungsverfahren werden verschiedene Bereiche in der Versorgungsschiene und in der Rückwand der Teilnehmer zugeordnet.

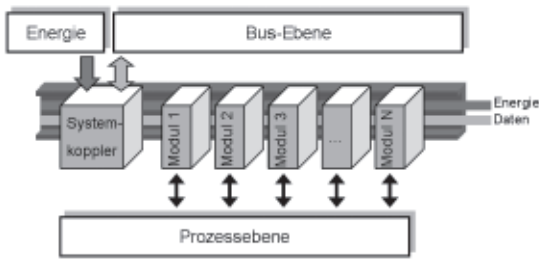


Abbildung 1: Systemaufbau

Randbedingung ist hier die möglichst einfache Integration in eine Standard-Hutschiene und die freie Platzierbarkeit der Module, welche durch die entwickelte Lösung gewährleistet wird. Die Anordnung der Übertragungselemente in der Versorgungsschiene ist der Abbildung 2 zu entnehmen.



Abbildung 2: Aufbau Versorgungsschiene, links Energie-, rechts Datenübertragung

Es wird ein Ferrit als E-Kern zur Feldführung der induktiven Energieübertragung und eine Streifenleiteranordnung zur kapazitiven Kopplung der Datenübertragung verwendet. Die beiden Entwicklungen werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 2.1.1. Energieübertragung

Die Leistung der Abnehmermodule liegt im Bereich von jeweils maximal einigen Watt bei einer Spannung von 24 V. Da die mögliche Anzahl der Abnehmer von der ausgeführten Länge des Backbones abhängt, gilt dies auch für die Gesamtleistung. Geht man von ca. 5 Abnehmern pro Dezimeter aus, erhält man entsprechend eine längenbezogene Leistung von 1 W/cm (2 Watt pro Abnehmer) bis maximal 2,5 W/cm (5 Watt pro Abnehmer). Die betrachteten Betriebsfrequenzen des Systems liegen im üblichen Bereich von kleiner 100 kHz.

Zur Energieübertragung wird der Backbone mit E-förmigen Ferritkernen ausgeführt, um die eine Leiterschleife mit mehreren Windungen verläuft. Die Einspeisung der Energie erfolgt indirekt über einen Einspeisebaustein, der im Prinzip wie ein Abnehmermodul ausgeführt ist.

Zur Auslegung werden nicht nur die analytischen Näherungen für Verluste oder für den magnetischen Kreis verwendet, sondern es werden detaillierte FEM-Rechnungen durchgeführt. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, werden dabei zum einem Skin-Effekte und Wirbelströme und zum anderen Abschirm- oder Sättigungseffekte

ausdrücklich berücksichtigt. In diesen Abbildungen sind zwei unterschiedliche Aufbaumaterialien berücksichtigt. Durch die integrierte Kopplung mit Netzwerkrechnungen ließen sich so auch für besondere Betriebsbedingungen detaillierte Vorhersagen machen und für den gesamten Parameterbereich Optimierungen durchführen.

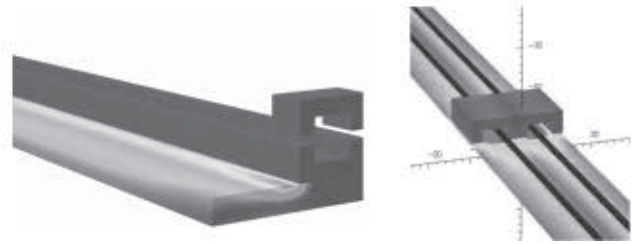


Abbildung 3: a) Wirbelstromverluste in Aluplatte b) Feldverteilung mit Mu-Metall-Folie in Sättigung

### Übertragungsverhalten

Zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens wurde ein Ersatzschaltbild entwickelt, wie in Abbildung 4 dargestellt. Jeder der drei Kreise (Einspeisung, Backbone und Abnehmer) beinhaltet eine Induktivität, einen Ohmschen Widerstand sowie eine Kapazität zur Kompensation.

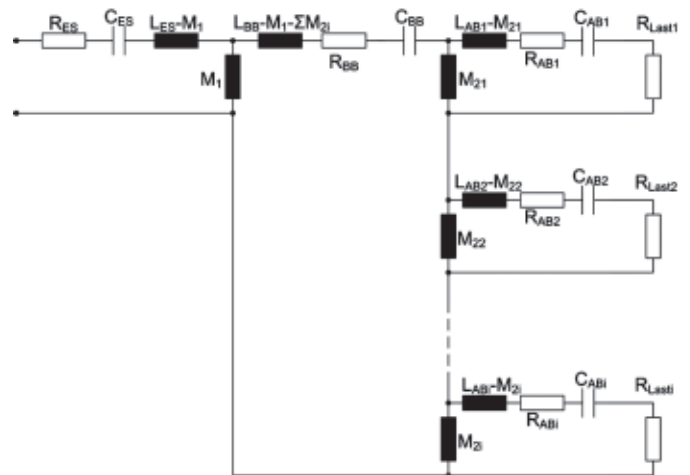


Abbildung 4: Ersatzschaltbild für serielle Kompensation und indirekte Einspeisung

Als wesentliches Ergebnis wurde gefunden, dass die Übertragungsfunktion bei idealer serieller Kompensation im Resonanzfall näherungsweise nur durch das Verhältnis der beiden Koppelinduktivitäten bestimmt ist, wie in Gleichung (1) zu sehen. Im Betrieb bei Resonanzfrequenz und serieller Blindleistungskompensation kann somit ein nahezu last- und abnehmeranzahlunabhängiges Energieübertragungssystem realisiert werden.

$$(1) \quad \frac{U_{AB}}{U_{ES}} = \frac{1}{\frac{M_1}{M_2} \left( \frac{R_{AB}}{R_{Last}} + 1 \right) + \frac{R_{ES}}{j\omega M_1} \left( n \cdot \frac{j\omega M_2}{R_{Last}} - \frac{R_{BB}}{j\omega M_2} \cdot \left( \frac{R_{AB}}{R_{Last}} + 1 \right) \right)} \approx \frac{M_2}{M_1}$$

## Validierung

Die Berechnungen wurden durch umfangreiche Messungen an zahlreichen Versuchsträgern validiert. Auch die Bauteilparameter, die mittels FEM bestimmt wurden, wurden im Versuch überprüft. Die berechneten Werte deckten sich im Allgemeinen relativ gut (ca. 5–10 %) mit den gemessenen.

Mit Hilfe des hier aufgestellten Ersatzschaltbildes für das induktive Übertragungssystem mit indirekter Einspeisung wurde ein passives Backbone realisiert, bei dem im Resonanzbetrieb ein last- und abnehmerunabhängiges Verhalten erzielt wurde, bei dem zugleich der Wirkungsgrad sehr hoch ist.

### 2.1.2. Datenübertragungsverfahren

Die Datenübertragung verwendet Streifenleiter in der Tragschiene, um die Signale leitungsgebunden zwischen den Teilnehmern zu übertragen. Der kontaktlose Übertragungsweg reduziert sich auf den Übergang von der Versorgungsschiene zum Modul, und liegt daher im Bereich von weniger als 1 mm bei direktem Kontakt zwischen Modul und Schiene. Als Übertragungsmechanismus wurde, im Gegensatz zur Energieübertragung, ein kapazitives Verfahren gewählt. Hierbei stellen die Streifenleiter auf der Versorgungsschiene eine Hälfte der Kopplungselektroden dar, die komplementäre Hälfte befindet sich auf der Rückseite der Teilnehmer, die Kopplungskapazität wird durch Heranführen der Elektrodenpaare gebildet. Auf diese Weise können Signale von den Teilnehmern auf die Versorgungsschiene ein- und in anderer Richtung ausgekoppelt werden. Diese Art der Übertragung hat unter anderem den Vorteil, positionsunabhängig dieselben Kopplungseigenschaften aufzuweisen, da die vergleichsweise geringe Leitungslänge nur eine geringe positionsbezogene Signaldämpfung mit sich bringt.

Entscheidend für die zuverlässige Übertragung des Signals ist eine genügend hohe Signalstärke auf der Sekundärseite, welche in direkter Abhängigkeit zur Kopplungskapazität sowie der Signalfrequenz bzw. den im Signal enthaltenen Spektralanteilen steht. Vorteilhaft sind in dieser Hinsicht möglichst große Kopplungskapazitäten (beeinflussbar durch Fläche, Abstand und Dielektrikum) sowie hohe Betriebsfrequenzen. Gleichzeitig bedingt die Länge der Versorgungsschiene jedoch eine obere Grenzfrequenz, da eine Antennenwirkung und damit die Abstrahlung des Signals vermieden werden soll.

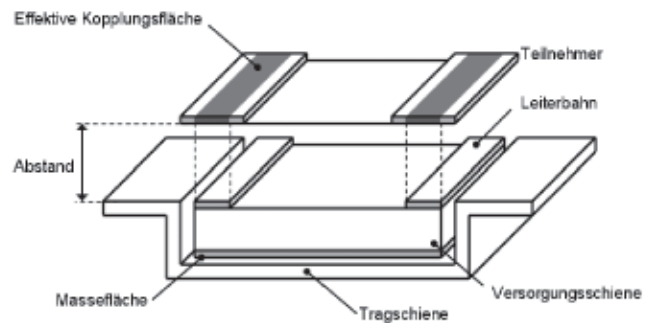


Abbildung 5: Aufbau Datenübertragung mit Streifenleiter

Ausgehend von dem elektrischen Aufbau des Übertragungssystems, bestehend aus Signalquelle, Kopplungskondensatoren, Leitung inklusive Abschlusswiderständen und Senke (Last), lässt sich ein Übertragungsmodell aufstellen, welches die Grundlage für Simulationen zum Signalverlauf darstellt. Die nachfolgende Abbildung 6 veranschaulicht diesen grundsätzlichen Aufbau.

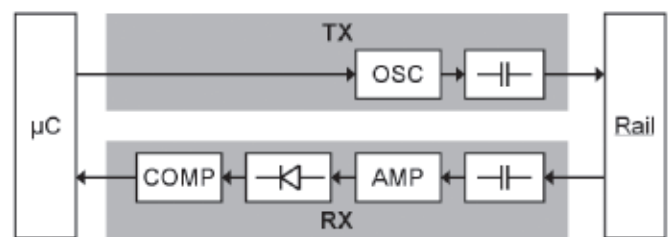


Abbildung 6: Übertragungsmodell

Die Sendeleitung des Microcontrollers betreibt einen Oszillator mit schaltbarem Ausgang, so dass in Abhängigkeit des gesendeten Binärwertes ein Signal am Ausgang des Oszillators anliegt oder nicht. So kann auf einfache Weise ein On-Off-Keying realisiert werden. Das Signal koppelt über die Elektroden auf die Versorgungsleitung ein und breitet sich auf dieser aus, wobei es an jeder Stelle von einem beliebigen Teilnehmer ebenfalls kapazitiv ausgekoppelt werden kann. Nach Verstärkung und Gleichrichtung wird das Signal einem Komparator zugeführt, welcher den empfangenen Signalpegel in einen Binärwert umsetzt.

Es können prinzipiell beliebige Protokolle an den kontaktlosen Übertragungsweg adaptiert werden. Der Einsatz von zwei Elektrodenpaaren pro Teilnehmer ermöglicht das gleichzeitige Senden und Empfangen (Vollduplex), was wiederum die Verwendung von CSMA-Verfahren erlaubt.

### 2.1.3. Demonstrator

Die prinzipielle Funktionsfähigkeit wurde anhand eines Demonstrationsmodelles gezeigt. Auf Basis der hier entwickelten Verfahren wurde ein Muster für anreihbare Automatisierungskomponenten aufgebaut und in Betrieb genommen. Auf der Messe SPS IPC/2011 wurde es einem breiten Fachpublikum vorgestellt.





Abbildung 7: Demonstrator SPS IPC/Drives 2011

## 2.2. Kontaktloses flexibles Backbonesystem für den Einsatz im Feld

Im Anschluss an die Realisierung des Demonstrators für anreihbare Automatisierungskomponenten wurden die Untersuchungen für höhere Leistung und größere Ausdehnung fortgesetzt. Jetzt soll eine kombinierte kontaktlose Energie- und Datenübertragung zur parallelen Versorgung als Bussystem einsetzbar sein. Als Verbraucher sollen nun auch Aktoren betrachtet werden. Mit diesem System sollen neben ohmschen Verbrauchern insbesondere auch handelsübliche Frequenzumrichter mit Motoren kleinerer Leistungen versorgt und gesteuert/geregelt werden.

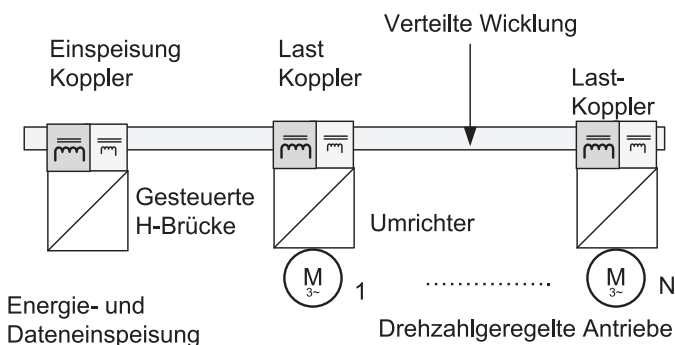


Abbildung 8: Systemdarstellung für die Übertragung im Feld

### 2.2.1. Konzeption

Sowohl die Energie- als auch die Datenübertragung erfolgen induktiv. Die Übertragungsraten liegen im üblichen Bereich von Feldbussen und auch die Buslängen entsprechen Standardanforderungen der Automatisierungstechnik, wobei nun eine Gesamtleistung bis zu 10 kW betrachtet wird.

Die erarbeiteten Ergebnisse für die Schaltschranklösung wurden erweitert und auf die Verhältnisse für den Einsatz im Feld angepasst. Hierzu wurden für die Energie- und Datenübertragung angepasste Ersatzschaltbilder und

-verfahren entwickelt, um bei den angestrebten Ausdehnungen die nötigen Leistungen zu übertragen.

Für die Energie- und Datenübertragung werden zwei parallele Systeme genutzt, die prinzipiell identisch aufgebaut sind. Über einen E-Kern wird in eine Leiterschleife induktiv eingespeist und mittels eines Last-Kopplers an beliebiger Stelle wieder abgegriffen.

Bei diesem Systementwurf kann die Frequenz der Energieeinspeisung lastabhängig variiert werden. Ebenso erzeugen die Verbraucher mit Frequenzumrichtern (mit einphasigem Netzanschluss) ausgeprägte harmonische und zwischenharmonische Störungen. Des Weiteren ist auch mit pulsartigen Störungen durch Spannungsspitzen z. B. beim Schalten induktiver Lasten auf der Energiebusleitung zu rechnen. Auch kann es bei längeren Kabeln zu Reflexionen an den Abnehmern und den Enden kommen. Daher wurde für die Modulation hier ein angepasstes OFDM-Verfahren gewählt anstelle des „On-Off-Keying“.

### 2.2.2. Versuchsstand

Ein Versuchsstand, mit dem das Verhalten für den ausgedehnten „flexiblen Backbone“ untersucht werden kann, wurde konzipiert und aufgebaut. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 9 schematisch dargestellt.

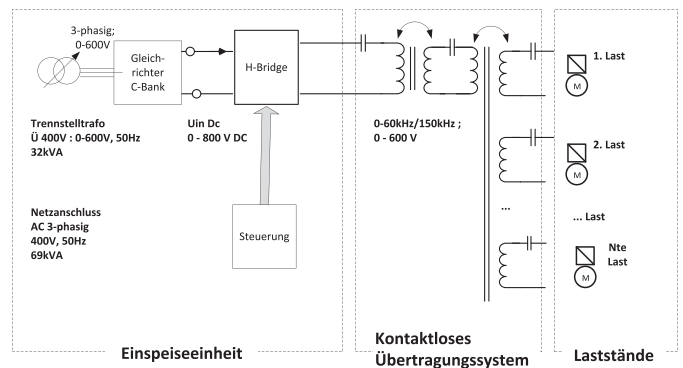


Abbildung 9: Schematische Darstellung des aufgebauten Versuchsstandes

Die folgenden Abbildungen zeigen den Versuchsstand und die entwickelten Komponenten.

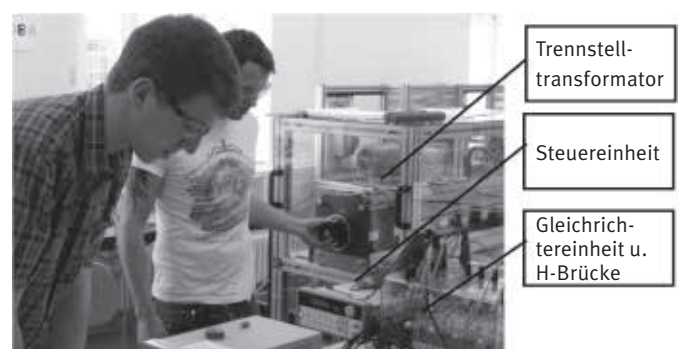


Abbildung 10: Einspeiseeinheit

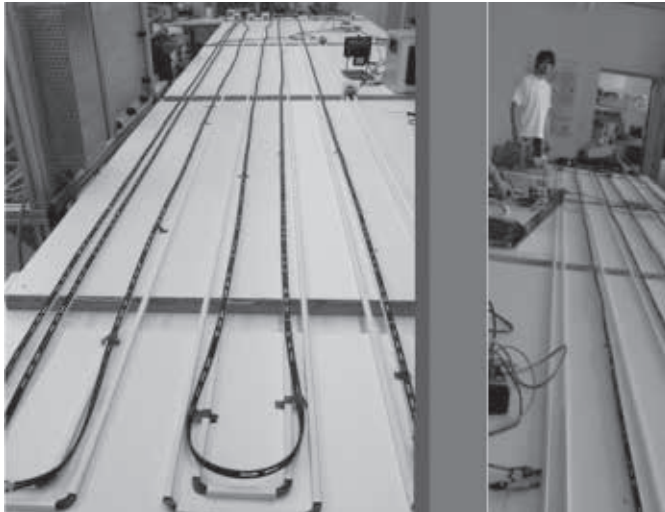


Abbildung 11: Verteilte Wicklung (Gesamtlänge 2 x 65 m)

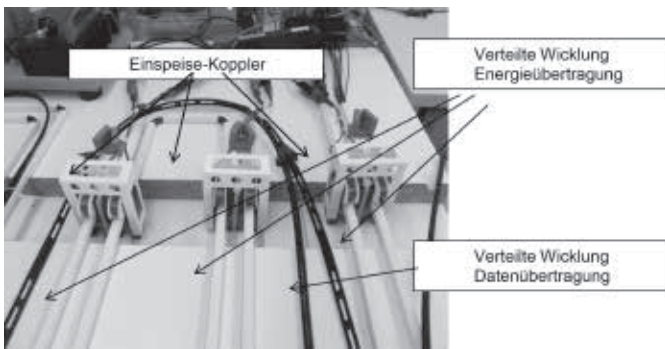


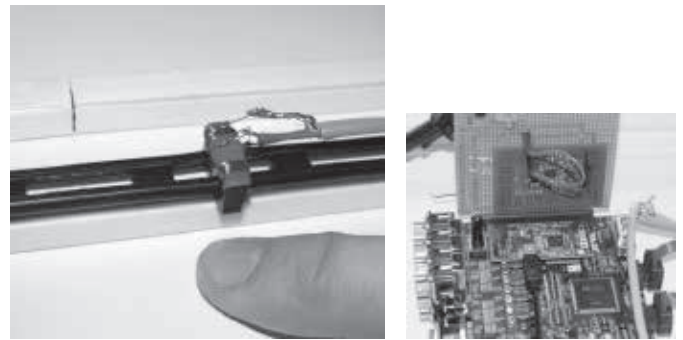
Abbildung 12: Einspeise-Koppler



Laststand mit Messequipment

Detail: Lastumrichter mit Anschaltelektronik

Abbildung 13: Laststand



Koppler für Datenübertragung

DSP-Elektronik für die Datenübertragung

Abbildung 14: Koppler und Elektronik für Datenübertragung

### 2.2.3. Ergebnisse

Mit dem hier entwickelten Aufbau konnten die Auslegungen soweit bestätigt werden, dass eine erste Demonstration der Funktionsfähigkeit erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

### 3. Weiterarbeit

Im Fortgang der Arbeiten soll das jetzt rudimentär entwickelte Verfahren für die Übertragung im Feld soweit ertüchtigt werden, dass im Anschluss eine Produktentwicklung möglich wird. Diese Arbeiten werden in Kooperation mit der Firma MSF-Technik Vathauer fortgeführt. Seit dem 01.08.2013 werden die Arbeiten im Rahmen des ZIM-Programms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie „BMWi“ für 2,5 Jahre gefördert.

### 4. Weiterführende Veröffentlichungen

Diese Arbeiten wurden in regionalen, nationalen und internationalen Zeitschriften und bei Tagungen vorgestellt und durchweg positiv von der Fachwelt aufgenommen. Die Liste der in diesem Projekt entstandenen Veröffentlichungen ist im Folgenden aufgeführt.

Wesemann, D.; Witte, S.; Grünberg, O.; Schmidt, H.-P.:  
 Feldbus ohne Kabel  
 Elektronik power Oktober 2012, Weka Verlag, pp. 26–30  
 Online: <http://www.elektroniknet.de/power/power-management/artikel/92321/>

Vogl, U.; Schmidt, H.-P.:  
 Feldbussystem mit kontaktloser Energie- und Datenübertragung, Tagungsband, Komma 2012, Lemgo

Schmidt, H.-P.; Vogl, U.:  
 Contactless Power and Data Transfer for Multiple Nonlinear Loads,  
 COMSOL Conference Boston 2012, USA, Proceedings  
 Wesemann, D.; Witte, S.; Beikirch, H.; Michels, S.;  
 Schmidt, H.-P.:

Konzeption eines energieeffizienten induktiven Übertragungssystems für eine flexible Anzahl sekundärer Verbraucher – Wireless Power Congress, München 2012, Tagungsband

Schmidt, H.-P.; Gleißner, M.; Söllner, M.; Wesemann, D.; Witte, S.; Michels, J. S.; Schmidt, R.: Kontaktlose Energie- und Datenübertragung für Automatisierungskomponenten Tagungsband Internationales Forum Mechatronik 2011, Cham, Deutschland, ISBN 978-3-00-0357885-5

Gleißner, M., Schmidt, H.-P.: Direct and indirect feed for inductive power transfer systems with multiple loads IEEE AfriCon 2011 Livingstone, Zambia 2011

Schmidt, H.-P.; Gleißner, M.: Automatisierungskomponenten dezentral und kontaktlos mit Strom versorgen atp edition, 52. Jahrgang, 3/2011

Gleißner, M.; Söllner, M.; Wesemann, D.; Witte, S.; Michels, J. S.; Schmidt, R.; Schmidt, H.-P.: Hocheffiziente, kontaktlose Energie- und Datenübertragung AALE 2011, Göppingen, Oldenburg Industrie Verlag 2011, ISBN 978-3-8356-3238-7

Schmidt, H.-P.: Hundert Prozent Praxis, Elektrotechnik, Special Issue SPS/IPC Drives „Automation Valley“, Vogel Business Media, 92, Nov. 2010

Schmidt, H.-P., Gleißner, M.; Söllner, M.: Contactless Backbones for Industrial Automation, Inductica Conference, Chicago, USA, Oct. 2010, Proceedings

Schmidt, H.-P.: Design Optimization for contactless power supplies in industrial automation; Vector Fields European User Group Meeting and Conference, Oxford University, Oxford, UK, Sep. 2010, Proceedings

Schmidt, H.-P.; Seibold, C.: Measurement and design; Optimization for contactless power supplies in industrial automation, 15th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, ENDE 2010, Stettin, Poland, June 2010, Proceedings

Wesemann, D.; Witte, S.; Schmidt, H.-P.; Michels, S.: Contactless Energy and Data Transfer for automation components VDI Congress Automation Baden-Baden, Germany, June 2010, Proceedings

Schmidt, H.-P.: Contactless Energy Transfer for a Backbone in Automation Systems ISEF 2009; Arras, France, Sep. 2009, Proceedings

Patent  
Anmeldungen: European PCT/EP2010055600 (Weltweit)  
WO 2010/125048 A1  
„System zur berührungslosen Energie- und Datenversorgung von Busteilnehmermodulen“



**M.Eng. Andreas Fuchs**

2004 Berufsausbildung zum Energieelektroniker Fachrichtung Betriebstechnik. 2013 Abschluss des Studiums IT und Automation an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden als Master of Engineering. Seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt „KoBus“ an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden.



**Dipl.-Ing. (FH) Josef Obendorfer**

Abgeschlossene Ausbildung als Energieelektroniker Fachrichtung Anlagentechnik. Studium der Elektrotechnik an der OTH Amberg-Weiden. Seit Jan. 2010 am An-Institut „aia automations institut“ als Entwicklungsingenieur tätig.



**Prof. Dr. Ing. H.-P. Schmidt**

Seit 1997 Professor an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik. Gründer und Leiter des An-Instituts „aia automations institut“ an der OTH. Fachgebiet und Laborleiter Anlagen- und Simulationstechnik, Tätigkeitsschwerpunkt in angewandter Forschung und Entwicklung: (Gemeinsames) Übertragen von Energie und Daten in der Industrie.

# NetEfficient®, Steigerung der Energieeffizienz in elektrischen Anlagen der Industrie mit softwaregestützter Optimierung



**Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt<sup>1</sup>**  
**Prof. Dr.-Ing. Holger Borchering<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>aia automations institut An-Institut der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, im Amberger Technologie Campus ATC

<sup>2</sup>Lenze AG und Hochschule OWL, Lemgo

Kontakt: hp.schmidt@aia-oth.de

## 1. Zusammenfassung

Am „aia automations institut“, einem An-Institut der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, das im Amberger Technologie Campus ATC angesiedelt ist, wird ein Softwarepaket zur Optimierung der Stromversorgung in Industrie, Gewerbe und Eigenerzeugungsanlagen entwickelt. Um Potenziale zur wirtschaftlichen Steigerung der Energieeffizienz nutzbar zu machen, werden neben der herkömmlichen Projektierung Betriebsverläufe simuliert, sodass die Gesamtkosten, „Total Cost of Ownership“, für unterschiedliche Szenarien ersichtlich werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Behandlung von Netzzrückwirkungen von Oberschwingungslasten.

Diese Arbeiten werden als assoziiertes Mitglied des Spitzencluster des Bundes „Intelligente technische Systeme“ in Kooperation mit Prof. Borchering und seinem Labor für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe der Hochschule Lemgo durchgeführt. Außerdem fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie „BMW“ diese Arbeiten im Rahmen des ZIM Programms.

## 1. Abstract

The „aia automations institut“, an affiliated institute of the OTH Amberg-Weiden, which is located on the Amberger Technologie Campus ATC, is currently developing a software package for the optimization of power supply for industry, trade, and power generation systems. In order to draw on potential for an economical increase in energy

efficiency, we have- in addition to conventional project planning – simulated operating processes, so that the total cost of ownership becomes evident for each different scenario. Further emphasis is placed on the treatment of system perturbations in the form of harmonics.

These projects are carried out in cooperation with Prof. Borchering and his Laboratory of Power Electronics and Electrical Drive Systems of the University of Applied Sciences OWL, Lemgo, as an associated member of Germany’s Leading-Edge Cluster “Intelligent Technical Systems”. The Federal Ministry of Economic Affairs and Technology (BMW) co-funds these activities as part of the ZIM program.

## 2. Einleitung

Zur Planung, Auslegung und Projektierung der elektrischen Energieversorgung von Industrieanlagen, Gebäudesteuerungen und zum Netzanschluss von regenerativen Erzeugeranlagen werden in Planungsbüros und bei Anlagenbetreibern entweder „Low Cost“ oder „High End“ Softwaretools eingesetzt. Die explizite Betrachtung und Optimierung der Energieeffizienz steht dabei aber nur im Hintergrund und meist werden aktuelle Richtlinien nicht berücksichtigt. Bei den Low Cost Tools, die von Herstellern elektrischer Betriebsmittel bereitgestellt werden, steht das Produktspektrum des jeweiligen Herstellers im Vordergrund. Der Anwender wird dadurch bei Wirtschaftlichkeits- und Energieeffizienzbetrachtungen stark eingeschränkt. Andererseits sind im „High-End“ Bereich sehr mächtige und komplexe Softwarepakete verfügbar, welche für Spezialisten konzipiert sind und sich daher in der Regel an große Energieversorger und Spezialdienstleister richten.

Für die zahlreichen Anwender, die weder Spezialdienstleister nutzen noch sich auf das Produktportfolio eines einzelnen Herstellers beschränken wollen, werden ein Softwaretool und dazugehörige Algorithmen entwickelt, um umfangreiche Berechnungen und Optimierungen durchführen zu können.





## Wasser sucht sich viele Wege – wir haben passende Lösungen

### Ihre Ziele sind unsere Herausforderung – angepasste Technologie von HUBER

Als Unternehmensgruppe im Bereich Umwelttechnik ist HUBER weltweit erfolgreich in der Wasser- und Abwassertechnologie tätig. Wir haben uns mit innovativen Produkten, Dienstleistungen und Lösungen hervorragend am Markt positioniert – über 33.000 installierte Anlagen sprechen dabei für sich.

Unsere Leistungen umfassen:

- Sanierung und Modernisierung der Maschinenteknik von Kläranlagen
- Konzepte und verfahrenstechnische Lösungen für eine wirtschaftliche Schlammentsorgung
- Zukunftsorientierte Membrantechnik für ständig steigende Anforderungen und höchste Ablaufqualitäten
- Betriebskostensenkung durch intelligente Kanalspültechnik
- Edelstahlausrüstungen für die Trinkwasserversorgung
- Optimaler Service für höchste Betriebssicherheit
- Innovative Lösungen zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Informationen zum Unternehmen und zu unseren freien Positionen finden Sie im Karrierebereich auf [www.huber.de](http://www.huber.de).

**HUBER**  
TECHNOLOGY  
WASTE WATER Solutions

**HUBER SE** · Industriepark Erasbach A1 · 92334 Berching  
Tel.: +49-84 62-201-0 · Fax: +49-84 62-201-810  
E-Mail: [info@huber.de](mailto:info@huber.de) · [www.huber.de](http://www.huber.de)



## Perspektiven schaffen

Als expansionsstarkes Unternehmen bieten wir viele interessante Aufgaben in den verschiedensten Bereichen. Mehr zu offenen Stellen unter [www.witron-karriere.de](http://www.witron-karriere.de).



**WITRON**

Logistik + Informatik GmbH

Neustädter Straße 21 · D-92711 Parkstein  
[www.witron-karriere.de](http://www.witron-karriere.de)



Dabei können die Untersuchungen von der Ortsnetzstation bis hin zur Unterverteilung und der einzelnen Last stattfinden. Für die Auslegung und Variantenrechnungen werden numerisch hocheffiziente Verfahren zur Bestimmung von Leistungen, Spannungsfällen und Auslastung sowie von Kurzschlussströmen und Oberschwingungsverhalten entwickelt.

### 3. Programmübersicht

In Abbildung 1 ist die Benutzeroberfläche eines bereits entwickelten Moduls dargestellt, in der die wesentlichen Bedienmerkmale eingetragen sind. Eine ganz zentrale Bedeutung dabei hat die Auswertung „on the Fly“. Sobald der Benutzer eine Eingabe mit Hilfe des Graphischen Editors oder über das Eingabefenster tätigt, werden sofort alle Berechnungen und Auswertungen im Hintergrund durchgeführt und die Ergebnisse werden visualisiert. Hierzu werden optimierte numerischen Methoden eingesetzt, die im Zuge weiterer Arbeiten entwickelt wurden und werden.

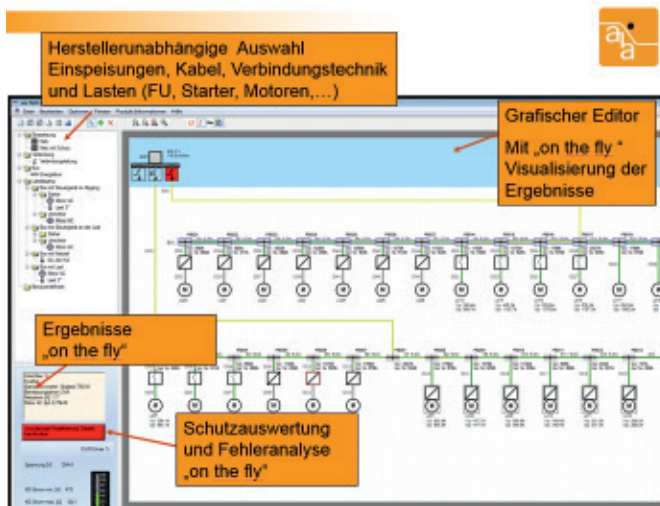


Abbildung 1: Benutzeroberfläche des Moduls zur Auslegung von Industrieanlagen

### 4. Netzauslegung und Effizienz

Die Auslegung der Netze und die Berechnungen gliedern sich in Gleichstrom- und Wechselstromanwendungen. Zuerst werden Netzberechnungen zum Spannungsfall, der Auslastung und dem Kurzschlussstrom durchgeführt und dann auf Basis dieser Ergebnisse verschiedene Szenarien simuliert. Damit werden die Einflüsse von Topologien, von Betriebsmittelparametern, von Leitungsquerschnitten und -längen, von unterschiedlichen Lastprofilen sowie die Auswirkungen von Variationen der Betriebsbedingungen bestimmt.

Für die Berechnungs- und Optimierungsmethoden werden hier exemplarisch einige Vorgehensweisen und Methoden dargestellt, die den prinzipiellen Ansatz verdeutlichen. Eine detaillierte Darstellung ist in [1] zu finden.

#### 4.1. Beispiel zur Optimierung

Mit dem Tool können sowohl ganze Niederspannungsnetze als auch Anlagenteile optimiert werden, dabei können Dreh-, Wechsel- und Gleichstromnetze behandelt werden. Jedoch muss eine Optimierung für jede Anlage und jeden Anlagenteil individuell erfolgen. Um die Optimierung zu demonstrieren, wird hier, aus Gründen der Übersichtlichkeit, eine sehr stark vereinfachte Anlage exemplarisch betrachtet.

Die in der Industrie sehr weit verbreiteten Gleichstrom (DC)-Netze werden bisher praktisch nicht auf Ihre Energieeffizienz hin untersucht. Um das Optimierungspotenzial aufzuzeigen, wird eine einfache Gleichstromanwendung untersucht. Es wird eine Linienanordnung verwendet, wie sie zum Beispiel in der Fördertechnik vorkommt. Am Ende einer Förderbahn ist eine Last (z. B. ein Motor/Aktor) mit höherem Leistungsbedarf zu versorgen, während entlang der Strecke nur kleine Lasten (z. B. Sensoren) mit einem geringen Stromverbrauch zu versorgen sind.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hier anhand eines extrem vereinfachten Modells der Spannungsfall und die Energieeffizienz betrachtet. Dabei wird der Einfluss der Einspeisetopologie auf das elektrische Verhalten und auf die Energieeffizienz untersucht. Es werden für die Ausführung der Einspeisung drei Varianten betrachtet.

In Abbildung 2 ist der stark vereinfachte Anlagenteil zu sehen, wie er im grafischen Editor dargestellt wird. Rot markierte Abschnitte sind unzulässig ausgelegt. Wie man der Abbildung entnehmen kann, liegt hier mit der Einspeisung über die Zuleitung am linken Rand eine völlig unzulässige Auslegung vor. Diese Einspeisung am Anfang der „Line“ führt zu einem viel zu hohem Spannungsfall, der an der Last mit dem hohen Stromverbrauch bei über 60% liegt; zulässig wären hier üblicherweise maximal 15%.

Nun könnte man wesentlich größere Kabelquerschnitte verwenden, um den entstehenden Spannungsfall in den Griff zu bekommen. Dies würde aber regelmäßig zu unangemessen großen Kabelquerschnitten und entsprechenden (Mehr)-Kosten führen.

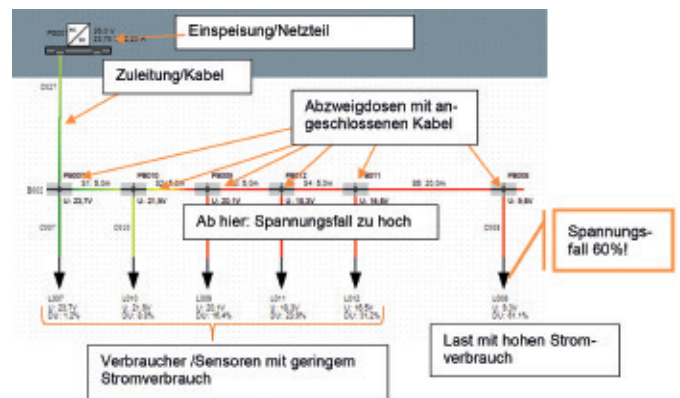


Abbildung 2 Anlagenteil, rot markiert unzulässig hoher Spannungsfall



Als erster Lösungsansatz wird daher eine dezentrale Einspeisung untersucht, bei der ein im Feld verbautes Netzteil mit einem angepassten Einpeisepunkt auf der Line eingesetzt wird. Der Einspeisepunkt wird vom implementierten Algorithmus des Programms vorgeschlagen. Wie man der Abbildung 3 entnehmen kann, lässt sich der Spannungsfall in diesem Fall von über 61% auf unter 10% reduzieren.

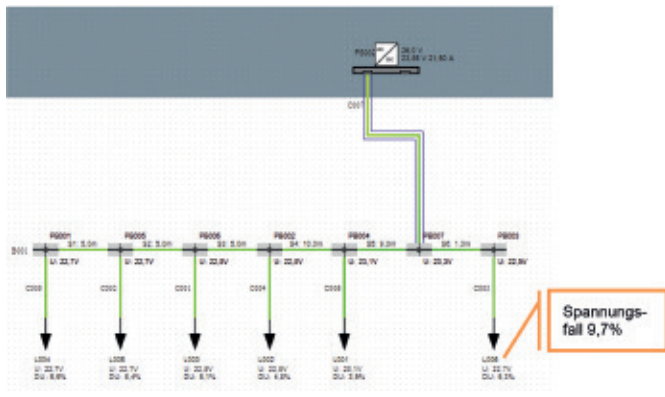


Abbildung 3: Anlagenteil mit angepasster Einspeisung

Betrachtet man nun die dritte Variante, bei der doppelt eingespeist wird, reduziert sich der Spannungsfall auf unter 3%.

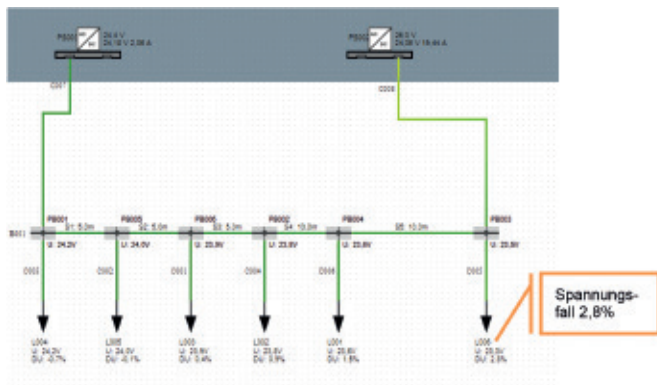


Abbildung 4: Anlagenteil mit Doppelseinspeisung

Da der Spannungsfall auch die Verluste bestimmt, kann die Effizienz hier deutlich gesteigert werden. Betrachtet man den Wirkungsgrad, ist die Einspeisung am linken Rand auch vom Wirkungsgrad mit  $\eta = 41\%$  völlig ungeeignet. Jedoch kann mit der angepassten Einspeisung bereits ein Wirkungsgrad von über 90% erzielt werden. Bei der Doppelseinspeisung wird der Wirkungsgrad nochmals auf über 97% gesteigert. Die entsprechenden Wirkungsgrade werden vom Softwaretool ermittelt.

Indem das Tool nun die Nutzungsdauern und Lastprofile auswertet, werden der Energiebedarf und die Energiekosten für die Varianten berechnet. Anhand des Vergleichs der Betriebs- mit den zu tätigen Investitionskosten für die jeweilige Variante kann eine wirtschaftlich tragfähige Auslegung gewählt werden.

## 5. Berechnungsmethoden

Das prinzipielle Vorgehen bei der Berechnung wird anhand der typischen Netzberechnungen kurz vorgestellt.

### 5.1. Spannungsfall und Auslastung

Das Netz wird durch Spannungs- und Stromquellen und Impedanzen nachgebildet. Es werden Standardersatzschaltbilder der Betriebsmittel verwendet, wie sie zum Beispiel in [2], [3], [4] und [5] zu finden sind.

Einspeisungen werden in der Rechnung durch ideale Quellen mit Impedanz abgebildet. Stromquellen oder Impedanzen/Admittanzen bilden hingegen die Verbraucher nach. Leitung und Kabel werden, je nach Anwendung, durch Pi-Glieder oder Längsimpedanzen nachgebildet. Aufgrund der Berechnung „on the fly“, die extrem effizient durchgeführt werden muss und des Einsatzes in der Niederspannung (und später in der Mittelspannung), wird keine allgemeine Lastflussrechnung verwendet. Da die reelle Lastflussrechnung zu viele Einschränkungen enthält, wird hier eine angepasste Netzberechnung durchgeführt.

Das vereinfachte Netzersatzschaltbild für das Beispiel mit der Linienstruktur ist in Abbildung 5 dargestellt.

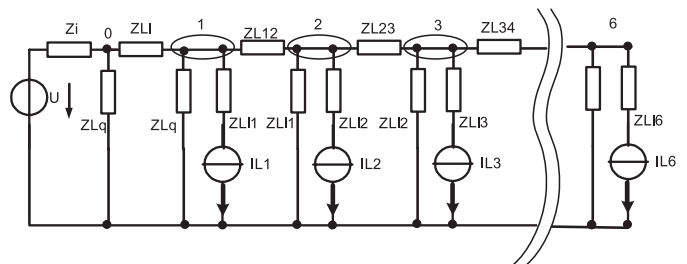


Abbildung 5: Vereinfachtes Ersatzschaltbild für die Linienanordnung.

Aus den Knotenbezeichnungen wird eine Netzliste mit fortlaufender Nummerierung generiert, bei dem jeder Zweig durch Start- und Endknoten gekennzeichnet wird. Über diese Netzliste wird das komplexe Gleichungssystem, gemäß der modifizierten Knotenpotenzialanalyse, aufgestellt, wobei sich beim Gleichstromfall ein reelles System ergibt und bei unsymmetrischen Wechselstromrechnungen alle drei Phasen und der Neutralleiter vollständig berücksichtigt werden.

$$\underline{YU} = \underline{I}$$

Meist findet man ein Gleichungssystem, das bis auf wenige „off diagonal“ Einträge eine tridiagonale Struktur aufweist. Im Allgemeinen entsteht eine hauptdiagonal-dominante Sparsematrix [6], die eindeutig und effizient lösbar ist. Hierfür wurde durch eine geeignete Kombination des Thomas-Algorithmus für Tridiagonal-Matrizen mit einem Line-By-Line SOR-Solver eine höchst effiziente und stabile Lösungsmethode entwickelt. Als Ergebnis erhält man die komplexwertigen Spannungen an den Knoten

sowie die Ströme der Einspeisungen. Damit sind sämtliche Größen für den Spannungsfall und die Auslastung berechenbar. Die Betriebsströme werden daraus für alle Leitungen berechnet und es wird überprüft, ob die jeweils zulässige Strombelastbarkeit überschritten wird.

Für drei- und einpolige Fehler werden für jeden Anschluss- und Lastpunkt die Kurzschlussströme gemäß VDE102 berechnet. Der einpolige Kurzschlussstrom, der vom Netz gespeist wird, wird ebenfalls für jeden Anschluss-, Last- und Endpunkt bestimmt.

Die zulässigen Strombelastbarkeiten von Leitungen und Kabeln werden in Abhängigkeit der Verlegeart, der Umgebungstemperatur sowie der Anzahl der belasteten Adern bestimmt. Mit Hilfe der Auslastungen und Kurzschlussströme werden die Schutzkriterien ausgewertet.

Die Lasten können durch ihren Strom, ihre Impedanz oder ihre Leistung nachgebildet werden. Wird eine konstante Leistungsabnahme der Last verwendet, wie dies zum Beispiel bei Motoren nötig ist, wird die sogenannte Stromiteration eingesetzt. Der Strom der Last wird dabei solange variiert, bis sich bei vorgegebener Leistung eine konstante Spannung an der Last und im Netz einstellt.

## 5.2. Bestimmung von Oberschwingungen in Industrienetzen

In der industriellen Antriebstechnik werden vornehmlich symmetrisch betriebene 3-Phasen-Wechselstromnetze eingesetzt. Zur Drehzahlsteuerung oder -regelung werden Frequenzumrichter eingesetzt. Dies führt durch die Oberschwingungen der Umrichter [8],[9],[10] zunehmend zu Problematiken mit der Netzqualität.

Ein Frequenzumrichter erzeugt aus der Netzspannung eine in der Amplitude und Frequenz veränderbare Spannung, mit

der die Drehzahl eines Motors gesteuert werden kann. Für die hier betrachteten Anwendungen werden auf der Netzseite des Frequenzumrichters in der Regel ungesteuerte Dioden-Gleichrichter verwendet. Im Zwischenkreis werden zur Spannungsglättung und zur Energiespeicherung verschiedene Topologien verwendet, zum Glätten können Elektrolytkondensatoren oder Drosseln eingesetzt werden. Auf der Motorseite des Frequenzumrichters wird ein Wechselrichter verwendet. Dieser stellt dem Elektromotor die benötigte Frequenz/Drehzahl zur Verfügung.

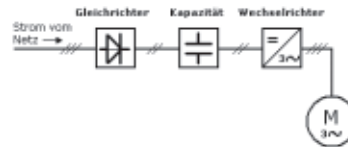


Abbildung 6: Prinzip Schaltbild eines Frequenzumrichters nach [7]

Um für das komplette Netz den Einfluss der Oberschwingungen nachzubilden, wurde ein Modell entwickelt [8],[9] [10]. Das Zeitverhalten des einzelnen Umrichters wird mit Hilfe von Differentialgleichungen beschrieben. Ein vereinfachtes prinzipielles Ersatzschaltbild des Umrichters, der mit Differentialgleichungen beschrieben wird, ist in Abbildung 7 dargestellt.

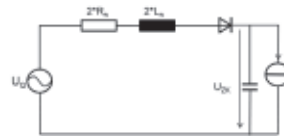


Abbildung 7: Vereinfachtes einphasiges Ersatzschaltbild eines Frequenzumrichters nach [8][9][10]

Anhand der zeitaufgelösten Ströme wird das Oberwellenspektrum bestimmt. Über eine angepasste Fourier-Transformation werden diese Ergebnisse mittels komplexer Wechselstromrechnung für die Berechnung nutzbar gemacht.

Mit diesen Ergebnissen lassen sich die Oberschwingungsverteilungen im Netz beurteilen, die auch deren Überlagerung näherungsweise berücksichtigt. Damit können bei großen Oberschwingungsanteilen in Netzabschnitten gezielt Maßnahmen ergriffen werden, um die Netzqualität zu verbessern.

## 6. Weiterarbeit

Zusammen mit Prof Dr. Brückl und Prof. Dr. Welsch der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg werden im Rahmen des Technologie- und Wissenschaftsnetzwerks Oberpfalz (TWO) im Projekt „SLOIV“ Szenarien zum Energiemanagement und die Integration von Ortsnetztransformatoren in das Tool realisiert. Dieses Projekt wird vom Freistaat Bayern gefördert.

Parallel dazu werden in enger Kooperation mit führenden Industrieunternehmen spezialisierte Module erstellt.



## Literatur

- [1] Manual NetCalc/NetEfficient [www.aia-oth.de](http://www.aia-oth.de) und [www.Netcalc.de](http://www.Netcalc.de)
- [2] Analysis of faulted power systems, Paul M. Anderson, IEEE Press Power Systems Engineering Series, NY, USA
- [3] Elektrische Energieversorgung, Heuck, Dettmann, Vieweg
- [4] Grundlagen der elektrischen Energietechnik Hosemann, Boeck, Springer
- [5] Elektrische Kraftwerke und Netze Happolt, Oeding
- [6] Computational Methods for large sparse power systems analysis, S. Soman, S.A Khaparade, Shubha Pandit, Kluwer Amsterdam, 2002
- [7] Leistungselektronik, Felderhoff, Rainer, München, 2006
- [8] Untersuchung von Methoden zur Ermittlung der Netzzrückwirkung von Frequenzumrichtern in einem Industriernetz, Masterarbeit B. Schielet, HS OWL Lemgo 2011
- [9] Analyse und Modellierung der Netzzrückwirkungen verteilter Frequenzumrichter in Industriernetzen, Behrens F., HS OWL . Labor Leistungselektronik, Lemgo 2012
- [10] Model zur Bestimmung von Oberschwingungen, H. Borchderding, F. Behrens, HS OWL, Private Mitteilungen 2013



### Prof. Dr. Ing. H.-P. Schmidt

Seit 1997 Professor an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik. Gründer und Leiter des An-Instituts „aia automations institut“ an der OTH. Fachgebiet und Laborleiter Anlagen- und Simulationstechnik, Tätigkeitsschwerpunkt in angewandter Forschung und Entwicklung: (Gemeinsames) Übertragen von Energie und Daten in der Industrie.



### Prof. Dr.-Ing. Holger Borchderding

Seit 2003 Professor für Leistungselektronik, Elektrische Antriebstechnik und EMV an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe in Lemgo. Er forscht mit einem Team von 13 wissenschaftlichen Mitarbeitern auf den Gebieten der elektrischen Antriebstechnik und der EMV von Leistungselektronik. Anfang 2011 hat Prof. Borchderding neben seiner Professur die fachliche Führung des Bereichs Innovation beim Antriebs- und Automatisierungsspezialisten Lenze übernommen. Er koordiniert die interne und externe Forschung der Lenze Gruppe und vertritt Lenze in Normenarbeitskreisen und Fachverbänden.

**VISIONEN UMSETZEN ...**  
**... INNOVATIONEN SCHAFFEN**

Mit unseren Produktentwicklungen gestalten wir die Zukunft.

**emz**  
smart solutions

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

Haustechnik Hausgeräte Umwelttechnik

emz - THE SMILING COMPANY

# *Netze für neue Energien.*

Der Anteil der regenerativ erzeugten Energie im Netz des Bayernwerks liegt bei nahezu 50 Prozent. Bis heute haben wir über 230.000 Photovoltaikanlagen in unser Netz integriert. Damit betreiben wir eines der ökologischsten Netze in Deutschland.

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

**bayernwerk**



F&E am Amberger Technologie Campus

# Drive Controller, Sicherheitsgerichtete Sondersteuerung für Antriebe in der Bühnentechnik

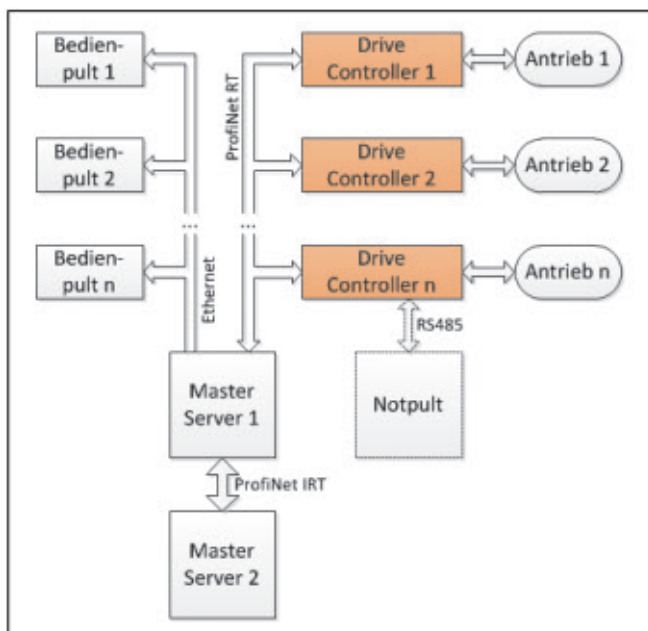
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt<sup>1,2</sup>, M.Eng. Daniel Schuler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>aia automations institut, An-Institut der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden im Amberger Technologie-Campus ATC

<sup>2</sup>Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Kontakt: hp.schmidt@aia-oth.de

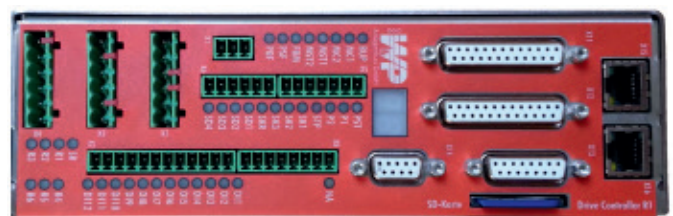
In enger Zusammenarbeit mit der W&P Anlagenbau GmbH wurde am aia automations institut eine dezentrale Sondersteuerung für Antriebe im Bereich der Bühnentechnik entwickelt.



Dieser „Drive Controller“ ist Teil einer komplexen Bühnensteuerung und stellt die benötigten Schnittstellen zur Ansteuerung jeweils einer Motoreinheit zur Verfügung. Zwei redundante, sogenannte „Master Server“, empfangen die Fahrbefehle eines Bedienpultes, generieren daraus die benötigten Fahrkurven für die anzusteuern Antriebe und senden diese an die entsprechenden Drive Controller weiter.

## Abstract

In close cooperation with W&P Anlagenbau GmbH (Plant Engineering), aia automations institut developed a decentralized special control for drive systems in the area of stage technology. This Drive Controller is part of a complex stage control system and provides the required interface to drive one adjustable speed motor. Two redundant so-called Master Servers receive the drive commands of a control panel, from which they generate the required motion paths for each drive and then forward them to the respective Drive Controller which actually controls the motion.



Drive Controller

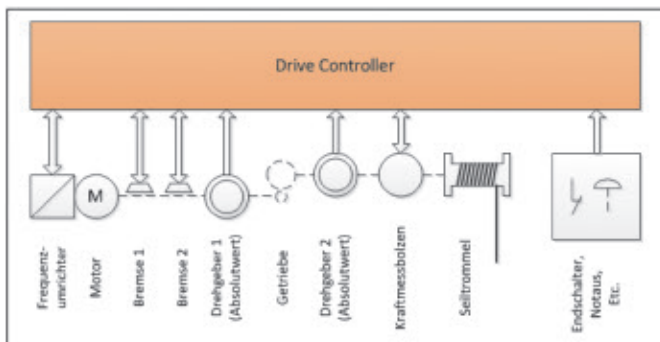
Kernstück des Drive Controllers sind zwei redundante ARM9 Prozessoren – ein Steuerungs- und ein Überwachungsprozessor.

Für die Kommunikation mit dem übergeordneten Steuerungsrechner („Master Server 1 & 2“) wurde ein vom aia automations institut und der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden entwickeltes Feldbusmodul auf Basis des ERTEC 200 Profinet Chips von Siemens integriert. Eine eigens dafür erstellte Profinet-Anwendungssoftware, basierend auf dem Echtzeitbetriebssystem eCos, dient dabei als Schnittstelle zwischen dem Feldbus und den beiden ARM9 Mikroprozessoren des Drive Controllers. Die Kommunikation zwischen Master Server und Drive Controller findet über Profinet RT statt, die der beiden Master Server untereinander über das takttsynchrone Profinet IRT.



Das System wurde so ausgelegt, dass jeglicher Ausfall der Kommunikation zu einer sofortigen Notabschaltung der Anlage führt. Dadurch kann ein sicherer Betrieb der Anlage auch über eine an sich unsichere Kommunikationsstrecke gewährleistet werden. Die doppelt ausgeführte Profinet Schnittstelle des Drive Controllers mit integriertem Switch verringert den Verdrahtungsaufwand im Falle einer linienförmigen Verkabelung. Alternativ ermöglicht sie auch eine redundante Ausführung der Ethernetleitung zur Erhöhung der Ausfallsicherheit.

Um die strengen Anforderungen einer SIL3 Zertifizierung zu erfüllen, wurde sämtliche Hardware des Drive Controllers redundant ausgelegt.



Auf der Seite der Antriebseinheit verfügt der Drive Controller über diverse analoge und digitale I/Os zur Ansteuerung der benötigten Hardware. Dazu zählen eine konfigurierbare Frequenzumrichter-Schnittstelle, redundante SSI Absolutwertgeber-Schnittstellen zur Positionsrückführung, eine Anschaltung für SIL3 Kraftmessbolzen zur Detektion von Über- und Unterlast sowie diverse sicherheitsgerichtete und nicht-sicherheitsgerichtete, digitale Ein- und Ausgänge. Sämtliche Ein- und Ausgänge des Drive Controllers entsprechen den Kriterien für industrielle Steuerungen, gemäß ISO/IEC. Die Hardware wurde EMV-gerecht, gemäß EN 61800-3:2004, entwickelt und durch ein akkreditiertes Prüflabor zertifiziert.



**M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schuler**

Abschluss Dipl.-Ing (FH) im Studiengang Software – Systemtechnik und Master im Studiengang Industrial IT an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden. Seit 2008 am An-Institut „aia automations institut“ als Softwareingenieur und Geschäftsführer tätig.

Die Software des Drive Controllers wurde in C erstellt. Sie verfügt über eine eigenständige Positions- und Geschwindigkeitsregelung. Diverse Sicherheits- und Überwachungs-routinen prüfen stetig die korrekte Funktionsweise der internen Hardware des Drive Controllers sowie sämtlicher angeschlossener Peripherie.

Eine auf SD Karte gespeicherte Konfigurationsdatei ermöglicht eine flexible Anpassung des Drive Controllers an unterschiedliche Antriebssysteme. So lässt sich der Drive Controller unter anderem zur Steuerung von Seilzügen, Hubpodien und Drehscheiben einsetzen.



Neben dem Drive Controller wurde auch die Hard- und Software eines sogenannten Notpultes – eines Bedienpultes für den Not- und Einrichtbetrieb – am aia automations institut entwickelt. Dieses dient der unregelmäßigen Steuerung eines einzelnen Antriebs und wird über eine RS485 Schnittstelle mit dem entsprechenden Drive Controller verbunden. Auch das Notpult wurde auf Basis eines ARM9 Prozessors entwickelt. Während des Notpultbetriebs ist die Feldbuschnittstelle des Drive Controllers deaktiviert.

Das neu entwickelte Steuerungssystem wird in zwei Theatern bereits erfolgreich eingesetzt.



**Prof. Dr. Ing. H.-P. Schmidt**

Seit 1997 Professor an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, Fakultät Elektro- und Informationstechnik. Gründer und Leiter des An-Instituts „aia automations institut“ an der OTH. Fachgebiet und Laborleiter Anlagen- und Simulationstechnik, Tätigkeitsschwerpunkt in angewandter Forschung und Entwicklung: (Gemeinsames) Übertragen von Energie und Daten in der Industrie.





FORSCHUNGSINITIATIVE  
**Zukunft BAU**

# Identifikation von Einsatzmöglichkeiten und Potenzialen der Zündstrahl-technologie

Beitrag für den Forschungsbericht der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

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

Amberg, 05.06.2013

## 1. Abstract

Im Rahmen eines über die Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderten Projekts wird am Institut für Energietechnik in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Kraft-Wärme-Kopplung die Praxistauglichkeit von Zündstrahl-Blockheizkraftwerken zur dezentralen Strom- und Wärmebereitstellung aus Erdgas und Biomethan untersucht. Entscheidender Vorteil der Technologie sind die gegenüber vergleichbaren Blockheizkraftwerken mit Gas-Otto-Motoren hohen elektrischen Wirkungsgrade. Erste Ergebnisse aus dem laufenden Forschungsvorhaben bestätigen die hohen elektrischen Wirkungsgrade der Technologie. Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten zeigen den entscheidenden Einfluss des Zeitpunkts der Zündöleinspritzung und die Menge des Zündkraftstoffs auf das Verbrennungsverhalten und die Abgasemissionen. Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht v. a. im Hinblick auf die genauere Untersuchung des Abgasverhaltens und die Reduzierung der Emissionen unter Beibehaltung des hohen elektrischen Wirkungsgrads.

## 1. Abstract

Examination of possible applications and potentials of dual fuel technology.

As part of a project funded by the Research Initiative "Zukunft Bau" (Future Building), the Institute of Energy Technology in cooperation with the Center of Excellence for Combined Heat and Power (CHP) investigates into the practical suitability of dual fuel CHP units for the decentralized supply of power and heat from natural gas and biomethane.

A key advantage of this technology over comparable Gas Otto CHP units is its high degree of efficiency. First results from the current study confirm the high electrical efficiency of this technology. Investigations into the combustion behavior revealed a decisive influence of the time of the pilot fuel injection and the amount of pilot fuel on both combustion behavior and exhaust gas emissions. However, there is still need for further research and development regarding detailed examinations of exhaust behavior and emission reductions while maintaining a high electrical efficiency.

## 2. Ausgangslage

Die Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt in Deutschland zum heutigen Stand überwiegend aus gasförmigen Energieträgern, sowohl leitungsgebundenen (Erdgas, Biomethan) als auch nichtleitungsgebundenen (Biogas, Klärgas, Deponiegas). In der Leistungsklasse bis 1 MW<sub>el</sub> werden dabei in erster Linie Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Gas-Otto-Motoren zur Strom- und Wärmebereitstellung eingesetzt. Als erfolgreiche Alternative haben sich im preissensitiven Biogasbereich Zündstrahlmotoren etablieren können, die aufgrund des dieselmotorischen Brennverfahrens höhere elektrische Wirkungsgrade erreichen als Gas-Otto-Motoren, allerdings für den Betrieb einen zweiten Kraftstoff, das sogenannte Zündöl, benötigen. Für leitungsgebundene erdgas- bzw. biomethanbetriebene BHKW werden Zündstrahlmotoren dagegen bisher kaum eingesetzt. Ein Grund hierfür dürften die in der Vergangenheit vergleichsweise geringen Brennstoffpreise und Stromvergütungen in diesem Markt gewesen sein, die den technologischen Aufwand für Zündstrahl-Aggregate nicht gerechtfertigt haben. Mit steigenden Brennstoffpreisen und zunehmendem Wert der elektrischen Energie nimmt die Bedeutung des elektrischen Wirkungsgrads jedoch auch bei BHKW-Anlagen mit Anschluss an das Erdgasnetz zu. Zündstrahlmotoren mit ihrem hohen elektrischen Wirkungsgrad können daher auch in diesem Bereich eine Alternative zu den etablierten Gas-Otto-Motoren darstellen.

Im Rahmen eines über die Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderten Projekts wurde am Institut für Energietechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden das Potenzial der Zündstrahl-Technologie im Leistungsbereich von etwa 50 kW<sub>el</sub> bis 1 MW<sub>el</sub> mit Anschluss ans Erdgasnetz untersucht. Hier existiert eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten im kommunalen und industriellen Bereich (Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude, Schwimmbäder, Schulen, Nahwärmenetze, Prozesswärmebereitstellung, ...), bei denen große Energiemengen umgesetzt werden.

In einem Wirtschaftlichkeitsvergleich ergaben sich für die Zündstrahltechnologie in zwei von drei betrachteten Szenarien (Biomethanbetrieb und Erdgasbetrieb mit 100 % Stromeigennutzung) günstigere Wärmegestehungskosten als bei vergleichbaren Gas-Otto-BHKW nach aktuellem Stand der Technik. Lediglich bei Anwendungsfällen, bei denen nur geringe Stromgutschriften zu erwarten sind (Erdgasbetrieb mit 100 % Stromeinspeisung nach KWKG), schneiden herkömmliche Gas-Otto-Motoren besser ab. Diese Anwendungsfälle spielen im betrachteten Leistungsbereich in der Praxis jedoch eine untergeordnete Rolle. Betrachtet man die Primärenergieeinsparung durch die gekoppelte Strom- und Wärmebereitstellung (Rechenverfahren nach Richtlinie 2004/8EG), so ergeben sich für die Zündstrahltechnologie durchweg bessere Werte als für die Gas-Otto-Motoren. Bei den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Koppelprodukte Strom und Wärme ist das Zündstrahl-BHKW sowohl im Erdgas- als auch im Biomethanbetrieb mit den besten Gas-Otto-Motoren vergleichbar.

Zusätzlich zur hohen Stromaussbeute bringt die Zündstrahltechnologie weitere Vorteile mit sich. Durch den Einsatz des Zündöls lassen sich Kraftstoffe mit niedrigerem Energiegehalt bzw. geringem Methangehalt, wie Biogas und Schwachgase, problemlos einsetzen. Zudem lassen sich Zündstrahlmotoren im Störfall auch als konventionelle Dieselmotoren mit 100 % Flüssigkraftstoff betreiben und können daher Notversorgungsfunktion übernehmen (z. B. bei Störung der Gasversorgung oder Gasabschaltverträgen). Die Entwicklung von Zündstrahlaggregaten für den Erdgas- und Biomethanmarkt befindet sich noch in der Anfangsphase, sodass, entsprechende Forschung und Entwicklung vorausgesetzt, in den nächsten Jahren weitere Effizienz- und Kostenvorteile zu erwarten sind. Als Beispiel sei hier die Erhöhung des Stromertrages mittels Abgasnachverstromung genannt, die ebenfalls Gegenstand von Forschungsarbeiten am Institut für Energietechnik und am Kompetenzzentrum Kraft-Wärme-Kopplung ist.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Potenzialstudie werden in einem zweiten Projektschritt derzeit die prognostizierten Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsvorteile sowie die ökologischen Aspekte der Zündstrahltechnologie experimentell überprüft. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Burkhardt Energie- und Gebäudetechnik eine Zündstrahl-BHKW-Versuchsanlage an der

Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Untersuchungen werden durch das Institut für Energietechnik in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Kraft-Wärme-Kopplung durchgeführt und über die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Bau, Verkehr und Stadtentwicklung gefördert (BMVBS). Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die ersten Ergebnisse aus dem laufenden Forschungsvorhaben.

### 3. Aufbau der Versuchsanlage

Die Zündstrahl-BHKW-Versuchsanlage wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Burkhardt Energie- und Gebäudetechnik GmbH auf Basis einer bestehenden Pflanzenöl-BHKW-Anlage an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden aufgebaut. Es handelt sich hierbei um ein ECO 240 Zündstrahl-Biomethan-BHKW mit einem Sechszylinder Turbodieselmotor des Typs MAN D26, der von der Fa. Burkhardt für den Zündstrahlbetrieb umgerüstet wurde. Die elektrische Leistung der Anlage beträgt 240 kW, die thermische Leistung im Praxisbetrieb etwa 220 kW. Das BHKW kann sowohl als Zündstrahl-BHKW mit Erdgas oder Biomethan als gasförmigem Hauptkraftstoff und Pflanzenöl bzw. Heizöl als Zündöl wie auch mit 100 % Flüssigkraftstoff betrieben werden, im letzteren Fall allerdings mit einer reduzierten elektrischen Leistung von 200 kW. Abbildung 1 zeigt das BHKW-Modul auf dem Prüfstand an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, Abbildung 2 eine schematische Darstellung des Blockheizkraftwerks. Die technischen Daten der Versuchsanlage sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

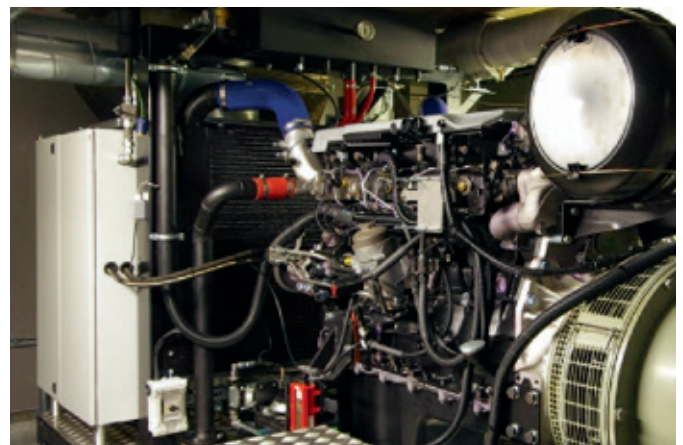


Abbildung 1: Zündstrahl-BHKW-Prüfstand

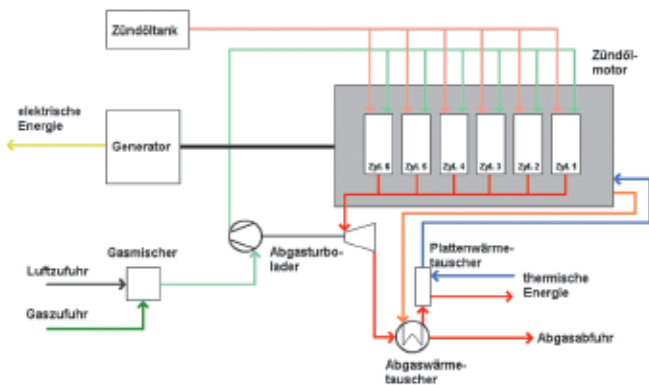


Abbildung 2: Schema Zündstrahl-BHKW

Tabelle 1: Technische Daten der Versuchsanlage

Fabrikat	ECO 240 Burkhardt GmbH
Betriebsweise	Netzparallelbetrieb
Elektrische Nennleistung	240 kW
Thermische Nennleistung	240 kW
Feuerungswärmeleistung	571 kW
Motor Hersteller / Typ	MAN D 2676
Bauart	6-Zylinder Reihenmotor auf Zündstrahlbetrieb umgerüstet
Arbeitsverfahren	4-Takt Diesel, Abgasturbo-ladung mit Abgasrück-führung und Ladeluftkühlung
Ventile	2 Einlass / 2 Auslass
Einspritzsystem	Bosch Common-Rail-System
Hub / Bohrung / Hubvolumen	166 mm/126 mm/12419 cm <sup>3</sup>
Verdichtungsverhältnis	19:1 (serienmäßig)
Nenn Drehzahl	1500 1/min
Generator Hersteller / Typ	Leroy Somer LSA 46.2 VL 12
Bauart	Luftgekühlter Synchronge-nerator 400 V 50 Hz

## 4. Versuchsergebnisse

### 4.1. Wirkungsgradbestimmung

Im Rahmen der Wirkungsgradbestimmung wurden Untersuchungen des Motors im Flüssigkraftstoff- und Zündstrahlbetrieb bei verschiedenen Laststufen durchgeführt. Im Flüssigkraftstoffbetrieb wurde Palmöl als Kraftstoff eingesetzt. Im Zündstrahlbetrieb wurden verschiedene Zündöle untersucht, darunter Palmöl, Rapsöl und Heizöl, wobei als gasförmiger Kraftstoff stets Biomethan eingesetzt wurde. Im Flüssigkraftstoffbetrieb beträgt die maximal zulässige elektrische Leistung 200 kW, im Zündstrahlbetrieb bis zu 240 kW.

Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen den elektrischen, den thermischen und den Gesamtwirkungsgrad des Blockheizkraftwerks bei verschiedenen Laststufen im Flüssigkraftstoff- und Zündstrahlbetrieb. Unter realen Bedingungen konnte im Zündstrahlbetrieb bei Nennlast ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 42,5 % gemessen werden, was in der betrachteten Leistungsklasse derzeit

den besten verfügbaren Stand der Technik darstellt. Die Wahl des Zündöls hat keine größeren Auswirkungen auf den Wirkungsgrad des Motors, da der energetische Anteil mit etwa 7 % im Vergleich zum gasförmigen Kraftstoff vergleichsweise gering ist. Deutliche Unterschiede im Wirkungsgrad sind dagegen zwischen dem Zündstrahl- und dem reinen Flüssigkraftstoffbetrieb festzustellen. Bei Letzterem können v. a. im Teillastbereich höhere elektrische Wirkungsgrade erreicht werden. Eine vergleichende Messung bei Nennlast (240 kW) konnte nicht durchgeführt werden, da der Motor im Flüssigkraftstoffbetrieb nur bis maximal 200 kW freigegeben ist.

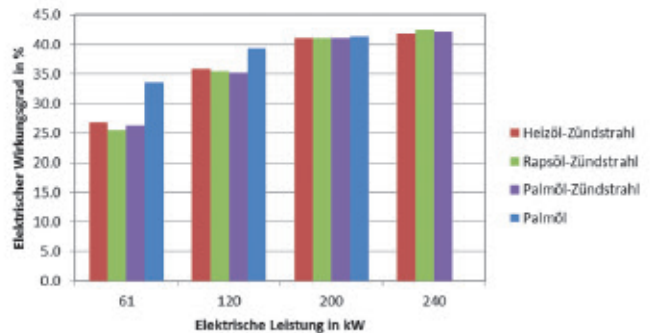


Abbildung 3: Vergleich des elektrischen Wirkungsgrads nach Betriebsart

Beim thermischen Wirkungsgrad sind starke Spreizungen zwischen den verschiedenen Messungen zu erkennen. Dies dürfte in erster Linie auf unterschiedliche Vor- und Rücklauftemperaturen im Heizungsnetz bei den Messungen zurückzuführen sein. Bei der bestehenden Anlagenkonfiguration kann bei niedrigen Heizwassertemperaturen mehr Wärme ausgekoppelt werden. Bei künftigen Messungen sollen daher zusätzlich die Temperaturen und Umwälzmengen im Heizungsnetz erfasst werden, um die thermische Leistung normieren zu können und vergleichbare Aussagen zum thermischen Wirkungsgrad treffen zu können. Mit Werten von etwa 39 % bei Nennlast liegen die gemessenen Wirkungsgrade etwas unter denen vergleichbarer Gas-Otto-BHKWs. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die verwendete Versuchsanlage nicht auf maximale Wärmeauskopplung optimiert ist. Bei entsprechender Auslegung dürften in der Praxis auch mit Zündstrahl-BHKWs ähnliche thermische Wirkungsgrade wie mit vergleichbaren Gasmotoren erreichbar sein.

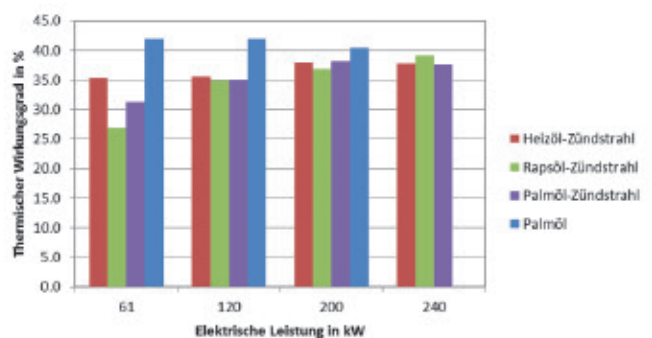


Abbildung 4: Vergleich des thermischen Wirkungsgrads

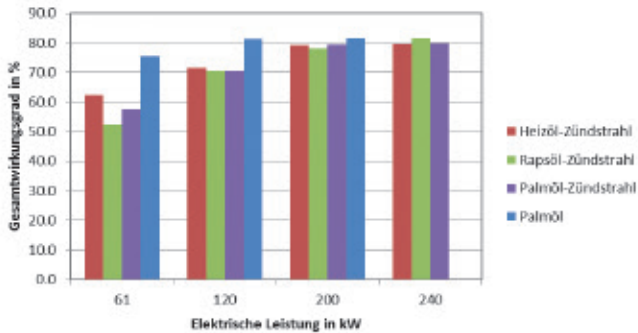


Abbildung 5: Vergleich des Gesamtwirkungsgrads

## 4.2. Nutzungsgradbestimmung

Zusätzlich zur Wirkungsgradbestimmung wurde für den Zeitraum vom 06.03.2013 bis 12.04.2013 eine Nutzungsgradbestimmung im Zündstrahlbetrieb durchgeführt. Hierfür wurden über den gesamten Betrachtungszeitraum der Gas- und Zündölverbrauch sowie die Menge an bereitgestellter Wärme und elektrischem Strom erfasst. Diese Werte sowie die täglichen und stündlichen Mittelwerte sind in Tabelle 2 zu finden. Über den gesamten Betrachtungszeitraum wurde ein durchschnittlicher elektrischer Nutzungsgrad von 41,2 % ermittelt (netto nach Abzug des elektrischen Eigenbedarfs). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anlage aufgrund von Versuchsdurchführungen nicht durchgängig bei Volllast betrieben wurde. Der durchschnittliche thermische Nutzungsgrad betrug 38,9 % und der durchschnittliche Gesamtnutzungsgrad 80,1 %. Der in der Praxis erreichbare thermische Nutzungsgrad hängt größtenteils vom Wärmebedarf und den Vor- und Rücklauftemperaturen im Heizungsnetz der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden ab. Die Feuerungswärmeleistung betrug im Mittel 574 kW, wobei der energetische Zündölanteil 7,7 % der Feuerungswärmeleistung betrug. Die mittlere elektrische Leistung betrug 239 kW, die mittlere thermische Leistung 224 kW.

Tabelle 2: Verbrauchsdaten und Nutzungsgrade

		Gesamter Betrachtungszeitraum	Täglicher Durchschnitt	Stündlicher Durchschnitt
Betriebsstunden	[h]	847	24	1
Gasverbrauch	[Nm³]	44.531	1.261	53
Zündölverbrauch	[l]	4.350	123	5,1
Erzeugter Strom	[kWh]	202.705	5.742	239
Eigenstromverbrauch	[kWh]	1.848	52	2,2
Erzeugte Wärmemenge	[kWh]	189.600	5.371	224
Elektrischer Nutzungsgrad (brutto)	[%]	41,6	–	–
Elektrischer Nutzungsgrad (netto)	[%]	41,2	–	–
Thermischer Nutzungsgrad	[%]	38,9	–	–
Gesamtnutzungsgrad	[%]	80,1	–	–
Stromkennzahl	[-]	1,06	–	–

## 4.3. Verbrennungsanalyse

### 4.3.1. Einfluss des Einspritzzeitpunkts

Um den Einfluss der Zündöleinspritzung auf das Verbrennungsverhalten zu untersuchen, wurden Indiziermessungen durchgeführt. Dabei wurden der Druckverlauf im 6. Zylinder sowie die Druckverläufe im Saugrohr und Abgaskrümmen in Echtzeit erfasst und analysiert.

Abbildung 6 zeigt den Zylinderdruckverlauf im Zündstrahlbetrieb in Abhängigkeit vom Einspritzzeitpunkt des Zündöls. Ein Kurbelwinkel von 0° entspricht dabei dem oberen Totpunkt der Kolbenbewegung (OT). Abbildung 7 zeigt den aus dem Druckverlauf errechneten Heizverlauf (zeitlicher Verlauf der Energiefreisetzung im Zylinder).

Je früher der Zündkraftstoff eingespritzt wird, umso früher zündet das angesaugte Gas-Luft-Gemisch und umso höher sind die Spitzendrücke. Charakteristisch für die Verbrennung ist ein vergleichsweise steiler Druckanstieg am Anfang der Verbrennungsphase, der auf die schlagartige Entzündung der eingespritzten Zündölmenge zurückzuführen ist, die wiederum das Gas-Luft-Gemisch entzündet (vorgemischte Verbrennung). Im Heizverlauf ist dies als Spitze am Anfang der Verbrennung sichtbar. Der charakteristische Verlauf der Verbrennung verändert sich nicht mit Verlegung des Einspritzzeitpunktes. Lediglich die Dauer und die Gradienten der Energiefreisetzung variieren. Eine frühe Einspritzung mit hohen Spitzendrücken und kurzer Verbrennung ist in der Theorie vorteilhaft für den Wirkungsgrad des Motors. In der Praxis wird die Vorverlegung des Einspritzzeitpunktes durch unkontrollierte Zündungen des Gemisches (Klopfen), durch die maximal zulässigen Spitzendrücke und durch die maximal zulässigen Stickstoffoxidemissionen begrenzt. Im vorliegenden Fall stellt die hellblaue Linie die Klopfgrenze dar. Hier sind bereits hohe Spitzen im Druck- und Heizverlauf zu sehen, die im Dauerbetrieb zu Motorschäden führen können.

Je später der Einspritzzeitpunkt gewählt wird, umso mehr verlagert sich die Verbrennung in die Expansionsphase der Kolbenbewegung. Dies äußert sich in höheren Abgastemperaturen, die wiederum dazu führen, dass am Abgasturbolader mehr Antriebsenergie für die Turbine bereitsteht und höhere Ladedrücke erreicht werden. Das Zylinderdruckniveau außerhalb der Verbrennungsphase (Kompression Expansion) liegt bei späten Einspritzzeitpunkten daher höher, wie aus Abbildung 6 deutlich wird. In Summe nimmt der Wirkungsgrad des Motors bei später Einspritzung jedoch ab.



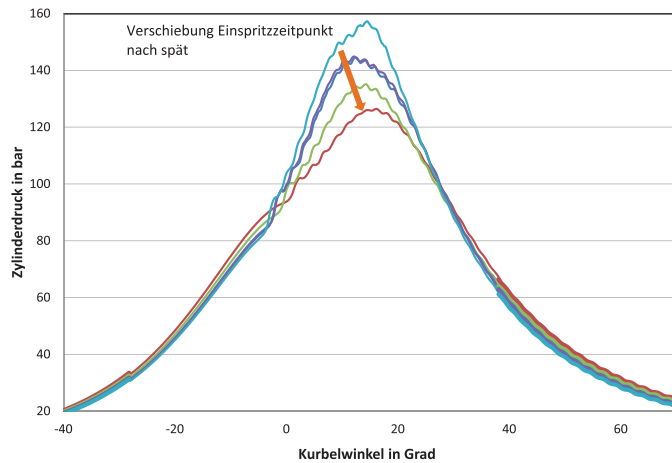


Abbildung 6: Zylinderdruckverläufe bei verschiedenen Einspritzzeitpunkten

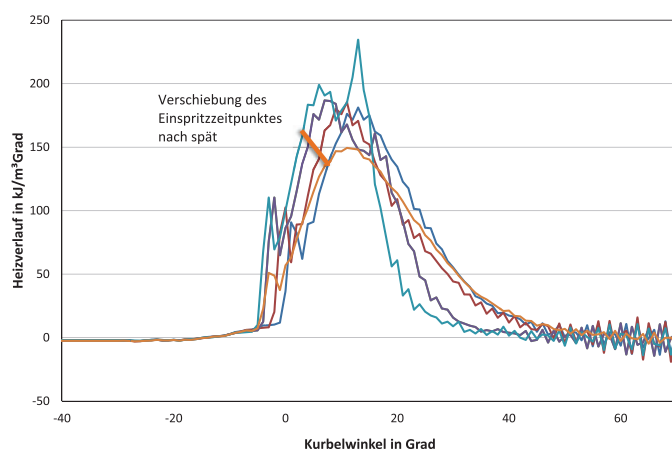


Abbildung 7: Heizverläufe bei verschiedenen Einspritzzeitpunkten

### 4.3.2. Einfluss der Zündölmenge

Entscheidend für den Betrieb eines Zündstrahlmotors ist die Menge an Flüssigkraftstoff, die für eine sichere Entzündung des Gemisches und eine stabile Verbrennung erforderlich ist. Um die Auswirkungen der Zündölmenge auf die Verbrennung zu untersuchen, wurde die Einspritzmenge gegenüber der Standardeinstellung versuchsweise um 25 % reduziert. Die resultierenden Zylinderdruckverläufe sind in Abbildung 8 dargestellt.

Deutlich erkennbar sind der geringere Spitzendruck und die geringere Drucksteigerungsrate bei reduzierter Zündölmenge. Der Heizverlauf (Abbildung 9) weist ebenfalls geringere Spitzenwerte und Gradienten auf, die Brenndauer ist länger und der Schwerpunkt der Verbrennung liegt später. Im Gegensatz zur Verlegung des Einspritzzeitpunktes verändern sich nicht nur Dauer, Gradienten und Spitzenwerte des Heizverlaufs, sondern die gesamte Form der Verbrennung. Der Peak der vorgemischten Verbrennung bestimmt bei geringer Zündölmenge in weit geringerem Maße den Heizverlauf, stattdessen ist nach erfolgter Zündung ein gleichmäßiger und annähernd symmetrischer Peak der Diffusionsverbrennung erkennbar, der breiter ist und geringerer Spitzenwerte aufweist als bei

hoher Zündölmenge. Die Verbrennung verlagert sich insgesamt zu späteren Kurbelwinkel Richtung Expansionsphase. Dementsprechend steigt die Abgastemperatur an und das Energieangebot für die Turboladerturbine steigt, was sich wiederum in einem etwas höheren Ladedruck und Abgasgedruck widerspiegelt (vgl. Zylinderdruckverlauf bei Kompression und Expansion in Abbildung 8). Dennoch ist auch bei Reduzierung der Einspritzmenge ebenso wie bei Verlegung des Einspritzzeitpunktes nach spät in Summe ein niedriger Motorwirkungsgrad zu erwarten.

Die hier dargestellten Druck- und Heizverläufe stellen die Mittelwerte aus 100 Einzelzyklen dar. Betrachtet man die einzelnen Verbrennungszyklen, so weisen die Verläufe bei geringer Zündölmenge eine etwas höhere Streuung auf. Die Standardabweichung der Zylinderspitzen drücke beträgt 3,6 bar bei hoher Zündölmenge und 5,2 bar bei geringer Zündölmenge. Zündaussetzer konnten jedoch nicht beobachtet werden, die Verbrennung ist weiterhin stabil.

Die Reduzierung der Zündölmenge hat auch Auswirkungen auf die Abgasemissionen des Motors. Abbildung 10 zeigt die Rohemissionen vor Katalysator der Abgasbestandteile Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Methan und Formaldehyd bei voller und bei reduzierter Zündölmenge und gleichem Einspritzzeitpunkt (frühe Einspritzung). Zu beachten ist, dass die Messungen mit einem Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer (FTIR) durchgeführt wurden und daher nicht 1:1 mit Messungen nach Referenzverfahren (z. B. Chemolumineszenz-Detektor, nasschemische Methoden) gleichzusetzen sind. Untersuchungen zur Vergleichbarkeit der FTIR-Messungen mit Referenzmessmethoden folgen im weiteren Verlauf des Projekts.

Bei Reduzierung der Zündölmenge nehmen die Emissionen an Stickstoffoxiden ab, während Konzentrationen der anderen Abgasbestandteile zunehmen. Dies deckt sich gut mit den Ergebnissen der Indiziermessungen. Stickstoffoxide entstehen in erster Linie aus Luftstickstoff bei hohen Verbrennungsspitzen temperaturen, also bei schneller und heftiger Energiefreisetzung mit hohen Druckspitzen und Druckgradienten. Verläuft die Verbrennung dagegen sanfter, wie bei reduzierter Zündölmengen, nehmen die Stickstoffoxidemissionen ab, die Emissionen aus der unvollständigen Verbrennung (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe) dagegen zu.

Bei dem hier verwendeten Zündstrahlmotor ergeben sich zusätzliche Methanemissionen aus der Ventilüberschneidungsphase, während der Ein- und Auslassventil gleichzeitig geöffnet sind und unverbrannter Brennstoff ins Abgas strömen kann. Insgesamt ist das Emissionsniveau als hoch zu bewerten, künftige Entwicklungsarbeiten müssen sich daher auf die Reduzierung der Emissionen unter Beibehaltung der hohen Motorwirkungsgrade konzentrieren.

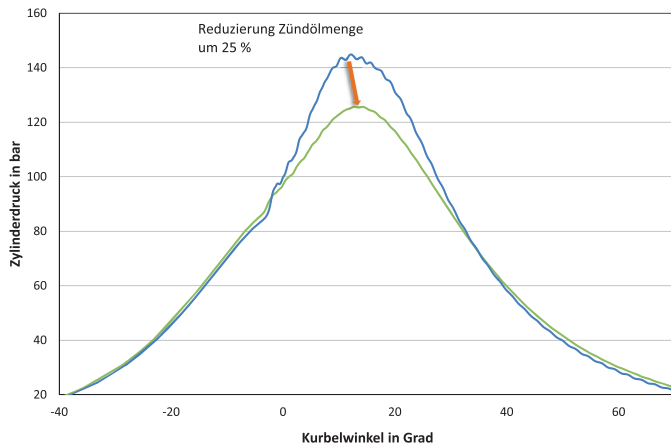


Abbildung 8: Zylinderdrucklauf bei verschiedenen Zündölmengen

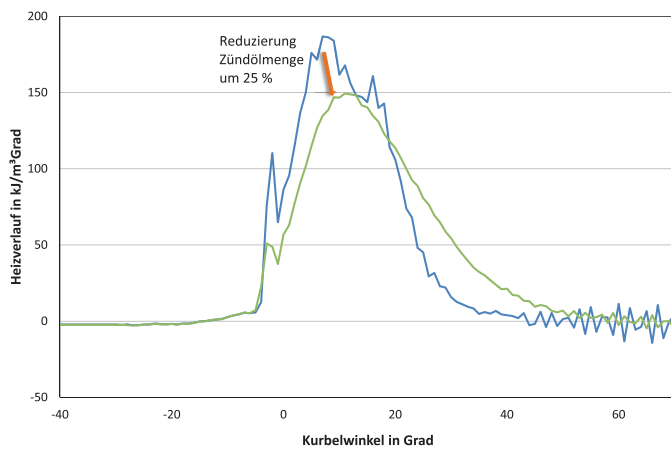


Abbildung 9: Heizverlauf bei verschiedenen Zündölmengen

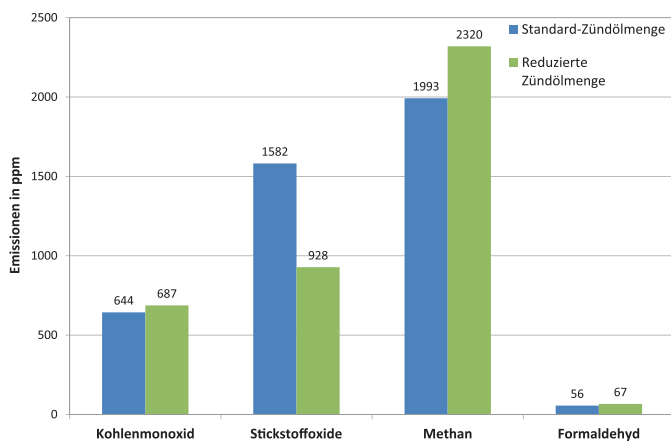


Abbildung 10: Rohabgase vor Katalysator bei verschiedenen Zündölmengen

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von den Ergebnissen einer Potenzialstudie des Instituts für Energietechnik wird im Rahmen eines über die Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderten Projekts an einer Versuchsanlage an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden die Praxistauglichkeit der Zündstrahl-Technologie für den Erdgas- und Biomethanbetrieb untersucht. Die Arbeiten erfolgen am Institut für Energietechnik in Kooperation mit der Fa. Burkhardt Energie- und Gebäudetechnik und dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung.

Wesentlicher Vorteil der Zündstrahltechnologie sind die hohen elektrischen Wirkungsgrade aufgrund des dieselmotorischen Brennverfahrens, die mit bis zu 42,5 % an der Versuchsanlage bestätigt werden konnten. Der Gesamtwirkungsgrad der Versuchsanlage liegt bei bis zu 81,7 %. Die hohen Wirkungsgrade konnten im Rahmen einer Nutzungsgradermittlung mit 41,2 % elektrisch und 80,1 % gesamt auch über einen längeren Zeitraum in der Praxis unter realen Betriebsbedingungen nachgewiesen werden.

Mittels einer Zylinderdruckanalyse wurde der Einfluss der Zündkraftstoffeinspritzung auf das Verbrennungsverhalten untersucht. Frühe Einspritzzeitpunkte führen zu hohen Verbrennungsdrücken und hohen Druckgradienten, während bei späterer Einspritzung die Verbrennung sanfter, allerdings auch langsamer abläuft. Aus thermodynamischer Sicht ist für optimale Wirkungsgrade eine möglichst kurze und schlagartige Verbrennung anzustreben (Gleichraumverbrennung). Der Motorwirkungsgrad ist daher bei früherer Einspritzung und kurzer Brenndauer höher, allerdings wird die Vorverlegung des Einspritzzeitpunktes in der Praxis durch unkontrollierte Zündung des Gemisches (klopfende Verbrennung) sowie die zulässigen Spitzendrücke und Stickstoffoxidemissionen begrenzt.

Eine Verringerung der Zündölmenge um 25 % wirkt sich ähnlich wie eine Verlegung des Einspritzzeitpunktes nach spät in Form einer sanfteren Verbrennung mit niedrigen Spitzendrücken und geringeren Druckgradienten aus. Der Verbrennungsschwerpunkt verlagert sich in Richtung Expansionsphase und die Brenndauer verlängert sich, was eine Verringerung des Motorwirkungsgrads erwarten lässt. Die Reduzierung der Zündölmenge und die daraus resultierende sanftere Verbrennung führen zu deutlich geringeren Stickstoffoxidemissionen, während die Emissionen aus der unvollständigen Verbrennung (Kohlenmonoxid, Methan, Formaldehyd) zunehmen.

Insgesamt ist das Emissionsniveau als hoch zu bewerten, die weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden sich daher auf die genauere Untersuchung des Abgasverhaltens und die Reduzierung der Emissionen unter Beibehaltung der hohen Motorwirkungsgrade konzentrieren. Darüber hinaus wird eine weitere Steigerung der elektrischen Wirkungsgrade durch Nachverstromung der heißen Abgase angestrebt. Ein entsprechendes Entwicklungsvorhaben wird derzeit am Institut für Energietechnik in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung und der Fa. Deprag Schulz GmbH u. Co. aus Amberg durchgeführt.



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch



M.Sc. Raphael Lechner



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

# Analyse von Aromen und Schadensfällen mit einem Ionenmobilitäts-spektrometer

Prof. Dr. Peter Kurzweil, M.Eng. Andreas Hildebrand,  
M.Eng. Anton Riedmayr  
Labor für Umweltanalytik

**Für die Analyse von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) bestechen Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) durch einen geringen Aufwand für Apparatechnik, Probenvorbereitung und Stoffidentifikation. Zur Qualitätssicherung von Hopfenerzeugnissen und die Aufklärung industrieller Schadensfälle haben wir eine neuartige Methode entwickelt, bei der die dreidimensionalen IMS-Spektren mit einer intuitiven, von der Gaschromatografie her bekannten Auftragung ausgewertet werden.**

With respect to the chemical analysis of volatile organic compounds (VOC), ion mobility spectrometers (IMS) impress by little requirements for instrumentation, sample preparation and identification of substances. For the purpose of quality assurance of hops products and the investigation of industrial damage events, we have developed a novel method, by which the 3-dimensional IMS spectra are evaluated using an intuitive diagram which is known from gaschromatography.

Ionenmobilitätsspektrometer gelten als Stand der Technik bei der Vorort-Analytik von chemischen Kampfstoffen, Explosivstoffen, Pestiziden, Gefahrstoffen und Drogen sowie zahlreichen Anwendungen in Lebensmittel- und Umweltanalytik, Polymer- und Petrochemie und Medizintechnik [1 – 3]. Carbonylverbindungen, Alkohole, Amine, phosphororganische und halogenierte Verbindungen werden mit Nachweisgrenzen im Bereich von 0,1 – 1 ng oder Milliardstel Volumeneinheiten ( $< 10 \mu\text{L m}^{-3}$ ) bei einem Dynamikbereich über bis zu drei Größenordnungen erfasst. Der Vorteil des Ionenmobilitätsspektrometers gegenüber dem Massenspektrometer ist die grundsätzliche Möglichkeit, Verbindungen derselben molaren Masse nach der Molekülform und Ladung weiter aufzutrennen.

## Experimentelles

Wir haben Hopfen, Äpfel, Mehl, Kunststoffe und Verbrennungsrückstände mit einem GC-IMS-Spurengasanalysator auf wiedererkennbare Signaturen für eine Identitäts- und Verwechslungsprüfung untersucht. Stickstoff als externes Driftgas überführte die Probensubstanzen aus einem Headspaceröhrchen mittels einer Kanüle über ein beheizbares 6-Wege-Ventil in die gasdichte Probenschleife und anschließend in die gaschromatografische Multikapillarsäule und den IMS-Detektor.

Durch Ionisation mit einem Betastrahler (genehmigungsfreie 300-MBq-Tritiumquelle) werden im Driftgas positive und negative Reaktantionen erzeugt. Durch Zusammenstoß mit den Analytmolekülen und nachfolgende chemische Reaktionen entsteht eine Vielzahl von Produktionen, die in der Driftröhre mittels elektrischer Impulse periodisch durch ein Schaltgitter in die mit Driftgas beschickte Driftzone injiziert werden (Abbildung 1). Im homogenen elektrischen Feld (15 bis 40 kV m<sup>-1</sup>) kommt es zur Auftrennung des wasserhaltigen Ionenschwarms. Die Driftgeschwindigkeit hängt von der Masse der Ionen, dem stoßwirksamen Molekülquerschnitt, der Masse der Driftgasmoleküle, der Temperatur und anderen Einflussfaktoren ab. Beim Auftreffen auf die Faraday-Platte (Elektrometer) am Ende der Röhre erzeugen die Ionen einen der Konzentration proportionalen Strom, der verstärkt und als Intensitätssignal gegen die Driftzeit aufgetragen wird. Je nach Polarität der Driftspannung wurden im Abstand von 21 Millisekunden kontinuierlich positive oder negative Spektren aufgezeichnet. Die auf den Peak der Reaktionsionen (RIP) bezogene relative Driftzeit  $t_D/t_{D,RIP}$  erlaubt eine Identifikation von Substanzen und die Peakintensität eine Quantifizierung.



## Hopfenanalytik

Hopfensorten (*Humulus lupulus*) werden traditionell durch morphologische Merkmale der Dolden, DNA-Analytik und die Zusammensetzung der Bitterstoffe und ätherischen Öle unterschieden. Die Aromaträger des Hopfens sind Terpene, Hopfenöle, Polyphenole (Benzo- und Zimtsäure-derivate, Flavonoide, Tannine) und  $\alpha$ - und  $\beta$ -Hopfensäuren (Humulone und Lupulone) [4,5]. Die Flavonoidzusammensetzung gilt als sortenspezifisch, zeigt jedoch zwischen den europäischen Sorten nur geringe Strukturunterschiede. Je nach Sorte, Anbaugesbiet und jahreszeitlichen Schwankungen verursachen 3 % bis 17 %  $\alpha$ -Säuren den bitter-herben Geschmack der gekochten Bierwürze. Beim Lagern des Hopfens bilden sich zudem extrem bittere Oxidationsprodukte der  $\beta$ -Säuren (Hulupone). Hydrierte Isohumulone aus modernen Hopfenprodukten bereichern kreative Biererzeugnisse (Alkopops, Flavour hops). Viele aromabildende Inhaltsstoffe des Hopfens sind noch unbekannt. Als Leitsubstanzen für die Aromaqualität eignen sich die Terpenalkohole Myrcen (harzig-unerwünscht) und Linalool (blumig-angenehm).

Wir haben Hopfenpellets des Typs 90 aus den Anbaugesbieten Hallertau, Spalt, Tettngang und Slowenien bei einem Trägergas-Volumenstrom von  $20 \text{ mL min}^{-1}$  für 7 min und anschließend  $200 \text{ mL min}^{-1}$  bei einer Messzeit von 16 min vergleichend untersucht. Die beste Reproduzierbarkeit wird mit gemahlene Proben erreicht, während bei Messungen aus der Vakuumverpackung oder an natürlichen Hopfendolden teilweise größere Schwankungen auftreten (Abbildung 2). Sieben gemahlene Muster der Sorte „Spalter Select“ aus der Hallertau aus verschiedenen Produktionslinien (Hopfenerzeuger, Produktionsdatum, Lagerzeit) lieferten völlig vergleichbare IMS-Spektren. Proben, die längere Zeit der Luft ausgesetzt waren, zeigen sichtbare Intensitätsveränderungen der IMS-Peaks.

Die topografischen IMS-Spektren (Abbildung 2) verknüpfen in jedem der rund 20 Millionen Bildpunkte den Verlauf des Ionenstroms längs der GC-Retentionszeit ( $t$ ) und längs der der IMS-Driftzeitachse ( $t_p$ ). Die Auflösung der GC-Retentionszeit beträgt 147 ms, der Driftzeit 6–7  $\mu\text{s}$ . Die für die Aromastoffe markanten Flächen können im Muster- und Grauwertvergleich eindeutig mit den Hopfensorten korreliert werden. Die wichtigsten Aromastoffe im Bouquet des Hopfens wurden durch IMS-Messungen mit Referenzsubstanzen verifiziert.

Zur routinemäßigen Auswertung haben wir den Gesamtionenstrom TIC in willkürlichen Einheiten gegen die GC-Retentionszeit dargestellt (Abbildung 3). Eindeutig sind anhand des Peakmusters selbst ähnliche Hopfensorten unterscheidbar. Die lokalen Peakmaxima für jede GC-Retentionszeit wurden durch Extremalsuche in einem gleitenden Driftzeitintervall zugeordnet. Die so erhaltenen GC-IMS-Kurven korrelieren mit den Peaks von Gaschromatogrammen und zeigen teilweise eine größere Detailtiefe.

Fallen mehrere Peaks auf die gleiche Retentionszeit, lässt sich die Zahl der zugehörigen Einzelkomponenten durch die Zahl der Driftzeitmaxima auszählen.

Die relative Driftzeit korreliert in grober Näherung mit der molaren Masse. Die niedrige Nachweisgrenze des Gerätes erfasst auch schwerere flüchtige Hopfeninhaltsstoffe.  $\beta$ -Caryophyllen erscheint bei der GC-Retentionszeit von 700 s und der IMS-Driftzeit von etwa 9 ms (Doppelpeak), Humulen bei 800 s/10 ms (Doppelpeak). Myrcen erzeugte einen über die Retentionszeit von 3 min hinausgehende, mehrere Minuten nachströmende IMS-Spur. Vorteilhaft löst die Summation das Problem des „Nachströmens“ von unscharf getrennten Komponenten durch eine Erhöhung des Grundsignals, ohne die Peaklagen zu beeinträchtigen.

## Apfelaroma

Durch GC-IMS-Spektren (Abbildung 4) war Ethyl-2-methylbutanoat im Fruchtfleisch eines frisch aufgeschnittenen Apfels, einem Spülmittel mit Apfelduft und in sauren Apfelringen ohne aufwendige Probennahme nachweisbar. Die Messdauer betrug 8 min, der Trägergas-Volumenstrom  $50 \text{ mL min}^{-1}$ .

Eindeutig unterscheidet die topografische IMS-Darstellung den echten Apfel (c) vom Aroma (a). Das charakteristische Aroma des Apfels basiert maßgeblich auf Ethyl-2-methylbutanoat neben Ethylbutanoat, 2-Methylbutylacetat, Hexylacetat und Butylacetat, den Aldehyden Hexanal und *trans*-Hex-2-enal, und den Alkoholen Hexan-1-ol, *trans*-Hex-2-enol und 2-Methylbutanol. Die Dampfdrücke der Reinstoffe liegen bei 9 bis 12 hPa.

## Mykotoxine in Mehl

Noch gibt es keinen schnellen und sicheren Nachweis für Mykotoxine in Lebensmitteln. In einer ungesiebten, gemahlene Getreideprobe (0,41 mg in einem 2,5-mL-Headspacegläschen mit Silicoseptum) konnten wir im IMS-Spektrum flüchtige Komponenten deutlich nachweisen. Oct-1-en-3-ol, Heptan-2-on, Octan-3-on und Dimethyldisulfid sind als flüchtige Verbindungen aus Schimmelpilzen bekannt. Mehrere Fusarium- und Aspergillus-Arten produzieren das nicht als kanzerogen eingestufte Mykotoxin-Terpenoid Deoxynivalenol (DON, Vomitoxin, 12,13-Epoxy-3,4,15-trihydroxy-trichothec-9-en-8-on,  $\text{C}_{15}\text{H}_{20}\text{O}_6$ ). Der DON-Gehalt vergleichbarer Mehlproben lag bei etwa  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$ . Unsere vorläufigen Ergebnisse ermutigen, DON im IMS-Spektrum zu quantifizieren.

## Kunststoffgeruch

Die unangenehme Geruchsbelastung von Polyamid und Elastomeren nach zweiwöchiger Einwirkung von chloriertem Leitungswasser wurde durch IMS-Messungen quantifiziert. Anhand der IMS-Muster war es möglich, Polyamid, Polyphenylsulfid, Polyurethan und EPDM zu

unterscheiden. Insbesondere Polyamid und thermoplastisches Polyurethan zeigten sich in wässriger Umgebung als deutliche Geruchsquellen. Die durch IMS mit geringstem Messaufwand nachgewiesenen flüchtigen Komponenten (VOC) konnten mit GC-MS-Messungen verifiziert werden, darunter Stabilisatoren (2,4-Di-*tert*-buty-phenol-Derivate), Ketone (Acetophenon, 2-Cyclopentanonderivate), Alkohole (2-Phenylisopropanol), Ether und Lösemittel (Toluol). Aus Polyphenylsulfid und EPDM-Dichtungen wurden zudem Vulkanisationszusätze (CS<sub>2</sub>, Thioverbindungen) freigesetzt. EPDM-Teile zeigten die größte massenbezogene Belastung.

### Verbrennungsrückstände

Um einen Schadensfall aufzuklären, haben wir kohleartige Verbrennungsrückstände aus einer Turbine untersucht. Der für die menschliche Nase unspezifische Verbrennungsgeruch der Rückstände konnte durch IMS-Vergleich mit thermisch behandelten Referenzproben objektiviert und die Brandursache eingegrenzt werden. Im Einklang mit Infrarotspektren wurden anhand der topografischen IMS-Spektren Silicone, Lagerschmierfette und andere Betriebsmittel als Schadensursache ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse eröffnen die Zukunftsvision, unklare Brandursachen mithilfe einer IMS-Datenbank aus „Verbrennungsgerüchen“ aufzuklären.

### Fazit

Das mit einer Gaschromatographiesäule gekoppelte Ionenmobilitätsspektrometer (GC-IMS) macht eine aufwendige Probenvorbereitung verzichtbar. Ohne präparativen Aufwand konnten gemahlene Hopfenproben innerhalb von 16 min auf Sortenunterschiede geprüft werden. Dabei muss die Vielzahl der noch weitgehend unerforschten Inhaltsstoffe (Bitterstoffe, ätherische Öle, Polyphenole) nicht bekannt sein. Auch bei der Charakterisierung von Apfelerzeugnissen und Mehl, bis hin zum Modergeruch von Kunststoffen und Rückständen aus Brandfällen kann die IMS-Methode bei der objektiven Zuordnung der Geruchsquellen und ihrer Ursachen helfen.

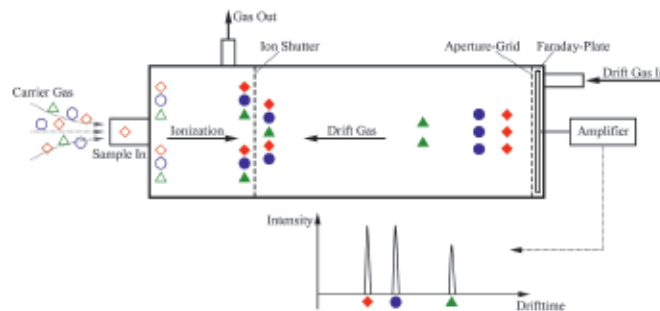


Abbildung 1: Prinzip des Ionenmobilitätsspektrometers



Abbildung 2: Probenahme von Hopfenpellets aus der Vakuumverpackung.

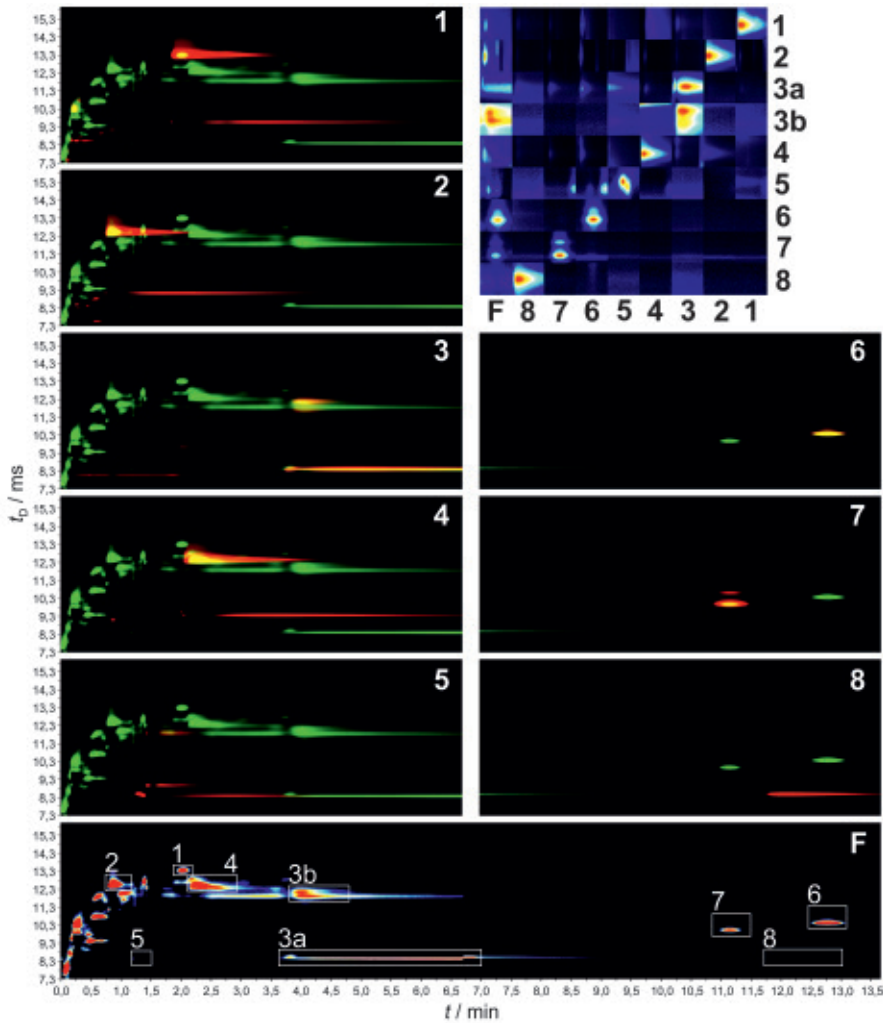


Abbildung 3: GC-IMS-Spektren in topografischer Darstellung: Driftzeit gegen die GC-Retentionszeit. (F) gemahlenes Pellet Hallertauer „Spalter Select“ und Referenzsubstanzen: (1) 2-Methyl butylisobutanoat, (2) Isobutylisobutanoat, (3) Linalool, (4) Methylheptanoat, (5) Myrcen, (6) Humulen ( $\alpha$ -Caryophyllen), (7)  $\beta$ -Caryophyllen, (8) Geranylacetat. – Rechts oben: Übereinstimmende IMS-Signale. Intensität des Ionenstroms: schwarz-blau: null; hellblau: klein; weiß-gelb: mittel; rot: hoch.

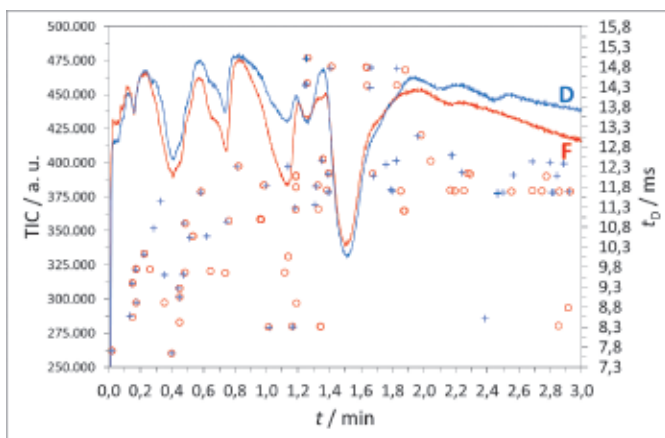


Abbildung 4: Unterscheidung verwandter Sorten aus der Hallertau: (D) Northern Brewer, (F) Spalter Select. Totalionenstrom gegen GC-Retentionszeit. – Rechte Skala: Driftzeit charakteristischer IMS-Peaks (+, o).

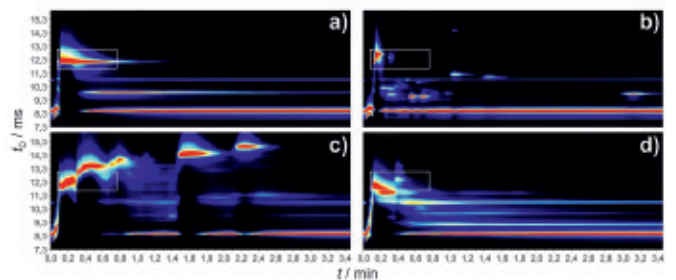


Abbildung 5: GC-IMS-Spektren von (a) Ethyl-2-methylbutanoat, (b) Spülmittel mit Apfelduft, (c) Apfel: Fruchtfleisch und Schale, (d) saure Apfelingel. Zeitliche Auflösung der Spektren 21 ms. Die Farbcodierung veranschaulicht den Ionenstrom: schwarz-blau: null; hellblau: klein; weiß-gelb: mittel; rot: hoch.

## Literatur

- [1] P. Kurzweil, A. Hildebrand, A. Riedmayr, Identitätsprüfung und VOC-Analyse: Gerüchen und Schadensfällen auf der Spur, GIT Labor-Fachzeitschrift 5/2013, 310–312.
- [2] P. Kurzweil, A. Hildebrand, A. Riedmayr, Identitäts- und Aromaprüfung von Hopfen mit einem Ionenmobilitätsspektrometer, Nachrichten aus der Chemie 6/2013, 656–661.
- [3] M.J. Cohen, F.W. Karasek, Plasma chromatography: a new dimension for gas chromatography and mass spectrometry, J. Chromatogr. Sci. 8, 330–337 (1970).
- [4] D. De Keukeleire, Fundamentals of beer and hop chemistry, Quimica nova 23(2), 108–112 (2000).
- [5] Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Differenzierung und Klassifizierung des Welthopfensortiments mit Hilfe der niedermolekularen Polyphenole, Abschlussbericht, Sept. 2012.



Titelblatt der Nachrichten aus der Chemie vom Juni 2013



**Prof. Dr. Peter Kurzweil**  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik



**M.Eng. Andreas Hildebrand**  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik



**M.Eng. Anton Riedmayr**  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik



# Leistungsdaten und Alterungsverhalten elektrochemischer Speicher: Lithiumbatterien und Superkondensatoren

**Prof. Dr. Peter Kurzweil, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Frenzel,  
B.Eng. Matthias Weiß  
Labor für Elektrochemie**

Die Energiewende im 21. Jahrhundert erfordert neue Konzepte für leistungsfähige und effiziente Energiespeicher. Elektrochemische Kondensatoren (sogenannte Super- oder Doppelschichtkondensatoren) sind die derzeit einzige Technologie, die besonders schnelle Lade- und Entladevorgänge in nahezu unbegrenzter Zahl zulässt. Lithiumionenbatterien gelten als mittelfristige Lösung für Elektrofahrzeuge und werden auch im Formula-Student-Rennwagen der Hochschule eingesetzt. Unsere Untersuchungen verifizieren den Einfluss von Materialverbesserungen auf die Leistungsdaten elektrochemischer Speicher und klären die noch weitgehend unbekanntem chemisch-technologischen Prozesse auf, die zur schleichenden Alterung der Bauteile führen.

The 21st century energy change requires novel concepts of powerful and efficient energy storage devices. Electrochemical capacitors, so-called supercapacitors or double-layer capacitors, represent the currently unique technology that allows a nearby unlimited number of extraordinarily rapid charge and discharge processes. Lithium-ion batteries are generally considered as a mid-term solution for electric vehicles, and are employed for the university's own Formula Student racing-car. Our investigations try to verify the impact of improved materials on the performance data of electrochemical stores, and clarify the yet largely unknown chemical and technological processes that cause the gradual aging of the devices.

## Superkondensatoren

Die elektrolytische Doppelschicht an der Phasengrenzfläche zwischen einem Elektronenleiter (Elektrode) und einem flüssigen Ionenleiter (Elektrolyt) lässt sich in einem äußeren Stromkreis aufladen und zur Energiespeicherung nutzen. Im Volumen eines Trinkglases bündelt ein solcher

Hochleistungsspeicher bis zu 2000 Farad Kapazität – ein Millionenfaches herkömmlicher Kondensatoren [1,2]. Kurzzeitig können mehrere hundert Ampere und Pulsleistungen im Kilowattbereich über die Kontaktbleche fließen. Stand der Technik sind mit Aktivkohle beschichtete Aluminiumelektroden in organischen Elektrolyten mit einer spezifischen Energie von 4 bis 9 Wh/kg und spezifischen Leistungen von 1 bis 50 kW/kg. Superkondensatoren werden kommerziell in Pufferspeichern und Sicherheitseinrichtungen eingesetzt und für Hybridfahrzeuge und Windkraftanlagen erprobt.

Alterungsstudien an Superkondensatoren in der Literatur beschränken sich auf die zeitliche Veränderung der elektrischen Leistungsdaten und erfassen weder reaktionskinetische Parameter noch lange Zeiträume. Für die chemisch-physikalischen Prozesse im Inneren der Bauteile interessieren sich Hersteller und Anwender daher gleichermaßen. Unsere Untersuchungen an kommerziellen Bauteilen und Prototypen zeigen die prinzipielle Sicherheit von Superkondensatoren unter Übertemperatur und Überspannung, aber auch konstruktive und materialseitige Schwachpunkte auf, die Anlass zu künftigen Verbesserungen geben [3,4].

Weltweite Anstrengungen nach preiswerten Kohlenstoffmaterialien mit immer größerer spezifischer Oberfläche haben die Langzeitbeständigkeit der Bauteile nicht adäquat gesteigert. Kommerziell verfügbare Doppelschichtkondensatoren altern schleichend durch Kapazitätsverlust und Widerstandszunahme (Abbildung 1 und 2). Ursächlich ist die Degradation des polymergebundenen Verbunds aus porösen Kohlenstoffpartikeln auf dem metallischen Stromkollektor sowie die Zersetzung des Elektrolytsystems durch erhöhte Temperaturen und Spannungen.

Im Ausfalltest bei 120 °C tritt eine Schwellung des Kondensatorgehäuses und ein allmählicher Verlust von Elektrolyt durch das Sicherheitsventil auf. Dermaßen geschädigte Kondensatoren arbeiten dennoch mehrere

hundert Stunden weiter, bis sie durch Anstieg des Innenwiderstands ausfallen. Eine besonders schnelle Alterung konnten wir bei Aerogel-Materialien feststellen. Superkondensatoren im weiteren Sinn sind konventionelle Metallfilm-Typen mit konstruktiven Veränderungen, die für den Zwischenkreis von Antriebssystemen bestimmt sind. Der Test eines 600-V-Bauteils ist in Abbildung 3 gezeigt.

### Alterungsstudien

Die Alterung von Superkondensatoren mit zunehmender Betriebszeit konnten wir durch ein elektrokinetisches Modell mit zwei Zeitkonstanten begründen [1]. Die Kapazität  $C$  nimmt in den ersten Monaten eines Pulsdauertests exponentiell ab und folgt dann einem linearen Abfall.

$$C(t) = C_0 \cdot (A_1 e^{-\lambda t} - A_2 t + A_\infty)$$

Der Anstieg des Innenwiderstands beendet die Betriebslebensdauer maßgeblich bei den meisten Fabrikaten.

$$R(t) = R_0 \cdot (B \cdot e^{\beta t}) \approx R_0 \cdot (B_1 t + B_2)$$

Auf Basis von Dauerexperimenten können wir die Lebensdauer von Superkondensatoren mit etwa 10 Jahren angeben. Als Kriterium für die voraussichtliche Betriebslebensdauer schlagen wir den Zeitraum vor, bis die durch Impedanzspektroskopie ermittelte Zeitkonstante  $R(1 \text{ kHz}) \cdot C(0,1 \text{ Hz})$ , bezogen auf das fabriekneue Bauteil, ihr Maximum erreicht [5].

In gealterten Bauteilen treten parasitäre Ströme auf, d. h., die gespeicherte Ladung kann nicht vollständig wieder entnommen werden und ungenutzte Restladungen müssen durch den erneuten Ladezyklus neutralisiert werden.

### Alterungsvorgänge

Die Mechanismen, die zur langsamen Zerstörung von Doppelschichtkondensatoren im Normalbetrieb und bei unerlaubten Betriebsbedingungen führen, sind nur ansatzweise bekannt. Mit spektroskopischen Methoden konnten wir in früheren Arbeiten eine Reihe erstaunlicher Degradationsprodukte und Alterungsreaktionen von Aktivkohlelektroden aufklären. In Standardelektrolyten wie Tetraethylammonium-tetrafluoroborat in Acetonitril bilden sich Amide, Carbonsäuren, heterozyklische Verbindungen, Polyole und gasförmige Zersetzungsprodukte (Ethen, Wasserstoff, Fluorwasserstoff).

Bei höheren Spannungen treten fluorierte Carbonsäuren auf. Gelbbraune Polymerisationsprodukte konnten wir in Modellversuchen durch elektrolytische Zersetzung der Elektrolytlösung reproduzieren. Mit Fluorpolymeren gebundene Aktivkohlelektroden werden langfristig durch anodische Oxidation (Pluspol) und Defluorierung des PTFE-Binders (Minuspol) zerstört. Spuren von Wasser im Elektrolyten verursachen eine Oxidation der Kohlenstoffoberfläche; die dadurch gebildeten Carboxylgruppen und chinoiden Strukturen katalysieren die weitere Zersetzung des organischen Elektrolyten. Durch modifizierte

Elektrolytsysteme wollen wir die nanoporöse Elektrodenstruktur effektiver nutzen und durch Additive die Lebensdauer verlängern.

### Lithiumionen-Batterien

Die Verwendung von Lithiumbatterien ist zentraler Bestandteil des Formula-Student-Rennwagens der Hochschule [5,6]. Die Batterie muss hohe spezifische Energie bei Entladeströmen über 100 A aufweisen und gleichzeitig kompakt und sicher sein. Brennbarkeit und Stabilität von Lithiumbatterien hängen von den Elektrodenmaterialien und der Elektrolytlösung ab. Die chemische Zusammensetzung wurde im Chemielabor in Abhängigkeit von sicherheitsrelevanten Umweltparametern analysiert (Abb. 4). Bruch- und Nageltests zeigen die Risiken geladener Batterien in Unfallsituationen auf.

Ein Batterie-Management-System überwacht Zellspannungen und Temperaturen im Fahrzeug. Messungen im Labor zeigen die Leistungsdaten der Batterie unter außergewöhnlichen Betriebszuständen, die im Fahrbetrieb nicht auftreten dürfen. Die Tiefentladung unter hohen Strömen zeigt die untere Entladespannung von 2,2 V, unterhalb der die Zelle zerstört wird. Unter diesen Bedingungen ist eine Kapazität (elektrische Ladung) von 13,3 Ah über 4 min, eine Energie von 33,3 Wh und eine mittlere Leistung von 0,5 kW verfügbar (Abbildung 5).



Abbildung 1: Kommerzieller Superkondensator nach einem Ausfalltest unter thermischer Überlast

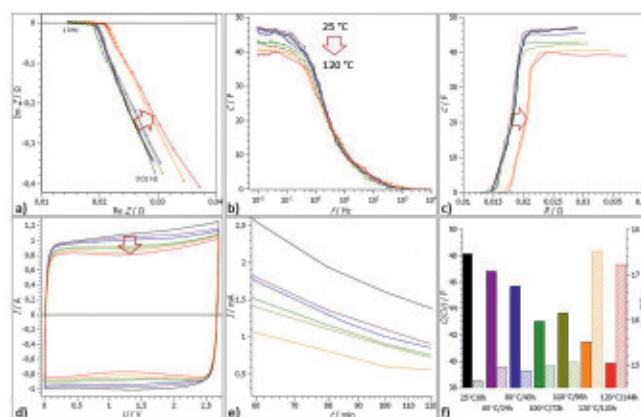


Abbildung 2: Nesscap 50 F/2.7 V unter thermischer Belastung bei 60 °C bis 120 °C. (a) Ortskurve der Impedanz, (b) Frequenzgang der Kapazität, (c) Kapazität-Widerstand-Kurve, (d) Lade-Entlade-Kurve, (e) Leckstrom, (f) thermische Alterung von Kapazität und ESR (1 kHz).

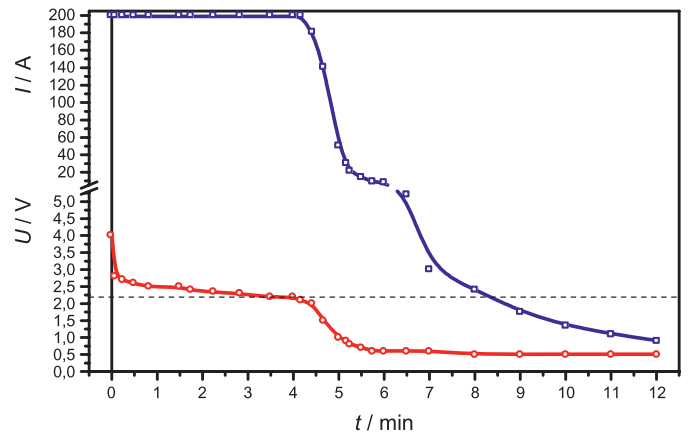


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung einer 3.7 V/17 Ah-Lithium-Ionen-Batterie (KOKAM SLPB78205130H) unter Tiefentladung bei 200 A. Mittlere Leistung 0,509 kW, entladene Energie 33,3 Wh.



Abbildung 3: Langzeitprüfung eines neuartigen 600-V-Metallfilmkondensators im computergesteuerten Zyklentest

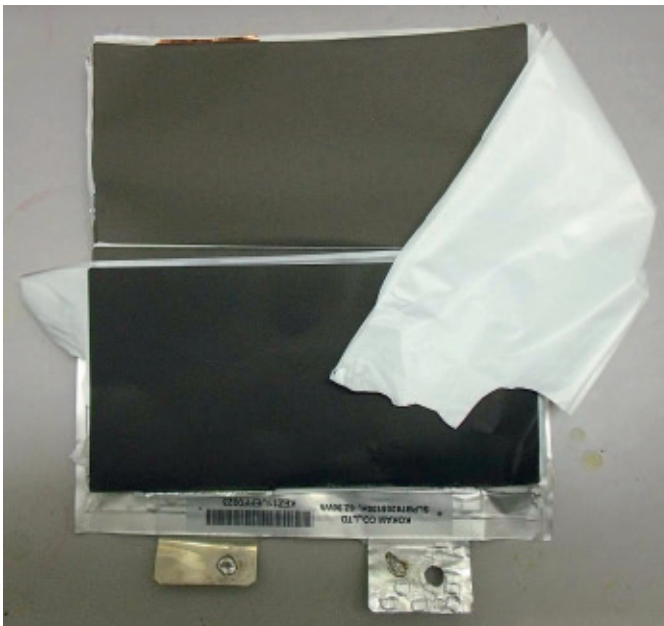
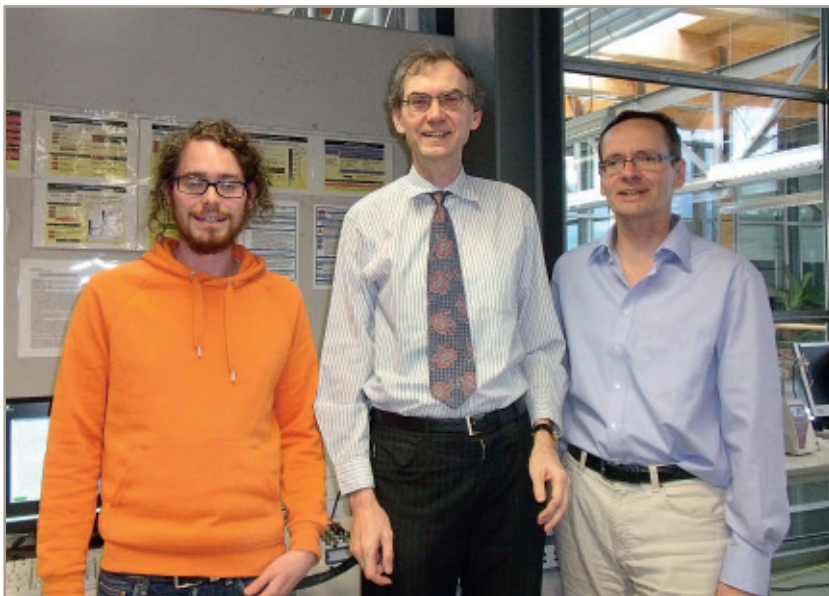


Abbildung 4: Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie aus Grafitanode mit Kupfer-Stromableiter (negative Elektrode), Metalloxidkathode (positive Elektrode,  $\text{LiNi}_{0.4}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$ ) und mit Polyethylenoxid und Leitsalz getränktem Polyolefinseparator.

---

## Literatur

- [1] P. Kurzweil, Electrochemical Double-Layer Capacitors. In: J. Garche, C. Dyer, P. Moseley, Z. Ogumi, D. Rand, B. Scrosati (Eds.): Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, Vol. 1. Amsterdam: Elsevier; 2009. pp. 607–648.
- [2] S. Trasatti, P. Kurzweil, Electrochemical supercapacitors as versatile energy stores, Platinum Metals Review 38 (1994) 46–56.
- [3] P. Kurzweil, M. Chwistek, Electrochemical stability of organic electrolytes in supercapacitors: Spectroscopy and gas analysis of decomposition products. Journal of Power Sources 176 (2008) 555–567.
- [4] P. Kurzweil, H.-J. Fische, A new monitoring method for electrochemical aggregates by impedance spectroscopy, Journal of Power Sources 127 (2004) 331–340.
- [5] B. Frenzel, P. Kurzweil, H. Rönnebeck, Electromobility concept for racing cars based on lithium-ion batteries and supercapacitors, Journal of Power Sources 196 (2011) 5376-5464.
- [6] P. Kurzweil, K. Brandt, Secondary batteries: lithium rechargeable systems. In: J. Garche et al. (eds.), Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, Vol 5. Amsterdam: Elsevier; 2009, pp. 1–26.



**B.Eng. Matthias Weiß, Prof. Dr. Peter Kurzweil, Prof. Dr.-Ing. Bernhard Frenzel**  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik



# Schallanalysen für Unfallgutachten

**Prof. Dr. Matthias Mändl und  
Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Schafberger**

## Abstract

Die akustische Wahrnehmbarkeit von Verkehrsunfällen gewinnt neben der taktilen Wahrnehmung im Zuge der wachsenden Schadenshöhe schon bei Kleinkollisionen zunehmend an Bedeutung, wenn es um die Klärung von Schuld- und Haftungsfragen vor Gericht geht. Häufig handelt es sich dabei um den mit Strafverfahren bewehrten Vorwurf der Fahrerflucht, wenn einem Unfallverursacher nach dem Entfernen vom Unfallort nachgewiesen werden kann, dass das Unfallgeschehen wahrnehmbar war. Das Labor für Akustik und Schallanalyse (LAuS) der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden forscht auf diesem Gebiet seit vielen Jahren in Kooperation mit den Unfallgutachtern Prof. Dr. Hans Bäumler von der Hochschule München und Dipl.-Ing. Günter Loreth. Anhand von zwei Fallbeispielen werden im Folgenden Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten vorgestellt. In beiden Fällen wurde die konkrete Unfallsituation möglichst genau, z. T. am Originalschauplatz und mit Originalfahrzeugen, nachgestellt.

## Abstract

The ability to perceive traffic accidents acoustically, as well as tactile perception, is becoming increasingly important as the cost of damages rises, even in the case of minor collisions, when the question of guilt and liability has to be decided by a court. In trials it often concerns the prosecuted allegation of a hit and run offence, when it is possible to prove that the accident was still noticeable when the person who caused the accident left the scene (of the incident).

The Laboratory for Acoustic and Sound Analysis (LAuS) at the East Bavarian Technical University Amberg-Weiden (OTH) has been conducting research in this field for many years in cooperation with the accident assessors Prof.

Dr. Hans Bäumler from the University of Applied Sciences in Munich and Dipl. Ing. Günter Loreth. The results of this research will be presented with the following two case studies. In both cases a specific accident situation is reconstructed as precisely as possible partly at the original site and with the original vehicles.

## Akustische Wahrnehmbarkeit

Die Wahrnehmbarkeit von Geräuschen, die durch Fremdgeräusche verdeckt oder maskiert werden, wird in der Psychoakustik durch sog. Mithörschwellen festgelegt [2]. Sie werden durch Hördarbietungen mit Versuchspersonen im Audiolabor ermittelt und geben den Schalldruckpegel an, ab dem ein Geräusch bei Anwesenheit eines Störgeräusches mit einem bestimmten Pegel gerade noch wahrnehmbar ist. Mithörschwellen sind frequenz-, dauer- und pegelabhängig, liegen aber immer, selbst bei Verdeckung mit frequenzgleichen Tönen, deutlich (mindestens 3 dB) unter dem Pegel des Störgeräusches. Für impulsartige breitbandige Geräusche mit einer Dauer von 300 ms, ähnlich wie sie in Fall 1 vorliegen, findet man in der Literatur Mithörschwellen von knapp 50 dB bei einem Maskierungspegel von 60 dB [2]. D. h., kurze Schallereignisse sind im Laborversuch bereits wahrnehmbar, wenn sie 10 dB leiser als der Störschall sind. Da es sich bei realen Hörvorgängen aber nicht um Testpersonen unter Laborbedingungen handelt, geht man in der Unfallforschung davon aus, dass ein Geräusch sicher wahrnehmbar ist, wenn es den vorhandenen A-bewerteten Gesamtschallpegel um wenigstens 3 dB erhöht [3]. Geräusche mit schmalbandigen (tonhaltigen) Frequenzanteilen – wie die Töne einer Warnsignaleinrichtung in Fall 2 – gelten außerdem bereits dann als wahrnehmbar, wenn die schmalbandigen Anteile im Frequenzspektrum deutlich erkennbar sind [5].

## Fall 1: Außenspiegelkollision

In diesem Fall sollte die akustische Wahrnehmbarkeit von Kollisionsgeräuschen bei einer Spiegelkollision beurteilt werden. Bei der Simulation sollte ein reales

Unfallgeschehen zwischen einem langsam fahrenden Luxus-Klasse-Pkw und einem in gleicher Fahrtrichtung parkenden Mittelklassefahrzeug nachgestellt werden (Abb. 1). Dazu fanden auf einem Testgelände insgesamt vier Messfahrten mit teilweise unterschiedlichen Anprallgeschwindigkeiten statt.

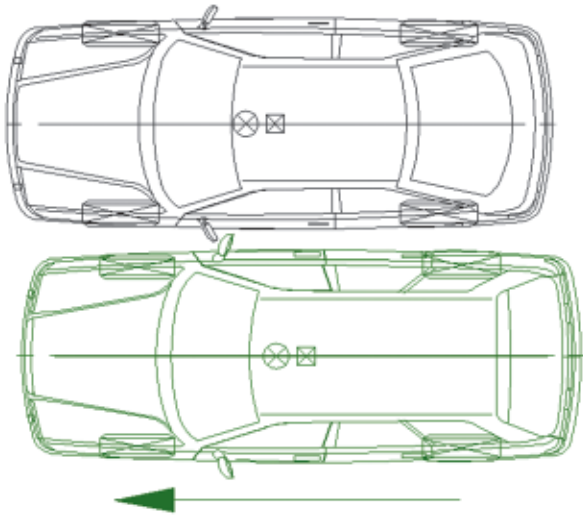


Abbildung 1: Simulierte Unfallsituation (aus [1])

### Messablauf

Die Messungen fanden zur Berücksichtigung der akustischen Umgebung (Geräuschgenerierung, Schallabsorption und -reflexion, Hintergrundschaall) mit den Originalfahrzeugen statt. Im Innenraum des stoßenden Fahrzeugs wurden 3 Messmikrofone an den Kopfstützen sowie in unmittelbarer Ohrnähe des Fahrzeuglenkers angebracht. Auf dem Beifahrersitz befand sich ein Oberkörper torso mit binauralem Kunstkopfmesssystem (Abbildung 2). Sämtliche Mikrofone wurden unmittelbar vor den Versuchsfahrten kalibriert. Die Messungen wurden bei laufendem Radio, das vorab mit klassischer Musik auf „Zimmerlautstärke“ (ca. 60 dB(A)) eingepegelt wurde, durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass Fenster, Türen und Schiebedach dicht verschlossen waren.



Abbildung 2: Einbautagen der Messmittel im Fahrzeug

### Ergebnisse

Pegelverlauf:

Bei den zur Auswertung herangezogenen Messwerten ( $L_{AF}$ ) handelt es sich um Schalldruckpegel mit der Frequenzbewertung A und der Zeitbewertung F. Die Frequenzbewertung A berücksichtigt dabei die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Hörempfindens, die Zeitbewertung F („Fast“) dessen zeitliches Verhalten (125 ms Anstiegszeit), was gerade bei kurzen Schallereignissen entscheidend ist. Die Dauer der Kollisionsgeräusche wurde den unbewerteten Pegel-Zeitverläufen als Halbwertsbreite entnommen (rote Kurve in Abbildung 3), die in Tabelle 1 aufgeführten Spitzen- und Hintergrundpegel den bewerteten Signalen (schwarze Kurve in Abbildung 3).

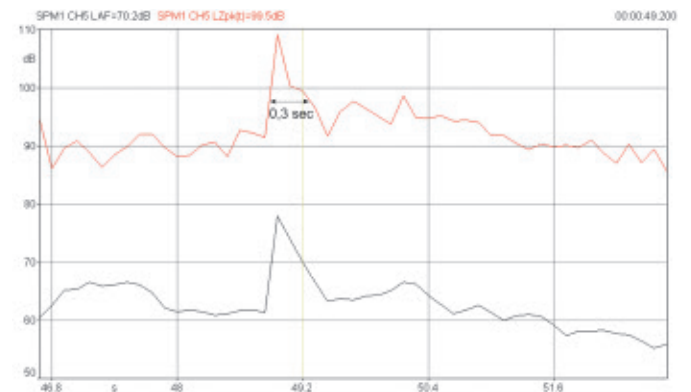


Abbildung 3: Bewerteter (unten) und unbewerteter (oben) Pegel-Zeitverlauf des Kollisionsgeräusches aus dem Mikrofon Ohr bei Fahrt 4 als Beispiel für die Auswertung

	Fahrt 1	Fahrt 2	Fahrt 3	Fahrt 4
im Maximum:				
$L_{AF}$ Mikrofon 1 Kanal 1 links	73,9	73,1	76,6	76,8
$L_{AF}$ Mikrofon 2 Kanal 2 rechts	70,8	72,3	75,8	76,5
$L_{AF}$ Kunstkopf Kanal 3 links	74,1	77,1	79,3	80,4
$L_{AF}$ Kunstkopf Kanal 4 rechts	77,1	81,1	83,4	84,6
$L_{AF}$ Mikrofon Kanal 5 Ohr	73,9	74,6	77,7	78
ca. 1s vor der Kollision:				
$L_{AF}$ Mikrofon Kanal 5 Ohr	63,2	58,5	58,3	61,5
$\Delta L_{AF}$ Mikrofon Kanal 5 Ohr	10,7	16,1	19,4	16,5
Dauer (Halbwertsbreite) in s	0,2	0,75	0,34	0,3

Tabelle 1: Auswertung der Spitzenpegel während der Kollision, alle Pegelangaben in dB(A)

Bei allen vier Fahrten wurde am Mikrofon Kanal 5 Ohr eine schlagartige Erhöhung des Schalldruckpegels ( $\Delta L_{AF}$ ) um wenigstens 10 dB(A) mit langsamerem Abklingen festgestellt (Abb. 3 und 6, Tab. 1). Das Kollisionsgeräusch ist damit bei allen Fahrten für einen Normalhörenden deutlich akustisch wahrnehmbar, weil die Pegelerhöhung durch den Aufprall deutlich über 3 dB(A) liegt. Auch bei erheblich lautem Hintergrundgeräusch, z. B. durch eine lauter

eingestellte Audioanlage, wäre das Geräusch noch wahrnehmbar. Dies wird durch den Spektralverlauf des Geräusches unterstützt: Wie im nächsten Abschnitt erläutert werden wird, handelt es sich um ein impulsartiges breitbandiges Schallereignis mit tonalen Anteilen im unteren Frequenzbereich. Ein Geräusch dieser Art kann durch einen stark tonalen Maskierer (z. B. klassische Musik) nur schwer verdeckt werden. Das normale Fahrgeräusch im Innenraum des verwendeten Pkws bei den infrage kommenden Geschwindigkeiten ist dazu ebenfalls wesentlich zu leise. Die Auswertung der anderen Messquellen (Kunstkopf und Kopfstützenmikrofone) ergab vergleichbare Ergebnisse.

### Spektralverlauf

Die Abbildung 4 zeigt exemplarisch das terzweise Frequenzspektrum der Kollisionsgeräusche beim Spitzenpegel der Kollision (blaue Balken) und ca. 1 s vorher (schwarze Linie) zum Vergleich bei den vier Versuchsfahrten. Man erkennt bei allen Kollisionen einen deutlichen, breitbandigen Pegelanstieg über fast den ganzen hörbaren Spektralbereich. Mit Ausnahme von Fahrt 3 (Abbildung 5) liegt der Schwerpunkt des Anstiegs allerdings im tieffrequenten Bereich von 100 bis 200 Hz. Bei Fahrt 3 liegen die tonalen Anteile im mittleren Frequenzbereich bei 500 Hz. Somit sind die Kollisionsgeräusche im Innenraum des fahrenden Fahrzeuges als eher dumpf zu bezeichnen. Die typischen hochfrequenten Anteile, die z. B. von brechendem Kunststoff verursacht werden, fehlen hier. Es besteht damit eine gewisse Verwechslungsgefahr mit anderen impulsartigen Geräuschen, die beim normalen Fahrbetrieb auftreten können [1], sodass eine eindeutige Zuordnung zu einem Unfallgeschehen zweifelhaft ist. Allerdings gelang es bei den vier Versuchsfahrten nicht, das genaue Schadensbild des realen Unfalls mit Kunststoffbruch und nach vorne geklapptem Spiegel des parkenden Fahrzeuges exakt zu rekonstruieren.

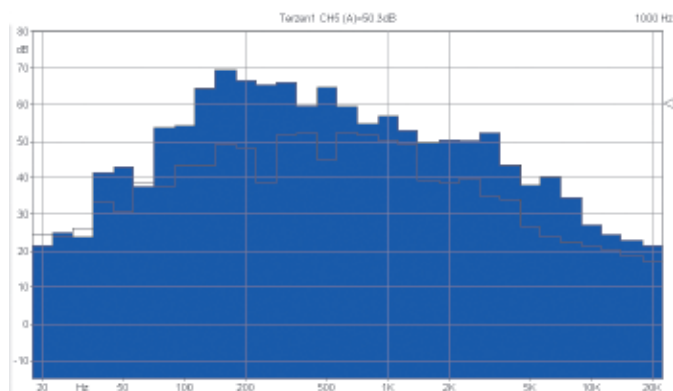


Abbildung 4: Frequenzspektrum beim Spitzenpegel (blau) des Kollisionsgeräusches und des Hintergrundpegels ca. 1 s vor der Kollision (schwarz) bei Fahrt 1

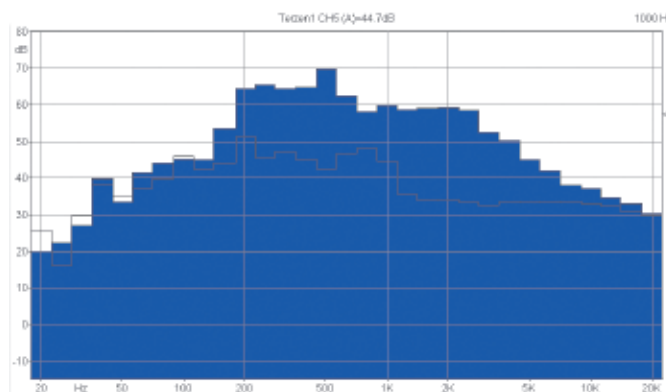


Abbildung 5: Frequenzspektrum beim Spitzenpegel (blau) des Kollisionsgeräusches und des Hintergrundpegels ca. 1 s vor der Kollision (schwarz) bei Fahrt 3

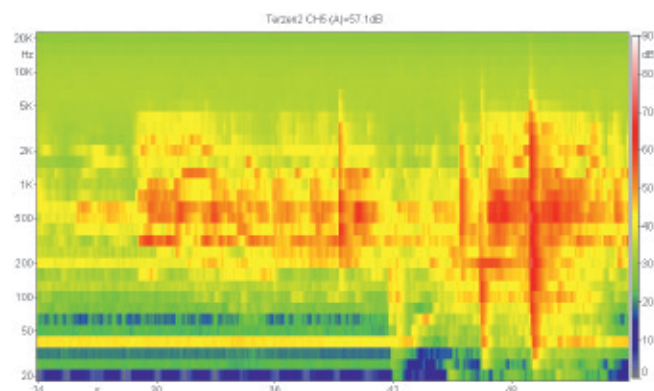


Abbildung 6: Sonogramm bei Fahrt 4, das Kollisionsgeräusch ist etwa bei Sekunde 49 zu erkennen

### Fazit

Die bei den Versuchsfahrten registrierten Kollisionsgeräusche sind im Innenraum des Originalfahrzeuges deutlich akustisch wahrnehmbar. Aufgrund des eher dumpfen spektralen Charakters der Geräusche sind sie jedoch nicht eindeutig einem Kollisionsgeschehen zuordenbar.

## Fall 2: Kreuzungskollision mit einem Notarztfahrzeug Referenzmessung

In diesem Fall sollte die akustische Wahrnehmbarkeit einer Warnsignaleinrichtung („Martinhorn“) bei einer Kreuzungskollision zwischen einem abbiegendem Pkw und einem Notarztfahrzeug untersucht werden. Für das Unfallgutachten war es hierbei entscheidend, den zeitlichen Abstand zwischen der sicheren akustischen Wahrnehmung des Warnsignals und der Kollision festzustellen. Die akustische Lokalisierbarkeit der Signaleinrichtung während des Unfallgeschehens war nicht Gegenstand der Untersuchungen.

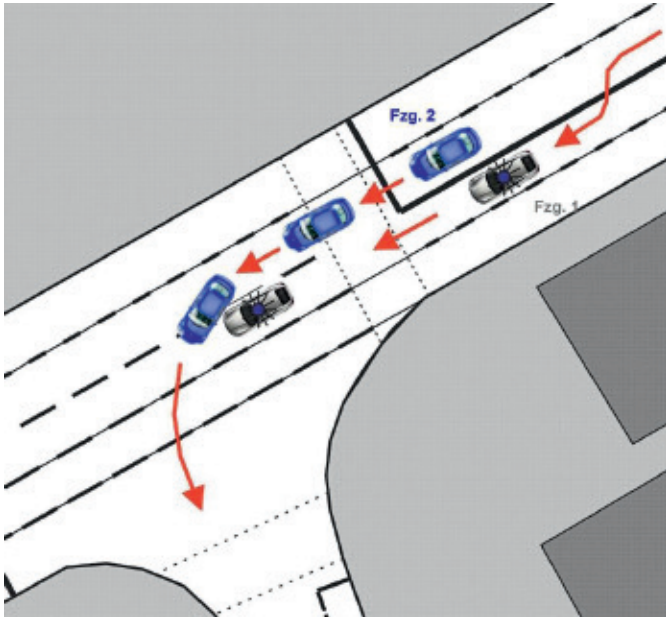


Abbildung 7: Unfallskizze Kreuzungskollision

### Messablauf

Bei der Unfallsimulation fuhr das bevorrechtigte Fahrzeug mit eingeschalteter Signaleinrichtung (im Folgenden als Fzg. 1 bezeichnet, Abbildung 7) mit 60 km/h von hinten um eine Fahrspur nach links versetzt (gesehen in Fahrtrichtung) auf den Unfallgegner (Limousine der gehobenen Mittelklasse, im Folgenden als Fzg. 2 bezeichnet) zu. Bei einem Abstand von gerundet 74 m begann Fzg. 2 mit geringer Geschwindigkeit in die Kreuzung einzufahren. Die Messungen fanden zur Berücksichtigung der akustischen Umgebung (Schallabsorption und -reflexion, Fremdschall) am Unfallort um eine Fahrspur nach rechts versetzt (gesehen in Fahrtrichtung) mit dem Originalfahrzeug 1 und einem baugleichen Fzg. 2 statt. Auf das Abbiegen Fzg. 2 wurde zur Vermeidung einer Kollision verzichtet. Der Kreuzungsbereich wurde für die Messfahrten von der Polizei abgesperrt. Der Messaufbau im Innenraum von Fzg. 2 war mit Ausnahme des Ohrmikrofons identisch mit Fall 1. Die Messungen wurden bei laufendem Radio, das vorab auf „Zimmerlautstärke“ (ca. 55 dB(A)) eingepegelt wurde, durchgeführt. Die akustischen Messungen wurden mithilfe eines Startschusses mit den Weg-Zeitmessungen des Unfallgutachters synchronisiert.

Die akustische Signaleinrichtung von Fzg. 1 entsprach den in DIN 14610 „Akustische Warneinrichtungen für bevorrechtigte Wegebenutzer“ vorgeschriebenen akustischen Anforderungen in Hinsicht auf Gesamtschallpegel ( $> 110$  dB(A)), Klangfolge (2 Tonzyklen in 3 s), Frequenzgang (Frequenzverhältnis der Wechseltöne 1:1,333) und Obertonspektrum (mindestens ein Oberton zwischen 1000 Hz und 4000 Hz mit unbewertetem Schallpegel  $> 104$  dB). Dies wurde unmittelbar nach der Unfallsimulation mit einer in Anlehnung an die in dieser Norm enthaltenen Messvorschriften durchgeführten Messung nachgewiesen. Abb. 8 zeigt das Frequenzspektrum der beiden Wechseltöne (tiefer Ton gelb, hoher Ton rot) des Martinshorns mit den Grundtönen bei 450 bzw. 600 Hz. Deutlich ausgeprägt sind die harmonischen Obertöne bei Vielfachen der Grundfrequenzen, die die Klangfarbe der Signaleinrichtung ausmachen.

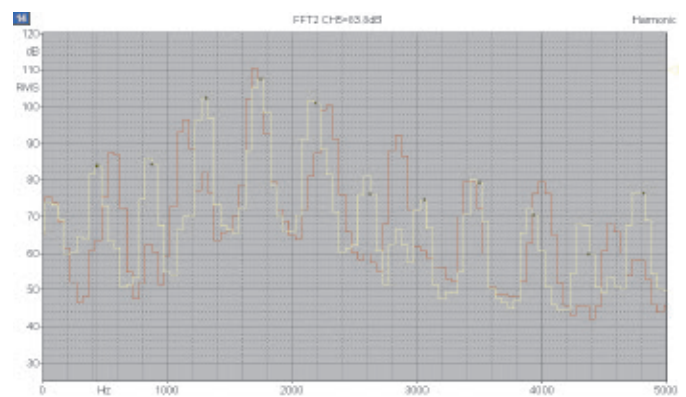


Abbildung 8: Frequenzspektrum der beiden Wechseltöne der Signaleinrichtung

### Ergebnisse

Zur Auswertung kam die Messfahrt mit eingeschaltetem Autoradio in Fahrzeug 2. Abbildung 9 zeigt den Pegel-Zeitverlauf (Frequenzbewertung A, Zeitbewertung Fast) des linken und rechten Kanals des Kunstkopfes während der Annäherung von Fzg. 1, auf gleicher Höhe mit Fzg. 2 und nach dem Passieren der Fahrzeuge. Bei Sekunde 16 befindet sich die Signaleinrichtung von Fzg. 1 etwa auf Höhe der Mikrofone in Fzg. 2 („Kollision“). Sechs Sekunden vor der Kollision ist ein deutlicher Pegelanstieg auf beiden Kanälen durch die sich nähernde Signaleinrichtung festzustellen. Spätestens ab diesem Zeitpunkt ist das Warnsignal wahrnehmbar. Dies wird durch das Frequenzspektrum des linken Kunstkopfkanaals zu diesem Zeitpunkt (blau, Abbildung 10) verdeutlicht. Mindestens 3 Obertöne der Signaleinrichtung treten deutlich aus dem Hintergrundgeräusch (Radio und Motor) hervor. (Zum Vergleich sind in Gelb und Rot die Signalanlagenspektren der beiden Wechseltöne zum simulierten Kollisionszeitpunkt dargestellt.)



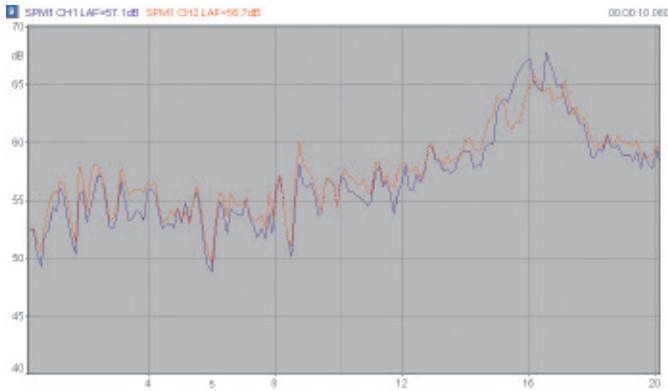


Abbildung 9: Pegel-Zeitverlauf am Kunstkopf in Fzg. 2 während der Messfahrt

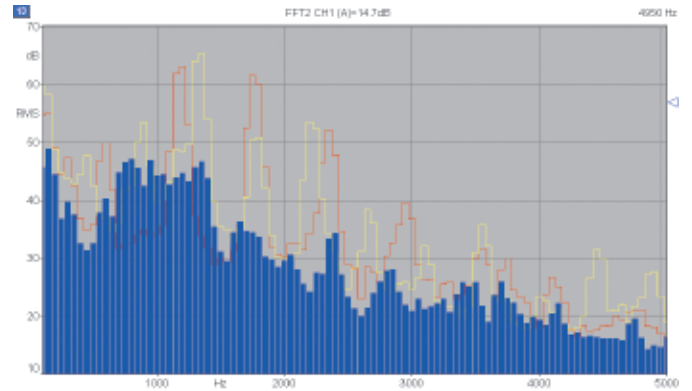


Abbildung 12: Frequenzspektrum linker Kanal Kunstkopf 8 s vor der Kollision (blau)

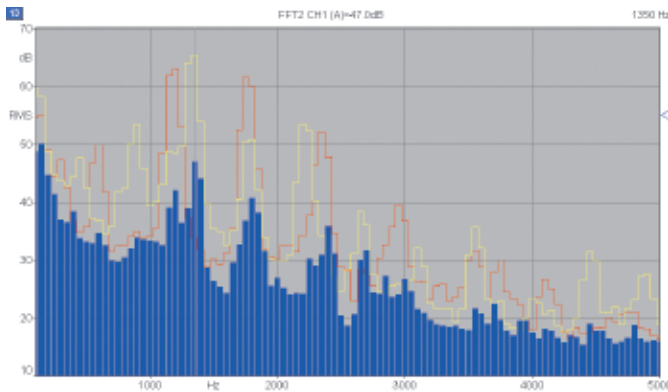


Abbildung 10: Frequenzspektrum linker Kanal Kunstkopf 6 s vor der Kollision (blau)

Die Abbildung 11 – 12 zeigen Spektren 7 s und 8 s vor der Kollision. Hier treten zwar vereinzelt auch Obertöne der Signaleinrichtung hervor, allerdings nicht so deutlich, sodass bei einem anderen, ungünstigeren Maskierungsspektrum des Autoradios (z. B. andere Musik) nicht mit Sicherheit von einer Wahrnehmbarkeit ausgegangen werden kann.

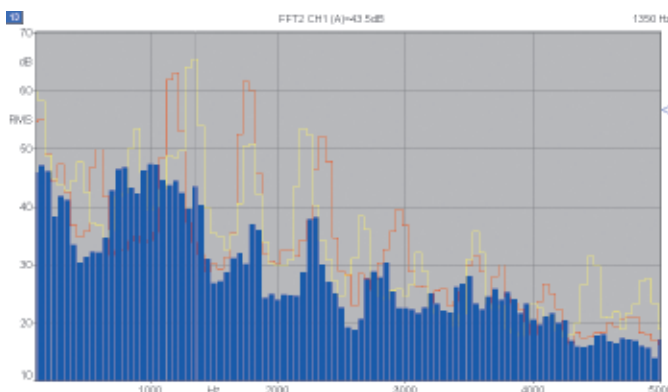


Abbildung 11: Frequenzspektrum linker Kanal Kunstkopf 7 s vor der Kollision (blau)

Die hier dargestellten Spektren stellen jeweils nur Momentaufnahmen des akustischen Geschehens dar. Beim kontinuierlichen Abspielen der Aufnahme sind die harmonischen Obertöne ab 6 s vor der Kollision dauerhaft auch in der Klangfolge (Frequenzwechsel zwischen hohem und tiefem Ton) deutlich wahrnehmbar. Früh genug, um durch eine entsprechende Reaktion eine Kollision zu vermeiden.

Die Auswertung der Messergebnisse von den Mikrofonen an den Fahrerkopfstützen führen zu vergleichbaren Ergebnissen, wobei beim Abhören der Aufnahmen der Eindruck einer noch besseren Wahrnehmbarkeit der Signaleinrichtung entsteht. Dies liegt weniger an der größeren Nähe des Fahrersitzes zur Fahrspur des Unfallgegners als an der kugelförmigen Richtcharakteristik der hier verwendeten Messmikrofone. Die Kunstkopfmessungen auf dem Beifahrersitz sind hier sicher realistischer.

Ein lauter eingestelltes Radio mit einem anderen Frequenzspektrum der Darbietung kann zu einer gegenüber der hier ausgewerteten Simulationsfahrt verschlechterten und damit späteren Wahrnehmbarkeit der Signaleinrichtung führen.

Die Versetzung der Unfallsimulation gegenüber dem realen Unfall um eine Fahrspur nach rechts hat keine Auswirkungen auf die Ergebnisse.

## Zusammenfassung und Ausblick

Schallanalysen stellen in bestimmten Fällen ein wertvolles Instrument für die Wahrheitsfindung nach Verkehrsunfällen dar und können bei Unfallrekonstruktionen als wichtiges, manchmal sogar als einziges Beweismittel dienen. Von entscheidender Bedeutung ist es hierbei, möglichst viele der akustischen Parameter, welche die Geräuschwahrnehmung beeinflussen, zu bestimmen und mit den Wahrnehmbarkeitsschwellen der Psychoakustik zu vergleichen. Insbesondere Letztere sollten allerdings speziell für Kleinkollisionsgeräusche genauer untersucht werden, was

Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten am  $L_{\text{Aus}}$  ist. Bei den Untersuchungen zu Fall 2 hat sich als weitere Problematik die Frage der akustischen Ortbarkeit von Warnsignalen bevorzogter Wegebenutzer in modernen, gut schallgedämmten Fahrzeuginnenräumen gestellt. Hierzu wird in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule für öffentliche Verwaltung und Rechtspflege in Bayern (FHVR), FB Polizei in Sulzbach-Rosenberg im Sommersemester 2014 ein Forschungsprojekt zur Untersuchung der akustischen Lokalisierbarkeit von Warnsignalen mithilfe von Hörversuchen gestartet.

---

### Literatur:

- [1] Gotthard, Lang: „Bemerkbarkeit: Die akustische Wahrnehmung von Kleinkollisionen“, Diplomarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, 2010
- [2] Fastl, Zwicker: „Psychoacoustics: Facts and models“, Springer 2007
- [3] Burg, Moser (Hrsg.) „Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion“: Gallus, Gut, Wolfer: „Bemerkbarkeit von Kleinkollisionen“, Springer 2007
- [4] DIN 14610: „Akustische Warneinrichtungen für bevorrechtigte Wegebenutzer“
- [5] Hoger: „Dynamische Wahrnehmbarkeitsanalyse eines Martinshorns im Frequenzspektrum“, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Sep. 2010
- [6] Golder: „Unfälle mit Fahrzeugen mit Sonderrechten“, VRR 9/2008

### Kontakt:

Prof. Dr. Matthias Mändl  
Ostbayerische Technische Hochschule  
Amberg-Weiden (OTH)  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg

Tel.: +49-9621-482164  
mobil: +49-160-5739025  
Fax: +49-9621-482145  
Mail: [m.maendl@oth-aw.de](mailto:m.maendl@oth-aw.de)  
Web: [www.oth-aw.de/maendl](http://www.oth-aw.de/maendl)



Prof. Dr. Matthias Mändl  
Ostbayerische Technische Hochschule



Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Schafberger

# Effektivität und Effizienz im Rechercheprozess

## Herausforderungen bei der technischen Recherche im Innovationsprozess

**Prof. Dr. Ursula Versch**

### Abstract

In der Lehre ist es mir immer ein Anliegen, den Studierenden ein Rezept, eine Methode an die Hand zu geben. Als Chemikerin spreche ich gern von Rezepten oder Rezepturen. Jede Recherche verläuft aber anders. Es gibt nicht die Methode, sondern eine Reihe von Möglichkeiten, eine Recherche aufzubauen und durchzuführen. Also kein Rezept, aber eine Zusammenstellung der Möglichkeiten als Unterstützung und Hilfsmittel.

Die Durchführung einer Recherche ist effektiv, wenn das Ziel, zum Beispiel neuheitsschädliches Material zu finden, erreicht ist. Dazu bedarf es gut ausgebildeter Rechercheure mit Erfahrung und ausreichend Hintergrundwissen im Informationsretrieval, in der Einschätzung einer Recherche und des Recherchevorgehens: Die richtigen Dinge tun. Eine Recherche kann effizient ausgeführt werden, ohne das Rechercheziel zu erreichen. Es werden professionelle Datenbanken ausgenutzt, ein ausgefeiltes Suchprofil erstellt, die Rechercheergebnisse liegen in einem vernünftigen Zeitrahmen vor usw. ohne, dass das Ziel der Recherche beachtet wurde: Die Dinge sind richtig getan worden, aber das Ziel wurde verfehlt. Ein Bild dazu: Im Tunnelbau bohrt sich die Baugruppe von zwei Seiten gleichzeitig durch den Berg, um sich in der Mitte zu treffen, um letztendlich aber festzustellen, dass sie sich um zwei Meter verfehlt haben.

Der Artikel setzt sich mit den Anforderungen bei den einzelnen Recherchearten – Effizienz – wie mit dem Wissen über Recherchestrategien, Datenbanken etc. – Effektivität – auseinander. Beides bestimmt den Rechercheprozess: Die richtigen Dinge richtig tun. Der Artikel erläutert den Rechercheprozess und seine Systematik innerhalb der einzelnen Recherchearten. Die Inhalte beschränken sich auf qualitative Patentanalysen. Auf quantitative Patentanalysen wird nicht eingegangen. Mit dem Begriff Patent oder Patentliteratur (PL) sind

Patentanmeldungen, -erteilungen sowie Gebrauchsmuster gemeint, mit Nichtpatentliteratur (NPL) Fachaufsätze, Konferenzberichte etc. Und es gilt: Patente wie Gebrauchsmuster liefern wertvolle Informationen zu den unterschiedlichsten technischen Fachgebieten. Rund 80 Prozent der weltweit verfügbaren technischen Informationen sind nur in der Patentliteratur enthalten.<sup>1</sup> „Immerhin werden etwa 85 bis 90 Prozent des technischen Fortschritts in der Patentliteratur publiziert. Dabei werden nur etwa 5 bis 10 Prozent des in der Patentliteratur veröffentlichten Wissens in der sonstigen Literatur wiedergegeben, und das erfolgt oft erst bis zu fünf Jahre nach der Anmeldung des entsprechenden Patents. Damit ist die Patentliteratur die wichtigste technische Informationsquelle überhaupt.“<sup>2</sup>

Die Tabellen im letzten Kapitel fassen alles zusammen, was mir dazu wichtig erscheint. Einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben sie nicht. Für Ergänzungen, Anregungen bin ich dankbar.

Mit der zitierten Literatur und diesem Artikel weise ich auf die Notwendigkeit der Systematisierung der Recherche hin und rege dazu an, sich immer wieder mit dieser Thematik auseinanderzusetzen. Damit wäre ich auch bei dem vielgeschundenen Schlagwort „Lebenslanges Lernen“, das vor allem für Rechercheure gilt. Die Handbücher von *Schmoch*<sup>3</sup> und *Wurzer*<sup>4</sup> führen gut in die Thematik ein. Das Buch *Patent Searching*<sup>5</sup> ist eine sehr gute Ergänzung. Artikel der Zeitschrift *World Patent Information* vertiefen einzelne Bereiche.

Der Aufsatz ist für Rechercheure mit ein- bis zweijähriger Erfahrung gedacht, die eine Übersicht über das Thema Recherche bekommen möchten, und für Rechercheure mit langjähriger Erfahrung als Anregung und zum Gedankenaustausch, da es auf diesem Gebiet wenig zusammenfassende Literatur gibt.

*Schlagwörter: Dokumentation, Patent, Recherche, Recherchearten, Recherchestrategie, Systematisierung*

## Abstract

Effectiveness and Efficiency in the Search Process  
Challenges of technical search in the process of innovation

When teaching I always aim to provide students with a recipe – a method. As a chemist I like speaking of recipes or formulas. Yet, every research is different. There is not one single method, but a number of options how to prepare and conduct search. Hence, no recipe, but a combination of possibilities as support and resources. Conducting search is effective when the goal – for example, finding novelty destroying documents – is reached. This requires well trained searchers with experience and sufficient background knowledge of information retrieval and with a deep understanding of the processes of and the approach to search: doing the right things. Search can be conducted efficiently without reaching the search objective. Professional data bases are consulted, a sophisticated search profile is created, search results are available within a reasonable timescale etc. without respecting the search objective: things were done right, yet the goal was not attained! To provide an image: two construction teams are digging their way through a mountain at the same time in order to construct a tunnel. The plan is to meet in the middle. In the end they realize that they missed one another by two meters.

This article deals with the demands of individual approaches to search – efficiency – as well as with the knowledge of search strategies, data bases etc. – effectiveness. Both determine the process of search: doing the right things right.

This article explains the process of search and its systematization within the individual kinds of search. The contents are restricted to qualitative analysis of patents. Quantitative patent analysis is not considered. The term “patent” or “patent literature” (PL) refers to patent applications, patents and utility models. The term “non-patent literature” (NPL) refers to scientific papers, conference reports etc. The following applies: patents as well as utility models provide valuable information on different technical subject matters. Around 80 % of technical information available world-wide is only contained in patent literature.<sup>1</sup> After all, 85 % to 90 % of technical progress is published in patent literature. Whereas only 5 % – 10 % of the knowledge contained in the published patent literature is conveyed in other literature and even these 5 % – 10 % are often published up to five years after the application of the respective patent. Therefore, patent literature is actually the most important source of technical information of all literature.<sup>2</sup> The charts in the last chapter are a summary of all points that seem relevant to me concerning this topic. They do not claim to be complete or comprehensive. I would be grateful for any additions or suggestions.

With the cited literature and this article I am indicating the necessity of a systematization of search and encouraging to deal with this subject over and over again. This leads me to the often criticized buzz word “life-long learning”, which mainly applies to searchers. The manuals by Schmoch<sup>3</sup> und Wurzer offer a good introduction to the subject matter. The book “Patent Searching” is a very good complement. Articles from the magazine *World Patent Information* provide a deeper insight into the individual areas. This essay is intended for searchers with one or two years’ experience, who are keen to have an overview of the topic of search. It is also intended as a challenge and motivation for an exchange of ideas among experienced searchers, as there is very little comprehensive literature dealing with this field.

*Indexed search words: documentation, patents, search, ways of search, strategies of search, systematization*

### 1. Recherchearten

Es gibt verschiedene Arten von technischen Recherchen. Beispielsweise Informationsrecherchen, Recherchen zur Patentfähigkeit, zur Handlungsfreiheit, auch Freedom to Operate (FTO) genannt, Namensrecherchen, statistische Analysen, um Unternehmensprofile zu erstellen oder den Markt und die Entwicklung eines bestimmten Produktes zu untersuchen. Die Art der Recherche wird oft durch den Zeitpunkt im Innovationsprozess bestimmt. Der Innovationsprozess lässt sich gekürzt in die Phasen Ideenfindung → Projektplanung → Realisierung → Durchsetzung einteilen (siehe Abbildung 1).

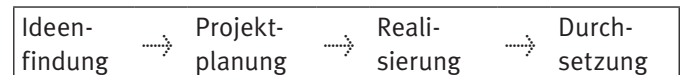


Abbildung 1: Die Phasen im Innovationsprozess

Eine Informationsrecherche wird am Anfang der Ideenfindung durchgeführt, um sich über bereits vorhandene technische Lösungen zu informieren, Recherchen zur Patentfähigkeit während der Realisierungsphase. In der Übersicht zu Recherchearten Tabelle 3 in Spalte „Phasen im Innovationsprozess“ finden sich weitere Zuordnungen. Pipers Patent Attorneys sprechen von sechs Recherchetypen.<sup>6</sup> Die Qualitätsvereinbarung der SIGNO-Partner und des PIZ-Netzwerks in Deutschland, das die verschiedenen Recherchearten definiert und erläutert, zählt in ihrem Recherchestandard zwölf auf.<sup>7</sup> Der Artikel fasst elf Recherchetypen zusammen.

Wicenec strukturiert Recherchen mithilfe des Bildes der Nadel im Heuhaufen.<sup>8</sup> Darauf aufbauend (siehe Tab. 3 und 4) werden die Recherchearten nach Sach- und Formalrecherche<sup>9</sup> unterschieden und nach folgenden Kriterien in den Übersichtstabellen im letzten Kapitel zusammengefasst.



#### Tabelle 3 Teil A

- Ziel der Recherche
- Phasen im Innovationsprozess
- Datenquellen
- Literaturart
- Nötige Inhalte der Quellen

#### Tabelle 4 Teil B

- Recall and Precision
- Risiko/zeitlicher Aufwand
- Dauer
- Recherchebericht für Auftraggeber
- Tipps

## 2. Der Rechercheprozess

In der Literatur werden unterschiedliche Begriffe zu den einzelnen Recherchearten wie bereits erwähnt genannt. Beispielsweise sprechen Prüfer am Patentamt meist von Stand der Technik-Recherche<sup>10</sup>, die in den Tabellen 3 und 4 als Recherche zur Patentfähigkeit beschrieben wird. Im Standard für Recherchen zu gewerblichen Schutzrechten<sup>11</sup> findet man unter dem Begriff Stand der Technik-Recherche die Definition „Übersichtsrecherche zum Stand der Technik inklusive Relevanzbeurteilung der ermittelten Ergebnisse; sinnvoll für F&E-Tätigkeit auch ohne eine beabsichtigte Patentanmeldung“. Insofern ist es essenziell, sich mit Auftraggebern wie Entwicklern oder Patentanwälten für ein zufriedenstellendes Rechercheergebnis bezüglich Art und Ziel auszutauschen.

### Kommunikation – Austausch

Was genau ist die Fragestellung? Was ist wesentlich? Sind Teilergebnisse durchzusprechen? Wichtigkeit der Fragestellung? Rechercheart? Welcher Datenbankanbieter, welche Datenbanken sind geeignet? Verfügbares Budget? Vertretbarer Zeiteinsatz? Die Antworten auf diese Fragen – es sind nicht alle aufgezählt – bestimmen das weitere Recherchevorgehen und damit das Ergebnis. Oft ist die Fragestellung am Anfang sehr vage und muss konkretisiert werden. Dazu ist ein längeres Gespräch nötig. Unklare Fragestellungen führen zu sehr zeitraubenden Recherchen mit nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Hier ist es wichtig nachzuhaken, zum Beispiel mithilfe eines Fragebogens. In der DIN Dienstleistungsqualität im Intellectual Property Management<sup>12</sup> findet sich dieser Aspekt als „Qualitätskriterium Kundenintegration“ wieder. Bei der Auswahl der Datenquellen sind manchmal Recherchen in der Patentdatenbank DEPATISnet<sup>13</sup> des Deutschen Patent- und Markenamtes (DPMA) oder im Espacenet<sup>14</sup> des Europäischen Patentamtes (EPA) ausreichend. Oder es muss bei einem professionellen Patentdatenbankanbieter wie z. B. STN International<sup>15</sup> oder Thomson Reuters<sup>16</sup> recherchiert werden.

### Entwicklungen/Änderungen

In den letzten Jahren kamen über das World Wide Web (WWW) und Möglichkeiten in der Informationstechnik

neue Datenquellen und Möglichkeiten im Informationsretrieval dazu. Hier heißt es, sich ständig über neue Produkte und deren Einsatzmöglichkeiten, z. B. auch Patentmapping und Textmining, zu informieren. Auch im Bereich der Hilfsmittel wie Patentklassifikationen gibt es immer wieder Veränderungen. Neue Klassen und neue Klassifikationssysteme wie zum Beispiel die Cooperative Patent Classification (CPC), die sich aus der Zusammenarbeit des EPA mit dem amerikanischen Patentamt (USPTO) entwickelt hat, wurden eingeführt. Korea und China kündigten an, dass sie ihre Patentdokumente demnächst auch nach der CPC klassifizieren werden.<sup>17</sup> Technische Schutzrechte, dazu zählen Patente wie Gebrauchsmuster, enthalten rechtliche, technische und wirtschaftlichen Informationen. Daher können auch Änderungen im nationalen Patentrecht, im europäischen Patentübereinkommen (EPÜ) oder im Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT) das Recherchevorgehen und die Analyse der Ergebnisse beeinflussen. Somit sollte sich der Forscher auch über die aktuelle Gesetzgebung auf dem Laufenden halten. Zwei Beispiele: Die EU-Biopatentrichtlinie wurde im deutschen Recht 2004 umgesetzt und bewirkte Veränderungen bezüglich der Definition des Stands der Technik bei Biopatenten und hatte somit direkte Auswirkungen auf die Recherche. Bei Recherchen zur Patentfähigkeit können Nachveröffentlichungen unter Umständen nach dem Anmeldetag der Erfindung noch als neuheitsschädliches Material gelten.<sup>18</sup>

### Vorgehensweise

Eine Recherche wird über Recherchekonzept, Recherchestrategie – daraus ergibt sich das Suchprofil – aufgebaut. Ein dokumentiertes Suchprofil sichert den Forscher, vor allem bei nachträglichen Fragen zur Handlungsfreiheit, zur Rechtsbeständigkeit oder zur Schutzfähigkeit ab. Eine Relevanzabschätzung – Wurzer spricht von Relevanzeinschätzung<sup>19</sup> – gibt kurz und prägnant einen Überblick über die relevanten Dokumente anhand der wichtigsten Merkmale und erlaubt Entwicklern, Patentingenieuren und Patentanwälten einen schnellen Blick auf das Rechercheergebnis bei den Recherchearten Due Diligence, Handlungsfreiheit, Verletzung, Patentfähigkeit, Rechtsbeständigkeit. Zur Dokumentation wird ein Recherchebericht für den Auftraggeber und ein Protokoll für die eigenen Unterlagen erstellt.

## 3. Effektivität von Recherchen: „Die richtigen Dinge tun“

Prinzipiell sollten im Rechercheergebnis, hier definiert als Trefferzahl aus dem Suchprofil, alle relevanten Literaturstellen, Patent- wie Nichtpatentliteratur und so wenig wie möglich Ballast, also nicht relevante Literaturstellen, enthalten sein. Als mögliches Maß für die Effektivität von Recherchen verwendet man Trefferquote und Genauigkeit. Das Ziel der Recherche ist es, die Trefferquote so hoch wie möglich zu halten und gleichzeitig so wenig wie möglich an Genauigkeit einzubüßen.<sup>20</sup>

Mit Trefferquote oder Ausbeute, auch Recall genannt, definiert man das Verhältnis aus relevanten Treffern (gefundenen) zu allen relevanten Treffern (gefundenen und nicht gefundenen) in der Datenquelle, also die Vollständigkeit einer Recherche. Die Schwierigkeit bei der Bestimmung der Trefferquote liegt darin, dass alle relevanten Treffer in einer Datenmenge nicht bekannt sind und ein Schätzwert angenommen werden muss.<sup>21</sup>

Die Genauigkeit oder Treffsicherheit, Precision genannt, ist das Verhältnis der relevanten Treffer zur gesamten Trefferzahl. Je höher die Genauigkeit, umso weniger nicht relevante Treffer im Ergebnis. Das sogenannte Rauschen, der Ballast an nicht relevanten Treffern, sinkt. Der Verlust an nicht gefundenen relevanten Treffern steigt.<sup>22</sup>

<p>Trefferquote = Recall = Ausbeute = rel. Treffer/alle rel. Treffer = <math>GR/(NR + GR)</math>                  Genauigkeit = Precision = Treffsicherheit = rel. Treffer/Gesamttrefferzahl = <math>GR/(GR + GI)</math></p>
--

Bei beiden Maßen liegt der Wert zwischen 0 und 1.

Suhr definiert Ballast als

$$\text{Ballast} = GI/(GR + GI)$$

und Verlust

$$\text{Verlust} = NR/(GR + NR)$$

mit

NR = Anzahl der nicht gefundenen relevanten Treffer

GR = Anzahl der gefundenen relevanten Treffer

GI = Anzahl der gefundenen nicht relevanten Treffer.<sup>23</sup>

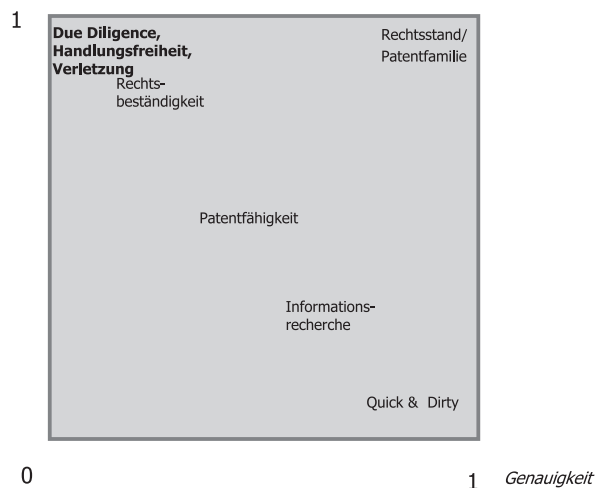
„[...] C. Cleverdon hat die These aufgestellt, dass Precision und Recall stets reziprok proportional sind und dass dieses Verhältnis für alle Recherchesysteme gleich ist.“<sup>24</sup> D. h., bei breit aufgestellten Recherchen sinkt die Genauigkeit und bei engen Recherchen sinkt die Trefferquote. Der Forscher interessiert sich sowohl für Trefferquote wie für Genauigkeit. Bei einer hohen Trefferquote nähert sich die Recherche der Vollständigkeit, eine hohe Genauigkeit kürzt die Auswertungszeit beim Bewerten der Treffer. Die Annahme von Cleverdon ist nur zum Teil zutreffend. Untersuchungen haben gezeigt, dass die exakte reziproke Proportionalität nicht gegeben ist. Je genauer die Information indexiert wird, umso geringer ist die Ballastquote. Datenbanken mit recherchierbaren Strukturformeln zeigen ein nahezu ballastfreies Ergebnis.<sup>25</sup> Und erfahrende Forscher können sehr wohl Trefferquote und Genauigkeit gleichzeitig erhöhen, wenn sie sämtliche Recherche- und Onlinetechniken, -strategien und Tricks anwenden.

Man unterscheidet zwischen Formal- und Sachrecherche. Bei Formalrecherchen sind nur die formalen Angaben in einem Dokument wie Anmelder, Erfinder, Anmeldedatum etc. relevant.<sup>26</sup> Bei Sachrecherchen bezieht man sich auf die inhaltlichen, technischen Aspekte, die in der Patentliteratur in den Datenbankfeldern Titel, Zusammenfassung, Beschreibung und Ansprüche verfügbar sind.<sup>27</sup> Bei der reinen Sachrecherche mit nicht präzisen Stichwörtern in

nicht aufbereiteten, sprachlich unpräzise formulierten Volltexten wird es nie hohe Trefferquoten mit guter Genauigkeit geben.<sup>28</sup>

Betrachtet man die verschiedenen Sachrecherchen, lässt sich das Ganze, abgeleitet nach Diagrammen von Foglia<sup>29</sup> und van der Drift<sup>30</sup>, folgendermaßen darstellen.

Trefferquote



In Anlehnung an: van der Drift (2002), S. 68 und Foglia (2007), S. 39 und ergänzt.

Abbildung 2: Anforderungen an Trefferquote und Genauigkeit bei verschiedenen Recherchearten

Wie man Abbildung 2 entnehmen kann, ist der größte Rechercheaufwand bei den Recherchen zu Due Diligence, Handlungsfreiheit und Verletzung zu leisten. Bei **Verletzungsrecherchen** ist zu prüfen, ob die eigene Produktentwicklung frei von Rechten Dritter ist. Es sollte jedes Patent in dem betreffenden Markt, das noch in Kraft ist oder noch in Kraft treten wird, mit allen Ansprüchen untersucht werden, das bei der zu untersuchenden Thematik eine Rolle spielen könnte. Ansonsten kann die Markteinführung eines Produkts, das bestehende Schutzrechte verletzt, zu hohen finanziellen Verlusten führen. Daher ist viel Zeit für Recherche und Auswertung aufzuwenden. Bei Recherchen zur **Handlungsfreiheit**, auch Freedom to Operate (FTO) oder Product Clearing genannt, wird untersucht, ob Produktentwicklungen auf den weltweiten Markt gebracht werden können, ohne bestehende Rechte zu verletzen oder Lizenzen erwerben zu müssen. Der Begriff Product Clearing weist, im Unterschied zu FTO, darauf hin, dass das fertige Produkt, kurz vor der Markteinführung, auf eventuelle Verletzungen überprüft wird. Dieser späte Zeitpunkt birgt für das Unternehmen ein höheres Risikopotential, da alle Investitionen bereits getätigt worden sind, falls tatsächlich Verletzung festgestellt werden sollte. Es soll sichergestellt werden, dass neue Produkte und Verfahren weltweit produziert, genutzt und verkauft werden dürfen mit dem Ziel, selbst ein Patent anzumelden. Der weltweite Markt wird analysiert, um die Marktchancen zu klären. Freier Stand der Technik wird mit recherchiert. Es handelt sich um eine Kombination aus den Recherchen

zur Rechtsbeständigkeit, Patentfähigkeit und Verletzung.<sup>31</sup> Beim **Due-Diligence**-Verfahren wird bewertet, ob das gesamte Patentportfolio einer Firma Wettbewerber vom Markt abhalten kann und kein Verletzungsprozess droht. Bei allen drei Recherchearten liegt die gewünschte Trefferquote bei 1.

Recherchen zur **Rechtsbeständigkeit** wie Einspruch und Nichtigkeit ermitteln Stand der Technik, der belegt, dass die beanspruchte Thematik des untersuchten Patents nicht neu bzw. für den Fachmann nicht erfinderisch ist. Wird ein dementsprechender Stand der Technik gefunden, kann man die Recherche beenden. Die Trefferquote sollte nahe 1 liegen.

Die Recherche zur **Patentfähigkeit**, also zu Neuheit und erfinderischer Tätigkeit, interessiert neben dem Prüfer am Patentamt die Rechercheure in den Patentabteilungen der Industrie. Es wird überprüft, ob die geplante Anmeldung im Prüfungsverfahren Aussicht auf Erfolg hat. Der gefundene Stand der Technik erleichtert zudem das Ausformulieren der Anmeldung, da er mit beachtet werden kann und die Ansprüche dementsprechend formuliert werden können. Hier sollte Aufwand im Verhältnis zum Ergebnis stehen. Das heißt, fehlende Dokumente sind eher zu verschmerzen als der Verzicht auf eine hohe bis mittlere Genauigkeit.<sup>32</sup>

Bei **Informationsrecherchen** und **Einstiegsrecherchen**, Quick & Dirty, wird der zu leistende Rechercheaufwand geringer, da die Anforderungen an die Recherche nicht zu hoch sind, und die Genauigkeit wichtiger ist als die Trefferquote.

Eine Anmerkung zu der Formalrecherche **Rechtsstand**. Rechtsstandsrecherchen sind meist schnell durchzuführen, Recall und Trefferquote nahe 1. Nationale Register wie das DPMAregister<sup>33</sup> oder die Datenbank INPADOC<sup>34</sup>, die Rechtsstandsdaten aus über 50 Ländern abdeckt, werden dazu genutzt. Der Rechercheur muss sich auf diese Angaben verlassen. Gleichzeitig können Daten aus Gerichtsurteilen oder eine Wiedereinsetzung eines Patents noch nicht nachgetragen worden sein. Sprachbarrieren, vor allem bei asiatischen Schutzrechten, kommen dazu. Daten aus INPADOC und dem nationalen Register können sich unterscheiden, auch Familieninformationen aus INPADOC, World Patent Index (WPI) oder dem Europäischen Patentregister bezogen auf die Benennungsstaaten und, und, und. Insofern sind Informationen zum Rechtsstand nur mit Hinweis auf den Eintrag, dem Recherchedatum und ohne Gewähr zu geben. Der Zeitaufwand ist meist gering, aber das Risiko bei dieser Formalrecherche sehr hoch.

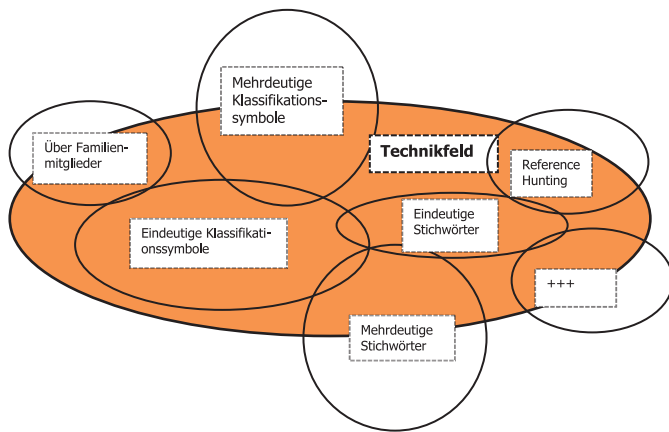
#### 4. Effizienz von Recherchen – Systematisierung: „Die Dinge richtig tun“

Die Recherche sollte nicht nur zum gewünschten Ziel führen, also effektiv sein, sondern sie sollte auch effizient durchgeführt werden. Das gelingt mithilfe der Systematisierung des Rechercheprozesses. Der Rechercheprozess lässt sich in acht Stufen einteilen.



In Anlehnung an: Wurzer (2003), S. RT 1.3-2 und ergänzt.  
Abbildung 3: Systematisierung der Recherche

Nach Abbildung 3 lässt sich der Ablauf der Recherche in acht Stufen einteilen. Zur ersten Stufe Recherchegegenstand ist es wichtig, sich Klarheit über die Fragestellung und das Ziel der Recherche und der Rechercheart zu verschaffen. Müller und Nyfeler sprechen von Kommunikation als Schlüsselfaktor für die Qualität der Recherche.<sup>35</sup> Schmoch hat dazu einen Fragebogen entwickelt, der schon einiges im Vorfeld abklären kann.<sup>36</sup> Damit ergibt sich die Rechercheart. Anschließend werden die wichtigsten technischen Merkmale des Recherchegegenstandes herausgearbeitet, um die Recherchekonzepte zu entwickeln. Die Konzepte werden mit Stichwörtern, Synonymen, möglichen Abkürzungen und den entsprechenden Klassifikationen ergänzt. Daraus leiten sich mögliche Recherchestrategien ab, die das gewünschte Technikfeld erfassen sollten. Schmoch hat das sehr anschaulich dargestellt (siehe Abbildung 4).<sup>37</sup> Bei Recherchen zur Patentfähigkeit wurde früher an den Patentämtern ausschließlich innerhalb der Klassifikation im Papierprüfstoff recherchiert. Aufgrund der Entwicklungen in der Technik – oft an den Schnittstellen der technischen Disziplinen – lassen sich Entwicklungen nicht mehr so eindeutig bestimmten Klassifikationen zuordnen. Insofern weisen Patentdokumente heute im Schnitt mehr IPC-Klassen pro Dokument auf als früher.<sup>38</sup> Dadurch wird es immer schwieriger, das Technikfeld mithilfe von Recherchestrategien präzise zu bestimmen.



In Anlehnung an: Schmoch (1990), S. 141 und ergänzt.

Abbildung 4: Erfassbarkeit eines Technikfeldes in Abhängigkeit von der Recherchestrategie

Mögliche Recherchestrategien<sup>39</sup>, die sich aus den Recherche Konzepten in Abhängigkeit von der Rechercheart ergeben, können sein<sup>40 41</sup> bezüglich:

### Inhalt

- Pearl search: falls relevantes Dokument bekannt, mit diesem starten und darauf die Recherche aufbauen – 2. Schritt wäre hier Reference Hunting
- eine enge Recherche nur mit den relevantesten Stichwörtern im Titel oder in den Ansprüchen durchführen mit dem Ziel, einen Überblick oder Einstieg ins Thema zu bekommen
- nur eine Klassifikation oder eine Kombination von Klassifikationen nutzen
- wenn Prüfstoffklassifikationen wie die Deutsche Klassifikation (DEKLA) oder die CPC den Recherchegegenstand oder einen Teil davon beschreiben, diese Klassifikationen als erste Recherchestrategie verwenden!
- nationale Klassifikationen wie die japanische Klassifikation nutzen
- Klassifikationen mit relevanten Stichwörtern kombinieren. Dabei ergeben sich die unterschiedlichsten Möglichkeiten der Kombination. Bei nicht familienorientierten Datenbanken ist es wichtig, zuerst das Ergebnis aus der Klassifikationsrecherche mit den Familienmitgliedern zu erweitern, dann mit Stichwörtern zu verknüpfen.
- eine reine Stichwortrecherche
- Ergänzung Reference Hunting
  - Bei Rechtsbeständigkeit: Im 1. Schritt Überprüfen des zitierten Stands der Technik von Prüfern wie Anmeldern. Wenn sich keine relevanten Dokumente ergeben, dann im 2. Schritt Recherche Konzepte aufstellen und recherchieren.
  - Verletzungen des Wettbewerbs aufspüren: Überprüfen, ob eigene Patentanmeldungen bereits beim Wettbewerber zitiert werden.
- in Abhängigkeit von der Datenbank, Übersetzung der Stichwörter und Synonyme in unterschiedliche Sprachen

- wenn ein spezieller technischer Begriff nur in einer bestimmten Sprache verfügbar, dann in dieser Sprache starten
- andere Anwendungsgebiete in die Recherche einbeziehen
- bei Patentfähigkeit: Wird kein neuheitsschädliches Material gefunden, sollte die Recherche Strategie bezüglich relevanter Merkmale nochmal überprüft werden und, wenn nötig, geändert werden.

### Inhalte der Datenbanken

- Durchführen der Recherche in unterschiedlichen Datenbanken: Mehrwertdatenbanken, Volltextdatenbanken mit Maschinenübersetzungen, Datenbanken mit Parameterangaben, Strukturrecherchen
- Stichwörter in Abhängigkeit ihrer Relevanz in unterschiedlichen Dokumentenfeldern wie Titel, Zusammenfassung, Ansprüche und Beschreibung suchen
- Überprüfen, ob die Datenbank aktuelle Informationen aus relevanten Wettbewerberländern enthält, ansonsten Datenbankwechsel. Asien wäre ein Beispiel.

### Retrieval

- Nutzen der Möglichkeiten des Retrievals des jeweiligen Datenbankansbieters: Boolesche Operatoren, Abstandsoperatoren, semantische Recherche

### Quellen

- Datenbanken mit PL und NPL nutzen
- Im World Wide Web allgemeine und wissenschaftliche Suchmaschinen nutzen
- Verletzungsrecherchen auf Geschmacksmuster und Marken erweitern

Dabei ist darauf zu achten, dass die Recherchestrategie von eng nach breit aufgebaut sein sollte. Wenn möglich mit einer schrittweisen Erweiterung. Wenn eine CPC den Recherchegegenstand gut beschreibt, ist es sinnvoll, die Recherche mit dieser Klassifikation zu starten.

Zutreffende Klassifikationen werden mithilfe von Stichwörtern, oft im Titel, in einer Einstiegsrecherche, Quick & Dirty, bei relativ relevanten Dokumenten gefunden und ausgewählt. Für die japanische Klassifikation wählt man relevante japanische Schriften aus und überprüft die Einträge in der Klassifikation über die Industrial Property Digital Library (IPDL)<sup>42</sup> des japanischen Patentamtes. Die Auswahl der Datenbanken bestimmen die vier Kriterien: abgedeckter Zeitraum der Datenbanken, Internationalität – Länderabdeckung, verfügbare recherchierbare wie anzeigbare Felder und Aktualität der Daten. Demzufolge ist es bei Recherchen mit hohem Risiko immer wichtig, nicht nur eine Datenbank zu verwenden. Datenbanken mit recherchierbaren Volltexten oder Mehrwertdatenbanken wie World Patents Index (WPI) können zusätzliche relevante Ergebnisse im Vergleich zu rein bibliografischen Datenbanken bringen. Bei den Volltexten stellt sich die Frage der Übersetzung. Datenbankproduzenten wie LexisNexis<sup>43</sup>,



Minesoft<sup>44</sup>, Questel<sup>45</sup> oder Thomson Reuters verwenden Maschinenübersetzung (MT) oder/und intellektuelle Übersetzung, die nur durch ein Computerprogramm unterstützt wird (MAT, Machine-Aided Human Translation). Im Laufe der letzten Jahre hat sich die Qualität der Maschinenübersetzung sehr verbessert.

Wenn die Rechercheergebnisse nicht zufriedenstellend sind, werden die einzelnen Recherchestrategien überdacht, und die Suche, diesmal mit einem anderen Suchprofil, nochmal durchgeführt. Jede Änderung der Recherchestrategie kann weitere relevante Ergebnisse bringen. Alle Schritte werden protokolliert, zum Beispiel in einer Exceltabelle, um die Recherche zu einem gegebenen Zeitpunkt, wenn nötig, zu aktualisieren oder das Protokoll als Beleg zu verwenden, falls Nachfragen zum Rechercheergebnis beantwortet werden müssen. Zum Schluss wird das Ergebnis im Bericht festgehalten. Der Bericht enthält neben weiteren Angaben die wesentlichen Ergebnisse in Form einer Relevanzabschätzung oder einer Übersicht zu den gefundenen technischen Lösungen bei einer Informationsrecherche mit Verweis auf verwendete Stichwörter, Klassifikationen und Datenbanken. Handelt es sich um Auftragsrecherchen, sollte immer ein Haftungsausschluss mit eingefügt und bei rechtlichen Fragen auf den Patentanwalt verwiesen werden. Zum Beispiel sollte Patentverletzung nur durch einen Patentanwalt festgestellt werden. Der Rechercheur kann nur Verletzungspotenzial feststellen.

Im Vergleich spricht Wurzer von fünf Stufen: Recherchegegenstand mit Merkmalsübersicht, Rechercheprofil, Deskriptorenretrieval, Ergebnisabgleich, mit ggf. alternativen Suchstrategien und Ergebnispräsentation mit Relevanzeinschätzung.<sup>46</sup>

## 5. Beispiel

Das folgende Beispiel skizziert eine Recherche zur Rechtsbeständigkeit und dient zur Veranschaulichung. Die Patent- wie Recherchedaten sind nicht vollständig und zum Teil fiktiv.

Es handelt sich um folgenden Recherchegegenstand – entspricht dem Patentanspruch 1 des Patents DE 10 2006 043 937 B4 mit dem Anmeldetag 14.09.2006:

Zählergehäuse zum Einsetzen in eine Rohrleitung, mit einem Gehäusekörper und zwei mit der Rohrleitung zu verbindenden Anschlussstutzen, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen wenigstens einem Anschlussstutzen und dem Gehäusekörper ein mit diesem fest und flüssigkeitsdicht verbundener elastischer Verbindungsabschnitt, der eine Bewegung des Anschlussstutzens relativ zum Gehäusekörper erlaubt, angeordnet ist.

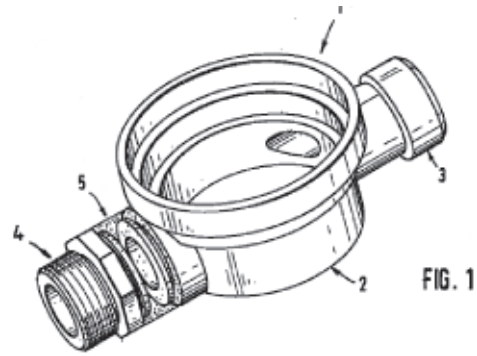


Abbildung 5: Zählergehäuse – DE 10 2006 043 937 B4

Es wird eine Recherche zur **Rechtsbeständigkeit**, nur bezüglich des Anspruchs 1, durchgeführt, in diesem Fall eine Einspruchsrecherche. Der nach Merkmalen gegliederte Recherchegegenstand lautet:

- M1 Zählergehäuse zum Einsetzen in eine Rohrleitung,
- M2 mit einem Gehäusekörper und
- M3 zwei mit der Rohrleitung zu verbindenden Anschlussstutzen, dadurch gekennzeichnet,
  - M3a dass zwischen wenigstem einem Anschlussstutzen (4) und dem Gehäusekörper (2) ein
  - M3b mit diesem fest und flüssigkeitsdicht verbundener
  - M3c elastischer Verbindungsabschnitt (5)
  - M3d der eine Bewegung des Anschlussstutzens (4) relativ zum Gehäusekörper (2) erlaubt, angeordnet ist.

Die geschützte Erfindung lässt sich für die Recherche in folgende technische Bestandteile/Konzepte gliedern:

- 1 Zählergehäuse
- 2a Anschlussstutzen/Verbindungsabschnitt
- 2b elastisch/beweglich

Die Klassifikationen wurden durch eine Einstiegsrecherche, Quick & Dirty, mithilfe von Stichwörtern im Titel oder in den Ansprüchen anhand das Thema betreffender Dokumente ermittelt.

Die Tabelle mit Stichwörtern und Synonymen in Deutsch und Englisch für die Recherche könnte wie folgt aussehen:

Tabelle			
Konzept	1	2a	2b
	Zählergehäuse	Anschlussstutzen/ Verbindungs- abschnitt	Elastisch beweglich
<b>Klassifikationen</b>			
IPC	G01F15/18		
		F16L27/00 mit Untergruppen	
		F16L47/00 mit Untergruppen	
CPC	G01F15/185		
		F16L27/1021	
		F16L49/08	
DEKLA			
USPC			
FI-Terms			
F-Terms			
Derwent Klassifikation			
<b>Synonyme</b>			
Deutsch	Durchflussmesser	Anschlussmittel	nachgiebig
	Durchflussmess- geräte	Stützen	
	Wasseruhren	Rohrkupplung	flexibel
	Wasserzähler	...	...
	Gaszähler		
	...		
Englisch	meter casing	connection section	elastic
	warm meter	Connecting devices	bouyant
	gas meter	Connecting pipes	resilient
	...	nozzle	...
		connecting means	
		...	

Tabelle 1: Recherchekonzept<sup>47 48</sup>

Dabei beschreiben die Klassifikationen folgende Bereiche:

Internationale Klassifikation – IPC

G01F15/18 Stützen oder Anschlussmittel für Messgerät  
(gilt für die Konzepte 1 und 2a)

Cooperative Patent Classification – CPC

G01F15/185 {Connecting means, e.g. bypass conduits}  
(gilt für die Konzepte 1 und 2a)

IPC

F16L27/00 Einstellbare Verbindungen; bewegliche  
Verbindungen (Schnellkupplungen  
F16L 37/50; für doppelwandige oder  
Mehrkanalrohre oder Rohrbündel F16L 39/04;  
Drehverbindungen in Schlauchleitungen zum  
Spülen von Bohrlöchern E21B 21/02) [5]

F16L27/10 Mit allen Untergruppen, z. B. auch  
nur mit biegsamen Verbindungen  
(gilt für die Konzepte 2a und 2b)

CPC

F16L27/1021 ..{comprising an intermediate resilient  
element, e.g. a ring}  
(gilt für die Konzepte 2a und 2b)

IPC

F16L47/00 mit Untergruppen

Rohrverbindungsstücke oder Fittings in  
besonderer Weise ausgebildet zur Herstel-  
lung aus Kunststoff oder zur Verwendung mit  
Kunststoffrohren  
(gilt für das Konzept 2a)

IPC

F16L49/00 Verbindungseinrichtungen, z. B. Verbin-  
dungsstücke, besonders ausgebildet für  
Rohre aus zerbrechlichem Werkstoff, z. B.  
Glas, Keramik

F16L49/08 Verstellbare Verbindungen; Bewegliche  
Verbindungen  
(gilt für die Konzepte 2a und 2b)

Daraus leitet sich das Suchprofil<sup>49</sup> in relevanten, internati-  
onalen Datenbanken, mit Patent- wie Nichtpatentliteratur,  
ab. In Nichtpatentliteraturdatenbanken ist es empfehlens-  
wert, Begriffe aus dem Thesaurus zu verwenden, um den  
Ballast an irrelevanten Dokumenten zu verringern. Man  
stellt das Suchprofil in der jeweiligen Retrievalsprache  
des Datenbankproviders mit Trunkierung, Booleschen  
Operatoren oder/und Abstandsoperatoren und den  
relevanten Klassifikationen auf und führt die Recherche  
in der ausgewählten Datenbank durch. Die Treffer werden  
anhand von Titel, Zeichnung, Anspruch oder Beschreibung  
nach Relevanz bewertet. Titel wie Zusammenfassung in  
Patentdokumenten sind oft nicht sehr aussagekräftig.  
Daher sollte man sich bei der Relevanzüberprüfung auf  
Beschreibung, Ansprüche oder Zeichnung beziehen.  
Das ist vor allem bei den aufwendigen Recherchen zur  
Rechtsbeständigkeit, Verletzung, Handlungsfreiheit und  
Due Diligence zu beachten. Die relevanten Druckschriften  
werden mit dem Recherchegegenstand verglichen und  
das Suchprofil, wenn nötig, nochmals oder öfters variiert  
(siehe Abbildung 3)<sup>50</sup>. Die Dokumentation des Suchprofils  
enthält alle Treffer pro Suchschritt mit Recherchedatum,  
Datenbank und Felddefinitionen. Es ist sinnvoll, erst die  
einzelnen Suchschritte, Konzepte abzarbeiten, und nicht  
in einem Suchschritt alle Konzepte mit „and“ zu verbinden.  
Erst am Ende sollten die Suchschritte miteinander kombi-  
niert werden. Dieses Vorgehen erhöht die Übersichtlichkeit  
der Recherche, Eingabefehler können leichter entdeckt  
und korrigiert werden und die Höhe der Trefferzahlen  
bei Klassifikationen und einzelnen Stichwörtern lassen  
eine bessere Einschätzung des weiteren Vorgehens zu.  
Ein oft auftauchender logischer Fehler bei Recherchen  
ist die AND-Kombination von Klassifikationen mit Stich-  
wörtern, die bereits in der Klassifikation enthalten sind.  
Das Ergebnis wird zu stark reduziert, und der Vorteil der  
Klassifikation ohne beschreibende Stichwörter in unter-  
schiedlichen Sprachen suchen zu müssen, geht – neben  
dem Verlust an relevanten Dokumenten – verloren.

In dem Beispiel werden zwei Recherchestrategien eingesetzt:

1. Zuerst werden zu allen Familienmitgliedern des Streitpatents die zitierten Dokumente aus Prüfung, Recherchebericht und vom Anmelder auf Relevanz untersucht. Nachdem das Ergebnis nicht zufriedenstellend war,
2. werden die Klassifikationen zu beweglichen Verbindungen oder Rohrverbindungsstücken mit allen Untergruppen, auch der CPC, mit der Klassifikation Stützen oder Anschlussmittel für Messgeräte kombiniert (siehe Abbildung 6).

Suchschritt	Eingaben	Treffer	Suchfelder	Titel	Zeichnung	Zusammenfassung	Anspruch	Volltext	Anzahl relevanter Dokumente	Patentnummer
1	F16L27/?	> 40 000	IC							
2	F16L49/08	140	IC							
3	G01F15/18?	>5 000	IC							
4	<14.09.2006	> 100 000	AD							
5	(1 or 2)	> 40 000								
6	5 and 3	55								
7	6 and 4	45 (29)			6			2	2	USXXXXX DEXXXXX
Recherchedatum	05.07.2013									
Datenbank	DEPATISnet									
Erläuterung zu den Suchfeldern	IC	enthält IPC, DEKLA und CPC								
	AD	Anmeldedatum								
	Bei Suchschritt 7 unter Treffer in Klammer	Patentfamilie								

Abbildung 6: Suchprofil – Recherchestrategie 2

Es wurde in der kostenlosen Datenbank DEPATISnet<sup>51</sup> recherchiert. Das Suchprofil lautet, da keine einzelnen Suchschritte eingegeben werden können:

IC=(F16L49/08 or F16L27/?) and IC=G01F15/18? and AD<14.09.2006

Wurzer spricht beim Suchprofil vom Deskriptorenretrieval. Die Treffer werden nach Relevanz in Zeichnung und Volltext ausgewertet. Zwei Dokumente werden als sehr relevant bewertet. Eine Beurteilung nach Titel oder in der Zusammenfassung bietet sich in Mehrwertdatenbanken wie WPI an. Anschließend wird der Volltext mit allen Zeichnungen bewertet. Die Relevanzauswertung bezogen auf die einzelnen Teile einer Patentschrift ist abhängig vom Thema, z. B. ist der Recherchegegenstand gut über die Zeichnung zu bewerten? Oder welche Felder liefern wertvolle Informationen, z. B. bei einer Mehrwertdatenbank wie WPI? Diese Felder werden bei der Auswertung berücksichtigt. Falls keine sehr relevanten Dokumente gefunden werden, wechselt man die Recherchestrategie oder die Datenbank.

Als nächsten Schritt könnte man bei dem Beispiel „Zählergehäuse“ für die relevanten Dokumente aus Recherche-schritt 7 die weiteren Familienmitglieder analysieren. Und nachfolgend ein Reference Hunting durchführen.

Eine weitere Recherchestrategie wäre eine reine Stichwortrecherche. Abbildung 7 zeigt zur Verdeutlichung das mögliche Suchprofil mit Synonymen, Nachbarschaftsoperatoren und Trunkierung. Anstatt dem Booleschen „AND“-Operator werden bei der Stichwortverknüpfung

Abstandsoperatoren verwendet, um die Trefferquote im recherchierbaren Volltext, der in DEPATISnet bei deutschen Dokumenten vorliegt, zu erhöhen. Mit einer AND-Verknüpfung würden sich zu viele nicht relevante Treffer ergeben. Die verwendete Synonymliste bildet die Qualität der Stichwortrecherche ab. Die Erstellung erfordert einigen Aufwand und erweitert sich im Laufe der Recherche.

Suchschritt	Eingaben	Treffer	Suchfelder
1	Zählergehäuse or Durchflussmess? or Wasserzähl? Or wasseruhr? Or gaszähl? Or (gas or water)(2a)meter or gasmeter or watermeter	> 40000	BI
2	Anschlussmittel or anschlussstutz? or kuppel? Or connecting or coupling	Sehr hoch	BI
3	elast? Or beweg? Or flexib? Or buoyant or resilient	Sehr hoch	BI
4	<14.09.2006	> 100 000	AD
5	1(10a)2	940	
6	5(10a)3	39	
7	6 and 4	30(24)	
Recherchedatum	21.07.2013		
Datenbank	DEPATISnet		
Erläuterung zum Retrieval	BI	enthält alle verfügbaren Textinformationen	
	AD	Anmeldedatum	
	Bei Suchschritt 7 unter Treffer in Klammer	Patentfamilien	
	(10a)	Abstandsoperator: A = adjacent – max. 10 Wörter dürfen zwischen den Stichwörtern stehen, die Reihenfolge im Text ist unerheblich	

Abbildung 7: Suchprofil – Stichwortrecherche mit Abstandsoperatoren

Es wurde in der kostenlosen Datenbank DEPATISnet<sup>52</sup> recherchiert. Das Suchprofil lautet, da keine einzelnen Suchschritte eingegeben werden können:

bi=((Zählergehäuse or Durchflussmess? or Wasserzähl? Or wasseruhr? Or gaszähl? Or (gas or water)(2a)meter or gasmeter or watermeter)(10a)(Anschlussmittel or anschlussstutz? or kuppel? Or connecting or coupling) (10a) (elast? Or beweg? Or flexib? Or buoyant or resilient)) and AD<14.09.2006

Von den zusätzlich gefundenen 24 Patentfamilien beschreiben 23 die Thematik Zählergehäuse im Titel. Weitere Analysen wurden nicht mehr durchgeführt. Nutzt man eine Datenbank wie DEPATIS<sup>53</sup>, die zusätzliche recherchierbare Volltexte in Englisch oder Deutsch aus AT, CH, EP, WO, GB, US enthält, erhält man mit obigem Suchprofil weitere 14 Patentfamilien<sup>54</sup>. Folglich kann jede Veränderung im Retrieval und in der Datenbank zusätzliche relevante Treffer liefern.

Je nachdem, ob es sich um eine Informationsrecherche oder um eine Recherche von Typ 3-8 handelt, erstellt man eine Übersicht zu den relevanten technischen Lösungen oder eine Tabelle mit Relevanzabschätzung der Merkmale mit den gefundenen Textstellen (siehe Tabelle 2). In der Tabelle ist es sinnvoll, die Patentnummern zum Originaldokument in einer Patentdatenbank zu verlinken. In der Liste werden auch die NPL-Dokumente aufgeführt. Die Durchnummerierung der relevanten Dokumente erleichtert die Berichterstellung, da nur auf die Nummern und nicht auf die komplette Patentnummer bzw. auf Autor mit Titel des Aufsatzes verwiesen werden muss.

Dokumente aus PL wie NPL		Merkmale				Kurze Beschreibung	
Dokumentennummer	Schriftenart	Zählgehäuse zum Einsetzen in eine Rohrleitung,	1 relevante Fundstellen	mit einem Gehäusekörper,	2 relevante Fundstellen	...	...
D1	DEXXXXXX	A	x	...	x	...	...
D2	USXXXXXX	A	x	...	x	...	...
D3	DEXXXXXX	A1	x	...	x	...	...
D4	EPXXXXXX	A1	x	Seite 1, Absatz 1;	x	...	...
D5	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Tabelle 2: Relevanzabschätzung der Dokumente aus Strategie 1 und 2

Bekannt ist eine ähnliche Art der Darstellung aus den europäischen Rechercheberichten mit den Bewertungskategorien X, Y etc.

Im letzten Schritt erfolgt die Erstellung des Rechercheberichts, komprimiert und so aussagekräftig wie möglich, für die verschiedenen Zielgruppen wie Geschäftsleitung, Management, Patentanwaltskanzlei, Patentabteilung, Entwicklungsabteilung. Das Protokoll der Vorgehensweise und der Ergebnisse ist für die eigene Ablage gedacht, um zu einem späteren Zeitpunkt die Recherche erneut durchzuführen, um aktuelle neue Dokumente zu bekommen oder die Recherche zu modifizieren und einer veränderten Fragestellung anpassen zu können.

Für die Rechercheberichte existieren in Firmen wie auch Rechercheinstituten oft Vorlagen mit automatisierten Textbausteinen bezogen auf die verschiedenen Recherchearten.

Folgende Informationen sollten in den Recherchebericht

- Gegenstand der Recherche
- Art der Recherche
- tabellarisches Ergebnis, evtl. mit weiteren Ergänzungen
- Schlussbemerkung mit genauem Vergleich der technischen Details und einer Empfehlung
- Anhang mit Angaben zur Recherche – Stichwörter und Klassifikationen – und zu den verwendeten Datenbanken
- wenn nötig Haftungsausschluss und Copyrightbestimmungen

und in das Protokoll

- Anmerkungen zur Recherche und zum Recherchegegenstand
- Recherchekonzept
- Verwendete Klassifikationen
- Suchprofil(e) mit Recherchedatum
- Besonderheiten, falls erforderlich

## 6. Zusammenfassung

Der Rechercheprozess besteht aus acht Stufen und ist abhängig von der gewählten Rechercheart. Die elf beschriebenen Recherchearten finden sich auch in den Tabellen 3 und 4. Eine Quick & Dirty-Recherche ist oft ein guter Einstieg in eine neue Thematik. Die aufwendigste technische Recherche ist neben der Recherche zur Handlungsfreiheit die Due-Diligence-Recherche, die das Firmenpatentportfolio im Vergleich zum Stand der Technik

untersucht. Der erforderliche Recall liegt nahe 1 und ist ein Kriterium für den Grad der Vollständigkeit einer Recherche.

Nach Klärung der Fragestellung stellt der Rechercheur das Recherchekonzept auf und überlegt sich entsprechende Recherchestrategien, um das Technologiefeld zu erfassen. Nach Durchführung der Recherche, Dokumentation der Suchprofile und Auswertung der Ergebnisse in einer Relevanzabschätzung oder einer Übersicht zu den technischen Lösungen für die Problemstellung wird der Bericht erstellt und die wichtigsten Daten protokolliert. Aus der Zusammenstellung in den Tabellen 3 und 4 kann man auf einen Blick die wichtigsten Kriterien und Hinweise zu einer bestimmten Rechercheart entnehmen. Deren Nutzung hilft dem Rechercheur, die richtigen Dinge richtig zu tun.

So kann eine Informationsrecherche in bibliografischen Datenbanken mit geringem Risiko durchgeführt werden. Es wird eine Übersicht zu technischen Lösungen für ein neues Arbeitsgebiet erstellt. Meist werden Informationsrecherchen in den Phasen der Ideenfindung und Projektplanung angefragt. Vollständigkeit wird nicht erwartet. Der zeitliche Aufwand liegt bei 8 – 15 Stunden. Der Zugriff auf die Originaldokumente, Patentliteratur oder Nichtpatentliteratur, sollte möglich sein.



Typ	Rechercheart	Ziel der Recherche	Phase im Innovationsprozess	Datenquellen	Literaturart	Nötige Inhalte der Quellen*
	<b>Sachrecherchen</b>					
<b>1</b>	<b>Themeneinstieg</b> Quick & Dirty	Einblick in die Thematik	phasenunabhängig	Kann jede Art von Veröffentlichung sein - sehr unvollständig	NPL, PL, WWW, ...	bibl. DB
<b>2</b>	<b>Informationsrecherche</b>	Übersicht über ein neues Arbeitsgebiet erstellen	vor allem: Ideenfindung/Projektplanung	Jede Art von Veröffentlichung - unvollständig	NPL, PL, WWW, ...	bibl. DB
<b>3</b>	<b>Patentfähigkeit</b>	Neuheit / Erfindersche Tätigkeit der Erfindung prüfen	vor allem: Realisierung	Jede Art von Veröffentlichung* - vollständig	NPL, PL, WWW, ...	bibl. DB und VT** - Datenbanken
<b>4</b>	<b>Rechtsbeständigkeit</b> Einspruch, Nichtigkeit	Material, das dem Wettbewerbsrecht neuheitsschädlich entgegen steht oder die nicht erfindersche Tätigkeit belegt	vor allem: Projektplanung/Durchsetzung	Jede Art von Veröffentlichung, publiziert vor dem Prioritätsdatum	NPL, PL, WWW, ...	Volltextsuche, mehrere DB
<b>5</b>	<b>Verletzung</b>	Sicherstellen, dass die neue Entwicklung keine rechtsgültigen Patente verletzt	vor allem: Projektplanung/Realisierung	Ertelpte Patente, die in den relevanten Märkten in Kraft sind; ev. auch Marken und Geschmacksmuster überprüfen	PL, Marke, Geschmacksmuster	Volltextsuche - Ansprüche, mehrere DB; Rechtsstandsdatenbanken
<b>6</b>	<b>Handlungsfreiheit</b> - Freedom to Operate - Product Clearing - breiter als eine Verletzungsrecherche	Sicherstellen, dass neue Produkte und Verfahren produziert, genutzt und verkauft werden dürfen mit dem Ziel selbst ein Patent anzumelden: Der weiteste Markt wird analysiert, um die Marktchancen zu klären. Freier Stand der Technik ist dadurch mit enthalten: Kombination aus Typ 3, 4 und 5	vor allem: Projektplanung/Realisierung	Jede Art von Veröffentlichung - weltweit, nicht auf bestimmte Märkte bezogen	NPL, PL, Marke, Geschmacksmuster, WWW, ...	bibl. DB und Volltextsuche - Ansprüche, mehrere DB; Rechtsstandsdatenbanken
<b>7</b>	<b>Due Diligence</b> - entspricht Recherchetyp 5 auf das Firmenportfolio ausgerichtet	Analyse, ob das Patentportfolio einer Firma Wettbewerber vom Markt abhalten kann, und kein Verletzungsprozess droht; ev. auch Typ 6 aber auf Firmenportfolio ausgerichtet	phasenunabhängig	siehe Recherchetyp 5; ev. auch Recherchetyp 6	PL, Marke, Geschmacksmuster	Volltextsuche, mehrere DB
<b>8</b>	<b>Wettbewerbsbeobachtung - Monitoring</b>	Information über die Aktivitäten des Wettbewerbs bzw. über relevante Technologiefelder	phasenunabhängig	Jede Art von Veröffentlichung - unvollständig bis vollständig	NPL, PL, Firmendatenbanken, WWW, ...	bibl. DB, ev. ergänzt mit VT** - Datenbanken, Recherche nach eigener Firma im CT-Feld
		Als interessante Information um Verletzer aufzuspüren				
	<b>Formalrecherchen</b>					
<b>9</b>	<b>Namensrecherche</b>	Informationen über Wettbewerber und Erfinder	phasenunabhängig	Jede Art von Veröffentlichung - vollständig	NPL, PL, Firmendatenbanken	bibl. DB
					Firmenzugehörigkeiten überprüfen: 1) Recherche im Handelsregister 2) Wirtschaftsdatenbanken 3) Thesaurus von WPI, CAS nutzen	auch unter Namen des Firmeninhabers oder Geschäftsführer suchen
<b>10</b>	<b>Rechtsstandsrecherche</b>	Bestimmung der Rechtskräftigkeit relevanter Schutzrechte in relevanten Ländern	Projektplanung/Realisierung	In den Rechtsstandsregistern der jeweiligen Patentämter und in INPADOC	nationale Register, INPADOC	nationale Register, INPADOC
<b>11</b>	<b>Familienrecherche</b>	in welchen Ländern besteht Schutz zu einer bestimmten Erfindung	Projektplanung/Realisierung	alle familienorientierten Datenbanken	PL	Famillendokumente

Tabelle 3: Übersicht zu Recherchearten Teil A

\* Die Originaldokumente sollten als PDF in den bibliografischen DB verfügbar sein.

\*\* VT = recherchierbarer Volltext

Abkürzungen

Bibl. = bibliografisch; CAS = Chemical Abstracts Service; CT = cited (Zitierungen); DB = Datenbanken; MAT = machine aided translation; MT = Maschinenübersetzung; NPL = Nichtpatentliteratur; PL = Patentliteratur; VT = recherchierbarer Volltext, auch übersetzt (MT oder MAT); WPI = World Patents Index; WWW = World Wide Web

Typ	Rechercheart	Recall	Risiko/zeitlicher Aufwand	Dauer*	Recherchebericht für Auftraggeber mit	Tipps: oft für mehrere Recherchearten gültig
1	<b>Sachrecherchen</b> Themeneinstieg Quick & Dirty	Precision gegen 1	sehr gering/sehr gering	Ein bis zwei Stunden	kurze Zusammenfassung mit Auffälligkeiten	Rechercheinstieg; Start in Muttersprache; falls Fachbegriff nur in einer bestimmten Sprache verfügbar, dann in dieser Sprache anfangen
2	<b>Informationsrecherche</b>	Recall zwischen 0 und 0,5; Precision zwischen 0,5 und 1	gering/gering bis mittel	8-15 h	Übersicht zu technischen Lösungen	Welche Merkmale sind Standard, welche sind neu? Eine DB oft nicht ausreichend. Nicht vergessen: Nachveröffentlichungen können nach dem Anmelde tag der Erfindung noch als neuheitsschädliches Material gelten (§ 3 Abs. 2 PatG)
3	<b>Patentfähigkeit</b>	Recall bei 0,5; Precision zwischen 0,5 und 1	mittel/mittel	8-20 h	Relevanzabschätzung	1) Welches technische Problem löst die Erfindung? 2) Was ist die Erfindung? 3) Wie funktioniert die Erfindung? (Hunt (2007) S. 37)
4	<b>Rechtssständigkeit</b> Einspruch, Nichtigkeit	Recall gegen 1	mittel bis hoch/hoch	20-40 h oder länger	Relevanzabschätzung	vor Start der Recherche erst alle Entgegenhaltungen (cted) aller Familienmitglieder analysieren Online Akteneinsicht nutzen; z. B. hat US-Pair File wrapper hat oft mehr Entgegenhaltungen als in der PS dokumentiert wenn schon viel von anderen recherchiert wurde, dann bewusst anderen Weg gehen, andere IPC etc.!
5	<b>Verletzung</b>	Recall nahe 1	hoch/hoch	Einige Tage - 30-40 h	Relevanzabschätzung	Material gelten (§ 3 Abs. 2 PatG) eine DB oft nicht ausreichend; nicht vergessen: Nachveröffentlichungen können nach dem Anmelde tag der Erfindung noch als neuheitsschädliches überprüfen; Rechtsstand überprüfen
6	<b>Handlungsfreiheit</b> - Freedom to Operate - Product Clearing - breiter als eine Verletzungsrecherche	Recall nahe 1	hoch/sehr hoch	> 40 h	Relevanzabschätzung	Welche Merkmale sind wirklich relevant? Diese bevorzugen 1) AB, bevorzugt VT**, DB, B-Schriften - auch im Ausführungsbeispiel und in der Beschreibung 2) bezogen auf Zielmärkte 3) bei A-Schriften können Teile aus der Beschreibung in den Anspruch genommen werden; 4) ev. freier Stand der Technik in PL und NPL recherchieren; oft älter als 20 Jahre; 5) ev. noch Geschmacksmuster- und Markenrecherche! 6) alle Kombinationen bei 3. Merkmalen schon sehr aufwändig; nur M1, nur M2, nur M3, in anderen Anwendungsfeldern; Kombinationen M1 mit M2, M2 mit M3 usw. - meist nur die relevanten Merkmale einzeln, ev. noch in Kombinationen (mit Haftungsausschluss zu erwähnen) siehe Typ 5
7	<b>Due Diligence</b> - entspricht Recherchetyp 5 auf das Firmenportfolio ausgerichtet	Recall nahe 1	hoch/sehr hoch	> 40 h	Relevanzabschätzung	eine DB nicht ausreichend; siehe Typ 5
8	<b>Wettbewerbsbeobachtung - Monitoring</b>	unterschiedlich	mittel bis hoch/mittel bis hoch	unterschiedlich	Relevanzabschätzung oder Übersicht zu technischen Lösungen	zu Recherche zu Veretzern: e.g. Firmenpatente im field "cted" suchen
9	<b>Formalrecherchen</b> Namensrecherche	Recall und Precision nahe 1	mittel/mittel bis hoch	1-10 h	Relevanzabschätzung oder Übersicht zu technischen Lösungen	Anmeldestandards nutzen; z. B. PACO-Feld bei WPI
10	<b>Rechtsstandsrecherche</b>	Recall und Precision nahe 1	hoch/gering	0,1-4 h (abhängig von Anzahl der Länder und Verfügbarkeit der Daten)	Tabelle	auch unter Namen des Firmeninhabers oder Geschäftsführer suchen Daten aus INPADOC mit Daten aus nationalem Register hinterlegen, wenn möglich! Nur mit Beglaubigungen vom jeweiligen Patentamt; Wiedereinsetzung, Reaktivierung kann noch Jahre danach passieren;
11	<b>Familienrecherche</b>	Recall und Precision nahe 1	Übersicht		Übersicht	Zu breite Auslegung der Familie bei INPADOC; Ausweidmöglichkeit WPI

Tabelle 4: Übersicht zu Recherchearten Teil B

\* im Schnitt 1 - 3 Tage; Typ 5-7 >= 1 Woche

\*\* VT = recherchierbarer Volltext

Abkürzungen

Bibl. = bibliografisch; CAS = Chemical Abstracts Service; CT = cited (Zitierungen); DB = Datenbanken; h = Stunde;  
 MAT = machine aided translation; MT = Maschinenübersetzung; NPL = Nichtpatentliteratur; PL = Patentliteratur; PACO  
 = Patentanmeldercode; VT = recherchierbarer Volltext, auch übersetzt (MT oder MAT); WPI = World Patents Index;  
 WWW = World Wide Web

## Danksagung

Der Aufsatz entstand aus den Erfahrungen meiner beruflichen Tätigkeit der letzten zwanzig Jahre als Rechercheurin, Seminarleiterin und Professorin an der OTH Amberg-Weiden im Fach Rechertechnechnik und aus den Kontakten zu Patentabteilungen, Rechercheinstituten und zu Prüfern des DPMA, vor allem aus meinen Forschungsaufenthalten während meines Forschungsfreisemesters im Sommer 2012 bei Siemens in Erlangen und IP-Search in Bern, Schweiz. Ich bedanke mich für die jeweils dort erhaltene Unterstützung und den regen, fachlichen Austausch.

### **Prof. Dr. Ursula Versch**

ist seit 2002 Professorin für Recherche- und Informationstechnik im Studiengang Patentingenieurwesen an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden mit dem Schwerpunkt Rechertechnechnik.



Prof. Dr. Ursula Versch

---

## Literaturverzeichnis

- Ceulaer, Bart de (2009): Terabytes, petabytes and beyond: New Times, New Searches. Search Matters 2009. EPO. Den Haag.
- CLEVERDON, CYRIL W. (1972): ON THE INVERSE RELATIONSHIP OF RECALL AND PRECISION. In: Journal of Documentation 28 (3), S. 195–201.
- Denis, Cecile; Menidjel, Razik A. (2012): Patentability searching for biomaterial and related polymers. In: World Patent Information 34 (4), S. 284–291.
- DIN SPEC 1060, 2010-04: Dienstleistungsqualität im Intellectual Property Management.
- Flammer, Richard (Hg.): Patent Information News 2/2013. Hauptdirektion Patentinformation und Europäische Patentakademie, Europäisches Patentamt. Online verfügbar unter [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/56B4E29D008538E9C1257B8D0058BD48/\\$FILE/Patentinfo\\_News\\_0213\\_de.pdf](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/56B4E29D008538E9C1257B8D0058BD48/$FILE/Patentinfo_News_0213_de.pdf), zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- Foglia, Pasquale (2007): Patentability search strategies and the reformed IPC: A patent office perspective. In: World Patent Information 29, S. 33–53.
- Hunt, David; Nguyen, Long; Rodgers, Matthew (Hg.) (2007): Patent searching. Tools & Techniques. Hoboken, N.J.: Wiley.
- INPADOCDB. Database Summary Sheet (DBSS) (2013). Online verfügbar unter [http://www.stn-international.de/uploads/tx\\_ptgsrelatedfiles/INPADOCDB\\_14.pdf](http://www.stn-international.de/uploads/tx_ptgsrelatedfiles/INPADOCDB_14.pdf), zuletzt aktualisiert am 17.06.2013, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- STN International: Home. Online verfügbar unter <http://www.stn-international.de/index.php?id=123>, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- LexisNexis GmbH. LexisNexis | Business Information Solutions (2013). Online verfügbar unter <http://www.lexisnexis.de/>, zuletzt aktualisiert am 17.07.2013, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- Minesoft Ltd. Online verfügbar unter <http://www.minesoft.com/>, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- Mueller, Heinz; Nyfeler, Theodor (2011): Quality in patent information retrieval. Communication as the key factor. In: World Patent Information 33 (4), S. 383–388.
- Pipers: Searching Patents. Hg. v. Pipers. Online verfügbar unter <http://www.piperpat.com/VirtuallPLibrary/Generics-SearchingLibrary/SearchingPatents/tabid/4348/Default.aspx>, zuletzt geprüft am 01.07.2013.
- Questel. Search and Watch Patents, Designs, File Histories and Legal Status (2013). Online verfügbar unter <http://www.questel.com/>, zuletzt aktualisiert am 17.07.2013, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- Reuters, Thomson: Home | Thomson Reuters. Online verfügbar unter <http://thomsonreuters.com/>, zuletzt geprüft am 17.07.2013.
- Schmoch, Ulrich (1990): Wettbewerbsvorsprung durch Patentinformation. Handbuch für die Recherchenpraxis. Köln: Verl. TÜV Rheinland.
- SIGNO-Partner; PIZ-Netzwerk (2010): Standard für Recherchen zu gewerblichen Schutzrechten. Köln/Darmstadt. Online verfügbar unter [http://www.signo-deutschland.de/e5072/e6133/SIGNORecherche-Standard\\_Januar2010.pdf](http://www.signo-deutschland.de/e5072/e6133/SIGNORecherche-Standard_Januar2010.pdf), zuletzt aktualisiert am 19.04.2013, zuletzt geprüft am 28.06.2013.

- Suhr, Claus (2000): Patentrecht und ihre Nutzung. Der Leitfaden zu den Quellen technischer Kreativität. Renningen-Malmsheim: Expert-Verl.
- van der Drift, J. (1991): Effective Strategies for Searching Existing Patent Rights\*. In: World Patent Information 13 (2).
- Wagner, Michael H.; Thiel, Wolfgang (2007): Wegweiser für den Erfinder. Von der Aufgabe über die Idee zum Patent. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wicnec, Beatrix (2006): Aus der Praxis der Patentinformation. DGI-Online-Tagung. Paul Hartmann AG. DGI. Frankfurt, 13.10.2006.
- Wurzer, Alexander J. (2000): Wettbewerbsvorteile durch Patentinformationen. 2. Aufl. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Karlsruhe.
- Wurzer, Alexander J. (Hg.) (2003): Das Handbuch der Patentrecherche. 2. Aufl.: Forum Institut für Management.

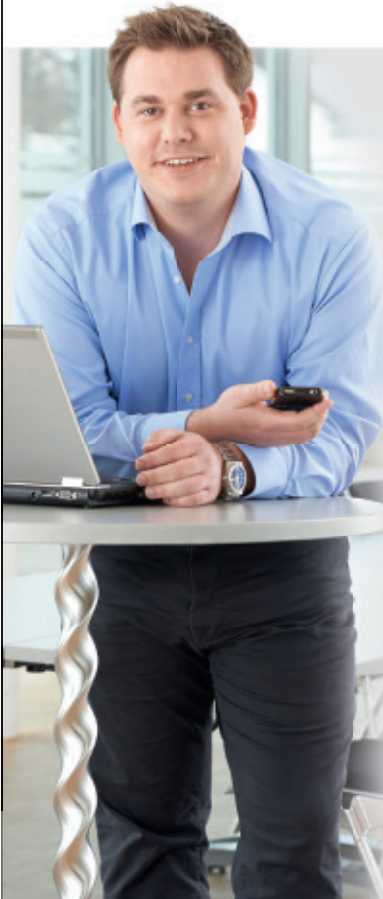
---

## Fußnoten

1. Siehe Wagner und Thiel 2007, S. 166.
2. Wurzer 2000, S.27.
3. Schmoch 1990.
4. Wurzer 2003.
5. Hunt et al. 2007.
6. Vgl. Pipers.
7. Vgl. SIGNO-Partner und PIZ-Netzwerk 2010.
8. Vgl. Wicnec 2006.
9. Vgl. Wurzer 2003, S. RT 2.1-2 ff.
10. Definition des Stands der Technik bei Recherchen zur Patentfähigkeit: § 3 Abs. 1 PatG : Den Stand der Technik bildet alles, was vor dem Anmeldetag der Patentanmeldung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden ist. Bei Patentanmeldungen werden dabei schriftliche und mündliche Beschreibungen weltweit berücksichtigt. Darunter fallen auch alle veröffentlichten Patentanmeldungen.
11. SIGNO-Partner und PIZ-Netzwerk 2010.
12. DIN SPEC 1060.
13. <https://depatisnet.dpma.de>
14. <http://worldwide.espacenet.com>
15. STN International.
16. Reuters.
17. Vgl. Flammer S.12.
18. Siehe § 3 Abs. 2 PatG.
19. Vgl. Wurzer 2003, S. RT 1.3-8
20. Vgl. van der Drift 1991.
21. Vgl. Suhr 2000, S. 417.
22. Siehe van der Drift 1991, S. 67.
23. Siehe Suhr 2000, S. 416.
24. CLEVERDON 1972, zitiert nach: Suhr 2000, S. 416.
25. Siehe Suhr 2000, S. 417.
26. Vgl. Wurzer 2003, S. RT 2.1-2 ff.
27. Vgl. Wurzer 2003, S. RT 2.2-1.
28. Vgl. van der Drift 1991, S. 68.
29. Foglia 2007, S. 39.
30. van der Drift 1991, S. 68.
31. Siehe Hunt et al. 2007.
32. Vgl. van der Drift 1991, S. 68.
33. [register.dpma.de](http://register.dpma.de)
34. INPADOCDB 2013.
35. Mueller und Nyfeler 2011.
36. Schmoch 1990, S. 205 f.
37. Schmoch 1990, S. 141.
38. Vgl. Ceulaer 2009.
39. Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.
40. Vgl. Foglia 2007, S. 40.
41. Vgl. Denis und Menidjel 2012, S. 288.
42. [http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg\\_e.ipdl](http://www.ipdl.inpit.go.jp/homepg_e.ipdl)
43. LexisNexis GmbH 2013.
44. Minesoft Ltd 2013.
45. Questel 2013.
46. Siehe Wurzer 2003.
47. Vgl. Foglia 2007, S. 41.
48. Vgl. Denis und Menidjel 2012, S. 290.
49. Siehe Wurzer 2003 S. RT 1.3-6.
50. Siehe Wurzer 2003 S. RT 1.3-5.
51. <https://depatisnet.dpma.de>
52. <https://depatisnet.dpma.de>
53. DEPATIS ist die Datenbank der Prüfer am DPMA, auch verfügbar über die Patentinformationszentren und in der Lehre an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden.
54. Recherche wurde am 21.7.2013 in DEPATIS durchgeführt.



## Technologie fasziniert grenzenlos



NETZSCH bietet mir als IT Inhouse Consultant die beste Perspektive. Das „Enterprise-Resource-Planning System“ ist innovativ, die Anforderungen, das System global umzusetzen, sind interessant und unbegrenzt. Ob Asien, Australien oder Amerika – dafür ist mir kein Weg zu weit. NETZSCH ist auf der ganzen Welt zuhause.

David Mitt  
Inhouse Consultant  
Informationstechnologie

# NETZSCH

NETZSCH-Gruppe  
Tel.: +49 9287 75261  
dajana.brusche@netzsch.com  
www.netzsch.com



# DEPRAG



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

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

Für Studenten und Absolventen der Fachbereiche Maschinenbau, Elektro- und Informationstechnik, BWL und Wirtschaftsingenieurwesen bieten wir attraktive:

- Vor- und Grundpraktika
- Praxissemester
- Studienarbeiten
- Abschlussarbeiten
- Stellen für den Berufseinstieg

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



## RAUM FÜR DEINE ZUKUNFT!



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

Weitere Infos und aktuelle Jobangebote unter

[www.fee.de/jobs](http://www.fee.de/jobs)

# F.EE

F.EE GmbH | Udo Starck | Personalabteilung | In der Seugn 10 | 92431 Neunburg v. W. | [bewerbung@fee.de](mailto:bewerbung@fee.de) | [www.fee.de](http://www.fee.de)

# Automatisierte Generierung und Validierung der Steuerungssoftware moderner Produktions- maschinen

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk**

*Durch die Einführung mechatronischer Systemansätze kann die Flexibilität und Funktionalität moderner Produktionsmaschinen weiter gesteigert werden. Der Steuerungssoftware kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Aufgrund des stetig steigenden Komplexitätsgrades wird die Erstellung und Validierung der Steuerungssoftware immer aufwändiger. Die virtuelle Inbetriebnahme automatisch erstellter Steuerungssoftware an ebenfalls automatisch generierten virtuellen Maschinenmodellen führt zu einer deutlichen Effizienzsteigerung im Engineeringprozess und zu einer Verkürzung der Inbetriebnahmezeit an der Maschine.*

## **Automated Generation and Validation of Control Software for Modern Production Machines**

The flexibility and functionality of modern production machines can be further increased by the introduction of mechatronic solutions, with the control software playing a key role. Due to the increasing degree of complexity, the generation and validation of control software is becoming more and more laborious. The virtual implementation of an automatically generated control software in equally automatically generated virtual machine models leads to both a considerable increase in efficiency of the engineering process and a shortened commissioning period.

Moderne mechatronische Produktionssysteme zeichnen sich durch das komplexe Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Software aus. Der Softwareanteil nimmt auf Kosten der mechanischen Anteile deutlich zu und damit auch die Bedeutung der Softwareentwicklung für den gesamten Entwicklungsprozess.

Während in der Mechanik- und Elektrokonstruktion der Einsatz von CAx-Tools zum Stand der Technik gehört, gibt es für die Entwicklung und Validierung von Steuerungssoftware bisher noch keine etablierten Toolchains.

Um diese Lücke im Engineeringprozess zu schließen, wurde an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden in Zusammenarbeit mit der Firma Siemens eine durchgängige Lösung entwickelt. Diese deckt den kompletten Workflow von der automatisierten Generierung bis zur modellbasierten Validierung von Steuerungssoftware ab.

Am Beispiel einer sog. Intelligent Belt Applikation wurde dies prototypisch für die Motion Control Steuerung SIMOTION realisiert. Ein Intelligent Belt wird vor allem in Produktionsmaschinen, vorwiegend im Verpackungsbereich, eingesetzt. Er ermöglicht es diskontinuierlich eingetaktete Einzelprodukte aufzunehmen und gruppiert an das nächste Maschinenaggregat weiterzugeben.

## **Automatische Softwareerstellung mit dem Projektgenerator**

Die Erstellung der Steuerungssoftware einer Intelligent Belt Applikation erfolgt mit dem SIMATIC/SIMOTION-Projektgenerator. Damit kann ein SIMATIC STEP7- bzw. ein SIMOTION SCOUT-Projekt auf Basis von Vorlagen automatisch erstellt oder geändert werden. Bei den Vorlagen handelt es sich um vorkonfigurierte bzw. vorprojektierte Steuerungsbeschreibungen und eine Funktionsammlung von Applikationsmodulen.

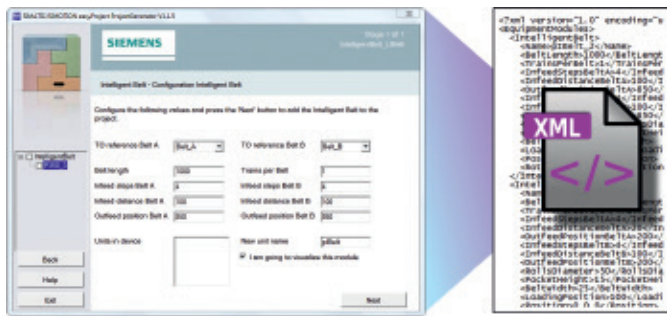


Abbildung 1: XML-Export aus dem Projektgenerator

Der Projektgenerator stellt dem Anwender eine Oberfläche zur Verfügung, über die die Module konfiguriert und parametrisiert werden. Damit passt der Anwender die allgemeinen Modulfunktionalitäten an seine spezifischen Applikationsanforderungen an. Die Aufgabe des Projektgenerators besteht darin, für eine Maschine automatisiert ein lauffähiges Projekt zu erzeugen, das auf der gewünschten Zielhardware ausführbar ist.

### Generierung eines virtuellen Maschinenmodells

Zur Validierung der Steuerungssoftware wird ein virtuelles Maschinenmodell verwendet. Dabei wird das kinematische, dynamische und steuerungstechnische Verhalten einer realen Maschine durch ein Simulationsmodell (virtuelle Maschine) auf einem PC nachgebildet [1]. Als Simulationsplattform wird die WinMOD-Systemplattform (www.winmod.de) der Firma Mewes&Partner eingesetzt. Die Anbindung einer realen Steuerung an den Simulations-PC erfolgt über ein Feldbusystem. Aus steuerungstechnischer Sicht verhält sich die virtuelle Maschine wie die reale Maschine.

Allerdings stellt die manuelle Erstellung eines virtuellen Maschinenmodells einen erheblichen zeitlichen Aufwand dar, der die erzielbare Effizienzsteigerung wieder zunichte machen kann. Deshalb ist eine Automatisierung der Modellgenerierung unbedingt erforderlich. An der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wird dazu eine Komponentenbibliothek entwickelt, die branchenspezifische Simulationskomponenten enthält. Eine Simulationskomponente bildet das funktionale Verhalten und die Geometrie eines Maschinenmoduls ab. Miteinander verschaltete Simulationskomponenten bilden schließlich das virtuelle Maschinenmodell. Eine Simulationskomponente besteht aus einem Verhaltensmodell und einem Kinematikmodell. Beide Modellkomponenten sind konfigurierbar und damit an die Applikationsanforderungen anpassbar. Der SIMATIC/SIMOTION-Projektgenerator wurde dahingehend erweitert, dass alle für die automatisierte Erstellung des Maschinenmodells benötigten Konfigurationsdaten im XML-Format [2] exportiert werden können. Über eine Excel-Applikation wird aus den Konfigurationsdaten eine csv-Datei abgeleitet, die in die WinMOD-Systemplattform importiert wird und automatisch ein Verhaltensmodell der virtuellen

Maschine generiert. Weiterhin wird aus der Excel-Applikation scriptbasiert ein Kinematikmodell auf VRML-Basis [3] erstellt. Dieses wird in die Visualisierungskomponente von WinMOD eingelesen und stellt ein 3-D-Modell der simulierten Maschine bzw. Anlage dar.

### Validierung der Steuerungssoftware

Das im Projektgenerator erzeugte lauffähige SIMOTION-Projekt wird über das Engineering Tool SIMOTION SCOUT auf die verwendete SIMOTION-Steuerung übertragen und dort ausgeführt. Der zyklische Echtzeitdatenaustausch zwischen der realen Steuerung und dem virtuellen Maschinenmodell kann wahlweise über die Feldbusysteme PROFibus bzw. PROFINet erfolgen. Dazu wird eine Feldbuskarte in den Simulations-PC eingebaut und in der WinMOD-Systemplattform der entsprechende Feldbus-treiber konfiguriert. Dies kann ebenfalls automatisiert auf Basis des Exports der Hardwarekonfiguration aus dem Engineering Tool erfolgen.

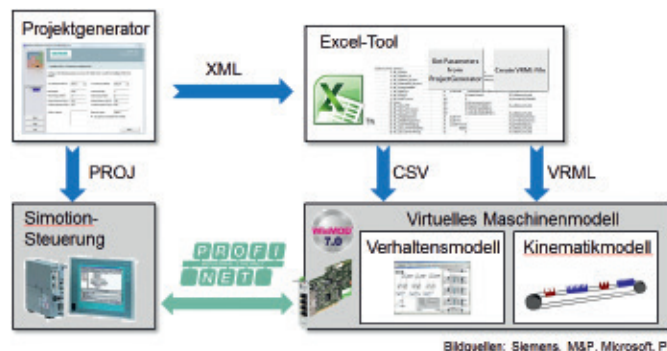


Abbildung 2: Systemüberblick zur Softwareerstellung und -validierung

Mit diesem Systemaufbau kann nun die Steuerungssoftware validiert werden. Alle Aspekte der Softwarevalidierung, wie z. B. Funktionstest, Störverhalten, Bedien- und Diagnosekonzept, Traceability und die Anbindung an übergeordnete Leitrechner, können mit dem virtuellen Maschinenmodell durchgeführt werden. Darüber hinaus kann dieses für Schulungszwecke und als Vertriebsunterstützung verwendet werden.

### Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Toolchain ermöglicht es, Steuerungssoftware und die für deren Validierung benötigten Maschinenmodelle weitgehend automatisch zu generieren. Dies führt zu einer wesentlichen Effizienzsteigerung im Engineeringprozess. Die reale Inbetriebnahme einer Produktionsmaschine kann nun auf validierter Steuerungssoftware aufsetzen und die Inbetriebnahmezeit dadurch deutlich reduziert werden.

In zukünftigen Projekten soll die Komponentenbibliothek branchenspezifisch erweitert werden. Interessierte Projektpartner sind zur Mitarbeit herzlich eingeladen.

---

## Literatur

- [1] Wenk, M.: Virtuelle Inbetriebnahme von Produktionsanlagen – Aufwand-Nutzen, Umsetzungsstrategien, zukünftige Entwicklungen, In: A. Verl, W. Schumacher, K. Bender (Hrsg.): Tagungsband SPS/IPC/DRIVES 2008, Nürnberg, 25.-27.11.2008, VDE Verlag, Berlin, 2008, S. 531–539
- [2] W3C (Hg): Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition), <http://www.w3.org/XML/Core/>, 2008
- [3] ISO/IEC 14772-1:1997 and ISO/IEC 14772-2:2004 — Virtual Reality Modeling Language (VRML), 2003



**Prof. Dr.-Ing. Matthias Wenk**  
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik



# Lehr- und Forschungs-OP an der OTH – Konzept und Zielsetzungen

## **Prof. Dr. med. Clemens Bulitta**

Die chirurgische Versorgung entwickelt sich rasant weiter. Neue minimalinvasive Techniken (Stichwort: NOTES) und der vermehrte Einsatz von Bildgebung (Stichwort Hybrid-OP) verändern den Arbeitsplatz Operationssaal radikal. In den letzten Jahren ist insbesondere durch die Kombination von interventionellen und offenen chirurgischen Verfahren (Hybridchirurgie) eine Vielzahl neuer Behandlungsverfahren entstanden. Schwerpunkt dieser Entwicklung war und ist die Herz- und Gefäßchirurgie.

Mittlerweile verfolgen weitere klinische Disziplinen wie die Neurochirurgie, die Orthopädie und Unfallchirurgie, die Allgemein- und Thoraxchirurgie und die Mund-Kiefer-gesichtschirurgie einen ähnlichen Weg. Die zentrale Rolle dabei spielt die intraoperative Bildgebung, insbesondere die 3-D-Bildgebung, z. B. durch Rotationsangiografie bzw. „Cone-beam CT“ zur Durchführung und Qualitätssicherung dieser komplexen Eingriffe.

So sind einige wenige hoch spezialisierte Operationsräume mit MRT- und CT-Ausstattung entstanden. Die intraoperative Angiografie hingegen hat sich quasi als neuer Standard etabliert. Daher ist die Bezeichnung Hybrid-OP nahezu das Synonym für einen Operationssaal, der mit einem Angiografie-System ausgestattet ist.

## **Surgical Teaching and Research at the OTH Amberg-Weiden – Concept and Objectives**

Surgical treatment is developing rapidly. New minimally invasive techniques (NOTES) and the increasing use of imaging technology (hybrid surgery) are changing the workplace of the surgeon quite radically. Due to the combination of interventional and open surgical processes (hybrid surgery), a great number of new treatment methods have evolved. The main focus of this development is and has been on cardiovascular surgery. Meanwhile, other clinical disciplines such as neurosurgery, orthopedics and trauma surgery, as well as general surgery, thoracic surgery, and craniomaxillofacial maxillofacial surgery are taking similar paths. At the core of this development lies intra-surgical imaging, especially 3-D imaging, using for example rotational angiography or “Cone-beam CT“ for the performance and quality assurance of these complex surgical interventions. Thus, a few highly specialized operating rooms equipped with MRI and CT have been set up, whereas intra-operative angiography has been established as a new standard. Hence, the term hybrid surgery has quasi become a synonym for an operating room equipped with an angiography system.

Für bestimmte Eingriffsarten und klinische Prozeduren wird national und international bereits von verschiedenen Fachgesellschaften ein bestimmter Ausstattungsstandard, insbesondere in Bezug auf die Bildgebung, gefordert. Die Anforderungen an solche Räume sind je nach klinischem Anwendungsgebiet sehr spezifische Anforderungen, besonders wenn es um die medizintechnische Ausstattung geht. Bei Konzeption, Planung und Umsetzung gilt es daher, zahlreiche Abhängigkeiten in Bezug auf die klinischen Abläufe, Hygiene, medizintechnische Geräteausstattung sowie Haus- und Gebäudetechnik zu beachten.

Nur durch ein umfassendes Workflowverständnis, sorgfältige, frühzeitige und gewerkeübergreifende Planung mit sämtlichen beteiligten Akteuren ist eine erfolgreiche Realisierung eines Hybrid-OPs und moderner integrierter Operationssäle möglich. Daraus ergibt sich eine Vielzahl neuer Fragestellungen, insbesondere in folgenden Bereichen:

- Einsatz und Nutzen intraoperativer Bildgebung
- Technologieintegration, z. B. OP-Tisch und Bildgebung, aber auch Medizintechnik und Informationstechnologie (Stichwort DIN 80001-1)
- Hygiene und Lüftungstechnik (Stichwort DIN 1946/4 2008)
- Medizintechnikplanung
- Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit
- Workflow und Effizienz

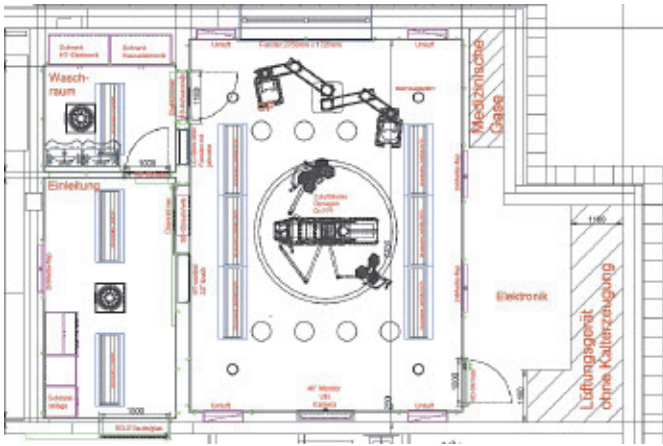
Daher wird an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden ein hochmoderner Hightech-OP mit dem vollen Funktionsumfang eines realen Operationssaales inklusive Lüftungstechnik für Lehre und Forschung etabliert. So kann die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden ihre Kompetenz im Studiengang Medizintechnik und als innovatives Zentrum für die Gesundheitswirtschaft in der Region ausbauen.

Die Rahmenbedingungen für den Erfolg des Projektes sind einzigartig. Neben dem erfolgreichen Bachelorstudiengang Medizintechnik verfügt die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden über ein etabliertes und enges Netzwerk mit regionalen und überregionalen Kooperationspartnern in der medizintechnischen Industrie und den Kliniken in der Region. Weiterhin ist eine umfassende Laborausstattung in der Medizintechnik an der Hochschule vorhanden und somit hervorragende Rahmenbedingungen für die Ausbildung und Forschung. Durch den geplanten Masterstudiengang kann die weitere Entwicklung der Hochschule als Motor für die Gesundheitswirtschaft und Medizintechnikindustrie in der Oberpfalz bzw. in Nordbayern weiter vorangebracht werden.



Durch die Verbindung zum Studiengang Medizintechnik und den klinischen Partnern vor Ort bestehen herausragende Voraussetzungen in Forschung und Lehre insbesondere. So können Aspekte der Systemintegration und der Ausbildung von Projektingenieuren und Serviceexperten, die Ideen und Visionen der Anwender im Operationssaal in die Wirklichkeit umgesetzt, umfassend bearbeitet werden. Sämtliche Schnittstellen-Aspekte von Medizin und Haustechnik inkl. Lüftungstechnik können untersucht werden. Dies ist in dieser Form in anderen Forschungs-OPs nicht möglich, da diese meist nicht über eine entsprechende technische Ausstattung verfügen.

Der neue Hightech-OP dient daher als Referenzzentrum für innovative Technologien und deren praktischer Anwendung vor allem im Bereich der minimalinvasiven Chirurgie. Unter Einbeziehung ausgewählter Industriepartner (HT Labor und Hospitaltechnik AG, Avidicare AB) und der Kliniken in der Region (Kliniken Nordoberpfalz AG, Klinikum St. Marien Amberg), die als Partner für dieses Projekt bereits gewonnen werden konnten, kann mittelfristig an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden eine einzigartige moderne Lehr- und Forschungsplattform für die operative Versorgung der Zukunft etabliert werden. Neben dem Lehr- und Forschungs-OP an der Hochschule können die Fragestellungen auch unter Einbeziehung des am Klinikum Weiden im Bau befindlichen Hybrid-OPs und voll integrierten Operationssaals untersucht werden. Den Anwendern im Klinikum Weiden steht ein direkter Einblick über die Funktionen und medizintechnischen Vorteile zur Verfügung. Stärken und Schwächen von innovativen Technologien können im Kontext realer Rahmenbedingungen bewertet werden. Erprobung im klinischen Umfeld im Anschluss ist durch die Zusammenarbeit mit den klinischen Partnern ebenfalls sichergestellt. Eine solche Plattform kann dann zur Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Technologien eingesetzt und weiter ausgebaut werden.



Zusammenfassend schafft der Aufbau einer solchen gemeinsamen Plattform den Zugang zur Anwendung neuer Technologien in der operativen Versorgung. Es entsteht die Möglichkeit zur beruflichen (Weiter-)Qualifikation für medizinisches und technisches Personal. Bereits bestehende Kompetenzen in der minimalinvasiven Chirurgie und der operativen Patientenversorgung werden gestärkt. Strategische Partnerschaften mit der Industrie können ausgebaut werden. Die Umsetzung und Kommerzialisierung innovativer Ideen in Ausgründungen wird durch die existierenden Angebote im Netzwerk der Hochschule gefördert. Damit stellt dieses Projekt eine wichtige Investition für die Krankenversorgung und den Hochschul- und Wirtschaftsstandort in der Region dar.

Zusätzlich sollen neue Angebote in Aus-, Fort- und Weiterbildung für klinisches und technisches Personal aufgebaut werden. Hierzu gibt es bereits erste konkrete Gespräche mit dem Vorstand der Kliniken Nordoberpfalz AG. Neben der Erprobung von neuen Operationstechniken, der Ausbildung von Operationsassistenten(inn)en und dem Einsatz in der Lehre im Studiengang Medizintechnik sollen daher u. a. auch neuartige Konzepte für die Ablaufsteuerung sowie Operationsplanung und -durchführung untersucht werden.

Der Innovationstransfer in der Medizintechnik und die Vernetzung von Gesundheitsversorgung, Wissenschaft und Wirtschaft in der Oberpfalz bzw. in Nordostbayern werden nachhaltig gestärkt.



**Prof. Dr. med. Clemens Bulitta**  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

## Prof. Dr.-Ing. Günter Kummetschneider

Die Anwendung ökologischer Ansätze auf logistische Prozesse kann derzeit als einer der großen zukunftsorientierten Schwerpunkte in der Logistik bezeichnet werden. Begriffe wie „Grüne Logistik“, „Green Logistics“ oder „ÖkoLogistik“ werden hierfür verwendet. Um sowohl Unternehmen sukzessive eine konkrete und praxisnahe Hilfestellung anzubieten als auch interessierten Studierenden diesbezügliches Grundlagenwissen zu vermitteln, wurde ein mehrteiliges „Handbuch ÖkoLogistik“ konzipiert. Im Rahmen des Gesamtkonzeptes wurden seit dem Sommersemester 2010 aufbauend auf verschiedenen studentischen Projektarbeiten (Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen) durch weitere umfangreiche Recherchen und Analysen die aktuell verfügbaren Versionen der Dokumente erarbeitet.

## Manual EcoLogistics

Applying ecological approaches to logistic processes can be referred to as one of the great future-oriented key aspects in logistics. Terms such as “green logistics” („Grüne Logistik“) or “EcoLogistics” („ÖkoLogistik“) are used to describe this. In order to provide companies gradually with support that is specific and of practical relevance, as well as giving interested students a basic knowledge of the subject matter, a multi-part manual of “ÖkoLogistik” was conceived. As part of the overall concept, the currently available versions of the documents were compiled. The data resulted from several student projects (study program Industrial Engineering and Management) and through further large-scale research and analysis since summer semester 2010.

Im **Teil 1 „Grundlagen“** wird zunächst eine Definition des Begriffs ÖkoLogistik erarbeitet. Aufbauend darauf werden die Ziele differenziert aufgezeigt und Gründe (Motivationsfaktoren) analysiert, warum sich Unternehmen mit diesem Thema beschäftigen sollten.

Um die ökologischen Auswirkungen von logistischen Prozessen konkret und möglichst quantitativ beurteilen zu können, werden Bewertungskriterien benötigt. Im **Teil 2 „Methoden“** werden deshalb verschiedene, weltweit eingesetzte Methoden zur Beurteilung der Umweltwirkung (CO<sub>2</sub>-Emissionen u. a.) von Produkten, Unternehmen und Transportketten vorgestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Optimierung logistischer Prozesse analysiert. Als Beispiele können genannt werden: Ökobilanz, International Reference Life Cycle Data System (ILCD), Product Environmental Footprint (PEF) und DIN EN 16258. Bewertungsmethoden sind dabei erforderlich, um Potenziale ermitteln und mögliche Optimierungsmaßnahmen beurteilen zu können. Die umfangreichen Methodenbeschreibungen können genutzt werden, um zur Bewertung einzelner Prozesse fundierte Quantifizierungsverfahren und ggf. verfügbare Tools zu identifizieren.

Das Thema „ÖkoLogistik“ tritt immer stärker in das Blickfeld von Unternehmen und vielfach ist auch das Bestreben erkennbar, die Logistik nachhaltiger zu gestalten. Jedoch fehlen häufig noch konkrete Ansätze und Beispiele, wie dieses Ziel in der Praxis erreicht werden kann. Der **Teil 3 „Maßnahmen“** des Handbuchs ÖkoLogistik soll daher gleichsam als Ideengeber sukzessive einen strukturierten Katalog möglicher Maßnahmen für die Umsetzung einer „grünen Logistik“ zur Verfügung stellen. Für ausgewählte Maßnahmen werden neben einer kompakten Beschreibung des grundlegenden Ansatzes u. a. die Nutzenpotenziale, die sich bei einer erfolgreichen Umsetzung ergeben können, beschrieben.



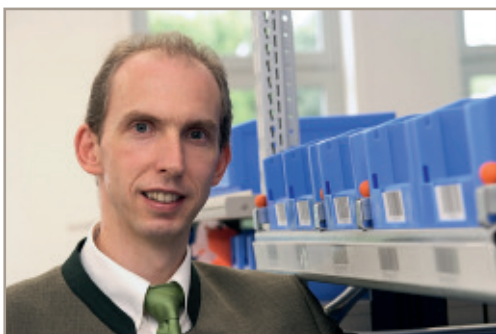
Weiterhin wird auf Aufwand und Risiken eingegangen: Dies beinhaltet insbesondere auch die mit der jeweiligen Maßnahme verbundenen Kosten. Da in diesem Handbuch neben bereits verfügbaren auch neue und zukunftsweisende Ansätze aufgenommen werden, wird zuletzt der Reifegrad eingeschätzt. Als Themenfelder werden dabei z. B. betrachtet:

- Verkehrstechnik (Antriebstechnik, Abgasreinigung, Reifentechnik, ...),
- Transportorganisation (Frachtbörsen),
- innerbetriebliche Fördertechnik (Batterieladetechnik, Energierückgewinnung, ...),
- Maßnahmen der Mitarbeiterschulung.

Ein umfangreiches **Quellenverzeichnis (Teil 4)** dient als Beleg und als Verweis auf vertiefende Informationen.

Als **Teil 5 „Projektbeispiele“** sind einige Kurzberichte zu bisherigen studentischen Projektarbeiten in Unternehmen veröffentlicht. Die studentischen Teams haben dabei in verschiedenen Unternehmen die Logistikprozesse analysiert und darauf aufbauend konkrete Vorschläge zur ökologischen Optimierung erarbeitet und bewertet.

Das Handbuch ÖkoLogistik ist unter <http://www.oth-aw.de/kummetsteiner/weiterbildung/oekologistik/> online zugänglich.



**Prof. Dr.-Ing. Günter Kummetsteiner**  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

# Einsatz der Mehrkörpersimulation in Verbindung mit Computertomografie in der Produktentwicklung

**Prof. Dr. Franz Magerl**  
**B.Eng. Frank Guggenmos**

## Hintergrund

Bei komplexen Baugruppen ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Tolerierung der einzelnen Bauteile. Dies zieht wiederum umfangreiche und sorgfältige Abstimmungen bei der Vermessung der Bauteile in Abhängigkeit der Zeichnungsvorgaben mit sich. Simulationen im Vorfeld der Entwicklung an Bauteilen, Baugruppen und Werkzeugen sowie der Tolerierung der Komponenten im Bereich 6-Sigma können dabei den Prozess der Bauteil- und Werkzeugoptimierung unterstützen, dass er effizienter gestaltet werden kann. Die Erkenntnisse aus der Simulation und der Vermessung der ersten Musterteile bilden die Grundlage für die Produktoptimierung.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel, die bisherigen Erfahrungen in den Bereichen Computertomografie (CT) und Struktursimulation zu kombinieren. Für den Bereich CT geht es in erster Linie darum, die Technologie zur hochgenauen Vermessung von Bauteilen zu verwenden und die Daten so aufzubereiten, dass ein direkter Vergleich mit Konstruktionsdaten (CAD) und Ergebnissen aus der Mehrkörpersimulation (MKS) mit den originalen CAD-Daten möglich wird. Im Bereich MKS ist es vor allem wichtig, die Vorhersagen für die sichere Funktion von ganzen Baugruppen zu optimieren. Außerdem soll die Qualität gesteigert, der Zeitaufwand gesenkt werden sowie die Kosten der Optimierung minimiert werden.

## Application of Multibody Simulation in Connection with Computer Tomography in Product Development

### Background

Complex assembly groups demand high tolerance requirements of their individual parts. This fact, in turn, requires extensive and careful adjustments to be made when measuring the individual parts with regard to their drawing specifications. Simulations carried out on parts, assemblies and tools prior to their development as well as tolerance limits of parts within the 6-Sigma range can make the process of part and tool optimization more efficient. The insights gained from the simulations and measurements of the first prototype parts serve as the basis for product optimization.

Set against this backdrop, this project attempts to combine the experience gained in the fields of Computer Tomography (CT) and Structural Simulation. With regard to CT, the primary aim is to use this technology for high-precision measurements of parts and to process the data gained in such a way that a direct comparison between Design Data (CAD) and the results of Multibody Simulation (MBS) with the original Design Data is possible. With regard to MBS, it is especially important to optimize the reliability prediction for whole assembly groups and, in addition, to improve quality and minimize time expenditure and optimization costs.

## Die Mehrkörpersimulation

Die MKS stellt ein Teilgebiet der Mechanik dar, welches sich mit dem Bewegungsverhalten von mechanischen Systemen beschäftigt, die aus mehreren, miteinander verbundenen Körpern bestehen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei Grundproblemen. Zum einen die Kinematik und zum anderen die Kinetik. Die Kinematik beschäftigt sich mit der Bewegung an sich. Hier werden geometrische Abläufe der Bewegung in Verbindung mit ihren Größen, wie z. B. Geschwindigkeit und Beschleunigung, untersucht. Bei der Kinetik hingegen werden die Zusammenhänge zwischen den Bewegungen und den Kräften erfasst. Der Hauptnutzen der MKS liegt darin, frühzeitig viele wichtige Produkteigenschaften zu ermitteln, ohne einen realen Prototypen herstellen zu müssen. Die prinzipielle Vorgehensweise ist nahezu immer gleich. Zu Beginn wird basierend auf der Problemstellung des technischen Systems das physikalische Modell erstellt. Anschließend werden die mathematischen Bewegungsgleichungen des Mehrkörpermodells hergeleitet. Im nächsten Schritt werden diese mit numerischer Integration mit der MKS-Software simuliert und analysiert. Im Anschluss werden die Messergebnisse der Simulation mit der Problemstellung der Ausgangssituation abgeglichen. Nach dem Vergleich bzw. der Verifikation können dann weitere Parameterstudien durchgeführt werden.

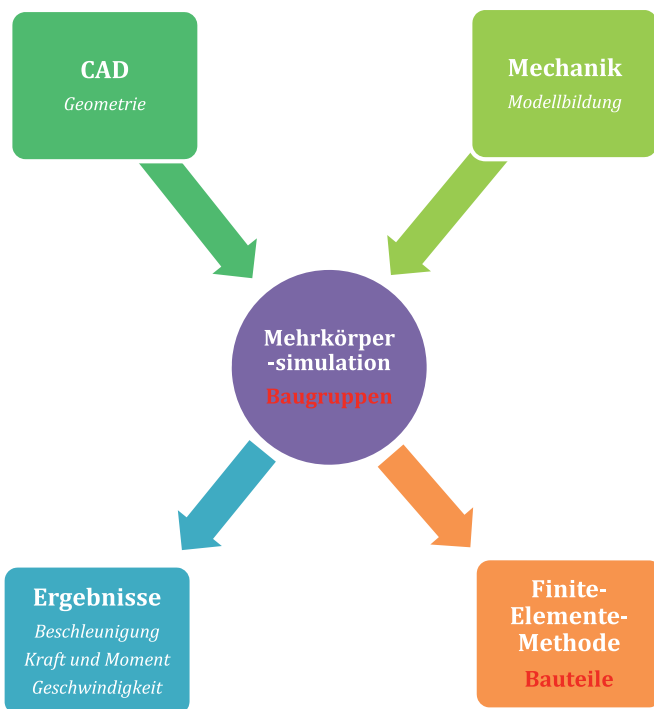


Bild 1: Abgrenzung FEM und MKS

## Die Computertomografie

Die CT gehört zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Die Datenermittlung wird dabei am realen Bauteil durchgeführt. Eine Bearbeitung oder aufwendige Vorbereitung des zu prüfenden Bauteils ist nicht notwendig, sodass die Probe im Originalzustand erhalten bleibt.

Es lässt sich nicht nur die Außenkontur eines Bauteils prüfen, sondern auch die Innenkonturen werden abgebildet. Die industrielle Computertomografie bietet auch einen Einblick in das Innenleben von Bauteilen; es können z. B. Lunker, Einschlüsse oder innere Bauteilfehler vermessen und grafisch dargestellt werden. Da es sich um ein digitalisiertes Messverfahren handelt, liegen sämtliche Messdaten von Beginn an bereits in digitaler Form vor. Somit werden Fehler, die infolge einer falschen Eingabe beziehungsweise Umrechnung von zuvor manuell ermittelten Daten entstehen könnten, ausgeschlossen. Die Aufbereitung der Messwerte erfolgt analog der 3-D-CAD-Konstruktion. Durch die Kopplung der digitalen Vermessung mit CAD-kompatiblen Auswertungsprogrammen lassen sich die Messergebnisse 1:1 mit den Sollwerten des CAD-Modells vergleichen. Ein möglicher „Falschfarbenvergleich“ stellt die Ergebnisse sehr schnell und anschaulich dar.

### Einbindung von CT-Aufnahmen in die Mehrkörpersimulation

Aus einer bereits bestehenden in MKS simulierten Baugruppe wird ein für die Funktion interessantes oder relevantes Bauteil entnommen. Von diesem wird anschließend eine CT-Aufnahme erstellt. Aus der resultierenden Punktwolke wird anschließend ein STL-Netz generiert. Dieses Netz wird in einen 3-D-Volumenkörper umgewandelt und zum CAD-Teil als Referenz ausgerichtet.

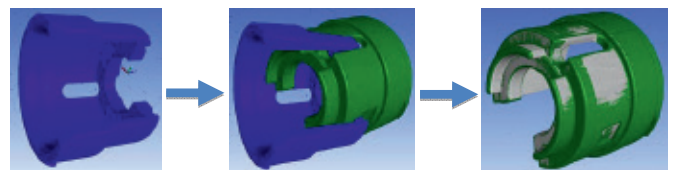


Bild 2:  
CT-Aufnahme      CT-Aufnahme und CAD      Ausrichtung im Raum

Nach der Ausrichtung der beiden Datensätze wird ein sogenannter Soll-Ist Vergleich durchgeführt, um Abweichungen vom ideal konstruierten zum realen Bauteil darzustellen.

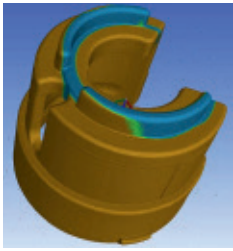


Bild 3: Soll-Ist Vergleich

Anschließend wird das Oberflächennetz, basierend auf der CT-Aufnahme, in Flächen umgewandelt. Je nach gewünschtem Detailierungsgrad können die Flächen, ausgehend vom STL-Netz der CT-Aufnahme, mit unterschiedlicher Detailierungsgüte aufgeteilt werden. Das Dateiformat liegt im STEP- oder IGES-Format vor und kann problemlos in die Mehrkörpersimulation eingebunden werden. Aus den erstellten Flächen wurde somit ein Volumenkörper erstellt.

Im nächsten Schritt wird die STEP-Datei der erstellten CT-Aufnahme des Bauteils in die ursprünglich bestehende Mehrkörpersimulation importiert. Im Anschluss wird das mit dem CT vermessene Bauteil an den idealen CAD-Daten des Originalteils ausgerichtet und positioniert. Somit wird im weiteren Verlauf eine fehlerfreie Simulation gewährleistet. Der Umgang mit flächenrückgeführten CT-Aufnahmen ist identisch mit dem von idealen CAD-Bauteilen. Folglich können die Randbedingungen für Lagerungen, Kontakte und Bewegungen für die Simulation vorgegeben werden.

Nach erfolgreich abgeschlossener Simulation können sämtliche Kräfte, Wege, Drehmomente, Beschleunigungen usw. grafisch ausgegeben werden. Diese Daten können dann mit den ursprünglichen Daten der idealen CAD-Bauteile verglichen werden.

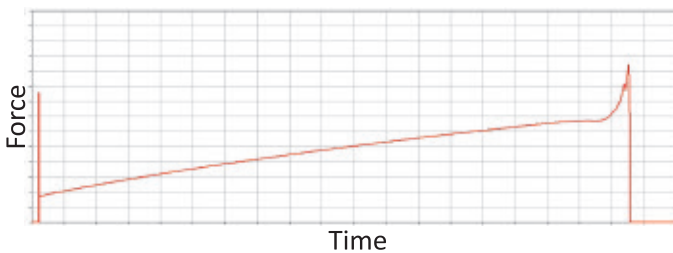


Bild 4: Originale CAD-Baugruppe

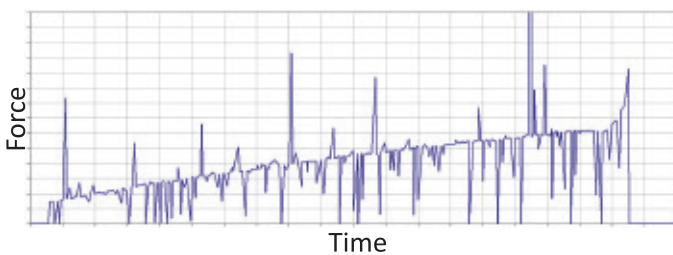


Bild 5: CT-Baugruppe

Aus dem blauen Kurvenverlauf ergeben sich bei den Kraftspitzen maximale Abweichungen zum CAD-Kraftverlauf von bis 40 %. Diese extremen Ausschläge resultieren aus dem Detailierungsgrad der zurückgeführten Flächen.

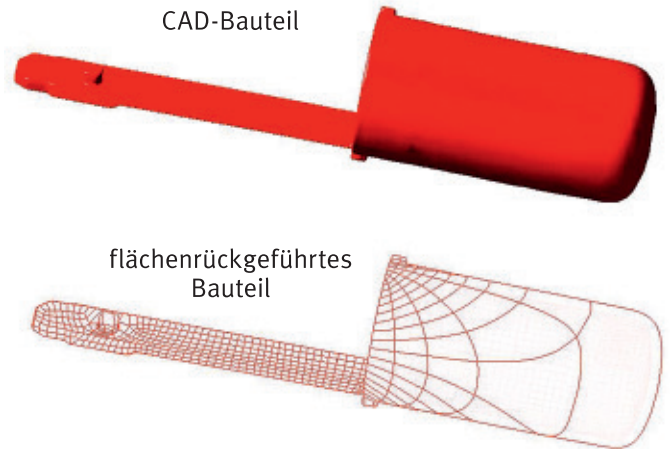


Bild 6: Vergleich CAD- und flächenrückgeführtes Bauteil

Je aufwendiger die CT-Messung und die nachfolgende Flächenrückführung ausgeführt werden, desto besser bzw. realer wird der Kräfteverlauf dargestellt.



## Ergebnis

Bauteile mit realen Abmessungen können in die Mehrkörpersimulation eingebunden werden. Hierzu wird eine CT-Aufnahme der ausgewählten Bauteile erstellt. Je nach Detaillierungsgrad beträgt der zeitliche Aufwand für eine Aufnahme ca. 2 Stunden. Im Anschluss muss das STL-Netz der CT-Aufnahme in Flächen zurückgeführt werden. Je nach Genauigkeit der Rückführung ist hier ein Zeitfenster von mindestens einem Tag nötig. Die erhaltene STEP-Datei kann anschließend problemlos in eine bereits bestehende Mehrkörpersimulation eingebunden werden.

Computertomografie und Simulation lassen sich miteinander gut kombinieren. CT-Aufnahmen von einzelnen Komponenten können in die Simulation eingebunden werden. Folglich ist es also möglich, Komponenten mit realen Bauteilabmessungen zu simulieren und auszuwerten. Als Schnittstelle hierzu dient die Flächenrückführung, mit der die CT-Datensätze in CAD-Datenstrukturen umgewandelt werden.



**Prof. Dr. Franz Magerl**  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen



**B. Eng. Frank Guggenmos**  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

# Corticale Schmerzverarbeitung bei mentalem Stress – Visualisierung mit funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT)

Cortical pain processing during mental stress – visualization by functional magnetic resonance imaging (fMRI)

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

Erschienen in: 181.06/II18. 2012 Neuroscience Meeting Planner. New Orleans, LA: Society for Neuroscience, 2012. Online. R. RINGLER<sup>1</sup>, P. V. D. KEYLEN<sup>2</sup>, K. DETMAR<sup>3</sup>, R. LOOSE<sup>3</sup>, C. FORSTER<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Univ. of Appl. Sci. Amberg-Weiden, Weiden, Germany;  
<sup>2</sup>Inst. of Physiol. 1, Univ. of Erlangen, Erlangen, Germany;  
<sup>3</sup>Radiology, Clin. Ctr. of Nuremberg, Nuremberg, Germany

Mental stress during long lasting cold pressure pain reduces pain intensity and amplitudes of BOLD changes - An fMRI study

## Introduction

Pain is a stressful experience which leads to changes in the activity of the autonomic nervous system. But also stress itself induces autonomic responses. From this it is difficult to show which responses are pain related and which are stress related. Then again, a stressful task can destruct from pain and reduce the pain experience.

This study combined pain and stress to study the effects on autonomic reflexes, pain rating and cortical responses during each task alone and during simultaneous execution. For pain the cold pressure (CP) was used during which a foot was immersed into ice water. This manoeuvre evokes deep and dull pain accompanied by cardiovascular and other autonomic reflexes. Stress was induced by a false color stroop task, which is naming the print colour of a written colour name. These tasks were presented either alone or simultaneously (CPS: cold pressure with stroop). The intention of that study was to monitor the pain experience during long lasting cold pain with and

without distraction. To analyze corresponding changes in the cortical processing of pain and autonomic reflexes functional magnetic resonance imaging (fMRI) was used.

## Materials and methods

11 healthy subjects (6 m/5 f, mean age 23.6y±3.0y) participated. Ethics committee approval was granted. In a first run psychophysical data were recorded. In the second experiment fMRI was assessed using a block design with stimulus and baseline of 120 sec. CP or CPS were alternately repeated 2 times applied with baseline in between. During baseline the right foot was surrounded by “warm” water at 14°C (57°F) while under CP and CPS by “cold” water at 4°C (40°F). Stroop task was a false color task. fMRI data were acquired on a 1.5 T Siemens Magnetom Espree. All MRI data were normalized to the Talairach space and transformed to high resolution anatomical data sets. fMRI was analyzed in BrainVoyager QX 2.4.2 using a group study GLM block design with 2 predictors: CP and CPS.

## Results

Pain rating was given continuously during the whole fMRI session on a visual analog scale from 0 – 100 (no pain to maximum pain). There is a significant decrease of pain perception during CPS compared to CP alone. The second painful CP stimuli was less painful than the first stimuli. This effect was not significant however (Fig 1).

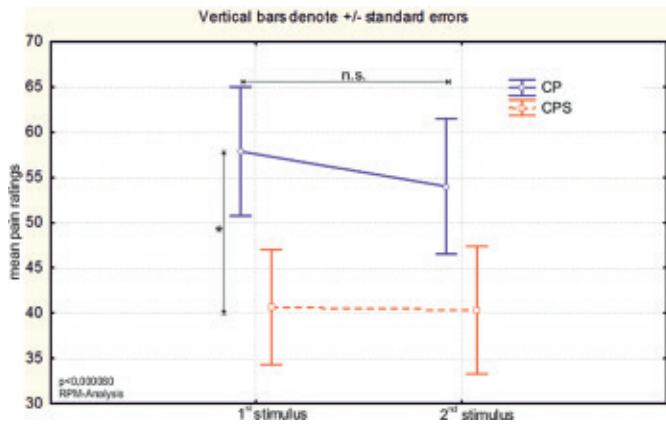


Fig 1: Rating during CP compared to the distraction that occurred while presenting CPS in a simultaneous way.

### fMRI results – GLM-analysis

During the painful stimuli typical pain related areas like the cingulate gyrus, the left and right insula and temporal lobe are activated. Furthermore activated clusters are found in S2. All clusters at a high level of significance are found during CP and CPS stimulus. A slightly higher beta-value at CPS is found compared to CP (Fig 2). On average the BOLD signal is increased during CPS as compared with CP (Fig 3).

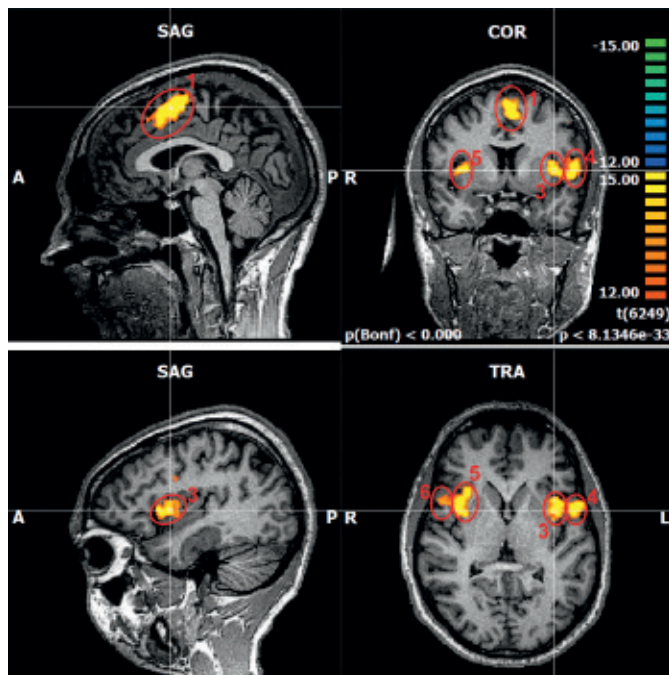


Fig 2: GLM with predictor Cold Pressure (+), CP with Stroop (+).

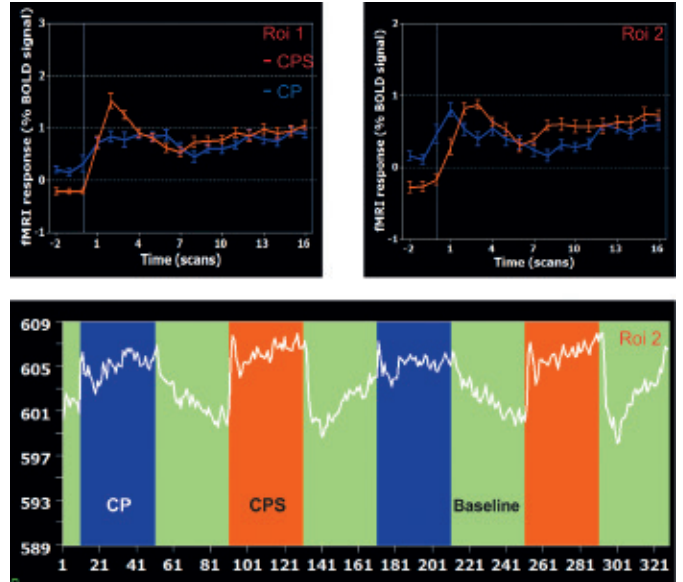


Fig 3: fMRI BOLD Response in Roi 1 and Roi 2 with GLM analysis of Cold Pressure (+) and CPS (+) (upper row: Onset CP in blue and CPS in red). The time course of fMRI signal in Roi 1 during CP and CPS compared to baseline (lower row).

The GLM-Multi-Study-Analysis with the predictor CP set to „+“ and CPS to “-“ displays only clusters with an increased answer to CPS stimulus (blue color). The time course of the BOLD effect in the cingulate gyrus and bilateral motor cortex clusters are of greater amplitude and faster onset (Fig 4).

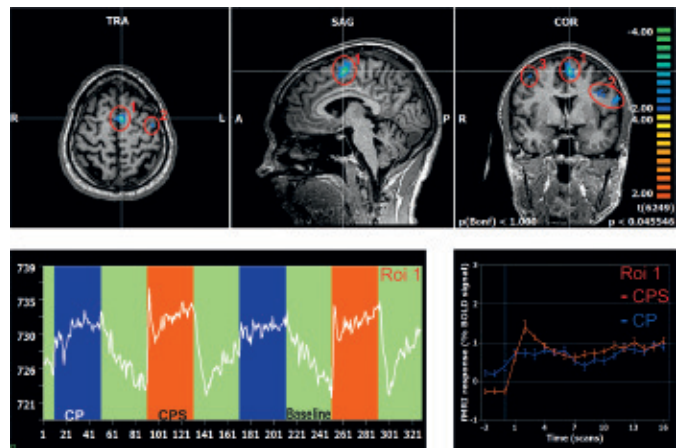


Fig 4: fMRI BOLD Response in Roi 1 with GLM contrast analysis of Cold Pressure (+) and CPS (-) (upper row: Onset CP in blue and CPS in red). The time course of fMRI signal in Roi 1 during CP and CPS compared to baseline (lower row).

The analysis with VOI-template (volume of interest) was performed with GLM of selected regions of region of interest (ROI). Premotor cortex and S2-area (Brodmann Area (BA) 13) resulted in a greater t-value for CPS than CP alone. This effect was seen in right and left hemisphere. Insula was activated most during both stimuli CPS and CP (see Fig 5).

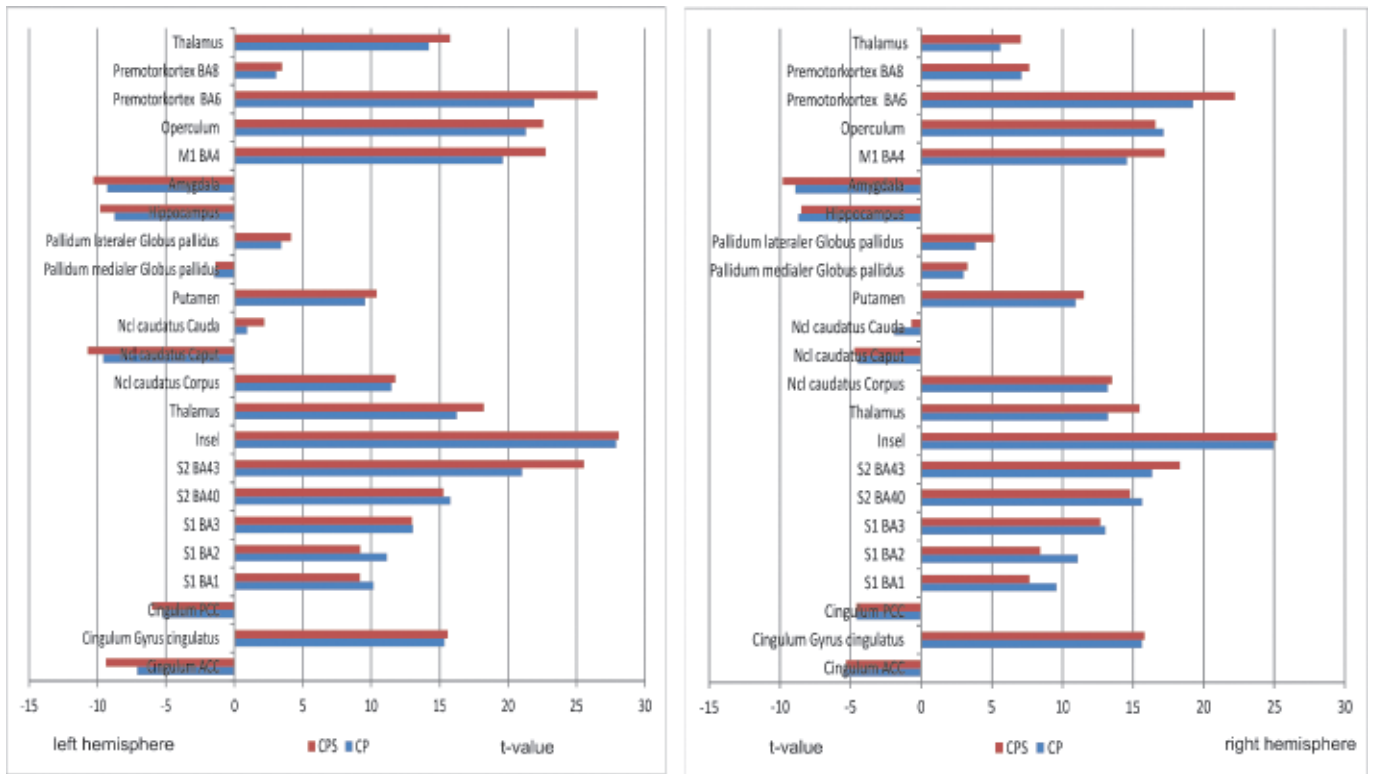


Fig 5: t-values for a ROI analysis using a template. This template uses predefined volumes of anatomical regions. In red the t-values of CPS, in blue the t-values for CP.

## Conclusion

Distraction by the stroop task significantly reduced the rating of pain induced by CP. Stress induced by the simultaneous presentation of a stroop task and cold pressure pain (CPS) increases the heart rate significantly more than the pain stimuli (CP) itself.

In most brain areas the BOLD responses to CP were enhanced if a stroop task is presented simultaneously. These effects are most prominent in the regions of the medial pain systems indicating that they are more

sensitive to the distraction.

The fMRI results provide evidence that distraction by stroop modulates the brain's responses to peripheral painful stimulation by CP, modulating both sensory and emotional aspects of pain processing. The parameters stress and pain seems to increase the bold effect in the same areas when applied simultaneously.

Keyword(s): FMRI PAIN STRESS COLD-PRESSURE-TEST



**Prof. Dr. Ralf Ringler**  
 Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden  
 Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen  
 Medizintechnik / Medizinische Physik  
 r.ringler@oth-aw.de  
 Foto: Homepage OTH



**Prof. Dr. Clemens Forster**  
 Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg  
 Institut für Physiologie und Pathophysiologie  
 forster@physiologie1.uni-erlangen.de  
 Foto: Homepage www.physiologie1.uni-erlangen.de



# Russland als Zielmarkt für Exportgeschäfte für Abwassertechnik

## Russia as a Target Market for Export Transactions regarding Sewage Technology

**Prof. Dr. Frank Schäfer**

### Gliederung

1. Einführung und Gang der Untersuchung
2. Wasser als globale Engpassressource
3. BRIC-Staaten und Umweltverantwortung
4. Ausgewählte Perspektiven im Abwassermarkt Deutschland
5. Marktakteure im globalen Abwassermarkt
6. Eckdaten der russischen Wirtschaft
7. Struktur des Wasser- und Abwasser-Sektors in Russland
8. Ausgewählte Perspektiven für Russland als Exportmarkt für Abwassertechnik
9. Zusammenfassung

### 1. Einführung und Gang der Untersuchung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen eines Praxissemesters im Sommersemester 2013 in der Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen. Untersuchungsgegenstand ist der Markt für Abwassertechnik mit Blick auf das Land Russland, wobei der Bereich Kläranlagen im Mittelpunkt steht. Nach einem strukturellen Überblick zur Ausgangssituation in wasserwirtschaftlicher und ökonomischer Perspektive werden Marktbearbeitungsoptionen für unterschiedliche Geschäftsmodelle in der Abwasserwirtschaft vor dem Hintergrund der besonderen Rahmenbedingungen des russischen Marktes betrachtet.

Als Datengrundlagen wurde neben einer sekundärstatistischen Analyse eine Primärmarktforschung mit diversen Expertengesprächen durchgeführt.

Die Wasserindustrie lässt sich anbieterseitig gliedern in folgende Leistungserbringer:

- Anlagenbauer
- Komponentenbauer/-zulieferer
- Bauindustrie
- Rohrleitungsbauer
- Rohrhersteller

- Kanal- und Leitungssanierer
- Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR)
- Consultants, Planer, Berater

Nachdem in Exportmärkten aus logistischen Gründen bautechnische Arbeiten typischerweise lokal vergeben und realisiert werden, sind die entsprechenden Segmente aus obiger Liste praktisch weniger relevant. Für Expertengespräche ausgewählt wurden Unternehmen, die in für den Export praxisrelevanten Feldern tätig sind:

Im Einzelnen wurden Interviews durchgeführt mit:

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- 2 Unternehmen aus dem Bereich Komplettanlagenbauer Kläranlagen
- 2 Unternehmen aus dem Bereich Ausrüstungen und technische Komponenten
- 2 Unternehmen aus dem Bereich Gesamtplaner/Consultant für Betriebsunterstützung

Die Unternehmen haben ihren Standort in verschiedenen Bundesländern. Die Gespräche wurden auf der Ebene Geschäftsleitung/Vorstand bei Unternehmen mit internationaler Geschäftstätigkeit mit Erfahrung im russischen Markt durchgeführt. Die Einzelgespräche dauerten jeweils mehrere Stunden. Einzelne Gesprächspartner wurden mehrfach interviewt. An den Gesprächen nahmen überwiegend mehrere Experten teil, meist mit betriebswirtschaftlichem und technischem Hintergrund.

### Introduction and Course of our Investigation

This article was written as part of a practical semester in summer 2013 at the Faculty of Industrial Engineering. The object of investigation is the market for sewage technology in Russia with special emphasis on wastewater treatment. After looking at the initial situation from a hydrologic and economic perspective, we will investigate into the options of market development for different business models in sewage management, taking the particular conditions of the Russian market into consideration.

For a data base, we carried out both a secondary statistical analysis and primary market research gained from various expert discussions.

From the provider's side, the water industry can be classified according to the following contract work:

- Plant construction
- Component manufacturing and supply
- Construction industry
- Pipeline construction
- Pipe manufacturing
- Maintenance of sewage systems
- Measuring and control technology
- Consulting, planning and advice

Since structural work in export markets is typically awarded and carried out locally for logistical reasons, the corresponding segments from the above list are less relevant practically speaking. For our expert interviews, we selected companies operating in areas with a practical relevance to the export business.

We carried out interviews with

- The Bavarian State Office for Water Management
- Two companies in the area of sewage treatment plant construction
- Two companies in the area of equipment and technical components
- Two companies in the area of overall planning/consultants for operational support systems

The companies interviewed are located in different federal states. The talks were held on an executive or board level with internationally operating companies with market experience in Russia. The individual talks took several hours each and some of the respondents were interviewed a number of times. Mostly, the interviews were carried out by several experts, all of whom have a technical or managerial background.

## 2. Wasser als globale Engpassressource

Geht es um die nachhaltige Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen, fokussiert die politische, gesellschaftliche und betriebswirtschaftliche Diskussion in den letzten Jahren verstärkt die Endlichkeit fossiler Energieträger sowie Alternativtechnologien zur Kernkraft nach den dramatischen Havarien in Tschernobyl und Fukushima. Es laufen die bekannten Programme des Aufbaus von entsprechenden Substitutionstechnologien im Spannungsfeld politischer Durchsetzbarkeit, technischer Machbarkeit und wirtschaftlicher Vertretbarkeit. Die Lösung liegt aus globaler Perspektive in dezentralen Strukturen regenerativer Energieerzeugung. Dies reduziert in machtpolitischer Perspektive die Abhängigkeit der Industrieländer von vormals wenigen rohstoffexportierenden Ländern hin zu regionalen bzw. nationalen Wertschöpfungsketten. Mit anderen Worten ermöglichen diese Technologien den

Ländern, ihre benötigte Energie zunehmend „selbst“ zu erstellen. Dies reduziert die politische und wirtschaftliche Abhängigkeit von anderen Ländern. In der Einschätzung der Politik reduziert diese Entwicklung von Substitutionstechnologien auch die strategische Wahrscheinlichkeit kriegerischer Auseinandersetzungen um knapper werdende fossile Rohstoffe.

Diese weltweit intensiv geführte Diskussion um die Energieknappheit hat in den letzten Jahren die öffentliche Diskussion über eine andere natürliche Ressource, die ebenfalls knapp ist, in den Hintergrund treten lassen:

Das Wasser.

Die Verteilung von Wasser in den Regionen der Welt ist stark unterschiedlich, in vielen Regionen ist Wasser, insbesondere sauberes Trinkwasser, knapp. In dichter besiedelten Regionen ist ferner eine professionelle Abwasserreinigung mit Blick auf die Hygiene und Volksgesundheit ein wichtiges Thema.

Wasser ist als natürliche Ressource nicht substituierbar.

Deswegen erwarten Politiker hier zunehmende Konflikte zwischen Nationen im Kampf um Wassermengen. Wachsende Weltbevölkerung, zunehmende Verstädterung und höhere Komfortbedürfnisse der Menschen gehen einher mit zunehmend höherem Wasserverbrauch, was insgesamt problemverschärfend wirkt.

Parallel dazu gewinnt die Abwassertechnik an Bedeutung, wobei sowohl kommunale als auch gewerbliche Abwasserreinigung zu betrachten sind. Es geht hier um systematische Abwasserreinigung zum Erhalt der natürlichen Lebensbedingungen, um den Schutz von Trinkwassergewinnungsquellen sowie um Kreislauftechnologien zur Reduzierung des Frischwasserbedarfes.

## 3. BRIC-Staaten und Umweltverantwortung

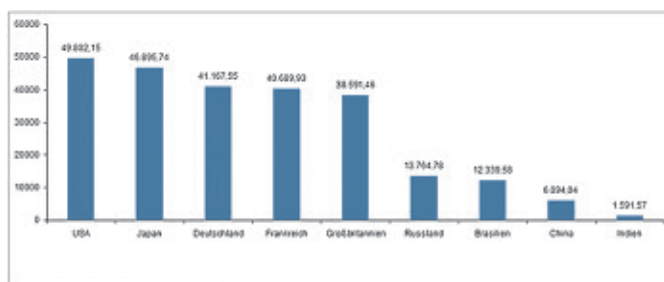
Industrienationen wie z. B. die Kernländer in der EU verfügen sowohl bei der Trinkwasserversorgung als auch bei der Abwasserentsorgung über einen hohen Ausbaustand mit durchgängig größer als 90 % Anschlussgrad der Bevölkerung an eine zentrale Infrastruktur am Stand der Technik.

Historisch folgen Investitionen nachgelagert an eine generelle positive wirtschaftliche Entwicklung. Betrachtet man in diesem Sinne die BRIC-Staaten, die sich in den letzten 30 Jahren wirtschaftlich stark entwickelt haben, fällt ein beträchtlicher Nachholbedarf im Bereich der Wasser- und Abwasserstruktur auf. Besonders in Ballungszentren und Megacities ist dies besonders problematisch. Beispielsweise wird in China als Begleitschaden der ausgeprägten wirtschaftlichen Entwicklung eine beträchtliche Luft-, Boden- und Wasserverschmutzung als große

Herausforderung konstatiert (vgl. Beech, S. 22). Häufig besteht ein Primat der wirtschaftlichen und industriellen Entwicklung vor dem Erhalten nachhaltiger „gesunder“ Lebensumstände. Oder anders ausgedrückt: Umwelt muss man sich „leisten“ können.

Insbesondere in China und Russland bestehen heute bereits insgesamt entsprechend bedeutsame Nachfragemärkte.

Die folgende Abbildung zeigt das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf 2012 in jeweiligen Preisen in US \$ (vgl. Statista.com). Der Vergleich zeigt den Abstand in der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit zwischen den größten traditionellen Industrienationen und den BRIC-Staaten.



Ein proaktives Umweltbewusstsein ist in den BRIC-Staaten noch wenig vorhanden, Investitionen folgen oft erst nach dem Auftreten von negativen Auswirkungen auf die betreffende Bevölkerung. Investitionen in Wasser- und Abwasserstrukturen beginnen dann im Allgemeinen zuerst in Ballungszentren mit hoher Bevölkerungsdichte.

In Russland gilt dies beispielsweise für die beiden Großräume Moskau und St. Petersburg, wo vergleichsweise professionelle Strukturen entstanden sind und Investitionen getätigt wurden und werden. Dagegen sind ländliche Räume diesbezüglich vernachlässigt und unterentwickelt. Investitionen sind häufig nicht aus echten Umweltschutzinteressen motiviert, sondern folgen oft politischen Überlegungen, Geldmittel der Zentralregierung gezielt in bestimmte Regionen zu lenken. Ferner ist in Russland ein zentraler Motivationsfaktor für Entscheidungsträger, mit einem Investitionsprogramm im Bereich Wasser- und Abwasser gezielt eigene wirtschaftliche Interessen zu verfolgen. Gesprächspartner berichten, dass sich dies etwa bei Bauunternehmen zeigt, die letztlich im direkten Einfluss politischer Entscheidungsträger liegen und faktisch von politisch motivierten Investitionsprogrammen profitieren.

Betrachtet man den Ausbaustand der russischen Abwasserentsorgung im internationalen Vergleich, so verfügen zwar 86 % der russischen Bevölkerung über einen Zugang zu einem Abwasserkanalsystem, jedoch lediglich 26 % der Abwässer werden tatsächlich behandelt. Es ist also augenscheinlich ein beträchtliches Marktpotenzial vorhanden. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass im 2011 veröffentlichten „Water Year Book“ das Land Russland

Daten aus dem Jahr 2002 veröffentlicht (vgl. Water Year Book, S. 185). Dies zeigt auch den eher niedrigen Fokus auf diesem Thema.

#### 4. Ausgewählte Perspektiven im Abwassermarkt Deutschland

In den 1990er-Jahren bestand in Deutschland ein Wachstum im Bereich der Wasser- und Abwasserversorgung, welches auf zwei Säulen basierte: Zum einen waren im Zuge der deutschen Wiedervereinigung beträchtliche Investitionen in den neuen Ländern erforderlich, um die dortige Infrastruktur auf westdeutschen bzw. EU-Standard zu heben. Zum anderen führten erhöhte gesetzliche Anforderungen an Grenzwerte z. B. im Abwasserbereich zu einem Investitionsschub auch in den „alten Bundesländern“.

Deutschland gehört heute im Ausbauniveau der Abwasserversorgung mit einem Behandlungsgrad von 97 % auf dem höchsten EU-Standard zur internationalen Spitzengruppe (vgl. Branchenbild, S. 58). Mit diesem hohen Niveau ist im Inlandsmarkt auch eine gewisse Marktsättigung eingetreten.

Folgende Abbildung zeigt dies in einer zusammenfassenden Darstellung am Beispiel der Investitionen in öffentliche Abwasserbeseitigung (vgl. Statista.com, eigene Berechnungen).



In der letzten Dekade präsentiert sich der Inlandsmarkt im Abwassersektor stagnierend. Ersatzinvestitionen, z. B. bei Verschleißteilen wie Maschinenteknik, zeigen sich stabil bis leicht wachsend, während der Markt für Neubauprojekte rückläufig ist. So haben Marktakteure wie z. B. Planungsbüros für Wasser- und Abwasserversorgungsanlagen ihre Kapazitäten im Inland in den letzten Jahren bereits deutlich abgebaut. Gleichzeitig bildet diese Marktstagnation im Inland für viele Unternehmen die Motivation, das vorhandene Know-how einzusetzen, um über die Bearbeitung von Auslandsmärkten neue Wachstumspotenziale zu erschließen. Die Auslandsmarktbearbeitung wird dabei in der Branche sowohl auf niedrigerem Niveau

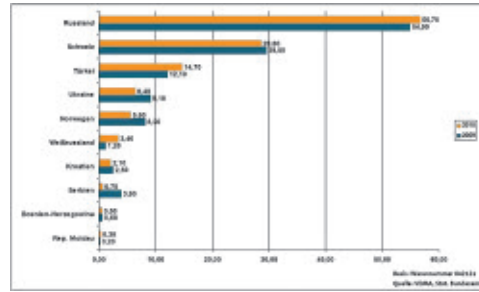
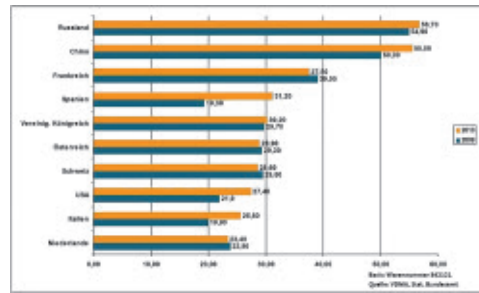
als reines Exportgeschäft bzw. auf höherem Intensitätsniveau mit spezifischen Investitionen z. B. mit lokalen Repräsentanzen, organisiert.

Die Befragungspartner geben dabei übereinstimmend an, dass gerade im russischen Markt eine lokale Repräsentanz mit russischen Muttersprachlern für einen nachhaltigen Markterfolg sehr wichtig ist. Reines Exportgeschäft mit Englisch als Kommunikationssprache hätte wenig Aussicht auf Erfolg.

Insbesondere mittelständische Anbieter können sich dabei im Bereich der Kontaktabnennung zu russischen Geschäftspartnern der Dienstleistungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft in Hof bedienen.

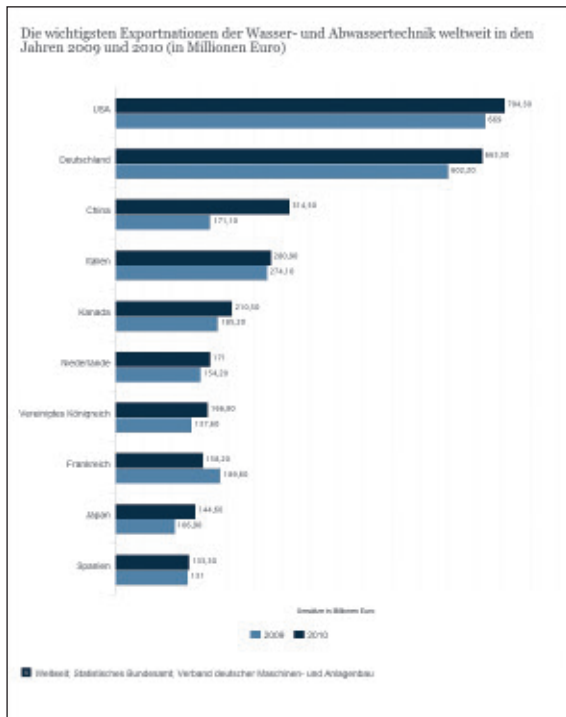
### 5. Marktakteure im globalen Abwassermarkt

Folgende Abbildung zeigt die hohe Bedeutung der deutschen Unternehmen als weltweit zweitwichtigste Exportnation für Wasser- und Abwassertechnologie (statista.com).

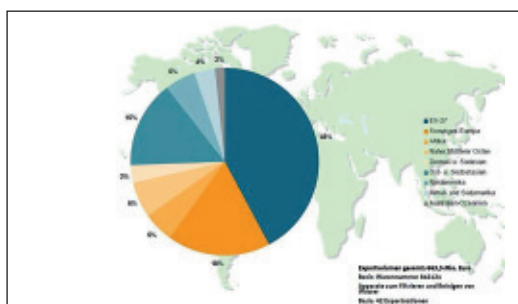


### 6. Eckdaten der russischen Wirtschaft

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Russlands hat sich in der letzten Dekade deutlich verbessert. So hat sich das BIP in jeweiligen Preisen in den letzten 10 Jahren etwa verfünffacht (Statista.com).



Die folgenden Abbildungen zeigen, dass Russland sowohl den wichtigsten Teilmarkt im Segment „Sonstiges Europa“ als auch den wichtigsten Markt für Exporteure in globaler Betrachtung im Bereich der Wasser- und Abwassertechnik darstellt (statista.com).



Russland profitiert von seinem Rohstoffreichtum, der zu beträchtlichen Exporteinnahmen führt. Russland erzielt nachhaltige Exportüberschüsse. So betrug 2011 der Handelsbilanzüberschuss 198 Mrd. US \$ (WTO, zit. nach statista.com). Das Land verfügt über einen weitgehend ausgeglichenen Haushalt und eine im internationalen Vergleich niedrige Staatsverschuldung. So beträgt die Quote der Staatsverschuldung in Relation zum BIP lediglich knapp 10 % in 2013 (IMF, zit. nach statista.com). Die ökonomischen Grundvoraussetzungen, Finanzmittel in den Ausbau des Wassersektors investieren zu können, sind damit grundsätzlich gegeben.



## 7. Struktur des Wasser- und Abwassersektors in Russland

In der 2013 veröffentlichten Attraktivitätsstudie der Beratungsgesellschaft Ernst & Young für Russland wird als eine der Hauptschwächen des Landes das Thema Intransparenz durch unklare tatsächliche Entscheidungsstrukturen in Bürokratie und Wirtschaft benannt sowie die damit verbundene häufige Korruption. Dies bremst ausländische Direktinvestitionen in Russland (vgl. Ernst & Young, S. 38).

Nach einheitlicher Einschätzung der befragten Marktteilnehmer zeigt sich dieses Grundsatzproblem auch im Sektor Wasserwirtschaft: Der russische Markt präsentiert sich für Außenstehende vielfach intransparent. Dies liegt zum einen an einem Auseinanderfallen von hohen formalen Anforderungen, z. B. im Bereich der Grenzwerte oder bei formalen Vorschriften in Vergabeprozessen, und deren Umsetzung in der gelebten Praxis. So seien z. B. Ausschreibungen häufig zwar formell durchgeführt, der Gewinner des Auftrags steht aber augenscheinlich schon im Vorfeld fest. Ähnlich sei die Situation bei den einzuhaltenden Grenzwerten, hier seien z. B. bei Bestandsanlagen gegen Zahlung bestimmter Beträge Ausnahmegenehmigungen möglich, wodurch sich notwendige Investitionen für den Betreiber verschieben lassen.

Für die operative Umsetzung der Wasser- und Abwasserinfrastruktur sind sogenannte „Vodokanal“-Betriebe zuständig. In den Ballungszentren Moskau und St. Petersburg verfügen diese über Fachkompetenz und eine hinreichende Mittelausstattung, um selbst handlungsfähig zu sein. Auf dem flachen Land sieht dies anders aus, dort bestehen sowohl eine beträchtliche Mittelknappheit als auch Know-how-Defizite. Dort sind bei Investitionsvorhaben Mittelzuweisungen der Provinz- oder der Zentralregierung erforderlich. Ferner gibt es wasserwirtschaftliche Berater, z. B. von der Hochschuleseite, sowie lokale Wasserbehörden, die für die angesprochene Einhaltung von gesetzlichen Grenzwerten zuständig sind.

Mit Blick auf die zentralen Kaufentscheidungsträger lässt sich tendenziell konstatieren, dass größere Neuinvestitionsprojekte an einer Mittelzuweisung der Provinz- bzw. Zentralregierung hängen, während übliche Ersatzinvestitionen bei existierenden Anlagen (wie z. B. ein Pumpenaustausch) häufig dezentral auf der Ebene der Vodokanal-Unternehmen erfolgen.

## 8. Ausgewählte Perspektiven für Russland als Exportmarkt für Abwassertechnik

Für die strategischen Handlungsmöglichkeiten sind drei verschiedene Zielgruppen zu unterscheiden:

- Dienstleistungsangebote (Anlagenplanung sowie Beratung für technische und wirtschaftliche Betriebsführung)
- Lieferung von Anlagentechnik (einzelne Komponenten wie z. B. Pumpen oder Verdichter)
- Realisierung von kompletten Kläranlagen mit Verfahrens- und Steuerungstechnik (Neubau und Sanierung)

Wie angesprochen werden Bauleistungen im Hoch- und Tiefbau sowie erforderlicher Kanal- und Rohrleitungsbau hier nicht näher betrachtet, da diese aus logistischen Gründen sich nicht für Exportgeschäfte eignen. Die folgenden Einschätzungen beruhen auf den Befragungsergebnissen aus den Expertengesprächen und gründen auf realen Erfahrungen der befragten Unternehmen.

Im Bereich Angebot von Dienstleistungen präsentiert sich das Untersegment „Anlagenplanung“ für Neubau und Sanierung trotz hohem Know-how deutscher Anbieter problematisch. Der Markteintritt gestaltet sich hier bereits anspruchsvoll. Ursachen dafür liegen darin begründet, dass für ein Neubauprojekt bzw. für größere Sanierungsmaßnahmen Geldmittel der Zentralregierung erforderlich sind, d. h., bevor ein Planungsauftrag vergeben werden kann, muss zuerst eine entsprechende Projektentwicklung und Budgetzuweisung auf politischer Ebene freigegeben werden sein. Ferner ist es bei einem reinen Planungsauftrag schwierig, lokale Strukturen einzubinden, die ein oben angesprochenes ökonomisches Interesse befriedigt sehen wollen. Ein entsprechender Zugang über die politische Ebene zu Planungsprojekten gelingt ausländischen Planungsunternehmen in der Folge selbst mit einer eigenen Repräsentanz im Zielland oft nur sehr begrenzt.

Wie angesprochen verfügt Deutschland auf allen Wertschöpfungsstufen der Wasser- und Abwasserwirtschaft über international anerkannte Strukturen und Know-how. Insofern versuchen Beratungsunternehmen aus dem Umfeld von deutschen Wasser- und Abwasserversorgungsunternehmen gezielt dieses Wissen auch im Ausland zu vermarkten. Ein Beispiel dafür bilden Beratungen für technische und wirtschaftliche Betriebsführung.

Beratungsschwerpunkte sind einerseits die technisch-wirtschaftliche Effizienzsteigerung in der operativen Betriebsführung sowie andererseits kaufmännische Prozesse zu Steigerung der Einnahmenseite wie z. B. professionelle Abrechnungssysteme gegenüber den Nutzern. Auch diese Beratungsangebote gestalten sich markteintrittsseitig schwierig. Dies liegt einerseits an der ausgeprägten Geldmittelknappheit vieler russischer Betriebsgesellschaften, insbesondere außerhalb der Großstädte. Ferner haben

diese offenbar nicht immer das tatsächliche Interesse, verbrauchsgerecht tatsächliche Kosten abzurechnen, da sie häufig Pauschalbeträge für Infrastruktur wie z. B. Fernwärme und Wasser-/Abwasser etc. abrechnen und über die intransparente Pauschalabrechnung Quersubventionierungen zwischen einzelnen Geschäftsfeldern durchführen. Bereiche hoher Ineffizienz lassen sich so gezielt verdecken. Also ist es auch bei diesem Angebot schwierig, lokale individuelle wirtschaftliche Interessen zu bedienen. Drastisch formuliert: Da bei diesem Dienstleistungsangebot von den Entscheidungsträgern im Land kaum jemand persönlich profitieren kann, hält sich das Interesse in Grenzen.

Wesentlich positiver zeigt sich das Marktsegment der Komponentenhersteller, die überwiegend Liefergeschäfte anstreben.

Diese Unternehmen berichten über erfreuliche Geschäfte in Russland, dies deckt sich mit den gemessenen Exportzahlen in diesem Segment.

Das Geschäft begründet sich auch auf dem guten Ruf, den „deutsche“ Technik auf dem russischen Markt genießt. Die entsprechenden Produkte fließen sowohl als Ersatzinvestitionen in bestehende Anlagen als auch in Neubauprojekte bzw. Anlagenrekonstruktionen. Da Komponenten bei Neubauprojekten typischerweise erst bei bereits verabschiedeten und finanzierten Projektplanungen angefragt werden, stellt sich das oben angesprochene Problem der grundsätzlichen Projektentwicklung und Budgetbereitstellung somit nicht.

Entsprechend groß ist dieses Marktsegment. Vonseiten der Kundenberatung her betrachtet und um Präferenzen für das eigene Angebot zu wecken, verfügen diese Anbieter über verzweigte lokale Strukturen mit russischsprachigen Beratungsingenieuren, auch um die geografische Größe des Marktes angemessen abzudecken. Die tatsächlichen Produktverkäufe laufen dann überwiegend als indirekter Vertrieb über ein Netz an ortsansässigen russischen Montage- und Handelsbetrieben, die ihrerseits an die tatsächlichen Endverwender, wie z. B. „Vodokanal“-Unternehmen weiterverkaufen. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Rahmen der Transaktion zwischen lokalem russischen Händler und Endverwender das Bedienen der wirtschaftlichen individuellen Interessen „organisiert“ wird. Entsprechend teuer werden die Produkte, bis sie beim Endverwender ankommen. Insofern läuft dieses Marktsegment häufig „wie geschmiert“, ohne dass deutsche Herstellerbetriebe in diese Prozesse eingebunden wären.

Das Segment „Realisierung von kompletten Kläranlagen“ stellt sich beim Markteintritt ebenfalls anspruchsvoll dar. Es gilt auch hier das bereits angesprochene Argument der Budgetzuweisung im Rahmen einer Projektentwicklung. Der Anbieter hat hier die Aufgabe, einen entsprechenden Projektentwicklungsprozess anzustoßen und das Projekt in „seiner“ Richtung zu entwickeln. Dazu zeigen sich für die praktische Umsetzung zwei Spielarten.

Eine Möglichkeit ist eine Kläranlage als Sachinvestitions-gut mit langfristigen Kapitalrückflüssen zu begreifen und dafür Kapital von internationalen Kapitalgebern zu gewinnen. Dies setzt entsprechende Kontakte zu den Finanzmärkten und entsprechend leistungsfähigen Investoren voraus. Es gibt hierzu realisierte Beispiele, kritischer Erfolgsfaktor für diese Strategie ist die langfristige Absicherung der finanziellen Rückflüsse über regelmäßige Gebühreneinnahmen von den Anlagennutzern. Um diese abzusichern, werden oft lokale Partner als Co-Investoren miteingebunden, die ihrerseits ein Interesse an regelmäßigen Nutzungsgebühreneinnahmen haben. Ferner können lokale Strukturen in der Bauphase der Anlage Leistungsanteile erhalten, z. B. als Subunternehmer für Bauleistungen. Aktiv sind hier beispielsweise internationale Großunternehmen im Bereich „Wasser“, wie etwa Suez, Veolia oder WTE (vgl. Water Year Book, S. 185).

Eine andere Möglichkeit ist die Projektentwicklung und Budgetzuweisung über Direktbearbeitung der Provinz- oder Zentralregierung. Anknüpfungspunkt, um hier erfolgreich zu sein, ist die Kombination von politisch kommunizierbarer Nutzenstiftung für die betreffenden Politiker mit dem Bedienen ökonomischer persönlicher Interessen ebendieses Personenkreises. Umgesetzt wird dies über den Aufbau von persönlichen Beziehungen zu hochrangigen politischen Entscheidungsträgern sowie der Einbindung des dort vorhandenen „Netzwerkes“ in die Baurealisierungsphase, z. B. durch Vergabe der Hoch- und Tiefbauleistungen.

## 9. Zusammenfassung

Der Inlandsmarkt im Sektor „Abwasser“ in Deutschland zeigt sich auf hohem Niveau gut ausgebaut. Im Bereich Neubau von Anlagen besteht eine Marktsättigung. Unternehmen suchen in der Folge Wachstumspotenziale im Ausland. Russland gehört dabei als Zielmarkt zu den wichtigen Schwellenländern mit hohem Potenzial – Nachholbedarf im Ausbaustand bei gleichzeitig ausreichendem Wohlstandsniveau, um diese Investitionen bei entsprechender Prioritätensetzung auch leisten zu können. Russland ist bereits heute der weltweit wichtigste Exportmarkt für Wasser- und Abwassertechnik.

Die zentrale Herausforderung für einen Markterfolg bildet der Markteintritt in den für Außenstehende intransparenten Markt mit bürokratischen Hindernissen und weit verbreiteter Korruption.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich bei den gegebenen Rahmenbedingungen für unterschiedliche Geschäftsmodelle unterschiedliche Chancen und denkbare Vorgehensweisen empfehlen.

Die in diesem Markt erfolgreichen Unternehmen arbeiten dabei generell mit Kooperationsstrategien unter Einbindung lokaler Partner.

---

### **Quellenverzeichnis**

(Branchenbild): Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren et. al. (Hrsg.): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft, Bonn, 2011

(Beech): Beech, H.: How china sees the world, Time Magazine, Vol. 180, Nr. June 17 2013, S. 18–25.

(Ernst & Young): Ernst & Young (Hrsg.): Ernst & Young's attractiveness survey Russia 2013, o.O., 2013

(statista.com): Statista.com. Abfrage am 3.11.2013

(Water Yearbook): Pinsent Masons (HRSG): Water Year Book 2001–2012: The Russian Federation, S. 184–187, London 2011



**Prof. Dr. Frank Schäfer**  
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

# Inserentenverzeichnis



Wir sind ein Zusammenschluss von Bürger(inne)n, Institutionen, Betrieben und Körperschaften aus der Oberpfalz. Die HAW wird von uns in Bereichen unterstützt, wo öffentliche Mittel nicht zur Verfügung stehen oder nicht ausreichen, z. B. für die EDV-Infrastruktur, Studienförderung, Fachzeitschriften oder Exkursionen.

Wir sind gemeinnützig und haben folgende wesentliche Ziele:

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

**Wir würden uns über Ihren Beitritt freuen!**

Rudolf Winter, 1. Vorsitzender, c/o Volksbank Nordoberpfalz eG, Wörthstr. 14, 92637 Weiden  
Telefon: 0961/84-104, [www.foerdereverein-haw-weiden.de](http://www.foerdereverein-haw-weiden.de)



## Der Verein der Amberger Freunde der Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Seit 1995 unterstützt der Verein die Entwicklung der 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.haw-aw.de](http://www.haw-aw.de) – Hochschule/Förderer:

Dr. Erich Voss, 1. Vorsitzender, Ammerthaler Str. 10, 92260 Ammerthal,  
Sekretariat +49 (9621) 80-2573, Telefax +49 (9621) 80-4331, Telefon +49 (9621) 25275,  
[freunde.haw-amberg@haw-aw.de](mailto:freunde.haw-amberg@haw-aw.de)



**Für unsere Unternehmensbereiche Technische Keramik  
und Funktionale Füllstoffe  
suchen wir laufend**

## **Praktikanten (m/w)**

**der Studiengänge Chemie, Verfahrens- oder Werkstofftechnik,  
Maschinenbau oder Kunststofftechnik**

Für nähere Informationen besuchen Sie unsere  
Homepage oder kontaktieren Sie uns:

**Nabaltec AG**  
Personalwesen

Frau Glaser

Postfach 18 60

92409 Schwandorf

Telefon: 09431 53-242

E-Mail: [Personalwesen@nabaltec.de](mailto:Personalwesen@nabaltec.de)

<http://www.nabaltec.de>







© www.fds-team.de

AUTOMOBIL

INDUSTRIE

ENERGIE

# Gemeinsam Zukunft gestalten.

Seit mehr als 50 Jahren können sich unsere Kunden weltweit auf unsere Kompetenz und Qualität bei der Herstellung nahtloser Stahlrohre verlassen. Wir übernehmen als zuverlässiger Partner dauerhaft Verantwortung und erarbeiten gemeinsam mit dem Kunden ausschließlich nachhaltige Lösungen.

Fortschritt braucht Freiräume. Wir bieten reichlich Spielraum zum Gestalten.

Mit einem breiten Abmessungs- und Qualitätsspektrum beliefern wir folgende Branchen mit maßgeschneiderten Lösungen und Komponenten:

**Automobil**

**Industrie**

**Energie**



**ROHRWERK MAXHÜTTE**



Rohrwerk Maxhütte GmbH  
Franz-Kunze-Straße 1  
92237 Sulzbach-Rosenberg  
rohrwerk-maxhuette.de

QUALITY  
MADE IN  
GERMANY

# Are you auto-motivated?

Welcome!



Bewegt vom Motor des Fortschritts und im Fokus die automobilen Megatrends Sicherheit, Umwelt, Information und kostengünstige Autos entwickelt Continental die Zukunft der Mobilität für jedermann. Willkommen an einem Ort, an dem Ihre Ideen willkommen sind und die Welt verändern können:

[www.continental-karriere.de](http://www.continental-karriere.de) | [www.continental-people.de](http://www.continental-people.de) | [www.facebook.com/ContinentalKarriere](http://www.facebook.com/ContinentalKarriere)

