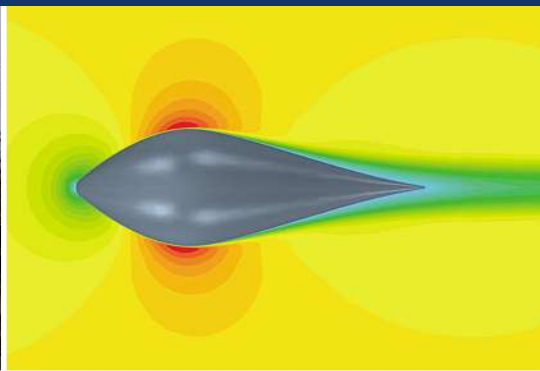




**Institut für  
Angewandte Forschung**

# Beiträge aus Forschung und Technik 2013



**Hochschule Offenburg**  
University of Applied Sciences



# Aktiv für eine saubere Zukunft

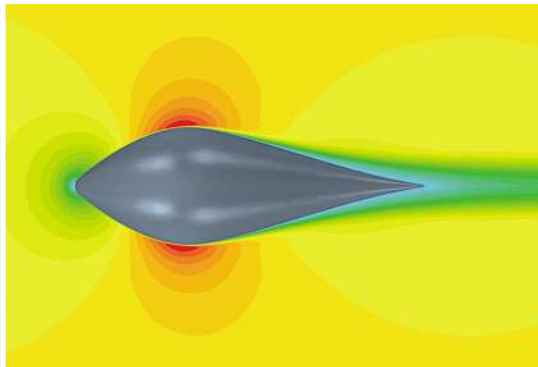
**m** Ideen sprudeln, Grenzen fließen, Menschen unterschiedlicher Kulturen kommen zusammen und arbeiten gemeinsam an einer Vision: die Welt sauberer und hygienischer machen. Das ist MEIKO. Einzigartig wie unser Markenzeichen mit dem weißen M, unser Symbol einer Wasser und Leben spendenden Brunnenfontäne, sind auch unsere sauberen Lösungen zum professionellen Spülen, Reinigen und Desinfizieren. Für Mensch und Umwelt – für eine saubere Zukunft. Weltweit über 1.800 MEIKOianer entwickeln und fertigen diese Spitzentechnik und prägen so den Geist eines wertegeleiteten Unternehmens, das seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nachhaltig fördert und die Erfolge teilt. Willkommen am MEIKO Brunnen! [www.meiko.de](http://www.meiko.de)





**Institut für  
Angewandte Forschung**

# **Beiträge aus Forschung und Technik 2013**



Forschungsbericht der  
Hochschule für Technik, Wirtschaft  
und Medien – Offenburg



**Hochschule Offenburg**  
University of Applied Sciences

# Begeisterung!

Für Präzision. Für Sie. Für Kern-Liebers.

Arbeiten | Studium | Aus- und Weiterbildung | Praktikum

**Global Player sitzen nicht irgendwo – sondern ganz in Ihrer Nähe.**

In Schramberg. Seit fast 125 Jahren fest verwurzelt mit der Region und ihren Menschen spielen wir heute international ganz vorne mit.



## Praktikum / Bachelor-/Masterthesis

Lernen Sie uns im In- und Ausland kennen. Bei uns erhalten Sie Einblick in die Prozesse, Technologien und Abläufe eines High-Tech-Unternehmens. Spannende Themen in den kaufmännischen Bereichen, im Vertrieb, in der Produkt- und Technologieentwicklung und im Qualitätswesen warten auf die Bearbeitung durch Sie.

## Einstieg nach dem Studium

Werden Sie Teil unseres Teams und profitieren Sie von unserem Know-how. Wir bieten eine gezielte persönliche Einarbeitung, interessante Aufgaben mit Verantwortung rund um den Globus und maßgeschneiderte Personalentwicklungsangebote.



Wir bewegen etwas.

- Unsere Produkte sind in jedem zweiten Auto der Welt.
- Unsere Sicherheitsgurt-Federn: über 3 Milliarden Mal produziert.
- Unsere Platinen stricken jede dritte Feinstrumpfhose der Welt.
- Unsere Dimension: Verarbeitung von 2000 t Stahl pro Monat.
- Unsere Mitarbeiterzahl: weltweit über 6000.
- Unsere Firmengruppe: über 50 Tochter- und Beteiligungsunternehmen.

Was wollen Sie bewegen?

Wir suchen Nachwuchsführungskräfte der nachfolgenden Studiengänge:

- **Ingenieurwesen/Maschinenbau**
- **Betriebswirtschaft**

Starten Sie mit uns durch und gehen Sie den ersten Schritt in Ihre Zukunft!

## KERN-LIEBERS

FIRMENGRUPPE

**Hugo Kern und Liebers GmbH & Co. KG**

Platinen- und Federnfabrik · Personalwesen

Dr.-Kurt-Stein-Straße 35 · 78713 Schramberg

Telefon 07422 / 511-231 · Fax 07422 / 511-7231

bewerbung@kern-liebers.de · www.kern-liebers.de

# „Den Laden schmeißen.“

Jetzt beraten lassen!

Jeder Mensch hat etwas, das ihn antreibt.

Als Bank und Motor des Mittelstandes der Region bieten wir eine Vielzahl von Förderprogrammen, umfangreiche Bilanzanalysen, maßgeschneiderte Finanzierungspläne, innovative Zahlungssysteme sowie individuelle betriebliche Altersvorsorgemodelle an. Nutzen Sie diese Angebote und sprechen Sie mit unseren Finanzexperten. Tel. 0781/800-0. [www.volksbank-offenburg.de](http://www.volksbank-offenburg.de)

Wir machen den Weg frei.

 **Volksbank  
Offenburg**



*Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ  
Prorektor für Forschungsangelegenheiten  
der Hochschule Offenburg  
15.03.2013*

Angewandte Forschung ist neben Studium und Lehre sowie Internationalisierung die dritte zentrale Säule an der Hochschule Offenburg. Der Forschungsbericht 2013 beschreibt aktuelle Forschungsprojekte und -ergebnisse aus den acht Forschungsfeldern an der Hochschule:

- Gesundheit
- Informationstechnologie, Automation und Telekommunikation
- Klima/Energie/Umwelt
- Manufacturing
- Medien
- Mobilität
- Werkstofftechnologie
- Wirtschaft, Handel & Logistik

Die Möglichkeiten, die sich durch unsere Lage in einer der innovativsten Regionen Europas eröffnen, sind gekennzeichnet durch auf wissenschaftliche Grundlagen aufbauende Forschung, Überdenken bisheriger Lösungswege, kurze Innovationszyklen und einen engen wechselseitigen Erfahrungs- und Informationsaustausch. In vielfältigen Projekten tragen wir hierzu bei; sie belegen die intensive Zusammenarbeit mit Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Der weiterhin kräftige Ausbau der Hochschule gestattete uns, attraktive Wissenschaftsgebiete kompetent zu besetzen. Neue Kolleginnen und Kollegen schufen neue Schwerpunkte und verstärkten bestehende Forschungsaktivitäten.

Die Gründung von drei Forschungsinstituten an der Hochschule im vorherigen Jahr hat sich als richtig und erfolgreich erwiesen. Sie sind Ausdruck und Ergebnis langjähriger erfolgreicher Forschungstätigkeit. Das Institut für Energiesystemtechnik, das Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation sowie das Institut für Unmanned Aerial Systems geben der Schwerpunktbildung in wichtigen Forschungsfeldern eine klare Struktur.

Hochschulweit arbeiten insgesamt ca. 20 Doktoranden und Doktorandinnen in kooperativen Promotionsverfahren mit Universitäten im In- und Ausland an ihren Forschungsfragestellungen.

Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen der Hochschule, aber auch den vielen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und den Studierenden in den Forschungsgruppen, die aktiv in der Angewandten Forschung tätig sind und einen wesentlichen Beitrag für die Zukunftsfähigkeit der Hochschule, für den

Netzwerkgedanken und für unser gesellschaftliches und wirtschaftliches Umfeld leisten.

Im Frühjahr 2012 übernahm Prof. Bollin die Leitung des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) von Prof. Dr. Jansen, der dieses fast zwei Jahrzehnte lang äußerst erfolgreich geführt hatte. Mit ihm ist der Ausbau des IAF von einem kleinen Professorenkreis zur dauerhaft etablierten Einrichtung der Hochschule – mit einem beträchtlichen Forschungsset und mehreren Mitarbeitern für forschungsbezogene Dienstleistungen – fest verbunden. Das Institut für Angewandte Forschung begleitet, unterstützt, verbindet und koordiniert die hauptamtlichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Hochschule Offenburg; es steht allen forschungsaktiven Professoren/-innen offen.

Mein ausdrücklicher Dank gilt deshalb Prof. Jansen für dessen erfolgreiche und unermüdliche Auf- und Ausbauarbeit, aber auch der neuen Wissenschaftlichen Leitung des IAF, Prof. Bollin und Prof. Dr. Sikora als dessen Vertreter sowie dem IAF-Team. Sie verstanden und verstehen es hervorragend, unsere Hochschule in das komplexe Umfeld der Forschungslandschaft zu integrieren.



**Institut für  
Angewandte Forschung**

## Kontakt

Hochschule Offenburg  
University of Applied Sciences  
Institut für Angewandte Forschung  
Badstraße 24  
D-77652 Offenburg  
[www.iaf.hs-offenburg.de](http://www.iaf.hs-offenburg.de)

**Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin**  
Leiter IAF  
Telefon +49 (0) 781 205-126  
E-Mail [bollin@hs-offenburg.de](mailto:bollin@hs-offenburg.de)

**Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora**  
Stellv. Leiter IAF  
Telefon +49 (0) 781 205-416  
E-Mail [axel.sikora@hs-offenburg.de](mailto:axel.sikora@hs-offenburg.de)

**Diane Weiß**  
Sekretariat  
Telefon +49 (0) 781 205-272  
Fax +49 (0) 781 205-174  
E-Mail [iaf@hs-offenburg.de](mailto:iaf@hs-offenburg.de)

**Zentrale**  
Telefon +49 (0) 781 205-0  
E-Mail [info@hs-offenburg.de](mailto:info@hs-offenburg.de)

## Impressum

**Herausgeber**  
Institut für Angewandte Forschung (IAF)  
Hochschule Offenburg  
University of Applied Sciences

**Redaktion und Gestaltung**  
Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin  
Diane Weiß, IAF Sekretariat  
Kresse & Discher GmbH, Corporate Publishing

**Verantwortlich für den Inhalt**  
Die Autoren und Projektleiter  
der jeweiligen Projekte

**Lektorat**  
Günter F. R. Grosshans  
Hochschule Offenburg

**Gesamtherstellung**  
Kresse & Discher GmbH, Corporate Publishing  
Marlener Straße 2, 77656 Offenburg

Telefon +49 (0) 781 95500  
Fax +49 (0) 781 955050  
[www.kresse-discher.de](http://www.kresse-discher.de)

**Druckerei**  
Gedruckt in Deutschland 2013

**ISSN 1866-9352**

## Forschungsgeschäftsbericht 2013

Projektthema	Projektleiter	Seitenzahl
Entwicklung einer neuen Temperiertechnologie mit Softwareagenten	Prof. Dr. Hildenbrand	11
Hochfrequenz-Katheterablation – Auf den Winkel kommt es an!	Prof. Dr. Ismer	14
Sonographie nicht-klinischer Objekte	Prof. Dr. Otte	19
Late symptoms in mild traumatic brain and whiplash injury	Prof. Dr. Otte	21
Energieoptimierung von Mobilkommunikation für Maschinen	Prof. Dr. Sikora	24
Projekte aus dem Bereich der Medizintechnik	Prof. Dr. Jansen	28
Entwicklung integrierter Schaltungen am ASIC-Design-Center	Prof. Dr. Jansen	31
Automatisiertes Spektrum-Monitoring	Prof. Dr. Felhauer Prof. Dr. Schüssele Prof. Dr. Christ	34
Drehzahlzustandsregler unterbietet Einschwingzeit von 10 ms	Prof. Dr. Nuß	38
Prädiktives Energiemanagement im Effizienzhaus Plus	Prof. Bollin	43
Kurzzeitmessungen zum thermischen Komfort im Sommer	Prof. Dr. Pfafferott	48
Moderne Auswertung in der Dünnschichtchromatographie	Prof. Dr. Spangenberg	51
Mikrostrukturbasierte Modellierung von lamellarem Gusseisen	Prof. Dr. Seifert	53
Referenzrotationskörper für energieeffiziente Umströmung	Prof. Dr. Bühler Prof. Dr. Kachel	56
Wasserstoffspeicherung durch Sorption an porösen Koordinationspolymeren (MOF)	Prof. Dr. Staudt	59
Enzymatische Unterstützung der Hydrolyse zur Steigerung der Biogasproduktion	Dr. Wilke	63
MINT-Erfolge für Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft	Prof. Dr. Breyer-Mayländer	66
Diffusionsmodell von Gehirngewebe, Potenzial für Entwicklung neuer optischer Sensoren	Prof. Dr. Curticapean	70
Acoustic Wedge Waves	Prof. Dr. Mayer	72
Energy-Harvesting-basierte drahtlose Sensor-Systeme	Prof. Dr. Mackensen	76
Usability-Studie durch Eyetracking	Prof. Dr. Rohbock	80
Zusammenstellungen		84
Kooperationspartner des IAF der Hochschule Offenburg		
Formen der Zusammenarbeit mit dem IAF		
Beratung für Existenzgründerinnen und -gründer		
Forschungs- und Entwicklungsprojekte		
Veröffentlichungen		

# Forschungsgeschäftsbericht 2013

## Überblick über die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Hochschule Offenburg 2012

Dieser Bericht informiert über die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Hochschule Offenburg im Jahr 2012. Ein Großteil davon wurde am Institut für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg durchgeführt.

Das IAF versteht sich als zentrale Einrichtung der Hochschule Offenburg und bietet umfassende Dienstleistungen in allen Bereichen an, die einen Bezug zu Forschung und Entwicklung haben. So ist das IAF Ansprechpartner für externe Auftraggeber und Forschungspartner und unterstützt alle internen Prozesse der Forschungsakteure der Hochschule Offenburg. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Hochschule Offenburg erfolgen in den Büroräumen und Laboratorien der Hochschul-Institute. Für einzelne Projekte werden auf Antrag vom IAF Räume bereitgestellt.

In 2012 war das IAF der Hochschule Offenburg in folgende Kompetenzbereiche eingeteilt:

System- und Regelungstechnik, Physikalische Sensorik, Maschinenbau sowie Verfahrenstechnik, Medien und Wirtschaft.

Diese Kompetenzbereiche werden derzeit einer Neustrukturierung unterzo-

gen. Ziel der Neustrukturierung ist es, die IAF-Kompetenzfelder in Schwerpunkte und Forschungsthemen zu untergliedern und mit Kurzbeschreibungen und Kontaktdaten zu versehen. Die neue Struktur hilft so bei der Darstellung der IAF-Kompetenzen auf den IAF Webpages, die Suche nach einzelnen Forschungsthemen und den entsprechenden Ansprechpartnern zu erleichtern. Die neue Struktur kann auch dynamisch an die sich verändernde Forschungswelt und Forschungsakteure der Hochschule angepasst werden.

## Personelle Veränderungen im Bereich IAF-Geschäftsstelle

Im Jahr 2012 wurde im Bereich der IAF-Geschäftsführung ein Wechsel vollzogen. Im Juni 2012 wurde Prof. Elmar Bollin als geschäftsführender Leiter gewählt und übernahm die Geschäfte von Prof. Dr. Dirk Jansen, der das IAF der Hochschule Offenburg über 17 Jahre erfolgreich geführt hat. Zum stellvertretenden geschäftsführenden Leiter wurde Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora gewählt.

Seit Juli 2012 wurde auch das IAF-Team um eine Stelle erweitert. Mit Herrn Rauenbühler steht dem IAF nun ein Finanzfachmann zur Verfügung, der ab 2013 sämtliche finanztechnischen Prozesse im Bereich Forschung und Entwicklung an der Hochschule verwaltet und orga-

nisiert. Er unterstützt die Projektleiter bei der Antragstellung im Bereich der Finanzplanung und Vertragswesen sowie bei der Projektdurchführung durch Mittelabrufe und Finanzcontrolling.

Seit Jahren bewährt hat sich die Stelle des IAF-Forschungskordinators Dr. Henschen. Er informiert über aktuelle Ausschreibungen und beteiligt sich an Forschungsinitiativen. Er unterstützt die Forschungsakteure bei der Antragstellung und koordiniert die Abgabe der Forschungsanträge mit der Hochschulleitung. Er unterstützt das IAF-Marketing durch die Organisation von Messeauftritten und des Fachforums Forschung auf dem Campus.

Das IAF-Sekretariat, vertreten durch Frau Diane Weiß, ist Anlaufstelle für alle Fragen rund um die Forschungsaktivitäten an der Hochschule Offenburg. Frau Weiß koordiniert auch den jährlichen IAF-Forschungsbericht, der jeweils große Nachfrage erfährt.

Mit Herrn Kreker verfügt das IAF ferner über einen technisch-wissenschaftlichen Mitarbeiter, der die Geschäftsführung in Fragen der IKT-Anwendungen berät und für die Kommunikationstechnik einschließlich IAF-Webportal zuständig ist.



**Abb. 1:** Neues Team der IAF-Geschäftsstelle (von links nach rechts): Prof. E. Bollin, H. Rauenbühler, A. Kreker, Prof. Dr. A. Sikora, Diane Weiß, Dr. G. Henschen



**IAF-Geschäftsbedarf 2012**

Der IAF-Geschäftsstelle standen in 2012 insgesamt 216.554 € für den Geschäftsbedarf zur Verfügung. Wie Abb. 2 zeigt, setzt sich diese Summe aus 25 % Grundförderung aus Landesmitteln und 75 % aus Haushaltsmittel der Hochschule Offenburg zusammen. Die Verwendung dieser Mittel in 2012 ist in Abb. 3 dargestellt. Insgesamt 74 % der dem IAF zugewiesenen Mittel wurden für Personalaufwendungen ausgegeben. 16 % Anteil haben die Sachmittel und Reisekosten. 2012 verblieben insgesamt 7.814 € als Restmittel für die Verwendung in 2013.

**Wettbewerblich eingeworbene Drittmittel**

In 2012 wurden **insgesamt 5.726.000 € an F&E-Drittmittel** wettbewerblich eingeworben.

Summe setzt sich zusammen aus:

- in 2012 neu eingeworbene Fördermittel: **4.073.000 €**
- und Einzahlungen in 2012 aus Bestandsprojekten **1.653.000 €**.

Für die Darstellung der wettbewerblich eingeworbenen Drittmittel für F&E wird im Geschäftsbericht 2012 erstmalig unterschieden zwischen neu in 2012 eingeworbenen Fördermittel und Einzahlungen in 2012 aus Bestandsprojekten. Dies hat den Grund, dass in der Vergangenheit als Basis für die Ermittlung der wettbewerblich eingeworbenen Drittmittel eine Einnahmen-/Ausgabenbilanz diente, die lediglich die jährlichen Einzahlungen und Ausgaben berücksichtigte. Ab 2012 wird nun, wie auch vom Wissenschaftsministerium gefordert, auf die jährlich eingeworbenen Drittmittel abgestellt. Wegen der Umstellung werden in 2012 auch die Einzahlungen in 2012 aus Bestandsprojekten für die Ermittlung der gesamt eingeworbenen Drittmittel mit in die Bilanz einbezogen.

Wie Abbildung 4 zeigt, konnte in 2012 die Drittmittelsumme aus wettbewerblich eingeworbenen Fördermitteln gegenüber 2011 (ohne Berücksichtigung des IoC-Vorhabens) um beachtliche 72 % gesteigert werden. Das Vorhaben IoC-Industrie on Campus erbrachte in 2011 als eine Sonderförderung für den Bereich Erneuerbare Energietechnik mit Schwerpunkt Energieumwandlung aus

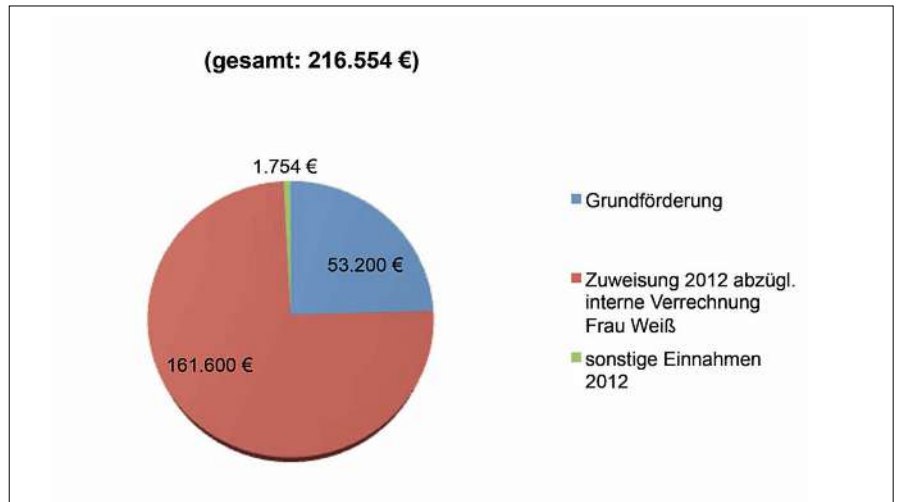


Abb. 2: Der IAF-Geschäftsstelle in 2012 zugewiesene Mittel

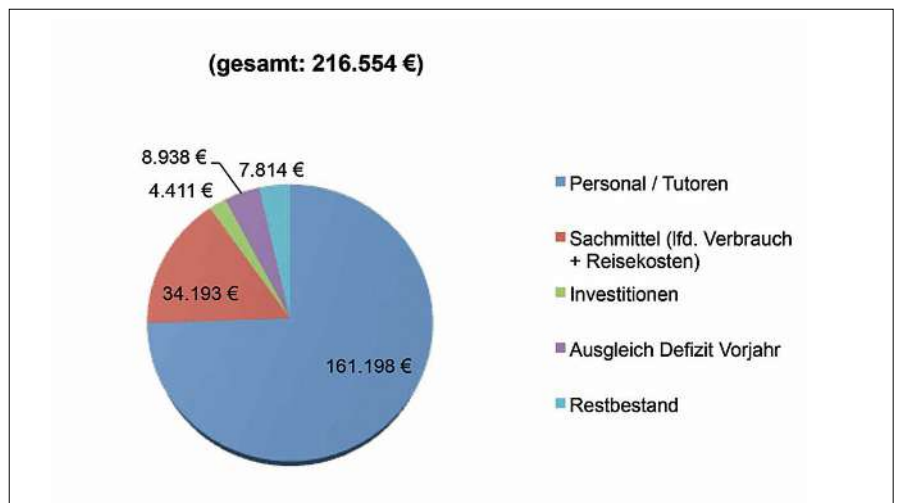


Abb. 3: Verwendung der IAF-Geschäftsstelle in 2012 zugewiesenen Mittel

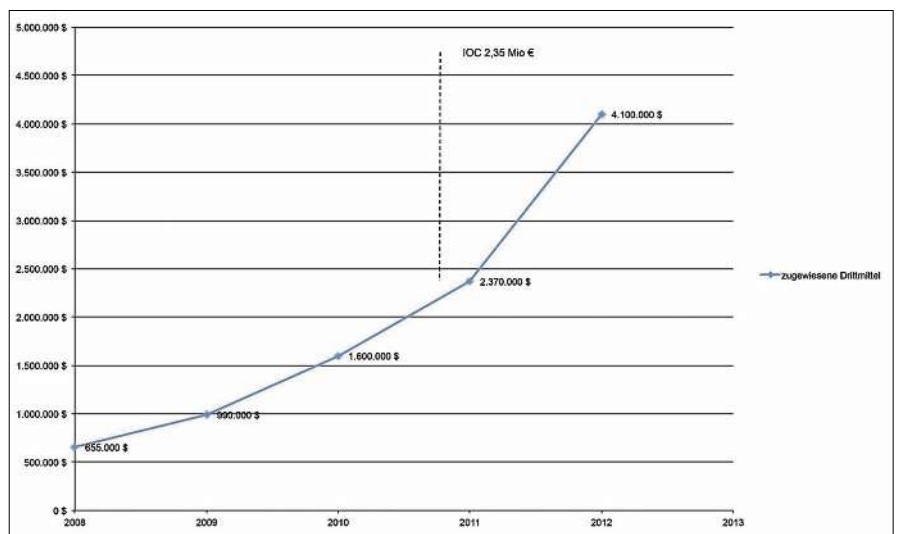


Abb. 4: Verlauf der jährlich wettbewerblich eingeworbenen Fördermittel. In 2011 wurden einmalig Sondermittel in Höhe von 2.350.000 € für das Verbundprojekt Industrie on Campus IoC für F&E im Bereich erneuerbare Energie mit Schwerpunkt energetische Nutzung von Biomasse eingeworben

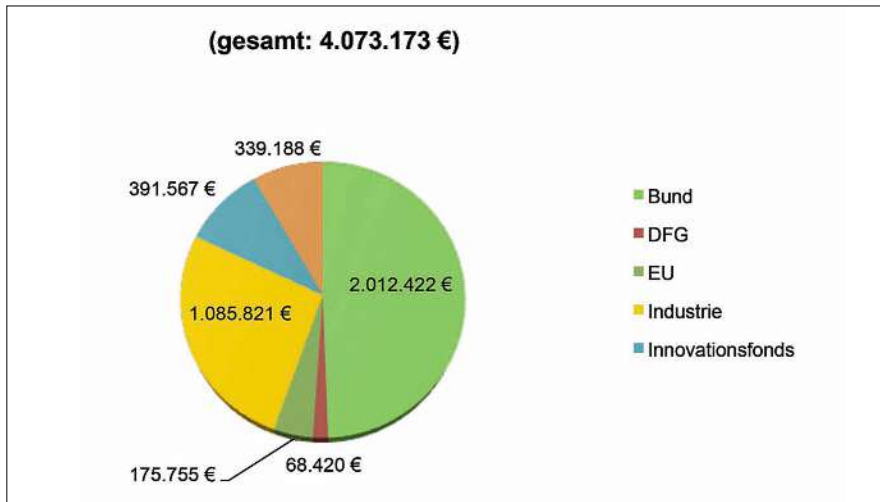


Abb. 5: Wettbewerbslich in 2012 neu eingeworbene Fördermittel für F&E, aufgeteilt nach Fördermittelgeber bzw. Auftraggeber

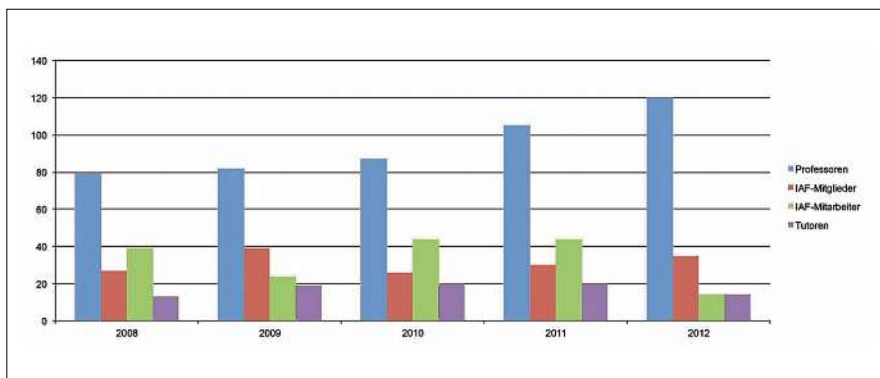


Abb. 6: Entwicklung der Anzahl der an der Hochschule Offenburg beschäftigten Professoren sowie der am IAF beschäftigten Mitarbeiter und Tutoren

Biomasse mit einer Gesamtfördersumme von 2.350.000 € in etwa den gleichen Förderbetrag wie die gesamten restlichen im Rahmen von F&E-Ausschreibungen und Industrieaufträgen an der Hochschule eingeworbenen Fördermittel und stellt daher eine Sondersituation dar, die sich nicht jedes Jahr wiederholen lässt.

Abbildung 5 zeigt, wie sich die in 2012 wettbewerbslich eingeworbenen F&E-Drittmittel auf die einzelnen Auftraggeber bzw. Förderer aufteilen. Mit ca. 50 % überwiegen die Fördermittel aus F&E-Ausschreibungen der Bundesministerien. Gefolgt von 27 Prozent F&E-Drittmittel aus Industrieaufträgen.

### Personelle Entwicklung

In 2012 hat sich die Zahl der an die Hochschule Offenburg berufenen Professoren auf 119 gesteigert. Davon waren 45 forschungsaktiv und von diesen

35 im IAF organisiert. Die Zahl der IAF-Mitglieder wird sich in den nächsten Jahren weiter erhöhen, da durch neu konzipierte Studienprogramme weitere forschungsaktive Kollegen an der Hochschule tätig sind bzw. tätig sein werden.

Im IAF sind in 2012 mit 14 deutlich weniger Mitarbeiter beschäftigt als im Vorjahr. Der starke Rückgang im Vergleich zu 2011 ist mit der Gründung der fakultätsübergreifenden Forschungsinstitute verbunden, die ihre Mitarbeiter unter ihrem Dach beschäftigen. Gleiches gilt für die im IAF beschäftigten Tutoren. Insgesamt waren 2012 81 wissenschaftliche Mitarbeiter in der Forschung an der Hochschule Offenburg beschäftigt.

Mit **18 Doktoranden** blieb die Zahl der an der Hochschule Offenburg beschäftigten Doktoranden in 2012 gegenüber 2011 konstant. Dabei handelt es sich in

der Regel um einzelne kooperative Promotionen mit Universitäten. Eine Besonderheit stellt das vom Land Baden-Württemberg geförderte Promotionskolleg „KleE“ für Kleinskalige erneuerbare Energiesysteme dar. Hier betreuen Professoren der Hochschule Offenburg zusammen mit Kollegen der Universität Freiburg insgesamt fünf Doktoranden an der Hochschule Offenburg.

### Wissenschaftliche Publikationen und Patentanmeldungen

Mit insgesamt 52 „Peer reviewed“ wissenschaftlichen Veröffentlichungen und weiteren 125 wissenschaftlichen Veröffentlichungen konnte die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen in 2012 erheblich gesteigert werden. Weiterhin gab es zwei Patentanmeldungen in 2012, die aus Arbeiten von IAF-Mitgliedern hervorgegangen sind.

Ein nicht unerheblicher Teil der detaillierten Forschungs- und Entwicklungstätigkeit wird von Studenten im Rahmen von Abschlussarbeiten (Bachelor- und Master-Arbeiten) sowie Tutorien geleistet. Diese Arbeiten ergänzen die Forschungsarbeiten und unterstützen die Lehre an der Hochschule. Hierfür ist allerdings ein erheblicher Umfang an Betreuung erforderlich, der von den etablierten Forschungsmitarbeitern geleistet wird. In diesem sogenannten Mittelbau wird das Defizit an festen Stellen, die allein die Kontinuität im personalen wie auch inhaltlichen Bereich sicherstellen können, als prekär wahrgenommen. Durch hohe Personalfluktuation ist das Anleiten von Studierenden oft schwierig. Es ist deshalb in hohem Maß erforderlich, die Zahl der aus Hochschul-Haushaltsmitteln finanzierten Technischen Mitarbeiter deutlich zu erhöhen.

Elmar Bollin  
Geschäftsführender Leiter des IAF

# Entwicklung einer neuen Temperiertechnologie mit Softwareagenten

Prof. Dr. Peter Hildenbrand, Dipl.-Ing. (FH) Jörg Hildenbrand, M.Sc., Christian Roth, M.Eng.

Dieses Projekt untersucht die Entwicklung einer neuen Temperiertechnologie mit ultraschnellem Reaktionsvermögen und hoher Energieeffizienz durch Nutzung vorhandener Wärme-/Kältenetze. Die Regelung der Temperatur wird durch bereits vorhandene Thermostate durchgeführt. Zusätzlich wird dieser Vorgang durch ein intelligentes, selbstlernendes, agentenbasiertes System unterstützt und optimiert.

This project explores the development of a new temperature control technology with ultra-fast response and high energy efficiency by leveraging existing heating / cooling networks. The regulation of the temperature is carried out by existing thermostats. In addition, this process is supported and optimized by an intelligent, self-learning, agent-based system.

## Einleitung

In größeren Industriebetrieben existieren häufig Wärme- oder Kältenetze in Form von Prozessabwärme oder Kühlsole. Um einen höheren Wirkungsgrad bei einem Temperierprozess erreichen zu können, bietet es sich daher an, diese verfügbare Energie sinnvoll in einen Prozess zu integrieren.

Ziel dieses ZIM-Kooperationsprojekts war es, zusammen mit der Firma Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH [1], diese Energie intelligent zu nutzen und somit einen Temperierprozess zum einen energieeffizienter zu gestalten und zum anderen eine deutlich schnellere Reaktionszeit auf Änderungen des Sollwerts realisieren zu können.

Um dies zu erreichen, war es in erster Linie notwendig, eine übergeordnete Softwareschicht aufzusetzen, die für die Verwaltung diverser Temperierprozesse und das intelligente Energiemanagement zuständig ist. Diese Schicht wird im Folgenden als Middleware bezeichnet und enthält Softwareagenten, die spezielle Aufgaben erledigen.

## Grundlagen agentenbasierte Regelung

Für die Entwicklung einer agentenbasierten Regelung musste zunächst ein geeignetes Agentenframework gefunden werden. Aufgrund der positiven Eigenschaften wurde das Java-Framework JADE [2] verwendet. Dieses bietet unter anderem folgende Vorteile:

- Plattformunabhängigkeit
- Interplattform-Kommunikation auch zwischen physikalisch verteilten Systemen
- verschlüsselte Kommunikation durch SSL

- modulare Verteilung von Agentenaufgaben auf Behaviour-Klassen

Auf Grundlage dieses Frameworks konnte die zentrale Verwaltung in Form eines Middleware-Servers realisiert werden.

Dieser Middleware-Server besteht aus Softwareagenten, die jeweils individuelle Aufgaben zu erfüllen haben:

- globale Verwaltung von Temperierprozessen (VA)
- Überwachung aller Teilnehmer und Agenten (UEA)
- Organisation eines bestimmten Temperierprozesses (OA)
- Optimierung eines bestimmten Temperierprozesses (OptiA)

Zusätzlich werden sogenannte Kälte-technikagenten (KA) auf der neuesten Bedieneinheit Pilot ONE® der Thermostaten integriert. Dieser Kältetechnikagent dient als Schnittstelle zwischen Middleware und Reglermodul des Thermostaten. Stellbefehle, die von der

Middleware erzeugt werden, werden durch diesen Agenten an den Regler weitergeleitet. Abbildung 1 soll den gesamten Aufbau des Agentensystems verdeutlichen.

Weitere Komponenten für dieses System sind ein Client für die Konfiguration und Steuerung des Prozessablaufs sowie ein Datenbankserver. Über einen speziellen OPC-Agenten kann zusätzlich eine SPS im Prozess integriert und angesteuert werden.

Für jeden Prozess wird ein Team, bestehend aus einem Organisationsagenten (OA) und einem Optimierungsagenten (OptiA), erzeugt. Diese übernehmen im weiteren Verlauf die Prozessoptimierung und Organisation.

Mit dem verwendeten Agentenframework ist es möglich, individuelle Optimierungsstrategien den Agenten dynamisch hinzuzufügen. Dies kann über einen Eintrag im Prozessablaufplan erfolgen. Im Folgenden soll beispielhaft eine Optimierungsstrategie erläutert werden.

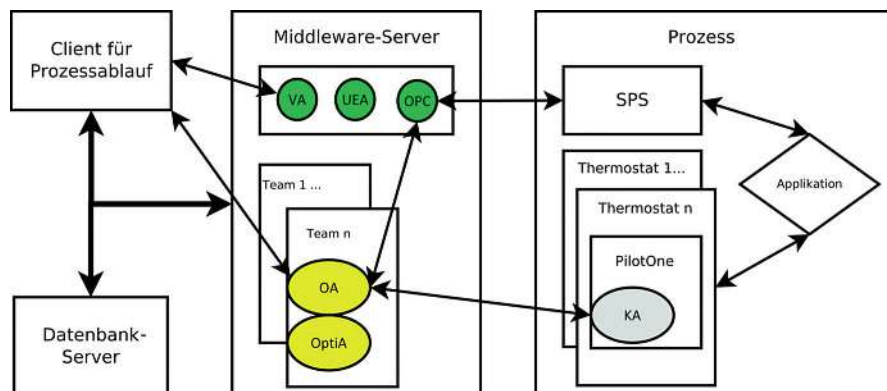


Abb. 1: Agentensystem mit zusätzlichen Komponenten

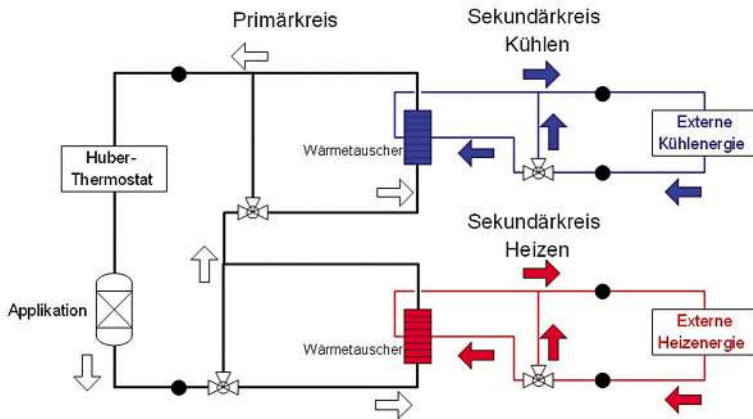


Abb. 2: Prinzipschaltbild der Versuchsanordnung

### Regelbasierte Prozessoptimierung durch den Optimierungsagenten

Hierbei wird der aktuelle Systemzustand überwacht und auf Grundlage von fest definierten Regeln optimiert. Dazu wird zu dem Thermostat ein zusätzlicher SPS-Regler hinzugefügt, der die Regelung unter Zuhilfenahme der externen Energie übernimmt. Diese externe Energie in Form von Kälte- bzw. Wärmeleistung wird durch Wärmetauscher dem Prozess hinzugefügt.

Durch Vorgaben des Optimierungsagenten können die Reglerparameter des SPS-Reglers angepasst werden. Für diese Anpassung werden die definierten Regeln verwendet, die durch vorherige Prozessuntersuchungen ermittelt wurden. Zukünftig soll es möglich sein, dass diese Regeln durch ein selbstlernendes Verfahren adaptiert und somit im laufenden Prozess optimiert werden können.

Nachdem durch die SPS-Regelung eine Grobregelung durchgeführt wurde, wird ein Thermostat für die hochgenaue Feinregelung verwendet, der durch einen parameteradaptiven Regler die nötige Stabilität erzielen kann. Jedoch wird eine zuvor ermittelte optimale externe Energiezufuhr festgehalten, wodurch ein geringerer Energieaufwand durch den Thermostaten notwendig ist.

In Abbildung 2 ist der Aufbau in einem Prinzipschaltbild dargestellt.

Dabei besteht der Primärkreis aus einem Thermostaten und einer Applikation in Form eines Reaktors, der das zu temperierende Medium enthält. Über

Ventile kann der Volumenstrom durch die Wärmetauscher geregelt werden.

Diese Wärmetauscher beziehen ihre Energie durch zwei angeschlossene Sekundärkreise (Kühlen und Heizen).

### Versuchsaufbau

Als Aufgabe für die abschließenden Versuche am Systemmuster wurde definiert, möglichst schnell einen Sollwertsprung von 30 °C auf 60 °C so durchzuführen, dass nur ein geringes Überschwingen der Ist-Temperatur stattfindet. Dabei wurde mit dem SPS-Regler eine Ventilstellung ermittelt, die eine stationäre genaue Regelung ermöglicht. Abschließend wurde diese Ventilstellung festgesetzt und die Feinregelung durch den Thermostaten aktiviert. Danach wurde die gleiche Vorgehensweise bei einem Temperatursprung von 60 °C auf 30 °C wiederholt. Für einen Vergleich der Ergebnisse wurden mit einem bisherigen Huber-Standard-Thermostaten die gleichen Sollwertsprünge durchgeführt.

### Ergebnisse

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Ergebnisse des Versuchs. Dabei ist deutlich der zeitliche Gewinn bei der

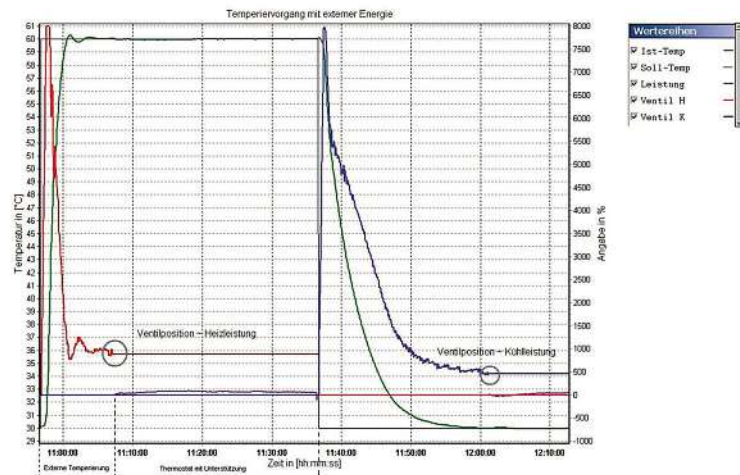


Abb. 3: Temperierung mit Unterstützung durch externe Energie

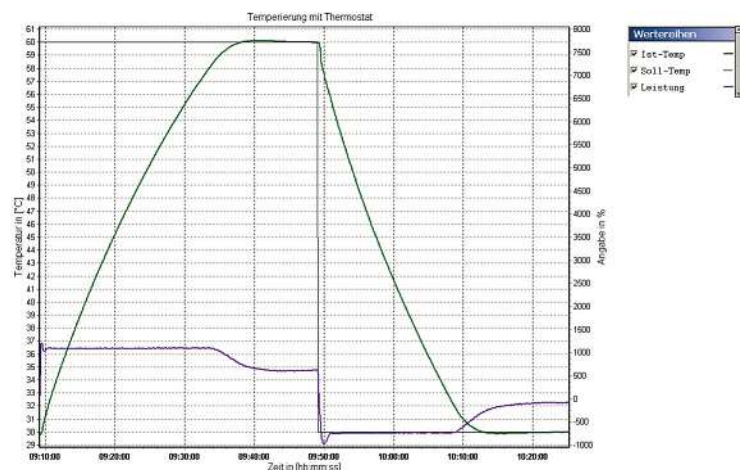


Abb. 4: Temperierung mit einem konventionellen Thermostaten

Temperierung mit zusätzlicher externer Energie zu sehen. Zusätzlich erkennt man, dass im stationären Zustand deutlich weniger Leistung durch den Thermostaten aufgewendet werden muss als bei einer konventionellen Regelung. Dies kommt daher, weil über den Wärmetauscher bereits eine Energiezufuhr stattfindet, die in der Lage ist, die Temperatur zu halten. Die benötigte Energie des Thermostaten wird nur noch für die Feinregelung verwendet.

#### Referenzen

- [1] Peter Huber Kältemaschinenbau GmbH, <http://www.huber-online.com>
- [2] JADE: Java Agent Development Framework, <http://jade.tilab.com>

#### Autoren



**Prof. Dr. Peter Hildenbrand**  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Studiendekan Mechatronik  
[hildenbrand@hs-offenburg.de](mailto:hildenbrand@hs-offenburg.de)

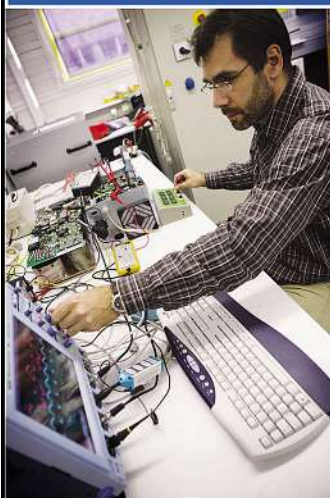


**Dipl.-Ing. (FH) Jörg Hildenbrand, M.Sc.**  
Lehrbeauftragter Fakultät Elektro-  
technik und Informationstechnik  
[joerg.hildenbrand@hs-offenburg.de](mailto:joerg.hildenbrand@hs-offenburg.de)



**Christian Roth, M.Eng.**  
[cro@huber-online.com](mailto:cro@huber-online.com)

### J. Schneider Elektrotechnik GmbH



Der Name Schneider steht seit 70 Jahren  
für innovative Produkte und Dienstleistungen

**Planung, Entwicklung und Produktion von neuen Technologien -  
unser Know-How steht für Komplettlösungen**

Unser innovatives Team entwickelt kundenspezifische  
Hightech-Stromversorgungen u.a. für

- Plasmatechnologie
- Laseranwendungen
- Röntgenanwendungen



Helmholtzstrasse 13  
77652 Offenburg

Werner-von-Siemens-Strasse 12  
77656 Offenburg-Elgersweier

Tel. 0781 / 206-0  
Fax 0781/ 2 5318

[www.j-schneider.de](http://www.j-schneider.de)  
[info@j-schneider.de](mailto:info@j-schneider.de)

# Hochfrequenz-Katheterablation – Auf den Winkel kommt es an!

Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer, Tatiana Jest, B.Sc., Dipl.-Ing. (FH) Tobias Haber

Klinische Erfahrungen zeigen, dass Größe und Geometrie der Läsionen und damit der Erfolg einer Hochfrequenzablation vom verwendeten Katheter und seinem Winkel zum Myokard abhängen. Es konnte gezeigt werden, dass mit einfacher Simulation die Entstehung und Ausbreitung dieser Läsionen mit ihrer Temperaturverteilung im Myokard in Abhängigkeit von den Parametern und der Dauer der HF-Applikation in einem Modell realitätsnah abgebildet werden können.

Clinical experiences in radiofrequency catheter ablation suggest that size and geometry of the ablation lesions as well as the result of the procedure depend on the type of the used catheter and its working angle related to the myocardium. It could be demonstrated by simulation that formation and propagation of the lesion and their temperature dispersion can be realistically described with a simplified model.

## Einführung

Herzrhythmusstörungen sind durch Störungen der Erregungsbildung oder Erregungsleitung hervorgerufene Abweichungen in der Abfolge der natürlichen Herzaktionen. Als Hauptgruppen werden die Bradykardie als zu langsamer und die Tachykardie als zu schneller Herzschlag unterteilt. Tachykardien finden sich am häufigsten auf der Grundlage eines Reentrymechanismus. Dieser ist vergleichbar mit einem elektrischen Schwingkreis. Die Herzerregung bewegt sich dabei entgegen ihrem üblichen Verlauf innerhalb des Herzens auf einer Kreisbahn. Von dieser aus wird eine viel zu schnelle Erregung der Herzkammern angeregt und unterhalten, die die Patienten aufgrund ihrer hohen Herzfrequenz belastet. Während sich supraventrikuläre Tachykardien im Bereich der Herzvorhöfe oder des AV-Knotens abspielen, findet das Reentry ventrikulärer Tachykardien in den Herzkammern statt. Dies ist insofern von besonderer Bedeutung, als in ca. 80 % der Fälle des plötzlichen Herztods Kammertachykardien und Kammerflimmern als Ursache gelten. Regelmäßige, reentry-basierte Kammertachykardien können in Kammerflimmern übergehen, was beim Fehlen sofortiger Maßnahmen zum Tod führt.

Während Bradykardien erfolgreich mit Schrittmachern therapiert werden können, steht für die Therapie verschiedener Tachykardien die Ablation als kurative Maßnahme zur Verfügung. Bei Befunden, die das Auftreten maligner ventrikulärer Tachykardien in Betracht ziehen oder bei einem überlebten Kammerflimmern, besteht dagegen die Indikation zur Implantation eines automatischen Defibrillators.

## Katheterablation

Viele Tachykardien lassen sich heute durch Katheterablation mit Hochfrequenz, Cryo- oder andere Energieformen kurieren. Dabei wird durch gezielte Energieeinwirkung an geeigneter Stelle des Reentrykreises oder im Fall einer fokalen Tachykardie an ihrem Ursprung eine Narbe gesetzt, die welche der Erregungskreis unterbunden bzw. der tachykarde Erregungsursprung verödet wird. Die heute überwiegend verwendete Hochfrequenzablation [1 – 3], [8], [9] nutzt hierzu das physikalische Prinzip der Ohm'schen Erwärmung. Über die Spitze eines unter Kontrolle des intrakardialen Elektrogramms exakt zu platzierenden Elektrodenkatheters wird ein Hochfrequenzstrom temperaturgesteuert appliziert. Die durch ihn im Myokard erzeugte Wärme wird dabei über einen in der Katheterspitze befindlichen Temperatursensor erfasst und temperaturgesteuert über eine einstell-

bare Dauer von ca. 60 Sekunden pro Ablationsstelle aufrechterhalten. Die am Ablator zu wählenden Parameter sind dabei kritisch. Dies liegt vor allem daran, dass die im Myokard erzeugte Temperatur nur indirekt über ihre Rückstrahlung auf die Katheterspitze und nicht direkt an ihrem Wirkungsort erfasst werden kann. Eine zu gering gewählte Zieltemperatur verfehlt die gewünschte Narbenbildung. Eine zu hohe behindert durch Blutkoagulation an der Katheterspitze, den Stromfluss durch Selbstisolation. Die damit verbundene Elektrodenkarbonisierung äußert sich oft mit einem hörbaren Knall, dem sogenannten „Popp“ [4] (Abb. 1). Ohne diese störenden Effekte lassen sich größere und tiefere Läsionen mit gekühlter HF-Ablation erreichen. Bei dieser wird während der Stromabgabe physiologische Kochsalzlösung mit Druck über die Katheterspitze injiziert [10], [11]. Dies bewirkt eine Kühlung des Tempe-

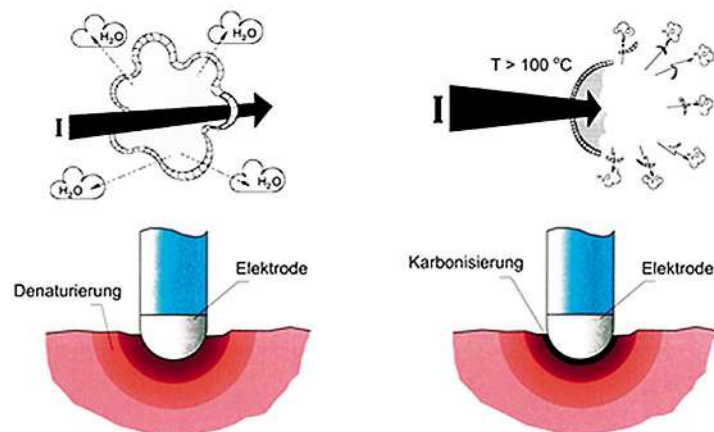


Abb. 1: Veranschaulichung der Vorgänge bei einer Hochfrequenz-Katheterablation bei senkrecht auf der Myokardoberfläche stehenden konventionellen 4-mm-Katheter. Eine zu hoch gewählte Zieltemperatur führt aufgrund einer Elektrodenkarbonisierung zur Selbstisolation und kann sich als hörbarer Knall, dem sogenannten „Popp“, äußern (Quelle: Osyka AG)

ratorsensors, in deren Folge über die Regelungsschaltung des Ablators eine erhöhte Energiezufuhr veranlasst wird. Gleichzeitig vermeidet dies die „Spülung“ einer Karbonisierung der Katheterspitze. Auf diese Weise lassen sich größere und tiefere Läsionen erzeugen [12], was zum Beispiel im Rahmen der Pulmonalvenenisolation zur Therapie von Vorhofflimmern genutzt wird. Die Verwendung eines einheitlichen Katheters zur Ablationsbehandlung ist aufgrund des unterschiedlichen Vorgehens und der Bedingungen verschiedener Tachykardien nicht möglich.

### Zielstellung

Es ist aus der klinischen Praxis bekannt, dass sowohl die Geometrie der zur Ablation verwendeten Katheterspitzen als auch ihre geometrische Stellung als Winkel zum Myokard Einfluss auf das Ergebnis einer HF-Stromapplikation haben. Ziel der Untersuchungen war es darum zu prüfen, inwieweit eine einfache Simulation die Entstehung und Ausbreitung der bei einer Hochfrequenzablation erzeugten Läsionen und deren Temperaturverteilung im Myokard in Abhängigkeit von den Parametereinstellungen und der Dauer der HF-Applikation mathematisch erfassen kann.

### Methodik

Es waren die Abläufe bei einer Hochfrequenz-Ablation mit der COMSOL Multiphysics Software in vereinfachter Weise für die konventionelle und die gekühlte HF-Katheterablation zu simulieren. Hierzu war es erforderlich, neben den geometrischen Vorgaben der aktuell verwendeten Katheterspitzen mit 4- und 8-mm-Länge zusätzlich biologische Parameter zu definieren. Bei allen Simulationen gingen wir von nur drei biologischen Ablationsvorgaben aus. Diese waren:

- eine mittlere Bluttemperatur von 37 °C,
- eine beginnende Eiweißkoagulation bei 42 °C,
- eine vollständige Eiweißkoagulation bei 45 °C.

Für die konventionelle HF-Ablation wurde als Zieltemperatur für beide Spitzenlängen mit Rücksicht auf die Eigenschaften der COMSOL-Software ein Wert von 42,8 °C ausgewählt.

Zudem waren die Eigenschaften verschiedener Materialien wie Herzgewebe, Blut, Elektrode, isolierende Glimmerschicht u. a. zu definieren [5]. Für jedes Material waren die Dichte ( $\rho$ ), die elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) und die Wärmeleitfähigkeit ( $k$ ) sowie die spezifische Wärmekapazität ( $C_p$ ) vorzugeben.

Die Geometrie der verschiedenen, die Ablation simulierenden Elemente wurde mit dem COMSOL Geometry Tool erstellt. Sie wird durch 4 übereinander liegende Schichten verschiedener Dicke simuliert:

- Blut innerhalb des Herzens: 35 mm,
- Herzgewebe: 15 mm,
- Körpergewebe: 150 mm,
- Äußere Gegenelektrode: 20 mm.

Die Position des Katheters stimmt dabei mit der Oberfläche des Herzgewebes überein. Ab dieser Höhe war die Temperaturverteilung zu untersuchen.

Mit diesem Modell wurde die bei einer 60 Sekunden dauernden HF-Einwirkung entstehende Temperaturverteilung im Myokard bei Katheterwinkeln von 0,45 und 90 Grad zu diesem in vereinfachter Weise simuliert [6], [7].

### Ergebnisse

Unter den gewählten Ablationsbedingungen wird bei einer konventionellen HF-Ablation mit 4-mm-Katheterspitze, wie sie zum Beispiel bei AV-Knoten-Reentrytachykardien Anwendung findet eine vollständige Nekrose unter der Katheterspitze nach Ablauf von 60 Sekunden HF-Stromapplikation nur bei einer auf dem Myokard senkrecht stehenden Elektrode sowie unter einem Winkel von 45 Grad zum Myokard erreicht. Eine sichere Nekrose tritt bei angewinkelter Position erst nach 15s auf, während sie bei stehender Elektrode bereits ab 10s HF-Einwirkzeit beginnt (Abbildungen 2 und 3).

Im Gegensatz zu diesen beiden Fällen zeigte die Simulation, dass mit einer auf dem Myokard aufliegenden 4-mm-Elektrode auch nach Ablauf von 60 Sekunden keine sichere Nekrose erreicht werden kann. In diesem Fall blieb die maximale Temperatur unter der Katheterspitze unterhalb der für diesen Fall definierten Temperatur von 45 °C (Abbildung 4).

Bei HF-Ablationen mit 8-mm-Elektrode wird nach Ablauf von 60 Sekunden für alle drei untersuchten Winkel eine vollständige Nekrose erreicht. Jedoch tritt diese bei liegender Elektrode erst zum Ende der Ablationsdauer bei 55 – 60 Sekunden auf. Dies ist 45 Sekunden später als bei den beiden anderen Varianten. Der Bereich der sicheren Nekrose bleibt bei anliegender Elektrode mit einem Durchmesser von zudem sehr klein gegenüber den anderen Varianten (Abbildung 5, Tabelle).

Diese Ergebnisse zeigen die große Bedeutung der Stellung der Elektrode in Bezug auf das Myokard. Sie verdeutlichen das notwendige Können und die Virtuosität der diese Behandlung praktizierenden Ärzte.

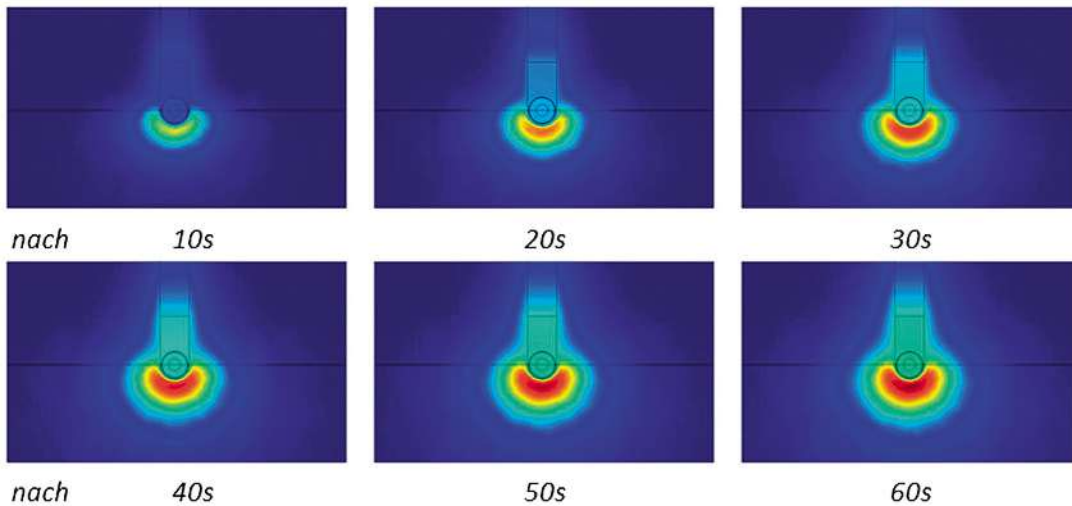
In der Diskussion mit Elektrophysiologen wurden die Ergebnisse als sehr realistisch eingeschätzt. Sie sollten aus diesem Grund in weiteren Arbeiten verfeinert und validiert werden.

Schließlich ließ sich zeigen, dass bei einer gekühlten HF-Ablation unter Einsatz einer 4mm-Cooled-Tip-Elektrode, wie sie bei Pulmonalvenenablationen eingesetzt werden, nur bei senkrecht stehendem Katheter der gewünschte sehr rasche Temperaturanstieg im Myokard erreicht wird. Die geometrische Ausbreitung der Läsion verläuft hier schnell, das Fortschreiten ist zwischen 40 und 60s allerdings viel langsamer als zu Beginn des Stromflusses (Abbildung 6).

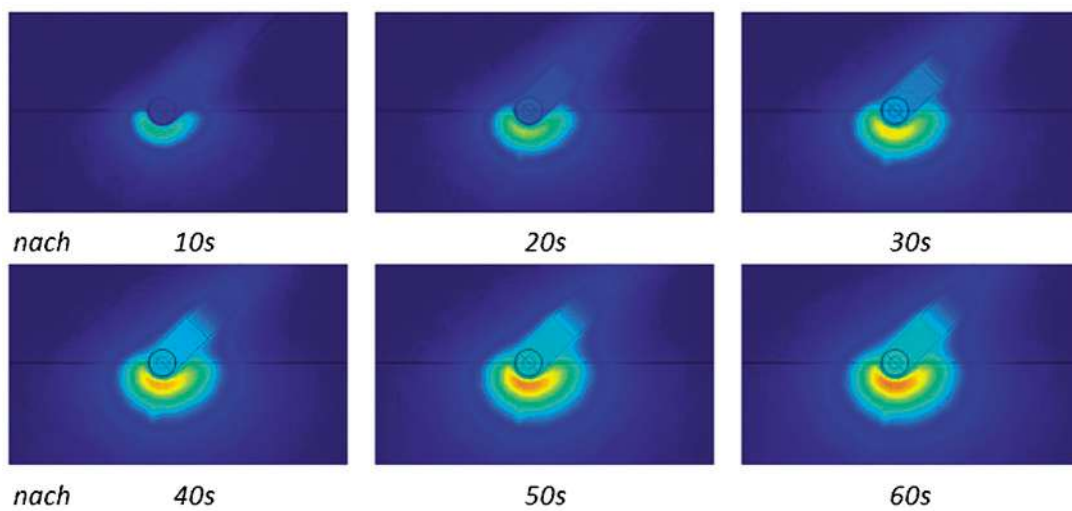
Die Tabelle zeigt einen Auszug aus den Simulationsergebnissen aller Fälle der untersuchten konventionellen und gekühlten Ablation mit dem hierfür gebräuchlichen 4- und 8-mm-Elektroden.

### Zusammenfassung

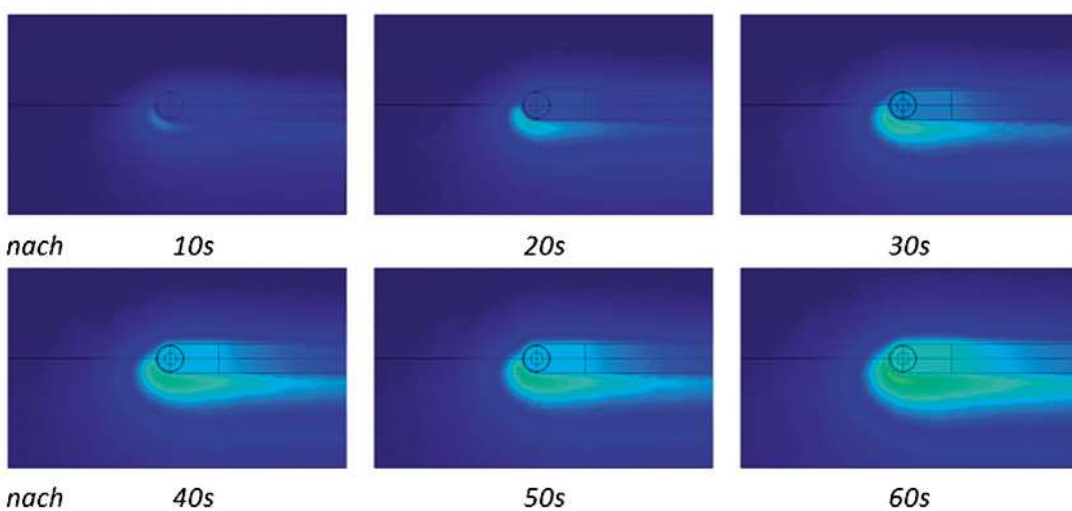
Unter den gewählten Simulationsbedingungen konnte gezeigt werden, dass bei Anwendung einer 4-mm-Elektrode zur HF-Ablation eine vollständige Nekrose nur bei senkrecht oder unter einem Winkel von 45° auf dem Myokard stehender Elektrode nach Ablauf von 60 Sekunden erreicht wird. Demgegenüber wird mit 8-mm-Elektroden bei derselben Ablationsdauer für alle Winkel eine vollständige Nekrose erreicht. Der Bereich der sicheren Nekrose ist bei aufliegender Elektrode allerdings sehr klein.



**Abb. 2:** Veranschaulichung der Simulation einer HF-Katheterablation bei senkrecht auf der Mykardoberfläche stehenden konventionellen 4-mm-Katheter in Abhängigkeit von der Dauer des HF-Stromflusses. Die Farben symbolisieren die im Myokard erreichte Temperatur



**Abb. 3:** Veranschaulichung der Simulation einer HF-Katheterablation bei einer mit 45 Grad zur Mykardoberfläche stehenden konventionellen 4-mm-Katheter in Abhängigkeit von der Dauer des HF-Stromflusses. Die Farben symbolisieren die im Myokard erreichte Temperatur



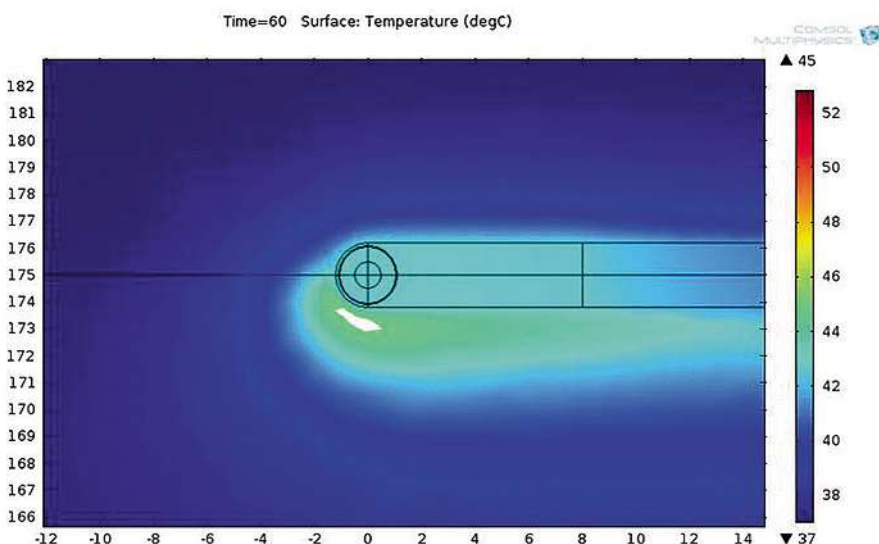
**Abb. 4:** Veranschaulichung der Simulation einer HF-Katheterablation bei einem auf der Mykardoberfläche aufliegenden konventionellen 4-mm-Katheter in Abhängigkeit von der Dauer des HF-Stromflusses. Die Farben symbolisieren die im Myokard erreichte Temperatur



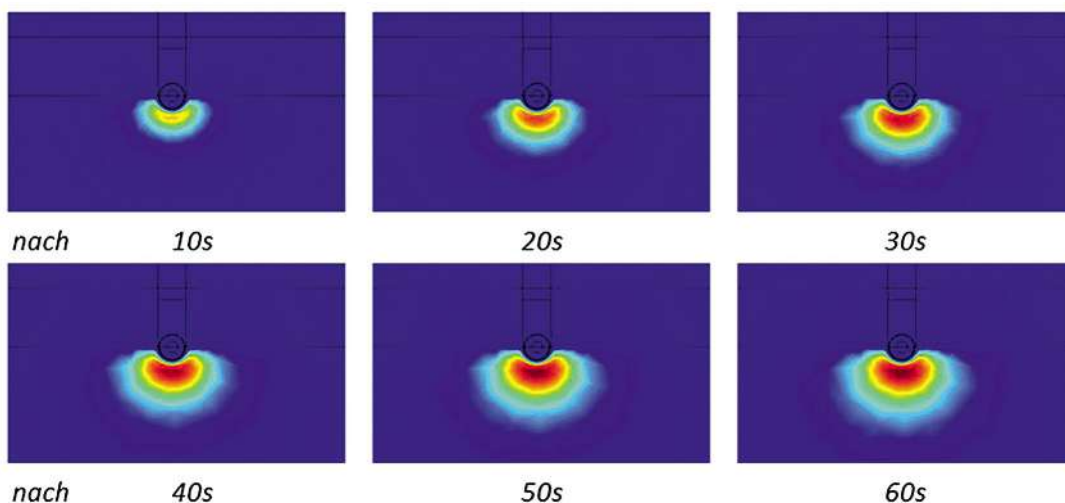
Für die gekühlte HF-mit 4-mm-Cooled-Tip-Elektrode, werden die vergleichsweise größten Läsionen und der früheste Beginn der Nekrotisierung nur bei senkrechter Stellung auf dem Myokard erzielt.

### Referenzen

- [1] Borggreffe M, Budde T, Podczec A (1987) High frequency alternating current ablation of an accessory pathway in humans. J Am Coll Cardiol 10: 576 – 852
- [2] Borggreffe M (1994) Katheterablation tachykarder Herzrhythmusstörungen mittels Hochfrequenzstrom; Experimentelle und klinische Untersuchungen. Steinkopff-Verlag Darmstadt 1 – 107
- [3] Chugh S, Chan R, SB J, DL P (1999) Catheter tip orientation effects radiofrequency ablation lesion size in the canine left ventricle. Pacing Clin Electrophysiol 22: 413 – 420
- [4] Eick O, Gerritse B, Schumacher B (2000) Popping phenomena in temperature-controlled radiofrequency when and why do they occur? Pacing Clin Electrophysiol 23: 253 – 258
- [5] Geddes L, Baker L (1967). The specific resistance of biological material – a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. Med Biol Eng 5: 271 – 293
- [6] Gindele F (2005) Darstellung myokardialer Temperaturphänomene während der Radiofrequenz-Katheterablation mittels Thermographie im In-Vitro-Modell. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München
- [7] Haines D (2001) Determinants of lesion size during radiofrequency catheter ablation – The role of electrode-tissue contact pressure and duration of energy delivery. J Cardiovasc Electrophysiol (2): 509 – 515
- [8] B, von Knorre GH (1990) Eine Verstärkereinheit mit kontaktlosem Gasentladungsschalter zur DC-Fulguration. Hirsch Elektrophys 1: 186 – 89



**Abb. 5:** Veranschaulichung der im Verlauf einer 60 Sekunden andauernden HF-Ablation nur in einem kleinen Areal erreichbaren Nekrotisierung (weißer Bereich) bei einer auf dem Myokard anliegenden 8-mm-Elektrode



**Abb. 6:** Veranschaulichung des Verlaufs einer 60 Sekunden andauernden HF-Ablation mit 4-mm-Cooled-Tip-Elektrode. Die Nekrotisierung beginnt hier bereits nach 10 Sekunden HF-Applikation

konventioneller 4-mm-HF-Ablationskatheter				
		max. Tiefe [mm]	max. Durchm. [mm]	Nekrotisierung nach [s]
Winkelposition	0	1,85	–	–
	45	1,9	5,66	15
	90	1,9	5,3	10
konventioneller 8-mm-HF-Ablationskatheter				
		max. Tiefe [mm]	max. Durchm. [mm]	Nekrotisierung nach [s]
Winkelposition	0	1,8	1,79	55-60
	45	1,95	7,2	10
	90	1,96	6,72	10
4-mm-Cooled-Tip-HF-Ablationskatheter				
		max. Tiefe [mm]	max. Durchm. [mm]	Nekrotisierung nach [s]
Winkelposition	0	–	–	–
	45	–	–	–
	90	2,2	5,27	10

**Tabelle:** Tiefe und Durchmesser der nach Simulation von 60 Sekunden Hochfrequenzablation unter verschiedener Katheterposition zum Myokard erreichten Läsionen mit Zeitpunkt der beginnenden Nekrotisierung

[9] Ismer B (2007) Kleine Ablatorfibel – Eine Einführung über Energiequellen, Steuer- und Regelungstechnik zur kardialen Ablation. Universität Rostock. [www.bruno-ismer.com](http://www.bruno-ismer.com)

[10] Jais P, Haissaguerre M, Shah D, al e (1998) Successful irrigated-tip catheter ablation of atrial flutter resistant to conventional radiofrequency ablation. *Circulation* 98: 835 – 838

[11] Petersen H, Chen X, A P, al e (1998) Temperature-controlled irrigated tip radiofrequency catheter ablation: Comparison of in vivo and in vitro lesion dimensions for standard catheter and irrigated tip catheter with minimal infusion rate. *J Cardiovasc Electrophysiol* 9: 409 – 414

[12] Petersen H, Svendsen J (2003) Can lesion size during radiofrequency ablation be predicted by the temperature rise to a low power test pulse in vitro?

## Autoren



**Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer**  
Leiter des Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation  
Lehrgebiete: Kardiologische Geräte und Methoden, Elektrostimulation, Defibrillation, Elektronische kardiologische Implantate  
[bruno.ismer@hs-offenburg.de](mailto:bruno.ismer@hs-offenburg.de)



**Tatiana Jest, B.Sc.**  
Fachrichtung Maschinenbau  
Bachelorabschluss 2012 am Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation  
[jest\\_tatiana@hotmail.com](mailto:jest_tatiana@hotmail.com)



**Dipl.-Ing. (FH) Tobias Haber**  
Akademischer Mitarbeiter am Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation  
[tobias.haber@hs-offenburg.de](mailto:tobias.haber@hs-offenburg.de)

# Sonographie nicht-klinischer Objekte

Michael Kiefer, Markus Brudsche, Prof. Dr. med. Andreas Otte

Die vorgestellte Arbeit entstand im Sommersemester 2012 aus einer Projektarbeit zum Thema „Anwendungsmöglichkeiten der Sonographie außerhalb der Medizin“ im Studiengang Medizintechnik an der Hochschule Offenburg; die Arbeit stellt ein neues und interessantes Ergebnis für die Sonographie vor.

Swallowed objects have become an important indication of X-ray diagnostics. However, in infants, children or pregnant, sonography could be an alternative. To test the feasibility of sonography in identifying swallowed objects, we simulated the human condition with a plastic bowel filled with either jelly or water and investigated different metallic and non-metallic objects. All objects could easily be imaged and identified in the sonogram. Representative images are shown in this article. Application of sonography outside the human or animal body is rare. However, the shown images are encouraging enough to rethink new diagnostic fields of this imaging procedure.

## Einleitung

Die Sonographie ist ein bildgebendes diagnostisches Verfahren, das auf der Basis von Druckwellen funktioniert. Die Wellen werden von einem Sender ausgesandt und an dem zu untersuchenden Objekt reflektiert. Diese reflektierten Wellen werden von einem Empfänger aufgenommen und in Bild-daten umgerechnet.

Die Sonographie hat sich seit den 1940er Jahren entwickelt. Die erste Anwendung im medizinischen Bereich wurde bereits im Jahr 1942 von *Karl Dussik* durchgeführt. Er stellte den Seitenventrikel des Gehirns dar. Daraufhin erlangte die Sonographie Einzug in fast alle medizinischen Fachbereiche. Die erste kardiologische Untersuchung mit Ultraschall fand im Jahr 1954 statt und wurde von *Inge Edler* und *Carl Helmut Hertz* durchgeführt. Die erste Untersuchung mit Doppler-Verfahren wurde 1959 von *Shigeo Satomura* beschrieben (Frey, 1999 [1]).

Heutzutage hat der Ultraschallmarkt in Deutschland ein Umsatzvolumen von ca. 200 Mio. Euro pro Jahr. Durch die vielseitige Einsetzbarkeit dieser Untersuchungsmethode ist die Ultraschall-diagnostik ein häufiges Verfahren in der Gynäkologie, Inneren Medizin, der Kardiologie und in anderen Fachbereichen (Kramme, 2011 [2]).

Der Vorteil der Sonographie im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren ist, dass es zu relativ wenigen unerwünschten Wechselwirkungen mit dem zu untersuchenden Gewebe kommt. So entsteht bei der Ultraschalldiagnostik keine ionisierende Strahlung, und es wird in der Regel kein Kontrastmittel

benötigt. Die einzigen bisher bekannten Nebenwirkungen sind die Erwärmung des untersuchten Gewebes und mechanische Effekte durch die Druckänderungen an den Molekülen (Frey, 1999 [1]). Ein weiterer Vorteil der Sonographie ist der relativ günstige Preis sowohl in der Anschaffung als auch in der Unterhaltung des Geräts. Dies hat auch dazu geführt, dass in fast allen Arztpraxen und Krankenhäusern Ultraschallgeräte zur Verfügung stehen und diese routinemäßig zur Untersuchung des Abdomens, des Herzens, der Schilddrüse und vielen weiteren Organen und Strukturen verwendet werden.

Bei der Detektion verschluckter Gegenstände spielt jedoch bislang nur die Röntgendiagnostik eine bedeutsame Rolle, insbesondere da Daten zu anderen Verfahren nicht vorliegen. Ein denkbares Verfahren zur Detektion ver-

schluckter Gegenstände – das darüber hinaus auch nicht ionisierend, d. h. zellschädigend ist – ist zweifelsohne die Sonographie, und besonders bei Schwangeren oder Kindern könnte diese hier ein neues Indikationsgebiet sein.

Aus diesem Grund haben wir im Rahmen einer Projektarbeit diesen Aspekt herausgearbeitet.

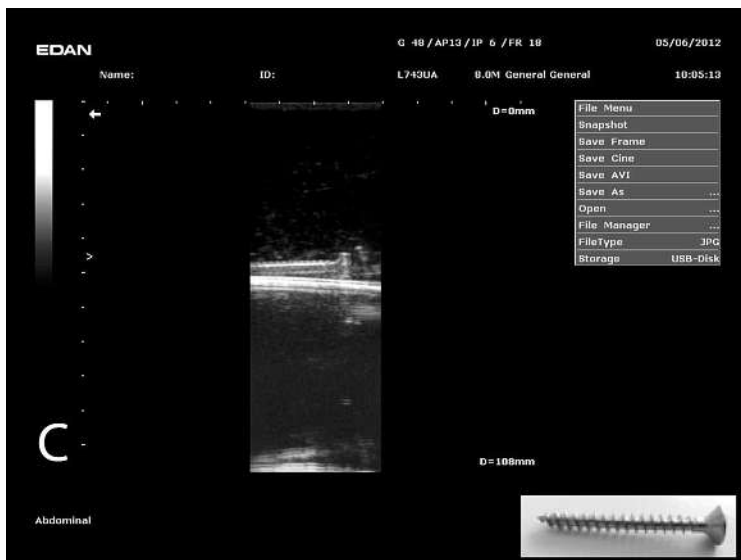
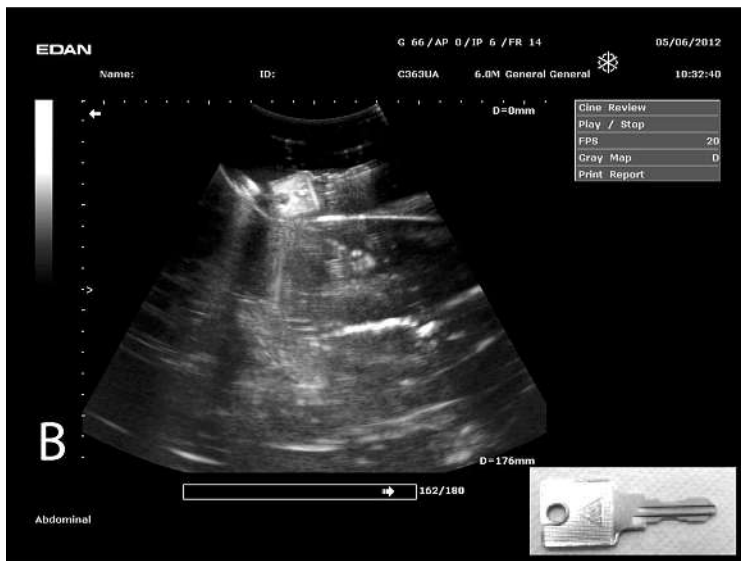
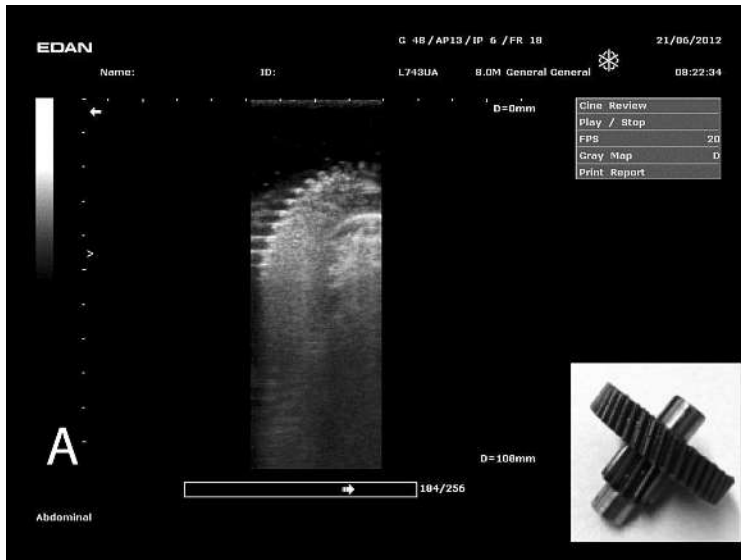
## Material und Methoden

Für die Versuche wurde das Sonographiegerät EDAN DUS60 Digital Ultrasonic Diagnostic Imaging System mit einem Linearschallkopf im Frequenzbereich von 6 bis 10 MHz und einem Konvexschallkopf im Frequenzbereich von 2 bis 6 MHz verwendet.

Der Bauchraum des menschlichen Körpers wurde durch eine Plastikschaale simuliert, die mit Götterspeise oder Wasser

Gegenstand	Überträgermedium	Schallkopf	Schallfrequenz
Holzschraube	Götterspeise	konvex und linear	6 bzw. 8 MHz
Kugelschreiberfeder	Götterspeise	linear	8 MHz
Schlüssel	Götterspeise	konvex und linear (Ausschnitt)	6 bzw. 8 MHz
Muschel	Wasserbad	linear	8 MHz
Kleine Plastikfigur (Schlumpf)	Wasserbad	linear	8 MHz
Kugellager	Wasserbad	linear	8 MHz
2-Euro-Münze	Wasserbad	linear	8 MHz
Hammer	Wasserbad	konvex	6 MHz
Schraubendreher	Wasserbad	linear (Ausschnitt)	10 MHz
Getriebeteil	Wasserbad	linear	8 MHz
8-kantiger Metalldeckel mit Schraubgewinde	Wasserbad	linear	10 MHz

Tab. 1: Auflistung der untersuchten Gegenstände sowie der verwendeten Überträgermedien und Schallköpfe



als Überträgermedium gefüllt wurde. Hierbei wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Gegenstände untersucht.

### Ergebnisse

Alle Gegenstände konnten leicht geschallt und von einem unabhängigen Untersucher identifiziert werden. Auch die ausgemessenen Größenverhältnisse stimmten gut mit den realen Maßen überein.

In Abbildung 1 sind ein paar repräsentative Gegenstände mit ihren korrespondierenden Ultraschallaufnahmen gezeigt.

### Fazit

Während Ultraschall und Röntgen eine weite Verbreitung in der Medizin und Technik gefunden haben, ist die Sonographie ein bildgebendes Verfahren, das ausschließlich im human- und veterinärmedizinischen Bereich eingesetzt wird.

In den hier gezeigten Versuchen könnte sich für die Sonographie ein weiteres Indikationsgebiet – die Detektion verschluckter Gegenstände – herauskristalisieren, das unmittelbare Verbreitung findet und für die betroffenen Patienten ein schonenderes diagnostisches Instrument sein könnte als das bislang etablierte (ionisierende) Röntgenverfahren. Darüber hinaus lassen die hier gezeigten ansprechenden Ergebnisse mit metallischen und nicht-metallischen Gegenständen auch daran denken, die Sonographie für die Diagnostik von Implantaten oder auch beispielsweise von Fremdkörpern nach Unfällen zu evaluieren. Hier gilt es, technische Limitationen des Verfahrens (räumliche Auflösung, anatomisch bedingte Schallreflexionen, Maskierung durch umgebendes Gewebe) zu optimieren.

### Referenzen/References

- [1] Frey H. (1999). Physikalisch/Technische Grundlagen der bildgebenden medizinischen Ultraschall Diagnostik
- [2] Kramme R. (2011). Medizintechnik: Verfahren-Systeme-Informationsverarbeitung. 4. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York; S. 357 – 377

**Abb. 1:** Die Abbildung zeigt drei repräsentative Objekte, die in einer mit Götterspeise bzw. Wasser gefüllten Schale sonographiert wurden. Auf der linken Seite sind die Sonogramme abgebildet, auf der rechten Seite die dazugehörigen Fotos der Gegenstände. A: Getriebeteil; B: Schlüssel; C: Holzschraube

### Autoren



**Michael Kiefer**  
mkiefer2@stud.  
hs-offenburg.de



**Markus Brudsche**  
mbrudsch@stud.  
hs-offenburg.de



**Prof. Dr. med. Andreas Otte**  
andreas.otte@hs-offenburg.de

# Late symptoms in mild traumatic brain and whiplash injury

David Vallez, Prof. Dr. Gert Holstege, Prof. Dr. Rudi Dierckx, Prof. Dr. med. Andreas Otte

In this report we present our ongoing research on cerebral changes after two trauma mechanisms: mild traumatic brain injury and whiplash injury. Brain alterations are investigated by positron emission tomography in human and animal models including non-painful electrical stimulation. The aim is to prove the existence of a biological or functional substrate for the chronic symptoms developed by many of the patients suffering from one of these injury types.

The presented series of research projects intends to prove the existence of a biological and/or functional substrate for the chronic symptoms developed by some patients after mild head injury and whiplash injury. The series of projects is set up as a PhD thesis at the Center for Uroneurology and the Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging at the University Medical Center Groningen/The Netherlands, which is supervised by Prof. Gert Holstege and Prof. Rudi Dierckx from the University of Groningen and Prof. Andreas Otte from Offenburg.

## Introduction

Traumatic brain injury is one of the most common neurological disorders in our society caused by an external factor. In this context, *mild* traumatic brain injury represents up to 80 % of all brain injuries admitted to hospital. Meanwhile, whiplash trauma is the most frequent cause of motor vehicle related lesions [1]. Both injury types are often considered as the same entity due to the development of similar symptoms (e.g., headache, pain, fatigue, dizziness, visual disturbances or memory impairment) and their apparent lack of severity based on current diagnostic techniques. However, despite the mild characteristics, in both conditions a considerable amount of patients develop long-term symptoms (15 – 40 %). The lack of a clearly defined pathological lesion pattern in the acute phase and the prevalence of psychological aspects related to depression or anxiety, leads to the general impression that these disorders are not a consequence of the trauma, but reflect a premorbid condition.

## Specific research questions

In this PhD research project, both conditions, whiplash injury and mild traumatic brain injury, are approached separately with the aim to prove the existence of a biological and functional substrate for the symptoms in the chronic stage.

## Whiplash injury

In patients suffering from *Whiplash Associated Disorders* for 2 to 10 years subsequent to a whiplash trauma, cerebral blood flow is assessed by means of <sup>15</sup>O-water positron emission tomography (PET). A non-painful electrical stimulation to the neck (Figure 1) is used to assess the question of whether there is a different brain function between those patients who still have complaints

after a whiplash trauma and healthy matched controls.

## Mild traumatic brain injury

In mild traumatic brain injury, the presence of neuronal inflammation and its relationship to the observed cognitive impairment is investigated. This research will be performed in an animal model of closed head injury and in a human study. In both situations, the goal is to measure the microglia activation, a marker of the neuronal inflammation, by using the tracer <sup>11</sup>C-PK11195 several months after the trauma and compare these results with behavioral measurements.

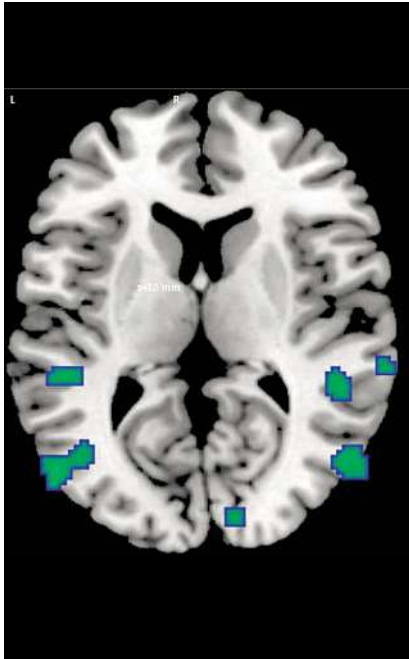
## Projects to address the aforementioned specific research questions

*Project 1: Cerebral blood flow during non-painful neck stimulation in chronic whiplash patients*

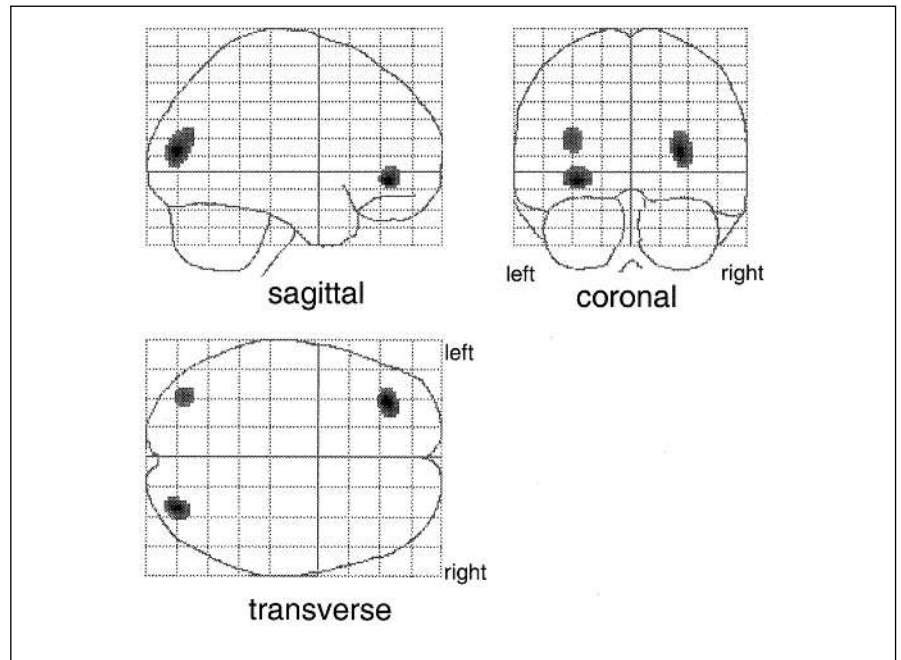
Altered cerebral blood flow and neurokinin-1 receptor availability have been found in rest state in patients with late symptoms after whiplash injury [2 – 4] (Figures 2 and 3). We intend to replicate the results of these studies and to additionally implement a non-painful electrical stimulation of the neck to assess brain activity not only in rest but also in response to a **stimulus**.



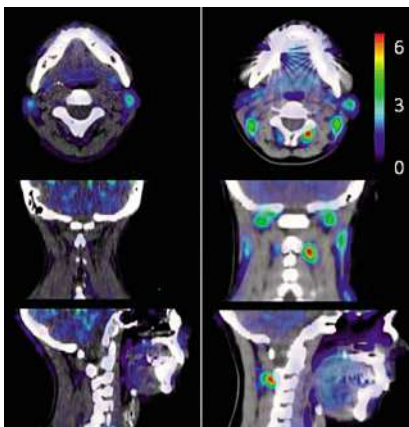
**Fig. 1:** Photography of the electrical stimulator in situ, i. e., electrodes placed on the neck of a volunteer, on the right side the electrical stimulator, in the background the PET scanner; figure taken from University Medical Center Groningen, with kind permission



**Fig. 2:** Neurokinin-1 receptor availability imaged with  $^{11}\text{C}$ -GR205171 positron emission tomography (PET) in 18 patients with grade II whiplash-associated disorder compared to 18 healthy controls, voxel-based region-of-interest analysis (statistical parametric mapping, SPM2) restricted to the temporal, occipital, and parietal lobe. The results are uncorrected for multiple comparisons and displayed on a magnetic resonance imaging template at  $P < 0.001$ . A reduced neurokinin-1 receptor availability can be seen in the posterior parietal occipital region of both sides. This figure is published in Linnman et al. (2012). With kind permission from Dr. Clas Linnman, Center for Pain and the Brain, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA, and the European Journal of Pain, John Wiley & Sons Ltd.



**Fig. 3:** Statistical parametric map projections (SPM98); brain areas with significantly decreased relative perfusion (level of significance:  $p < 0.01$ ) of 15 whiplash patients compared to 15 healthy controls are shown. Statistically significant differences are displayed on sagittal, coronal and transaxial projections of the brain; single-photon emission computed tomography with the brain perfusion marker  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -N,N'-ethylenebiscysteine diethyl ester (Neurolite<sup>®</sup>). The 15 whiplash-injured patients were drivers who all could remember that they looked to the right side when the rear-end car collision happened. Ten of the 15 patients reported that they had hit their heads on the steering wheel. Hypoperfusion is seen in the posterior parietal occipital region bilaterally and in the left frontal region. A contusion mechanism could be discussed for the left frontal and the right posterior parietal occipital region, regardless if this was produced directly by hitting the head to the steering wheel or by the acceleration forces producing indirect head impact. If whiplash injury only was a form of mild head injury with a contusion mechanism, the additional left posterior parietal occipital hypoperfusion in the above patients could not be explained. The bilateral posterior parietal occipital hypoperfusion matches with the neurokinin-1-receptor scan shown in Figure 2. Adapted from Otte A, Goetze M, Mueller-Brand J. Statistical Parametric Mapping in whiplash brain: Is it only a contusion mechanism? *Eur J Nucl Med* 1998; 25: 306-307. With kind permission of Springer Science+Business Media



**Fig. 4:**  $^{11}\text{C}$ -D deprenyl uptake in a representative healthy control (left) and in a patient with whiplash-associated disorders (right).  $^{11}\text{C}$ -D deprenyl PET images are fused with the subject's individual computer tomography scans.  $^{11}\text{C}$ -D deprenyl uptake is expressed as standardized uptake value (SUV, see color bar in the figure). A high  $^{11}\text{C}$ -D deprenyl uptake can be seen in the patient's adipose tissue preponderantly on the right side of the spinous process of the second cervical vertebra. This figure was published in Linnman et al. (2011). With kind permission from Dr. Clas Linnman, Center for Pain and the Brain, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA; open-access license from PlosOne, www.plosone.org

*Project 2: Neuroinflammation in patients with chronic symptoms after mild traumatic brain injury*

Neuroinflammation has been shown to be present in severe traumatic head injuries (in acute and chronic states). It has also been shown in chronic whiplash syndrome [5] (Figure 4). Until now, there is, however, no data about its presence in mild traumatic brain injury and its possible relation with the behavioral and cognitive symptoms displayed in some of these patients.

*Project 3: Neuroinflammation and brain metabolism time-course after a mild closed head injury in rats*

The presence of neuroinflammation has been shown in acute phases after closed head injury. In mice, long term behavioral disturbances were demonstrated after mild traumas. However, the time course of the neuroinflammation and its possible relationship with the development of chronic symptoms is not known.

*Project 4: PET imaging of neuroinflammatory consequences of chronic repetitive head injury in muay thai boxing*

Repeated mild head injuries or concussions are an important issue in sports, with special interest in those disciplines with high contact (e.g., boxing, martial arts or rugby). Repetitive head injuries seem to be associated with the development of chronic traumatic encephalopathy.

*Project 5: Evaluation of <sup>11</sup>C-TMIG1 for imaging of neuroinflammation*

<sup>11</sup>C-PK11195 is a frequently used PET tracer for imaging neuroinflammation. However, it has the disadvantage of low blood-brain barrier penetration, high plasma protein binding and high non-specific binding. Novel PET tracers are in development and are constantly evaluated. In this project the new tracer <sup>11</sup>C-TMIG1 will be evaluated, which has been shown to have higher affinity for the peripheral benzodiazepine receptor than <sup>11</sup>C-PK11195 and previously evaluated tracers.

## References

- [1] Otte A. Whiplash Injury: New approaches of functional neuroimaging. Springer Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2012, ISBN 978-3-642-28355-0
- [2] Otte A., Mueller-Brand J, Fierz L. Brain SPECT findings in late whiplash syndrome. Lancet 1995; 345: 1513 – 1514
- [3] Otte A. Functional neuroimaging in whiplash injury. Eur J Pain 2012; 16: 160 – 161
- [4] Otte A, Goetze M, Mueller-Brand J. Statistical Parametric Mapping in whiplash brain: Is it only a contusion mechanism? Eur J Nucl Med 1998; 25: 306 – 307
- [5] Linnman CN, Appel L, Furmark T, Söderlund A, Gordh T, Langström B, Fredrikson M. Eur J Pain 2012; 16: 162 – 163
- [6] Linnman C, Appel L, Fredrikson M, Gordh T, Söderlund A, Långström B, Engler H. Elevated [<sup>11</sup>C]-D-deprenyl uptake in chronic Whiplash Associated Disorder suggests persistent musculoskeletal inflammation. PLoS One 2011; 6(4):e19182

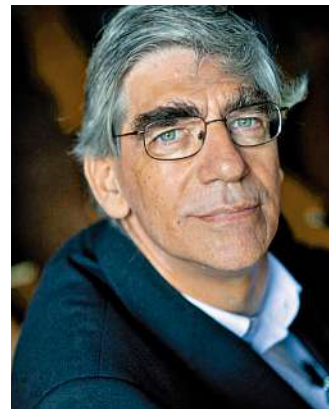
## Autoren



**David Vázquez**  
Center for Uroneurology  
University Medical Center Groningen,  
Netherlands  
d.vallez-garcia@med.umcg.nl



**Prof. Dr. Andreas Otte**  
Biomedical Engineering  
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology  
andreas.otte@hs-offenburg.de



**Prof. Dr. Gert Holstege**  
Center for Uroneurology  
University Medical Center Groningen,  
Netherlands g.holstege@med.umcg.nl



**Prof. Dr. Rudi Dierckx**  
Department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging  
University Medical Center Groningen  
r.a.dierckx@umcg.nl

# Energieoptimierung von Mobilkommunikation für Maschinen

Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Marcos Gabriel Chagas Lima, Amalia Yunitasari

**Auch bei der intelligenten Zählerfernauslesung und dem Management der Energieversorgungsnetze (Smart Metering/Smart Grid) werden Mobilkommunikationsnetze (GPRS, UMTS, LTE) zur unmittelbaren Anbindung der verteilten Sensoren und Aktoren zum Einsatz kommen. Insbesondere bei batteriebetriebenen Anwendungen stellt sich die Frage der Energieeffizienz, die in diesem Projekt analysiert wurde und für die Optimierungsvorschläge erarbeitet wurden.**

Machine to Machine (M2M) Communication is a major stepping stone towards the efficient use of smart metering and smart grid applications. Mobile communication (GPRS, UMTS, LTE) will play a major role for the direct connectivity to the distributed sensors and actuators. Because many of these units will be operated from batteries, there is a strong demand of energy optimization, so that a sustained lifetime of the system can be achieved. In this project, which was performed with Elster GmbH, a leading manufacturer of diaphragm gas meters, and the Deutsche Telekom AG, the energy consumption of mobile communication units was analyzed. Techniques for energy optimization are proposed.

## Einleitung

Die intelligente Zählerfernauslesung auch von Privathaushalten und das Management der Energieversorgungsnetze (Smart Metering/Smart Grid) haben das Potenzial, zu einer der ersten hochskalierten M2M-Anwendungen zu werden, also von Anwendungen, die auf einer automatisierten Kommunikation zwischen Maschinen (Machine-to-Machine-(M2M)-Kommunikation) beruhen. Hierbei ist zu beobachten, dass neben den mehrstufigen und Gateway-basierten Architekturen unter Nutzung eines lokalen Netzwerks (Local Metering Network, LMN) mithilfe von Wireless M-Bus oder ZigBee vor allem in ländlichen Gebieten die direkte Punkt-zu-Punkt-Kommunikation mithilfe von Mobilkommunikationsnetzen (GPRS, UMTS, LTE) auch langfristig zum Einsatz kommen wird. Insbesondere für Verbrauchszähler von Gas, Wasser und Wärme stellt sich somit die Problematik der Energieversorgung, weil Zähler und Kommunikationseinheit meist nicht über eine Energieversorgung (Stromanschluss) verfügen und somit energieautark betrieben werden müssen. Angestrebt werden hierbei möglichst lange Standzeiten, die mindestens in der Größenordnung der halben Revisionszeiten der metrologischen Einheiten, d. h. bei mindestens vier bis sechs Jahren liegen sollten.

In mehreren Teilprojekten, die in Kooperation und mit Unterstützung der Elster GmbH aus Lotte Osnabrück, eines führenden Herstellers von Verbrauchszählern, und des M2M Competence Center und der T-Labs der Deutschen Telekom AG durchgeführt wurden, wurden am Labor „Embedded

Systems und Kommunikationselektronik“ der Hochschule Offenburg Techniken für den energieoptimierten Betrieb GPRS- und UMTS- basierter M2M-Kommunikation untersucht. Hierzu wurden eine Messplattform aus Hardwareplatinen, Firmware und PC-Software entwickelt, Messungen durchgeführt und Empfehlungen erarbeitet.

Die Ergebnisse wurden von der M2M-Alliance, dem größten Verband der Branche, mit dem diesjährigen M2M Best Practice Award in der Kategorie „Innovation“ ausgezeichnet.

Die Ergebnisse der Arbeiten sind jedoch nicht nur für Anwendungen in den Energieversorgungsnetzen relevant, sondern können für alle M2M-Anwendungen verwendet werden, bei denen geringe Datenmengen in langen Perioden über batteriegestützte Modems übertragen werden sollen. Weitere Beispiele sind u. a. in der Logistik, beim Tracking von Objekten, in der Umweltüberwachung beim Monitoring von physikalischen, chemischen oder biologischen Messgrößen oder in der Prozessautomation bei verteilten und langsamen Sensoranwendungen zu finden.

## Stand der Technik

Bei Ausbau und Optimierung von Mobilkommunikationsnetzen wurden jahrelang die Erhöhung von Verfügbarkeit und Bandbreite als zentrale Zielgrößen (*Key Performance Indicators, KPI*) betrachtet. Zunehmend werden aber auch weitere Zielparameter interessant, die für die M2M-Kommunikation von zentraler Bedeutung sind. Hierbei handelt es sich insbesondere um Parameter wie z. B. die Dauer der verschiedenen Pha-

sen des Verbindungsaufbaus, die Verfügbarkeit des Netzes (bzw. der Netze), der Jitter der Übertragung sowie die Möglichkeit von VPN-Verbindungen.

Für die Mobilkommunikationsprovider ist die Einbeziehung der meist industriellen M2M-Diensten attraktiv, weil sie ihre Netze besser auslasten und sich langfristige Geschäftsmodelle erschließen können. Die Anwender der Technologien profitieren von einer – in vielen Regionen der Welt – bereits sehr gut ausgebauten Infrastruktur, die in der Regel kostengünstig genutzt werden kann.

Während es im Umfeld der Breitbandanwendungen zahlreiche Untersuchungen zu den KPIs wie Bandbreite, Latenzzeit oder Jitter gibt, so sind den Autoren bislang keine Ergebnisse von Feldtests mit realen M2M-Modems bekannt.

## Aufgabenbeschreibung

Um die geforderten Standzeiten zu erreichen, müssen zahlreiche Vorkehrungen getroffen werden, wobei sich diese Einreichung nur auf den Bereich der Kommunikation beschränkt. Die besondere Herausforderung besteht dabei in der periodischen Übertragung von Messdaten, z. B. einmal oder zweimal am Tag. Aufgrund der meist geringen Datenmengen wird schnell deutlich, dass vor allem der Verbindungsaufbau den Energieverbrauch dominieren wird.

Deswegen erscheint es sinnvoll, insbesondere diesen Teil zu analysieren und zu optimieren. Hierzu wurden im Rahmen eines Projekts folgende Aufgaben definiert:



- Analyse der einzelnen Phasen des Verbindungsaufbaus für TCP/IP-Datenverkehr. Hierbei sind für eine GPRS-basierte Verbindung insbesondere die Phasen (1) des Bootens des Modems, (2) der Anmeldung im GSM-Netz (GSM attach), (3) der Anmeldung an die GPRS-Dienste (GPRS attach), (4) das Starten des TCP-Dienstes und (5) der Aufbau der TCP-Verbindung relevant.
- Aufbau einer portablen Hardware-Messplatine. Insbesondere sollen Modems vermessen werden können, die über ein Universal Metering Interface (UMI) angesteuert werden können. Hierbei müssen die Besonderheiten der Energieversorgung über einen leistungsfähigen Hybrid Layer Capacitor (HLC) berücksichtigt werden, der die Stromspitzen des Sendeverstärkers puffern kann.
- Entwicklung einer Software für die automatisierte Messdurchführung.
- Durchführung von Messungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen (verschiedene M2M-Provider, Einfluss von Roaming, Optimierung der Abläufe, GPRS vs. UMTS).

### Durchführung

Es wurde die in Abbildung 1 gezeigte Messplatine entwickelt. Da diese im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Messgeräten (wie z. B. [2]) deutlich günstiger ist und eine wesentlich geringere Stromaufnahme aufweist, können mit dieser auch Langzeitmessungen sowie batteriebetriebene Messungen im Feld durchgeführt werden. In Bezug auf die Messaufnehmer verfügt die Messplatine über die folgenden Eigenschaften:

- Strombereich von 0...2 A
- Auflösung von 100  $\mu$ A im unteren und von 10 mA im oberen Messbereich
- Abtastung von bis zu 20 kSamples/s

Die Platine verfügt über einen STM32-Mikrocontroller, der die Ansteuerung der Modems, die Erfassung der Leistungsdaten und die webbasierte Übertragung an einen Host-PC übernimmt.

Die Messgenauigkeit wurde mithilfe eines präzisen Referenzgeräts [2] verifiziert.

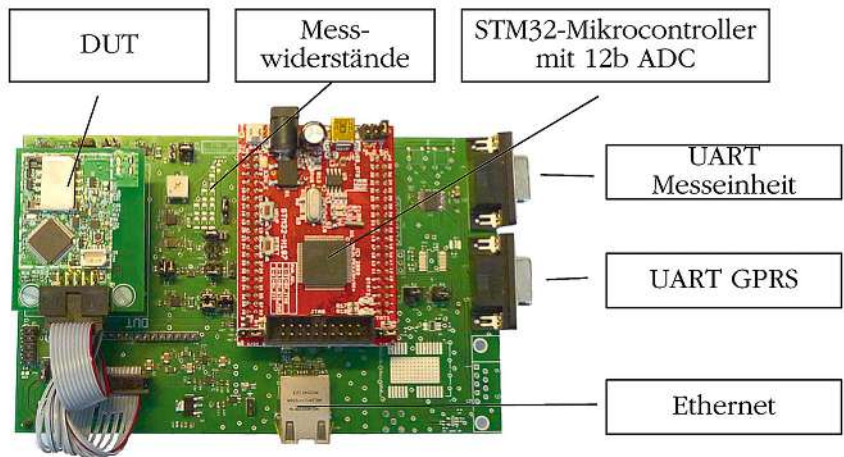


Abb. 1: Portable Messplatine für UMI-konforme M2M-Modems, die im Projekt entwickelt wurde

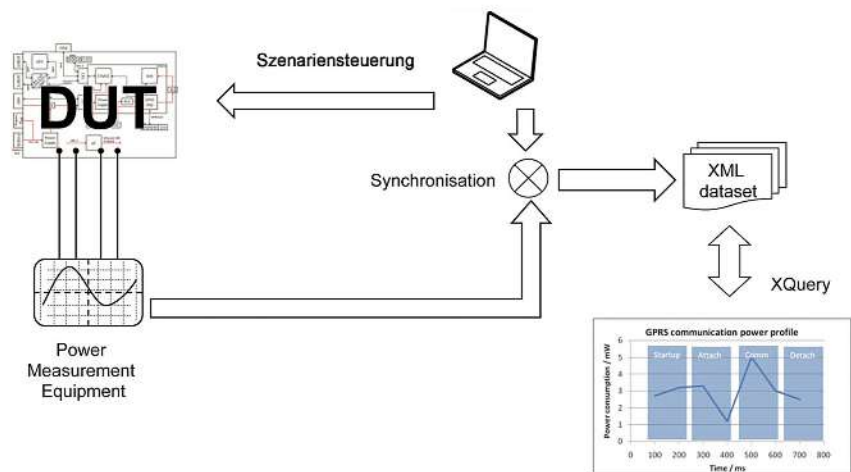


Abb. 2: Software-Umgebung für die automatisierte Durchführung und Analyse der Messungen

Die gesamte Testumgebung ist in Abbildung 2 gezeigt. Die zugehörige PC-Software besteht aus den drei Funktionsblöcken Datenbank, Ansteuersoftware und Auswertesoftware. Mit der Ansteuersoftware ist eine komplett automatisierte Durchführung von Messungen möglich. Insbesondere können Uhrzeit, Anzahl und Wiederholfrequenz der Verbindungen eingestellt werden.

Die Messplatine ist in [4] detailliert vorgestellt.

### Ergebnisse

Im Folgenden sind einige ausgewählte Ergebnisse dargestellt. In [5] und [6] sind weitere Ergebnisse zu finden. Ausführlichere Messberichte können bei den Autoren angefordert werden.

In Abbildung 3 ist der absolute Energiebedarf für einen Durchlauf mit 100 Einzelmessungen zu sehen, bei dem nach dem Anmeldevorgang jeweils 2 kByte-Blöcke in Upload- und in Download-Richtung auf bzw. von einem http-Server im Labor übertragen werden. Neben der absoluten Größenordnung wird auch die Streuung der Ergebnisse deutlich, die natürlich in erheblichem Maß von der Qualität und der Last des Mobilkommunikationsnetzes, des Transportnetzes, des Internet-Gateways und der Internetverbindung sowie von der Qualität der Funkverbindung zwischen Modem und Basisstation abhängt.

Die Streuung zwischen den Messungen kann die Streuung innerhalb eines solchen Messdurchlaufs durchaus noch einmal übersteigen.

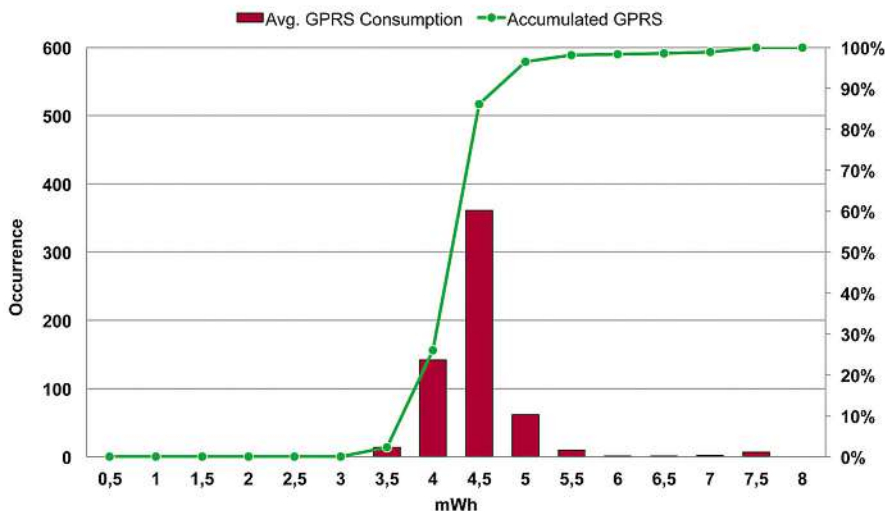


Abb. 3: Absoluter Energiebedarf für einen Kommunikationsdurchlauf einschließlich des Anmeldevorgangs mit 2 kByte Upload und Download

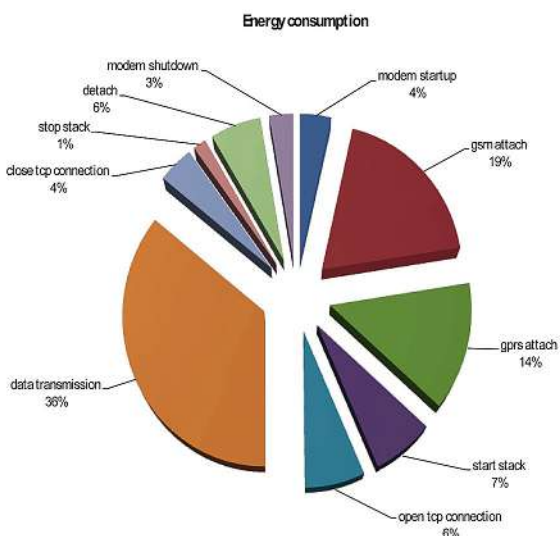


Abb. 4: Relativer Energiebedarf für die unterschiedlichen Phasen einer M2M-Datenübertragung

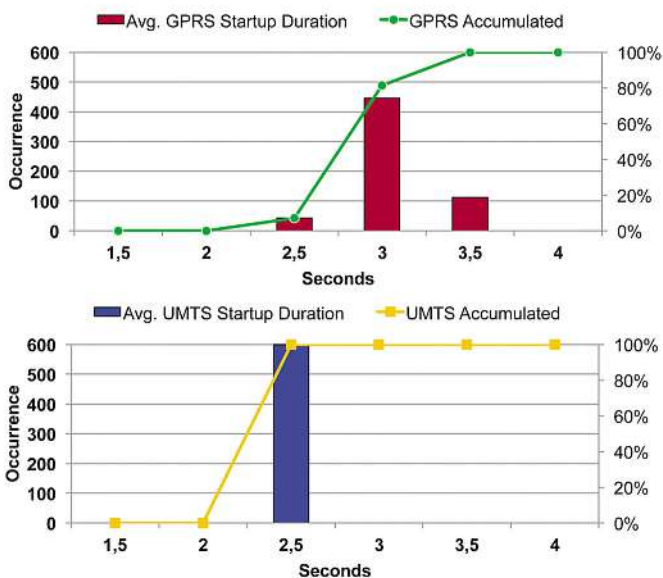


Abb. 5: Energiebedarf von GPRS- und UMTS-Modems im Vergleich

In Abbildung 4 ist der relative Energiebedarf für die unterschiedlichen Phasen gezeigt, wobei bei diesen Messungen die Verbindungen auch modemseitig wieder explizit abgebaut werden. Hierbei wird deutlich, dass im genannten Belastungsfall nur 36 % der Energie für die Datenübertragung aufgewendet werden müssen. Im Zeitschema, das hier aus Platzgründen nicht dargestellt ist, beträgt der Anteil sogar nur 19 %.

Interessant ist auch noch der Vergleich zwischen dem Energiebedarf von GPRS und von UMTS.

- Im gesamten Messablauf ist – auch bei den geringen Datenmengen – die benötigte Zeit bei Nutzung des UMTS-Dienstes kürzer als bei der Nutzung von GPRS-Diensten (vgl. Abbildung 5).
- Dies gilt nicht nur für die Zeiten der Datenübertragung, bei denen selbstverständlich die höhere Datenrate Vorteile für UMTS bringt, sondern bereits für den Verbindungsaufbau, der etwa 15 % schneller abläuft.
- Jedoch ist diese Beschleunigung des Ablaufs mit einer deutlich höheren Leistungsaufnahme verbunden, so dass im Ergebnis ein erhöhter Energieverbrauch zu beobachten ist. Dieser ist beim Verbindungsaufbau um einen Faktor von etwa 15, in Bezug auf den gesamten beschriebenen Messzyklus um einen Faktor von etwa 7,5 höher.

### Zusammenfassung und Ausblick

Im Ergebnis können

- Engpässe und Optimierungspotenzial für die Mobilkommunikationsnetze abgeleitet werden,
- Aussagen über die Eignung der Module für den Betrieb in bestimmten Netzen abgeleitet werden bzw. Hinweise zur Optimierung gegeben werden,
- die Ansteuerung der Modems optimiert werden.

Die Abschätzungen auf der Grundlage der bisher durchgeführten Messungen zeigen, dass ein Betrieb der GPRS im angestrebten Zeitbereich bei entsprechend sorgfältigem Entwurf möglich ist.

Es sind weitere Arbeiten, wie z. B. die Eigenschaften unter den Einflüssen von zusätzlichen Parametern wie Roaming, geplant. Es sollen aber auch in einem Laboraufbau mit einer simulierten Netzwerkumgebung die Einflussgrößen des Transportnetzwerks untersucht werden.

### Dank

Die Autoren bedanken sich bei:

- Herrn Landwehr und Hrn. Klatt von der Elster GmbH für die initiale Ermöglichung des Projekts und die stets zielgerichtete, freundliche und freundschaftliche Zusammenarbeit,
- Herrn Canziani von Agilent Italien für die flexible Teststellung von [2],
- Herrn Borchers vom M2M Competence Center der Deutschen Telekom AG für die Unterstützung und die „Öffnung von den Kommunikationskanälen“,

- Dr. Peylo von den Telekom Innovation Labs und Dr. Seifert von der TU Berlin für die Eröffnung von Möglichkeiten,
- der M2M Alliance für die Auszeichnung mit dem Best Practice Award.

### Referenzen/References

- [1] [http://www.m2m-summit.com/index.php?article\\_id=26&clang=0](http://www.m2m-summit.com/index.php?article_id=26&clang=0)
- [2] Agilent, „DC Power Analyzer“, <http://www.agilent.com/find/N6781A-EU>
- [3] Cambridge Consultants, „UMI (Universal Metering Interface) Specification“, UMI-S-001 v0.4, 17 June 2010
- [4] M. Klemm, A. Sikora: „Measurement Unit for Energy Efficient M2M Mobile Communication“, 48. Workshop der MPC-Gruppe, Aalen, 06.07.2012
- [5] A. Sikora, N. Braun, V. Bachmann: „Energy optimisation for GPRS based M2M communication“, Embedded World Conference Nürnberg 2012
- [6] M.G. Lima, A. Sikora: „Energy Optimized Point-to-Point Communication of Energy Autarkic Smart Meters Using Mobile Communication Infrastructure“, Wireless Congress 2012: Systems & Applications, 14.11.2012, München

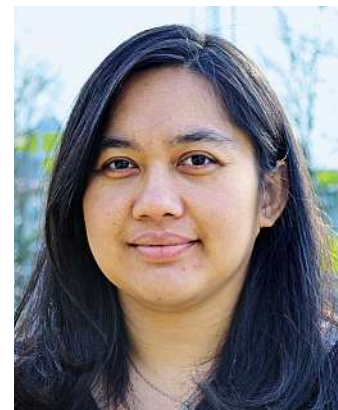
### Autoren



**Dr.-Ing. Axel Sikora** ist seit 2011 Professor für Embedded Systeme und Kommunikationselektronik an der Hochschule Offenburg. Schwerpunkte sind drahtlose und drahtgebundene Netzwerke unter Nutzung von Embedded-Knoten. Er leitet das Labor „Embedded Systems und Kommunikationselektronik“. Darüber hinaus ist er stellv. Leiter des Instituts für Angewandte Forschung und Studiendekan des Internationalen Master Degree Program „Communication and Media Engineering“ (CME).  
axel.sikora@hs-offenburg.de



**Marcos Gabriel Chagas Lima** hat sein Bachelor-Studium im Studiengang Telekommunikationstechnik an der Universidade Regional de Blumenau (FURB), Brasilien mit seiner Bachelorarbeit abgeschlossen, die er im Rahmen eines Auslandsjahrs an der HS Offenburg im Labor „Embedded Systems und Kommunikationselektronik“ angefertigt hat



**Amalia Yunitasari** stammt aus Jakarta (Indonesien), studiert gegenwärtig im Internationalen Master Degree Program „Communication and Media Engineering“ an der HS Offenburg. In ihrer Masterarbeit im Labor „Embedded Systems und Kommunikationselektronik“ erweitert sie den Messaufbau und führt weitere Messungen durch

# Projekte aus dem Bereich der Medizintechnik

Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen, Tobias Volk, M.Eng., Waldemar Grünwald, M.Eng.

Im Projekt  $\mu$ TRANS wird eine Biotelemetrieplattform zur Erfassung der Vitalparameter von Versuchstieren entwickelt, die passiv drahtlos mit Energie versorgt wird und die Daten über eine RFID-Datenschnittstelle überträgt. Das neuartige System ist inzwischen so weit entwickelt, dass es zurzeit in vivo erprobt wird. Im Zusammenhang mit dem System wurden kostengünstige Katheter in Polyimidfolienkonstruktion aufgebaut. Die Arbeiten stehen in Zusammenhang mit der Dissertation des Projektmitarbeiters. Das Projekt TeleMed, in dem die Steuerelektronik für eine Infusionspumpe entwickelt wird, steht inzwischen im medizinischen Zulassungsverfahren. Die Elektronik enthält einen an der Hochschule entwickelten ASIC-Baustein, der als Serienprodukt produziert und qualifiziert werden konnte. Auch diese Arbeiten stehen in Zusammenhang mit der Dissertation des Projektmitarbeiters.

In the project  $\mu$ TRANS, a biotelemetry transponder is in development, which captures the most important vital parameters of animals and transfers these to external devices through a RFID data interface. Energy is supplied to this system wirelessly by inductive coupling. The system is actually in „in vivo“- tests with rats. The concept required the development of new low cost catheters in a polyimide foil technology. The project is part of a dissertation.

In the project TeleMed, the control electronic of an implantable infusion pump is developed. The system is now in the final stage of development and will be certified in near future. The electronics contains an ASIC for LF-data transmission, which has been designed and qualified for series production by UAS-Offenburg. Again these developments are part of a dissertation.

## $\mu$ TRANS

ist eine neuartige auf RFID-basierende Biotelemetrieplattform, die für Experimente mit Tiermodellen wie Ratten und Mäusen eingesetzt werden soll. Es ist ein Semi-Passiv System, das die bisherige Begrenzung der Betriebszeit der verwendeten Batterie aufhebt und durch drahtlose Energiezufuhr eine im Prinzip beliebig lange Implantationszeit ermöglicht.

Gegenüber externen Datenerfassungssystemen sind Implantate für die Versuchstiere einfacher und problemloser, und die quälenden Anschlüsse für das Tier können vermieden werden. Damit kann sich das Versuchstier freier bewegen, die Versuchsergebnisse werden zuverlässiger und systematischer erfasst [1, 2].

$\mu$ TRANS erhebt zudem den Anspruch, diese Erfassung der Vital-Parameter der Versuchstiere auch um eine Dimension billiger zu ermöglichen, was eine Neukonzeption der verwendeten Katheter bedingt, die in ihrer heutigen Ausprägung die Kosten des Systems prägen. Die Arbeiten im vergangenen Jahr haben sich deshalb insbesondere auf die Entwicklung preiswerter Katheterkonstruktionen konzentriert.

In Abbildung 1 wird das neu entwickelte Konzept eines aus einer Polyimidfolie hergestellten Katheters zur Erfassung von EKG, Blutdruck und Sauerstoffgehalt vorgestellt. Die spiralförmige Anordnung ist so weit ausgelasert, dass sie nach Montage der Komponenten ein-

fach aufgezippt werden kann und damit bis zu 15 cm langen Anschlüssen wird. Die kompakte Anordnung ermöglicht eine automatische Bestückung mit klassischen Methoden der SMD-Technologie und führt zu einer massiven Senkung des Herstellpreises.

Besondere Sorgfalt erforderte die Entwicklung der Montage des Drucksensors, der als MEMS-Chip der Abmessungen 1 x 1 mm auf der Polyimidfolie montiert wird. Die bisher verwendete Bonntechnik mit Drahtbonds wurde nicht weiter verfolgt, da sie sich als unzuverlässig erwiesen hat. Anstelle dessen wurde eine Flipchip-Technik angewendet, bei der der Sensor über Kopf über aufgesetzte Goldbumps aufgelötet wird. Diese Montagetechnik hat sich als zuverlässiger und wesentlich kleiner und kompakter erwiesen.

Derzeit werden die neu entwickelten Katheter zusammen mit der Elektronik und dem Gesamtsystem in ersten Tierversuchen erprobt. Bis es hierzu kam, waren zahlreiche Probleme von der Desinfektion der Kapselung der Elektronik bis hin zur Katheterentwicklung zu lösen. Es wird davon ausgegangen, dass das Projekt nach Beendigung der Tierversuche erfolgreich abgeschlossen werden kann.

Für die Untersuchung des Semi-Passiv Systems waren umfangreiche theoretische Analysen zu Feldübertragung und zu RFID erforderlich. In theoretischen Analysen konnte qualitativ und quanti-

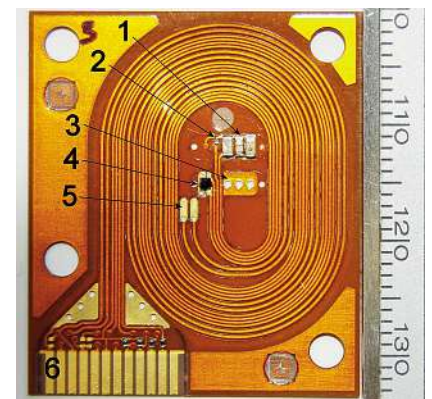


Abb. 1: Bestückte Polyimid-Katheterfolie (1: Pulsoxymeter, 2: NTC, 3: Blende, 4: Drucksensor, 5: EKG-Kontakte, 6: Anschluss)

tativ das Konzept der drahtlosen Energieversorgung über Hochfrequenzsysteme analysiert werden. Die erstellten Rechenmethoden ermöglichen Vorhersagen für in solcher Art aufgebaute Systeme mit unterschiedlichen Antennen und Geometrie-Anordnungen. Diese von Tobias Volk durchgeführten Analysen werden derzeit in einem Journal Paper der renommierten Zeitschrift IEEE Transactions on Magnetics veröffentlicht [3].

Damit steht dem erfolgreichen Abschluss der Dissertation des Projektmitarbeiters Tobias Volk grundsätzlich nichts mehr im Weg.

## TeleMed

Im Projekt TeleMed wird die Elektronik für eine steuerbare Schmerzpumpe in Kooperation mit der Firma Tricumed



**Abb. 2:** Der an der Hochschule entwickelte LF-Telemetrie-ASIC, montiert auf der Elektronikplatine der Infusionspumpe

Medizintechnik GmbH/Kiel entwickelt. Das System wurde inzwischen so weit ausgereift, dass erste Serienmodelle produziert und geprüft werden konnten. Als wichtiger Bestandteil der Elektronik liegt der von der Hochschule Offenburg entwickelte ASIC vor, der nun als eine erste Vorserie mit 780 Stück über Euro-practice produziert wurde. Die Ausbeute war mit über 98 % sehr hoch. Nur wenige Exemplare verfehlten die inzwischen formulierten Testrichtlinien.

Der ASIC in Abbildung 2 enthält die zur LF-Telemetrie erforderlichen Baugruppen und ist in einem Plastikgehäuse gekapselt. Damit konnte auch an dieser Stelle die Serienreife sichergestellt werden. Die durchgeführten Messungen haben nachgewiesen, dass die angestrebten niedrigen Stromverbrauchs-werte für eine Low-Frequency-Telemetrie auch in Serie realisiert werden konnten [4, 5]. Im System wird der ASIC in der Implantatelektronik und dem Steuergerät eingesetzt und stellt damit die Verbindung zwischen beiden Systemen bidirektional symmetrisch her. Damit ist es der Hochschule Offenburg ein weiteres Mal gelungen, einen hier entwickelten ASIC in ein Seriensystem einzubringen.

Über eine Lizenzierung, die auch weitere Anwendungsfälle einschließen wird, wird derzeit noch verhandelt. Das ganze System der Implantatpumpe befindet sich derzeit im Zulassungsverfahren. Die Entwicklung stellt die technische Basis für die Dissertation des Projektbearbeiters Waldemar Grünwald dar.

### Dank

Die Hochschule Offenburg dankt Professor Dr. Leonhard M. Reindl von der Universität Freiburg für die kooperative Betreuung der obigen Dissertationen.

### Referenzen/References

- [1] Volk T., Jansen D.: Semi-passive RFID sensor implant, Faible Tension Faible Consumption, FTFC), 2012 IEEE, Page(s): 1 – 4, Publication Year: 2012
- [2] Volk T., Jansen D.: Implantable RFID sensor platform to monitor vital functions of small animals controlled by network based software, Smart SysTech 2012 – European Conference on Smart Objects, Systems and Technologie, München, ISBN 978-3-8007-3441-2, 12. bis 13.06.2012
- [3] T. Volk: "Formal Description of Inductive Air Interfaces Using Thévenin's Theorem and Numerical Analysis, IEEE Transactions on the Magnetics, eingereicht
- [4] W. Grünwald, D. Jansen, "A digital low frequency transceiver for biomedical implants with enclosed titanium housing", International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES), 2012
- [5] W. Grünwald, D. Jansen, "Universal Low Frequency Transceiver for Biomedical Applications in Completely Sealed Titanium Housings", Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS), 2012

### Autoren



**Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen**

Leiter Asic Design Center  
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
d.jansen@hs-offenburg.de



**Waldemar Grünwald, M.Eng.**

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
waldemar.gruenwald@hs-offenburg.de



**Tobias Volk, M.Eng.**

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
tobias.volk@hs-offenburg.de



**Good Vibrations.**

Endress+Hauser bietet Messtechnik und Automatisierungslösungen für Kunden auf der ganzen Welt. Weil wir uns auf dynamische Mitarbeitende und ausgezeichnete Teamstrukturen verlassen können, gehören wir zu den weltweit führenden Anbietern. Deshalb suchen wir Menschen für die Teamgeiste genauso wichtig ist wie Technik.

Endress+Hauser GmbH+Co. KG  
Personalentwicklung  
Hauptstraße 1  
79689 Maulburg  
Tel. +49 7622 28 2900  
Fax +49 7622 28 15573  
ausbildung@pcm.endress.com  
www.karriere.endress.com

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation

**fritsch**  
ELEKTRONIK

Elektronikdienstleistungen



## UNTERNEHMEN

Wer wir sind & was wir bieten

- Ein mittelständischer Fertigungsdienstleister der Elektronikbranche mit modernster Technologie
- Mit zentraler Lage in einer starken Wirtschaftsregion sind wir seit 1969 überregional erfolgreich
- Von der Prototypenherstellung bis zur Serienproduktion bieten wir perfekt zugeschnittene und komplette Lösungen aus einer Hand an
- Gemeinsam mit unseren namhaften zumeist weltweit agierenden Kunden bewegen wir uns in vielfältigen Marktsegmenten, wie beispielsweise Automatisierungstechnik, Sicherheits- und Verfahrenstechnik sowie Medizin- und Umwelttechnik
- Die Verantwortung für die Menschen, die bei und mit uns arbeiten, steht im Fokus unseres Handelns

## MÖCHTEN SIE MEHR ERFAHREN?

Besuchen Sie unsere Homepage



[www.fritsch-gmbh.de](http://www.fritsch-gmbh.de)

Fritsch Elektronik GmbH  
Gewerbestraße 37  
D-77855 Achern-Onsbach  
Fon: +49 7841 6804 -0  
Fax: +49 7841 6804 -300  
Mail: info@fritsch-gmbh.de

## IHR PARTNER

von der Idee bis zum fertigen Produkt



**INGENIEURSKUNST**  
bis ins kleinste Detail

*Einblicke auf unserer neuen Website*

**Badische Stahlwerke GmbH** · Graudenzer Straße 45 · D-77694 Kehl  
Telefon +49 (0)7851 83-0 · Fax +49 (0)7851 83-496 · [www.bsw-kehl.de](http://www.bsw-kehl.de)



# Entwicklung integrierter Schaltungen am ASIC-Design-Center

*Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen, Sebastian Stickel, M.Eng., Michael Schmidt, M.Eng., Benjamin Dusch, B.Eng., Mayukh Bhattacharyya, M.Sc.*

Im ASIC-Design-Center wird weiter an 16/32 Bit Prozessorkernen entwickelt, wobei der Softcore SIRIUS HULK jetzt mit Instruk-tions- und Daten-Cache sowie einer Avalon-Bus-Schnittstelle ausgerüstet ist. Zusammen mit DMA-Controllern und einer eigen entwickelten Memory-Management Unit ist das auf FPGA emulierte Gesamtsystem nun fähig, auch ein komplettes Betriebssystem aufzunehmen, was an einem grafischen Touchscreen demonstriert wird. Im Analogbereich wurde ein neues RFID Frontend für pas-sive und semi-passive Sensorschaltungen in der 0,18-µm-CMOS-Technologie entwickelt und gefertigt und damit auch der Bereich der Analogschaltungen in dieser Technologie für die Hochschule erschlossen.

The development of soft cores with 16/32 bit architecture is ongoing in the ASIC Design Center. The newest design is the SIRIUS-HULK core with instruction- and data cache and an Avalon bus interface. It allows integration with further components as there are DMA controller, VGA Controller and an own developed Memory Management Unit, making the system capable for high level operation systems. The performance is demonstrated on a touch screen operated system, emulated on a Cyclone IV FPGA board. In the analog design area, a RFID front end has been designed and fabricated in UMC 0.18 µm CMOS technology, intended for use together with passive or semi-passive sensor applications. These activities are the key to new applications in the 0.18 µm CMOS domain, using analog and mixed signal design methodology.

## Entwicklungen integrierter Schaltungen am ASIC-Design-Center

Das Institut für Angewandte Forschung verfügt mit dem ASIC-Design-Center über Ausrüstung und Erfahrung im Entwurf integrierter Schaltungen sowohl im Analog- wie im Digitalbereich. So wurden im vergangenen Jahr die drei Prozessorlinien des SIRIUS-Softcores weiter ausgebaut und konsolidiert. Darunter ist eine weitere Ausreifung der Instruction Set Architecture (ISA) und eine Verfeinerung des Architekturdesigns zu verstehen. Besondere Aktivitäten galten dem Ausbau des größten Kerns, dem SIRIUS HULK (Huge Unified Logik Kernel), der als Harvard-Architektur über Instruction- und Databus verfügt und über eine Busschnittstelle mit Peripherieschnittstellen anderer Anbieter verknüpft werden kann. Das System, das im FPGA CYCLONE IV von ALTERA zurzeit weiterentwickelt wird, verwendet den Avalon-Bus von ALTERA.

Weitere IP-Komponenten dieser Firma sind ein DMA-Controller sowie ein VGA-Controller zum Anschluss des Bildschirms. Zur Abrundung wurde von Sebastian Stickel noch eine Memory Management Unit entwickelt und hinzugefügt, die eine moderne Segmentierung des verwalteten Speichers ermöglicht und die heute üblichen Schutzmechanismen bereitstellt. Damit ist das System grundsätzlich geeignet, auch komplexere Betriebssysteme aufzunehmen und zu verarbeiten, was in einem Demo-Betriebssystem inzwischen auch erfolgte. So wurde von Mi-

chael Schmidt inzwischen auf dem FPGA Board ein komplettes SIRIUS-OS-Betriebssystem einschließlich Dateisystem, Grafikmodulen und Touchscreen-Steuerung realisiert, mit dem die Leistungsfähigkeit des Prozessorsystems demonstriert werden kann.

Auch wenn das System auf dem CYCLONE IV FPGA nur mit 24 MHz arbeitet, ist ein flüssiges Verhalten der Touchscreen-Oberfläche realisiert.

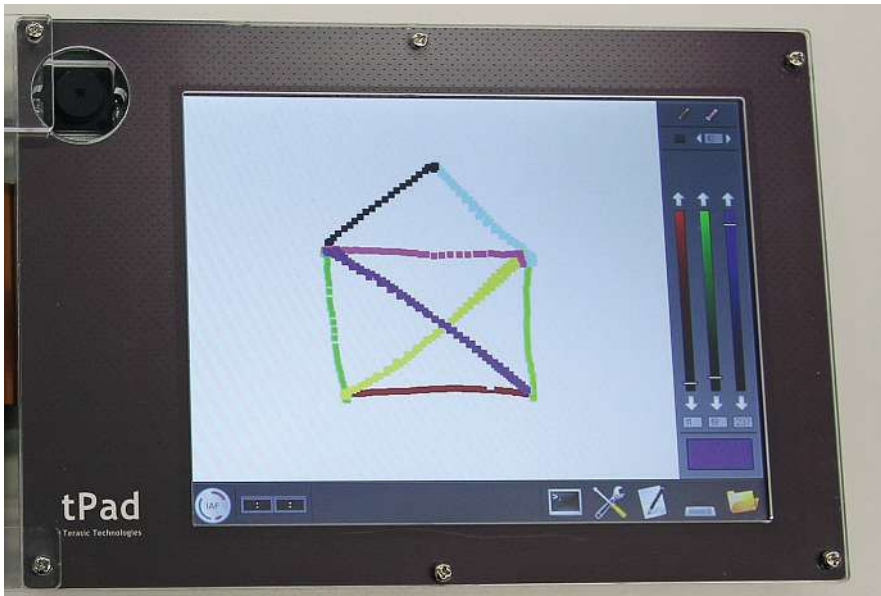
Derzeit wird daran gearbeitet, durch Nutzung moderner Syntheseverfahren die Taktfrequenz des Systems auf dem FPGA noch deutlich zu erhöhen. Die Arbeiten sollen schließlich in einen ASIC einfließen, bei dem dann eine Taktfrequenz von 150 MHz bei einer 0,18-µm-CMOS-Technologie zu erwarten wäre. Höhere Taktfrequenzen wären ebenfalls möglich, wenn noch aktuellere Technologien von 65 nm oder darunter gewählt würden. Dies ist allerdings aus Kostengründen für uns nicht realisierbar. All dies ist jedoch zu bedenken, wenn das „Studentendesign“ mit aktuellen Produkten von namhaften Herstellern verglichen wird.

Im Analogbereich wurde die 0,18-µm-CMOS Technologie von UMC endgültig für unsere Designs erschlossen. So wurde ein RFID Frontend mit allen zugehörigen Analogkomponenten wie Komparatoren, Taktaufbereitung, Bandgap Referenzschaltung, LDO usw. entworfen und in die Fertigung gegeben.

Die Analogentwicklung erfordert umfangreiche Simulationen auf SPICE-Ebene. Die einzelnen Zellen müssen weitgehend von Hand geroutet und platziert werden. Es bestehen unzählige Möglichkeiten, Fehler zu machen. Der erste Fertigungsrun führte daher nur zu einem Teilerfolg, wobei einige übrig gebliebene unentdeckte Kurzschlüsse im Layout den vollen Erfolg verhinderten. Ein revidiertes Chipdesign soll noch in diesem Frühjahr durchgeführt und der Chip erneut gefertigt werden.

Der RFID-Frontend-Chip wird im Rahmen der Dissertation von Mayukh Bhattacharyya entwickelt, der am Thema „Passivsensorik“ forscht. Die Hochschule Offenburg hat hier bereits erfolgreich ein RFID-Frontend-Design in 0.35 µm AMI Technologie realisiert, auf dem einige der aktuellen Projekte beruhen. Mit dem Übergang zu einer weiteren verkleinerten Fertigungstechnologie von 0,18 µm sind naturgemäß Risiken verbunden, die erst durch Erfahrung und Einarbeitung überwunden werden können. Sollte der neue Chip, der auch über erweiterte Funktionalität verfügt, erfolgreich sein, eröffnen sich im Zusammenwirken mit den zuvor genannten digitalen Softcores, die die notwendige Kommunikationsintelligenz realisieren, eine Vielzahl von Anwendungen und Projektmöglichkeiten, insbesondere im medizinischen Bereich.

Parallel zu den Arbeiten am RFID Frontend wurde das schon 1998 realisierte Konzept eines Sigma-Delta-Analog/Di-



**Abb. 1:** Oberes Bild zeigt den Startbildschirm, d. h. das FPGA-Entwicklungsboard mit emuliertem SIRIUS Hulk Softcore (32 Bit) und eigenem Betriebssystem, unteres Bild zeigt den Paint-App (Eigenentwicklung)

digitalwandlers wieder aufgenommen und der Entwurf, realisiert in der damaligen 0,5  $\mu\text{m}$ -CMOS Technologie von AMI, auf eine aktuelle 0,18  $\mu\text{m}$  CMOS Technologie von UMC portiert. Diese von einem Praktikanten Seyed Ali Naghib durchgeführten Arbeiten erforderten eine komplette Durcharbeitung aller verwendeten Baugruppen und werden uns in naher Zukunft wieder einen hochwertigen Digitalwandler nach diesem Konzept zur Verfügung stellen. Auch dieses Arbeiten erfordern umfangreiche SPICE Simulationen.

Die Entwicklungen sollen in einen einsetzbaren Modul (IP) münden, der in unterschiedlichen IC-Projekten weiter verwertet werden kann. Dies ist ein Beispiel, wie gute Studenten sich einerseits im IC-Design selbst weiterbilden, zum anderen wertvolle Module erstellen können, die als Schlüssel für neue Projekte dienen.

### Referenzen/References

- [1] M. Schmidt: Integration des Altera Avalon Bus Systems in einen 32 Bit Softcore mit Harvard Architektur und Dual Cache, MPC-Vortrag auf MPC-Workshop am 03.02.2012, Hochschule Offenburg
- [2] M. Bhattacharyya: Realization of a RFID Frontend IC for 13.56 MHz frequency range in UMC CMOS 0.18  $\mu\text{m}$  technology, MPC Vortrag auf MPC-Workshop am 06.07.2012, Hochschule Offenburg
- [3] S. Stickel: Technischer Bericht, SIRIUS Hulk, SIRIUS Hulk MMU, März 2012

### Autoren



**Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen**  
 Leiter ASIC Design Center  
 Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
 Lehrgebiete: Entwurf integrierter Anwenderschaltungen, Hardware/Software-Codesign, integrierte Prozessorkerne  
 d.jansen@hs-offenburg.de



**Sebastian Stickel, M.Eng.**  
 Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
 sebastian.stickel@hs-offenburg.de

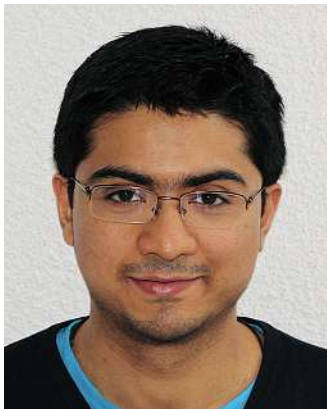


**Michael Schmidt, M.Eng.**  
 Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik  
 michael.schmidt@hs-offenburg.de





**Benjamin Dusch, B. Eng.**  
Fakultät Elektrotechnik und Infor-  
mationstechnik  
benjamin.dusch@hs-offenburg.de



**Mayukh Bhattacharyya, M.Sc.**  
Doktorand  
Fakultät Elektrotechnik und Infor-  
mationstechnik  
mayukh.bhattacharyya@hs-offen-  
burg.de



PUMPEN + SYSTEME



## MEMBRANPUMPEN- TECHNOLOGIE VOM FEINSTEN



■ Ob für Gase, Dämpfe  
oder Flüssigkeiten –  
KNF Neuberger bietet  
ein breites Angebot an  
Pumpen und Systemen.

■ Für unverfälschtes För-  
dern, Dosieren, Komprimieren  
und Evakuieren.

■ Als OEM- oder tragbare  
Ausführungen.

■ Mit einem variablen  
Produktprofil für kunden-  
spezifische Lösungen.

Für anspruchsvolle Anwen-  
dungen z.B. in  
den Bereichen:

- Medizintechnik
- Analysetechnik
- Verfahrenstechnik
- Lebensmittel-  
technik
- Labortechnik
- Reprötechnik
- Energietechnik
- Forschung



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

**KNF Neuberger GmbH**

Alter Weg 3 ■ D 79112 Freiburg ■ Tel. 07664/5909-0 ■ Fax -99 ■ E-Mail: info@knf.de

## WANDERKRAN



- > wirtschaftlich
- > unkompliziert
- > befestigungsfrei
- > anschlussfertig
- > fundamentfrei
- > **bis max. 1.000 kg Traglast**  
mit Gegengewicht

Der mobile Beistellkran  
für Fertigung, Montage,  
Lager und Werkzeugwechsel  
schafft überall freie Kapazi-  
tät. Mit einem Schwenk-  
Knickausleger wird jede  
Ecke erreichbar.



**KALTENBACH**

Flexibilität erfahren

> **Maschinenbau Kaltenbach GmbH**  
Rheinweg 9, D-79395 Neuenburg-Zienken,  
Telefon +49 (0) 76 31/79 45 00, Telefax +49 (0) 76 31/79 45 50  
[www.kaltenbach-maschinenbau.de](http://www.kaltenbach-maschinenbau.de)

# Automatisiertes Spektrum-Monitoring

Christian Weber, M.Eng., Prof. Dr.-Ing. Tobias Felhauer, Prof. Dr.-Ing. Lothar Schüssele, Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ

Der kontinuierlich ansteigende Bedarf an Funkdiensten lässt das Funkspektrum zu einer wertvollen Ressource werden. Ein intelligentes Spektrum-Monitoring-System kann die Effizienz des Spektrum-Management-Prozesses steigern, indem es die aktuelle Frequenzbelegung misst und automatisch auswertet. Ziel des hier entwickelten automatisierten Spektrum-Monitorings ist es, Funk-signale zu identifizieren und parametrisch mit einer Management-Datenbank abzugleichen.

In line with the increasing demand of wireless communication networks the radio spectrum is becoming congested and its value is increasing. An efficient spectrum management is the key to maximize the use of frequencies. Therefore a ubiquitous monitoring network that permanently scans the spectrum to identify and locate unused, underused frequencies, as well as interference is essential. The monitoring system should offer the capability to automatically identify different parameters of the detected signals. The results of this intelligent analysis are stored in a database which offers to spectrum regulators the possibility to manage frequencies more efficiently.

## Motivation

Ein zuverlässiges Spektrum Management ist Grundvoraussetzung für den heutigen hohen Bedarf an drahtloser Kommunikation. Für dieses mitunter sehr komplexe Management ist eine Kombination aus administrativen, wissenschaftlichen und technischen Aufgaben zu erfüllen, um letztlich einen effizienten Betrieb von Funkequipment und -diensten ohne gegenseitige Störungen zu gewährleisten. Spektrum-Monitoring dient dem Spektrum-Management-Prozess hierbei als „Augen und Ohren [1]“ und zeichnet den Ist-Zustand der Funkkanalnutzung eines begrenzten geografischen Gebiets auf. Da sowohl die unautorisierte Nutzung des Funkspektrums als auch die Nichteinhaltung der Zuteilungsparameter (Funkfrequenz, max. Sendeleistung etc.) in vielen Ländern zunimmt als auch ein dynamischeres Spektrum-Management angestrebt wird, ist ein umfassendes Spektrum-Monitoring essentiell. Eine erfolgreiche Kollaboration von Spektrum Monitoring und Spektrum Management bietet letztlich den nationalen Regulierungsbehörden eine zuverlässigere und realitätsgetreuere Datenbank und ermöglicht neue Perspektiven in der Funkfrequenzvergabe. So sehen zukünftige Modelle für die dynamische Funkfrequenzvergabe z. B. einen Spektrum-Broker vor, über den zeitlich begrenzte Funklizenzen gehandelt werden. Diese Überlegungen zeigen die wirtschaftliche Bedeutung dieses Forschungsthemas.

Ziel des hier vorgestellten Projekts, an dem mittlerweile ein ganzes Team aus wissenschaftlichen Mitarbeitern und Studenten arbeitet, ist es, die Kommunikation zwischen dem Spektrum-Moni-

toring-System und dem Management-System zu automatisieren. Die Auswahl der Messverfahren, die es dem Spektrum-Monitoring-System erlauben, zuverlässige Aussagen über das Frequenzspektrum zu treffen („Code of Emission [1]“), steht hierbei im Mittelpunkt. Darüber hinaus muss die Zuverlässigkeit dieser Messungen beurteilt werden, um letztlich ein standardisiertes Kommunikationsprotokoll zwischen den Datenbanken beider Systeme zu ermöglichen.

## Systembeschreibung

Im Rahmen des Projekts wurde eine Monitoring-Station an der Hochschule Offenburg errichtet. Neben der omnidirektionalen Antenne in Abbildung 1 besteht die Monitoring-Station aus verschiedenen Signalanalytoren (Agilent N6841A, USRP und Signal Hound), einer Rechneinheit für die intelligente Signalanalyse und entsprechender Datenspeichermodulen. Die eingesetzten Signalanalytoren sind sogenannte FFT-Analysatoren, die eine begrenzte, zeitdiskrete Folge von Abtastwerten mit der schnellen Fourier Transformation (FFT) in den Frequenzbereich umwandelt. Der Vorteil von FFT-Analysatoren gegenüber traditionellen analogen Überlagerungsempfängern liegt in ihrer Geschwindigkeit. So benötigt der verwendete Agilent N6841A z. B. lediglich 1,5 Sekunden, um das Frequenzspektrum von 10 MHz bis 6 GHz mit einer Auflösungsbandbreite von 10 kHz darzustellen. Gerade bei kurzzeitigen Funksignalen ist diese hohe Aufnahmegeschwindigkeit entscheidend.

Als Frequenzbereich werden in diesem Projekt beispielhaft die UHF-Bänder IV

und V analysiert. Diese sind wegen ihrer Verwendung bei *Program Making and Special Events (PMSE)*, wie z. B. Olympischen Spielen, Musikkonzerten oder Formel-1-Rennen, besonders interessant für ein dynamisches Spektrum-Management. Darüber hinaus liegen in diesem Frequenzbereich auch die sogenannten TV White Spaces, die in manchen Ländern bereits zur High-Speed-Internetversorgung und für Cognitive Radios verwendet werden.



Abb. 1: Aufbau der Antenne für die Monitoring-Station

## Methodik

Die Detektion von Signalen im Funkkanal ist eine klassische Problemstellung in der Nachrichtentechnik. Die aus der Literatur bekannten Lösungsansätze basieren auf Hypothesentests [2]. Ausgehend von einer begrenzten Anzahl von zeitdiskreten Abtastwerten  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$  wird entschieden, ob ein Signal im Funkkanal präsent ist oder nicht. Die Nullhypothese  $H_0$  beschreibt hierbei die Annahme, dass nur Rauschen im Kanal vorhanden ist. Die zugehörige Alternativhypothese  $H_1$  geht folglich von einem Signal im beobachteten Funkkanal aus. Da eine Entscheidung zwischen lediglich zwei Hypothesen getroffen wird, spricht man auch von einem binären Hypothesentest [2].

In der Praxis ist letztlich durch ein Schwellenwert  $\lambda_0$  eine Entscheidung zu treffen, ob zu einem gegebenen Zeitpunkt die Hypothese  $H_0$  oder  $H_1$  zutreffend ist. Im Folgenden wird die Entscheidung für  $H_0$  mit  $E_0$  und für  $H_1$  mit  $E_1$  abgekürzt. Die jeweils getroffene Entscheidung kann richtig oder falsch sein. Im Fall einer Fehlentscheidung kann zwischen den beiden Fehlertypen *false alarm* und *missed detection* unterschieden werden. Von *false alarm* spricht man, wenn auf die Präsenz eines Signals entschieden wird, obwohl nur Rauschen im Kanal vorhanden ist. Wird auf Rauschen entschieden, obwohl ein Signal im Kanal präsent ist, so spricht man von *missed detection*. Die resultierenden Falschalarmwahrscheinlichkeiten  $P_{md}$  bzw.  $P_{fa}$  und die Detektionswahrscheinlichkeit  $P_d$  sind in Abbildung 2 veranschaulicht. Da die Falschalarmwahrscheinlichkeit  $P_{fa}$  und die Detektionswahrscheinlichkeit  $P_d$  voneinander abhängig sind, ist es nicht möglich,  $P_{fa}$  zu minimieren und gleichzeitig  $P_d$  zu maximieren. Der Schwellenwert  $\lambda_0$  wird letztlich anhand einer bestimmten Falschalarmwahrscheinlichkeit definiert.

Abhängig von der Entscheidung, ob ein Signal im Funkkanal präsent ist oder nicht, wird die zugehörige *Frequency Channel Occupancy FCO* über die Zeit berechnet. Die FCO gibt die zeitliche prozentuale Belegung des Funkkanals über eine gewisse Messzeit an und ist einer der wichtigsten Parameter im Bereich des Spektrum-Monitorings [3]. Ein intelligentes Monitoring-System muss

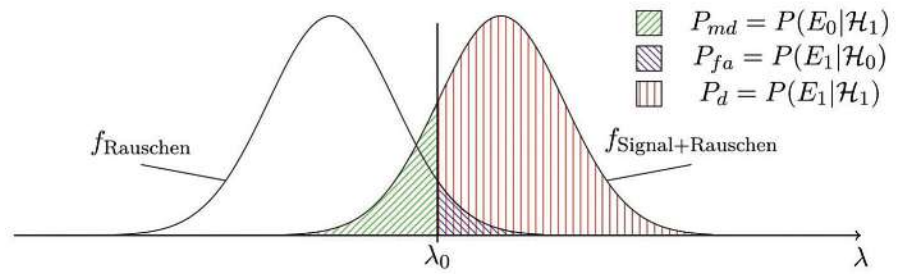


Abb. 2: Signaldetektion

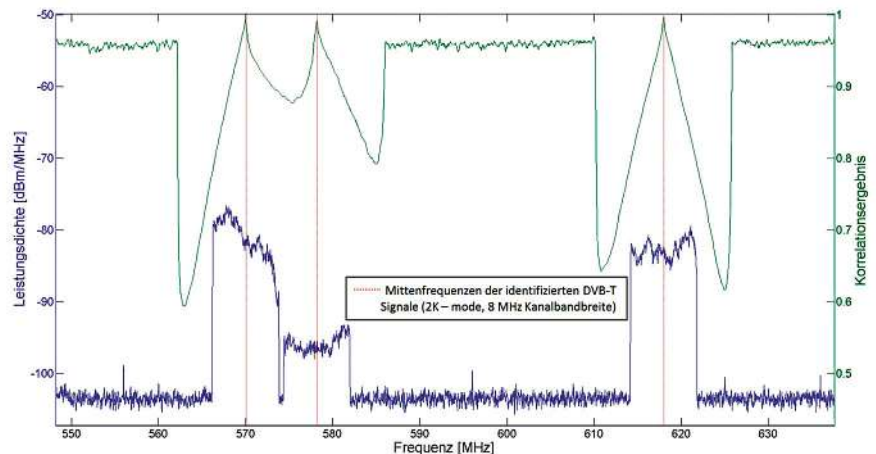


Abb. 3: Ergebnis des Frequency-domain-correlation-Verfahrens für DVB-T Signale

nach der ITU-Recommendation 182-5 neben der FCO noch weitere Signalparameter der Funkemissionen bestimmen. Hier sind zum Beispiel die Trägerfrequenz, die Signalbandbreite und die *Class of Emission*, die die Modulationsart beinhaltet, zu nennen.

Ausgehend von dem gemessenen Leistungsdichtespektrum werden in der aktuellen Projektphase Verfahren zur Bandbreiten- und Mittelfrequenzschätzung von Funksignalen untersucht. Neben den klassischen Methoden zur Bandbreitenbestimmung, wie z. B. der  $\beta/2$  oder  $x$ -dB Methode, werden hier auch Verfahren aus dem Themengebiet der Clusteranalyse untersucht. Da aus der Kollaboration mit dem Spektrum-Management-System a priori Informationen über das Funkspektrum vorliegen, wie z. B. die Spektrumsmasken der hier verwendeten Funkstandards, ist die sogenannte *frequency-domain correlation* die optimale Lösung zur Bestimmung von Signalbandbreite und Mittelfrequenz. Hierbei wird das aufgenommene Leistungsdichtespekt-

rum mit den bekannten Spektrumsmasken korreliert [4].

## Ergebnisse

Basierend auf der *frequency-domain correlation* konnte in der aktuellen Projektphase ein Verfahren entwickelt werden, das für OFDM-Signale mit rechteckförmiger Spektrumsmaske eine sehr genaue Signalbandbreitenschätzung ermöglicht. Es ist somit z. B. möglich, die im UHF-Band IV und V angesiedelten DVB-T Fernsehsender selbst bei geringem SNR und minimalem Kanalabstand eindeutig zu identifizieren, siehe Abbildung 3.

Treten im beobachteten Funkspektrum Signale auf, die aus der Spektrum-Management-Datenbank nicht bekannt sind, so müssen für diesen Fall Verfahren ohne A-priori-Informationen greifen. Die in diesem Zusammenhang untersuchten Verfahren stammen aus dem Bereich der Clusteranalyse. Hierbei wird das Histogramm des untersuchten Leistungsdichtespektrums auf einzelne Verteilungen untersucht. Mit dem hier

angewendeten Verfahren (*Robust Self Splitting Competitive Learning SSCL* [5]) aus dem Bereich der neuronalen Netze kann für jede Verteilung ohne jegliches A-priori-Wissen ein sogenannter Prototyp gefunden werden, siehe Abbildung 4. Das Ergebnis dieser Kanalsegmentierung ist in Abbildung 5 dargestellt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Bestimmung der Mittenfrequenz und Signalbandbreite ist elementar für die spätere Signalanalyse. Nur eine ausreichend genaue Signalbandbreitenschätzung erlaubt eine anschließende automatische Modulationsartenerkennung und letztlich eine Dekodierung der Funksignale. Die hier skizzierten Verfahren ermöglichen eine ausreichend genaue Kanalsegmentierung für die weitere Signalanalyse. Die anstehende Projektphase setzt sich mit dem Themengebiet der automatischen Modulationsartenbestimmung auseinander. Hierbei werden die zyklstationären Eigenschaften von Funksignalen ausgewertet (Cyclostationary Feature Detection) und mit zuvor generierten Testsignalen nach ihrer Modulationsart kategorisiert.

### Dank

Die Autoren danken der LS telcom AG, Lichtenau als Auftraggeber für die stets konstruktive Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt den zahlreichen Studenten, die im Rahmen ihrer Abschlussarbeit ganz wesentlich zu den bisherigen Forschungsergebnissen beigetragen haben.

### Referenzen

- [1] Radiocommunication Study Group 1: "Handbook Spectrum Monitoring", ITU Radiocommunication Bureau, Vol. 5, 2011
- [2] S. M. Kay, „Fundamentals of Statistical Signal Processing, Detection Theory“, Prentice Hall Signal Processing Series, Vol. 2, 2011
- [3] A. D. Spaulding, George H. Hagn: "On the Definition and Estimation of Spectrum Occupancy", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-19, No. 3, August 1977
- [4] Wenyi Zhang, H. Vincent Poor, Zhi Quan: "Frequency-Domain Correlation: An Asymptotically Optimum Approximation of Quadratic Likelihood Ratio Detectors", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 58, No. 3, März 2010
- [5] L. L. Zhang Yun, Feng Boqin, "Robust self-splitting competitive learning for data clustering." <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4583047>, Juli 2008.

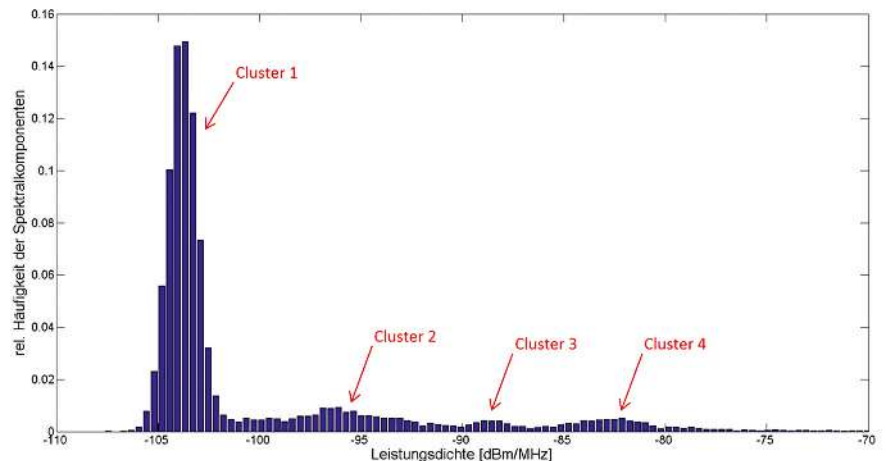


Abb. 4: Betrachtung des Leistungsdichtespektrums als Histogramm

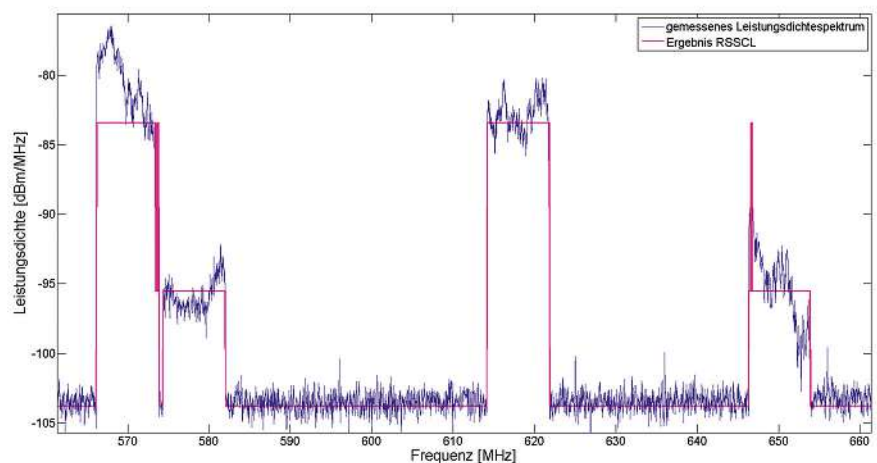


Abb. 5: Ergebnis der Kanalsegmentierung mit modifiziertem RSSCL

## Autoren



**Christian Weber, M.Eng.**  
Wiss. Mitarbeiter  
Institutszugehörigkeit: IAF  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Forschungsgruppe:  
Kommunikationstechnik  
christian.weber@hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Lothar Schüssele**  
Wiss. Leiter International Center  
Leiter Labor Hochfrequenztechnik  
und EMV  
Institutszugehörigkeit: IAF  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Forschungsgruppe:  
Hochfrequenz- und Mikrowellen-  
technik, Radar, EMV  
Lehrgebiete: Hochfrequenztechnik,  
Theoretische Elektrotechnik,  
Grundlagen  
l.schuessele@hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Tobias Felhauer**  
Prodekan  
Wiss. Leiter Labor  
Telekommunikationstechnik  
Institutszugehörigkeit: IAF  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Forschungsgruppe:  
Kommunikationstechnik  
Lehrgebiete: Telekommunikations-  
technik, Funknetze, Zellulare  
Mobilfunknetze, Advanced Chan-  
nel Coding  
felhauer@hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ**  
Prorektor  
Wiss. Leiter Labor Mobile  
Kommunikation und Wellen  
Institutszugehörigkeit: IAF  
Fakultät Medien  
und Informationswesen  
Forschungsgruppe:  
Kommunikationstechnik  
Lehrgebiete: Mikrowellentechnik,  
Mobilkommunikation  
christ@hs-offenburg.de

# Drehzahlzustandsregler unterbietet Einschwingzeit von 10 ms

Prof. Dr. Uwe Nuß, Andreas Huber, M.Eng., Artur Root, M.Eng.

Im vorliegenden Beitrag wird eine aus einem Drehzahlzustandsregler und einem Drehzahlbeobachter bestehende Reglerstruktur für einen elektrischen Antrieb vorgestellt, die es ermöglicht, die Drehzahl innerhalb von 10 ms einem vorgegebenen Sollwert nachzuführen. Messergebnisse dokumentieren die erreichte äußerst kurze Einschwingzeit.

In this paper a speed controller configuration is described which makes it possible to adjust the actual value of the speed of a three-phase drive within 10 ms to the provided setpoint value. The reason for this very short settling time is the combination of a speed state controller with a speed observer. The achieved control behaviour is documented by representative measured time responses of the speed.

## Einleitung

Dynamisch hochwertige Antriebsregelkreise sind die Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit vieler industrieller Produkte. Hier kommt dem bei Antriebskaskadenregelungen am weitesten unterlagerten Stromregelkreis die höchste Bedeutung zu, dicht gefolgt vom Drehzahlregelkreis, der dem Stromregelkreis unmittelbar überlagert ist.

Während von einem der Autoren dieses Beitrags bereits seit vielen Jahren dafür geworben wird, bei pulsweitenmodulationsbasierten Antriebssystemen die bestmögliche Dynamik mit einem Stromzustandsregler zu erreichen [1–6], stand bislang eine vergleichbare Aussage für den Drehzahlregler noch aus. Denn sowohl mit eher klassisch aufgebauten Drehzahlreglern als auch mit Drehzahlzustandsreglern konnten in der Vergangenheit im Praxistest ähnlich gute Regelergebnisse erzielt werden. Die dabei erreichbaren Einschwingzeiten lagen typischerweise im Bereich zwischen 20 ms und 40 ms. Der vom Grundsatz her mehr Freiheitsgrade in der Reglerstruktur bietende Zustandsregler konnte diesen potenziellen Vorteil bislang jedoch nicht nutzen. Denn lange Zeit konnte die zur Regelung benötigte Zustandsgröße „Drehzahl“ nicht verzögerungsfrei gemessen werden, zugleich müssen aber der Theorie entsprechend alle Zustandsgrößen dem Zustandsregler unverfälscht zur Verfügung gestellt werden.

Lösungsansätze zur Umgehung der Drehzahlglättung, die typischerweise im Bereich von 1 ms liegt, wurden in den letzten Jahrzehnten durchaus erarbeitet. Als äußerst zweckmäßig hat sich hier die Verwendung eines Drehzahlbeobachters erwiesen [7–11]. Bei ihm wird mithilfe eines Modells die nicht messbare unegglättete Drehzahl geschätzt und dann dieser Schätzwert

dem Drehzahlregler als Ersatz für den geglätteten Drehzahlmesswert zur Verfügung gestellt. Die Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild einer derartigen Reglerkonfiguration.

Obwohl derartige Drehzahlschätzungen seit Jahren hin und wieder zum Einsatz kommen, wurden sie bislang noch nicht mit einem Drehzahlzustandsregler kombiniert. Ein Grund hierfür könnte die hohe Komplexität des Gesamtsystems sein, insbesondere in Anbetracht des Umstands, dass die schnellen Regelalgorithmen aus Rechenzeitgründen bisher in der Regel als Integer-Algorithmen realisiert wurden und dann bei der Verarbeitung von Messwerten wie der Drehzahl, die in weiten Bereichen variieren kann, die Übersicht schnell verloren geht.

In diesem Umfeld des Entwicklungsstands der Dynamik von Antriebsregelkreisen wurde die im Labor für elektrische Antriebe und Leistungselektronik der Hochschule Offenburg entwickelte Antriebssoftware zum hochdynamischen Betrieb von Asynchronkäfigläufer- und permanentmagneterregten Synchronmaschinen von Grund auf überarbeitet. Auslöser hierfür war der Verkauf des bis-

herigen Softwarestands, der bei zeitkritischen Regelalgorithmen noch auf der Integer-Arithmetik basierte, an eine taiwanische Firma. Das wurde zum Anlass genommen, den Versuch zu unternehmen, die von Grund auf neu zu gestaltende Nachfolgesoftware bei den zeitkritischen Algorithmen auf Floating-Point-Arithmetik umzustellen. Der in der Reglerhardware eingesetzte Signalprozessor TMS 320 F28335 von Texas Instruments unterstützt dieses Vorhaben mit einer 32 Bit Floating-Point Unit.

Durch den Übergang auf Floating-Point-Arithmetik war es schließlich möglich, im Drehzahlregelkreis einen Drehzahlzustandsregler und einen Drehzahlbeobachter effizient zu programmieren. Das in der Theorie [5] bereits beschriebene Zusammenwirken beider Reglerkomponenten konnte mit der neuen Antriebssoftware umgesetzt und die größere Anzahl von Freiheitsgraden beim Drehzahlzustandsregler dazu herangezogen werden, die Regelkreisdynamik weiter zu erhöhen. Welche Struktur der so konzipierte Drehzahlregelkreis im Detail aufweist und welche Ergebnisse damit erzielbar sind, wird in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

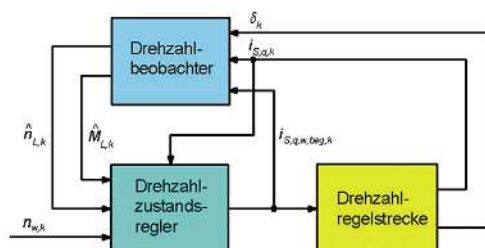


Abb. 1: Blockschaltbild der beobachtergestützten Drehzahlregelung bei einem Drehstromantrieb (Erläuterungen der verwendeten Größen in den folgenden Abschnitten)

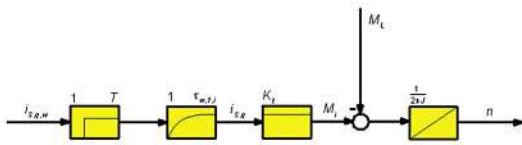


Abb. 2: Zeitkontinuierliches Strukturbild der Drehzahlregelstrecke

### Modellierung der Drehzahlregelstrecke

Um Weitläufigkeiten zu vermeiden, konzentrieren sich die Ausführungen dieses Beitrags auf Drehstromantriebe mit konzentriertem Trägheitsmoment. Für diesen Fall lässt sich für die Drehzahlregelstrecke das in Abbildung 2 dargestellte zeitkontinuierliche Strukturbild angeben [5]. Darin bezeichnet  $n$  die Drehzahl,  $M_i$  das innere Drehmoment der betrachteten Drehstrommaschine (Asynchronkäfigläufermaschine oder permanentmagneterregte Synchronmaschine),  $M_L$  das Lastmoment,  $i_{s,q}$  die drehmomentbildende Stromkomponente und  $i_{s,q,w}$  den zugehörigen Sollwert.  $J$  ist das Trägheitsmoment und  $K_i$  eine Proportionalitätskonstante zur Umrechnung von  $i_{s,q}$  in das innere Drehmoment  $M_i$ . Der dem Drehzahlregler unterlagerte Stromregelkreis wird in Abbildung 2 als Teil der Regelstrecke behandelt und als Verzögerungsglied erster Ordnung mit vorgelagertem Totzeitglied modelliert. Die Totzeit  $T$  wird von der sogenannten Rechenzeit verursacht. Sie stimmt mit der Abtastzeit des Stromreglers überein und wird von der sequentiellen Abarbeitung der Regelalgorithmen in Verbindung mit dem eingesetzten Pulsweitenmodulator verursacht. Die Zeitkonstante  $\tau_{w,1,i}$  ist die parametrierbare Einschwingzeitkonstante des Stromzustandsreglers.

Da der Stromregler zeitdiskret arbeitet – bedingt durch die prozessorbasierte Implementierung der Regelalgorithmen und durch die zeitdiskrete Arbeitsweise des pulsweitenmoduliert betriebenen Wechselrichters zur Speisung der Drehstrommaschine – muss auch das Modell der Drehzahlregelstrecke diskretisiert werden. Andernfalls würden die entstehenden Modellunzulänglichkeiten verhindern, die angestrebte Regeldynamik-

erhöhung zu erreichen. Zu beachten ist aber auch, dass das diskretisierte Modell nicht zu unhandlich für den sich anschließenden Reglerentwurf wird. Als zufriedenstellender Kompromiss hat sich hier bewährt, die Verzögerungen im Stromregelkreis zu einem einzigen Verzögerungsglied erster Ordnung mit der Zeitkonstante  $\tau_{w,1,i} + T$  zusammenzufassen. Die auf dieser Grundlage hergeleiteten Differenzgleichungen der Drehzahlregelstrecke sind die Basis für den sich anschließenden Drehzahlzustandsreglerentwurf [5].

### Drehzahlzustandsregler

Um eine hohe Regeldynamik zu erzielen, müssen einem Zustandsregler alle Zustandsgrößen der Regelstrecke zugeführt, mit einem Verstärkungsfaktor multipliziert und zur Stellgröße, dem Sollwert  $i_{s,q,w}$  der drehmomentbildenden Stromkomponente, mit negativem Vorzeichen addiert werden. Beim Drehzahlzustandsregler kommen hierfür die Zustandsgrößen  $n$  und  $i_{s,q}$  in Frage. Des Weiteren wird der Drehzahlsollwert  $n_w$  mit dem als Vorfilter bezeichneten Verstärkungsfaktor  $M$  multipliziert und ebenfalls zur Stellgröße hinzuaddiert. Damit nichtmessbare Störgrößen wie das Lastmoment  $M_L$  stationär genau ausgeglichen werden können, wird noch ein zeitdiskreter Integrator mit der Ausgangsgröße  $v_{l,n}$  implementiert. Um darüber hinaus zu vermeiden, dass der Integrator beim Erreichen der Stellgrößenbegrenzung zu weit hochintegriert und dadurch Drehzahlüberschwinger hervorgerufen werden, wird der Drehzahlsollwert im Begrenzungsfall korrigiert. Hierzu wird die Differenz zwischen der unbegrenzten Stellgröße  $i_{s,q,w}$  und der begrenzten, nachfolgend  $i_{s,q,w,beg}$  genannten Stellgröße gebildet, durch den Vorfilterfaktor  $M$  dividiert und vom unkorrigierten Dreh-

zahlsollwert subtrahiert [5]. Die so entstehende Differenz ist der korrigierte Drehzahlsollwert  $n_{w,korr}$ . Er wird dem Drehzahlreglerintegrator als Sollwert zugeführt. Die Abbildung 3 verdeutlicht die beschriebene Drehzahlzustandsreglerstruktur anhand des zugehörigen Strukturbilds. Die darin enthaltenen Größen  $K_p$ ,  $K_i$  und  $K_T$  sind die Verstärkungsfaktoren für die Zustandsgrößen  $n$ ,  $v_{l,n}$  und  $i_{s,q}$ .  $\hat{n}$  ist der vom Drehzahlbeobachter bereitgestellte Drehzahlschätzwert, da die unverzögerte Messung der Drehzahl wie bereits erwähnt nicht möglich ist. Die in Abbildung 3 verwendeten Zeitindizes  $k$  und  $k+1$  deuten darauf hin, dass die indizierten Größen nur zu den Abtastzeitpunkten  $kT$  bzw.  $(k+1)T$ ,  $k \in \mathbb{N}_0$ , zu betrachten sind. Wie die systematische Berechnung der in Abbildung 3 vorkommenden Drehzahlreglerparameter erfolgt, kann in [5] detailliert nachgelesen werden.

### Drehzahlbeobachter

Um die nicht messbare ungeglättete Drehzahl ermitteln zu können, wird ein Drehzahlbeobachter eingesetzt. In ihm wird in Echtzeit ein zeitdiskretes Modell der Drehzahlregelstrecke durchgerechnet. Als Eingangsgrößen dienen  $i_{s,q}$  und  $i_{s,q,w,beg}$ . Unbekannt ist dagegen in der Regel das Lastmoment  $M_L$ . Es muss daher ebenso wie die Drehzahl geschätzt werden. Hierzu wird angenommen, dass  $M_L$  konstant sei – allerdings zunächst mit noch unbekannter Höhe. Um sie zu bestimmen und um zu verhindern, dass ungenaue Beobachtermodellparameter und -anfangswerte zum Auseinanderdriften zwischen Beobachter- und Streckengrößen führen, wird eine real gut messbare Größe ausgewählt und sie mit der zugehörigen Beobachtergröße verglichen. Die bei Abweichungen zwischen Beobachter und

Strecke entstehende Differenz wird über Verstärkungsfaktoren auf die Beobachterzustandsgrößen zurückgeführt und so ein ggf. entstehender Beobachterfehler klein gehalten. Als Vergleichsgröße wird hierbei der Rotorlagewinkel  $\delta$  verwendet. Er ist proportional zum Integral der Drehzahl und zugleich die eigentliche Messgröße bei der Drehzahlerfassung. Denn üblich wird die Drehzahl durch Differentiation des Rotorlagewinkels bestimmt. Da aber eine technische Differentiation immer zu unruhigen Signalen führt, wird das erhaltene Signal gewöhnlich geglättet. Genau diese Maßnahme führt bei Drehzahlregeln ohne Drehzahlbeobachter zum anfangs beschriebenen Dynamikverlust.

Um auch im Beobachtermodell den Rotorlagewinkel schätzen zu können, muss der Drehzahlschätzwert  $\hat{n}$  integriert und mit  $2\pi$  multipliziert werden. Wegen der zeitdiskreten Ausführung der betreffenden Beziehungen wirken neben dem Drehzahlschätzwert  $\hat{n}$  auch  $\hat{i}_{s,q,w}$  und  $i_{s,q}$  auf den Rotorlagewinkel schätzwert  $\hat{\delta}$  ein [5]. Die Abbildung 4 zeigt das Strukturbild des so realisierten Drehzahlbeobachters. Die darin verwendeten Verstärkungsfaktoren  $L_{11}$ ,  $L_{21}$  und  $L_{31}$  sind die Beobachterrückführkoeffizienten, die die Beobachterzustandsgrößen im Fall einer aufgetretenen Differenz  $\delta - \hat{\delta}$  korrigieren.  $\hat{M}_L$  ist der Schätzwert des Lastmoments. Es kann zusätzlich dem Drehzahlregler zur weiteren Dynamikverbesserung in Form einer Störgrößenaufschaltung zugeführt werden [5]. In Abbildung 3 ist diese Option allerdings nicht eingezeichnet. Die Herleitung der in Abbildung 4 dargestellten Beobachterstruktur und die Berechnung der Beobachterrückführkoeffizienten  $L_{11}$ ,  $L_{21}$  und  $L_{31}$  kann in [5] studiert werden.

**Erreichbare Drehzahlregelkreisdynamik**

Mit dem in der überarbeiteten Laborsoftware implementierten Drehzahlzustandsregler, ergänzt durch einen Drehzahlbeobachter, gelang es, bei einer frequenzumrichter gespeisten, mit einer Schaltfrequenz von 8 kHz betriebenen Asynchronmaschine den Drehzahlwert innerhalb von 10 ms auf den vorgegebenen Drehzahlsollwert einzuregeln. Die Abbildung 5 zeigt ein repräsentatives Einschwingverhalten

bei einem Drehzahlsollwertsprung von 0 auf 30 min<sup>-1</sup>. Durch die gewählte Sollwertsprunghöhe kann es gerade noch vermieden werden, dass die Drehzahlreglerstellgröße in die Begrenzung gerät. Die rote Kurve stellt dabei den korrigierten Drehzahlsollwert  $n_{w,korr}$  und die blaue Kurve den mit 1 ms geglätteten Drehzahlwert dar. Als Einschwingzeitkonstante des Stromreglers wurde hierbei  $\tau_{w,i,j} = 0,25$  ms eingestellt. Für die zur Reglerparametrierung benötigte Einschwingzeitkonstante des Drehzahlzustandsreglers wurde ein Wert von 2,5 ms gewählt. Die Einschwingzeitkonstante des Drehzahlbeobachters betrug 3 ms.

Erfolgt ein höherer Drehzahlsollwertsprung, dann gerät die Stellgröße  $i_{s,q,w}$  des Drehzahlreglers in die Strombegrenzung. Um zu vermeiden, dass der Integrator im Drehzahlregler deshalb zu

weit aufintegriert, wird der Drehzahlsollwert durch die in Abbildung 3 dargestellte Rückführung selbsttätig korrigiert. So wird beispielsweise  $n_{w,korr}$  bei einem Sollwertsprung von 0 auf 200 min<sup>-1</sup> stufenweise an den ursprünglich vorgegebenen Sollwert herangeführt. Da nur dieser korrigierte Verlauf dem Integrator zugeführt wird, integriert er nicht zu weit auf, wodurch die Drehzahl nicht überschwingt. Die Abbildung 6 zeigt die Sprungantwort zu genau dieser Regelkreisreglung.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Im Beitrag wurde gezeigt, wie durch das Zusammenspiel von Drehzahlzustandsregler und Drehzahlbeobachter eine sehr kurze Drehzahleinschwingzeit von ca. 10 ms erreicht wird. Die Untersuchungen erfolgten an einem Asynchronantrieb mit konzentriertem Trägheitsmoment. Häufig treten in Applikationen

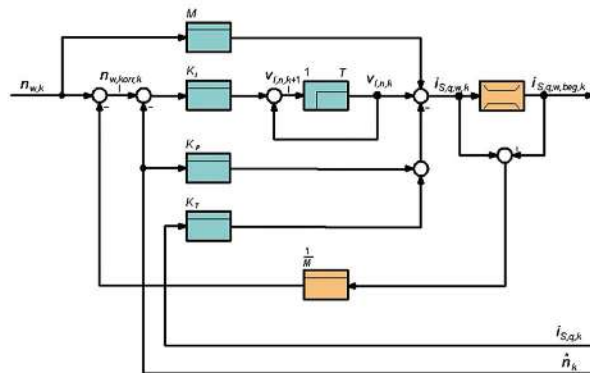


Abb. 3: Strukturbild des Drehzahlzustandsreglers

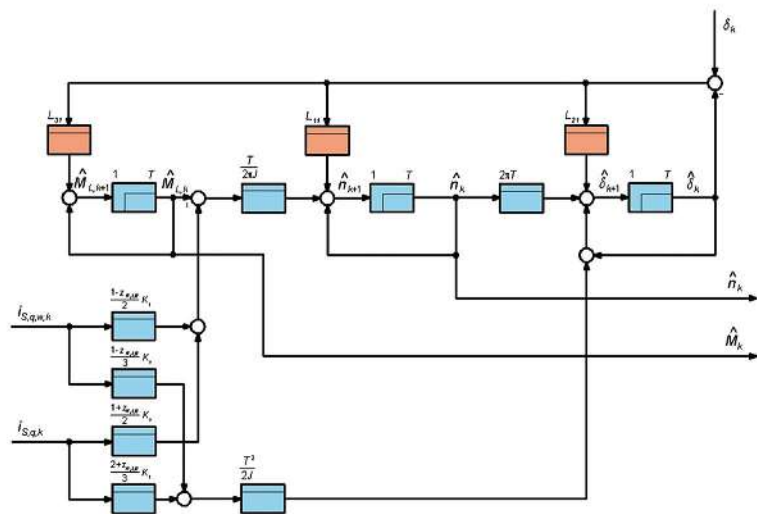


Abb. 4: Strukturbild des Drehzahlbeobachters



jedoch Antriebe mit verteilten Trägheitsmomenten auf (Mehrmassenschwinger). Um auch für solche Systeme hochdynamische Drehzahlregler zur Verfügung stellen zu können, muss sowohl die Zustandsreglerstruktur als auch die Beobachterstruktur des im Labor verwendeten Antriebssystems an die dann vorherrschenden Streckengegebenheiten angepasst werden.

### Referenzen/References

[1] Nuß U.: Eine allgemeine Methodik zur Modellbildung und Reglersynthese für stromrichteragespeiste Antriebe auf der Basis der zeitdiskreten Zustandsraumdarstellung. Habilitationsschrift Universität Karlsruhe (TH) 1994

[2] Nuß U.: Umrichter mit maximaler Regeldynamik für die Prüfstandstechnik. *antriebstechnik* 38 (1999), S. 28 – 31

[3] Nuß U.: Mehrfachabtastender Stromzustandsregler für höchste dynamische Anforderungen. Tagungsband SPS/IPC/Drives, Nürnberg, 2004, S. 665 – 675

[4] Nuß U.: Achsenunsymmetrische Stromzustandsregelung mit Dead-Beat-Verhalten nur in der drehmomentbildenden Stromkomponente. Tagungsband SPS/IPC/Drives, Nürnberg, 2006, S. 493 – 503

[5] Nuß U.: Hochdynamische Regelung elektrischer Antriebe. ISBN 978-3-8007-3218-0. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag 2010

[6] Nuß U., Root A.: Benötigt ein pulsweitenmoduliert betriebener Drehstromantrieb einen Stromzustandsregler? Hochschule Offenburg, 2012 (Technischer Bericht - IAF-Report 8/2012). Online verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus-1885>

[7] Lorenz R., Van Patten K.: High-Resolution Velocity Estimation for All-Digital, ac Servo Drives. *IEEE Transactions on Industry Applications* Vol. 38 (1991), No. 4, S. 701 – 705

[8] Krah J.: Bode Plot basierter Servoantriebs TuningWizard - ein Ansatz zwischen manuellem Tuning und Auto-Tuning. Tagungsband SPS/IPC/Drives 2004, S. 579 – 587

[9] Gißler J.: Elektrische Direktantriebe. Franzis Verlag, Poing, 2005

[10] Krah J.: Geschwindigkeitsbeobachter höherer Ordnung zur Unterdrückung von höherfrequenten Resonanzen bei Direktantrieben. Tagungsband SPS/IPC/Drives 2006, S. 431 – 439

[11] Mink F., Bähr A.: Adaptive Drehzahlregelung bei variablen Trägheitsmomenten und Eigenfrequenzen. Tagungsband SPS/IPC/Drives 2008, S. 561 – 570

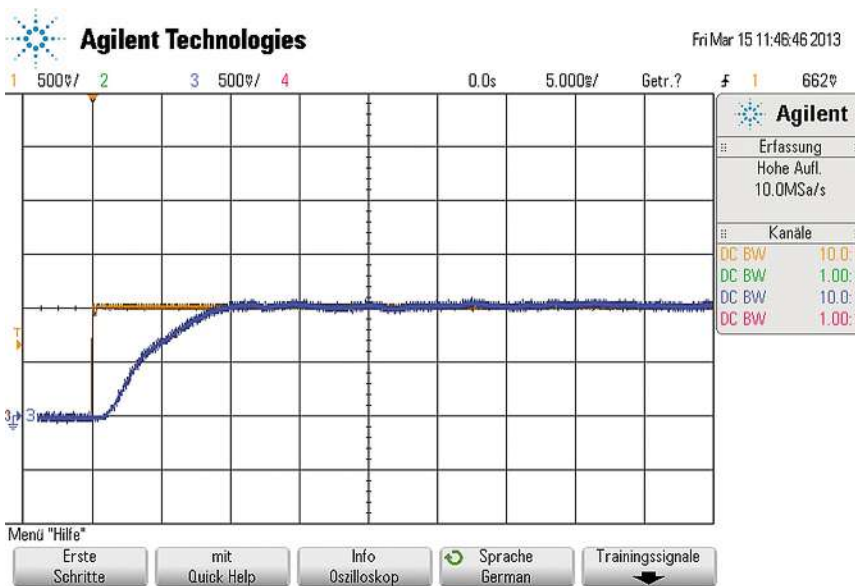


Abb. 5: Drehzahl sprungantwort des beobacht ergestützten Drehzahlzustandsregelkreises bei einem Sollwertsprung von 0 auf 30 min<sup>-1</sup>

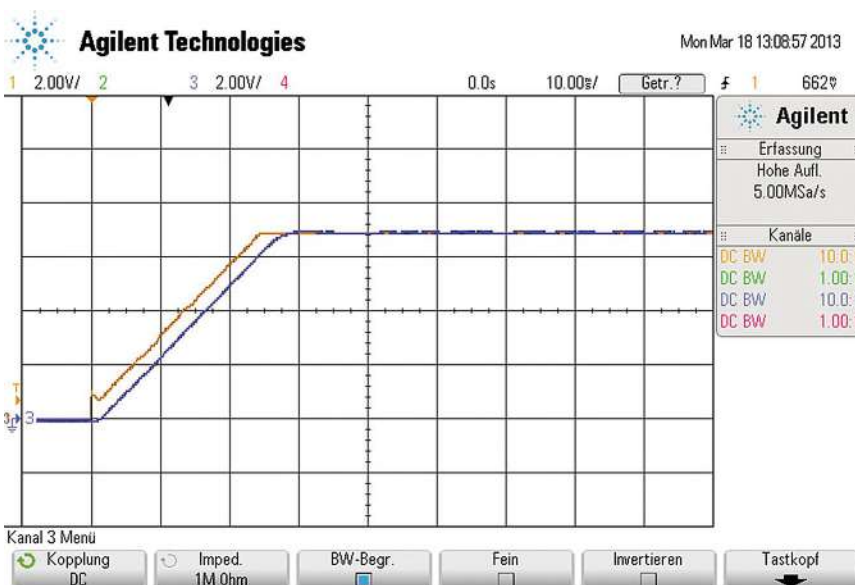


Abb. 6: Drehzahl sprungantwort des beobacht ergestützten Drehzahlzustandsregelkreises bei einem Sollwertsprung von 0 auf 200 min<sup>-1</sup>

## Autoren



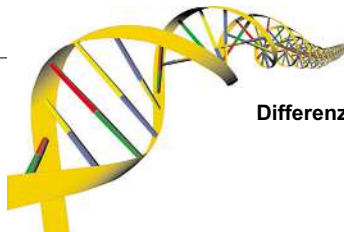
**Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß**  
Dekan Fakultät Elektrotechnik und  
Informationstechnik  
Leiter des Labors Elektrische Antriebe  
und Leistungselektronik  
Lehrgebiete: Elektrische Antriebstechnik,  
Leistungselektronik, Regelungstechnik  
uwe.nuss@hs-offenburg.de



**Andreas Huber, M.Eng.**  
Akademischer Mitarbeiter in der Fakultät  
Elektrotechnik und Informationstechnik,  
Labor Elektrische Antriebe und  
Leistungselektronik  
andreas.huber@hs-offenburg.de



**Artur Root, M.Eng.**  
Akademischer Mitarbeiter in der Fakultät  
Elektrotechnik und Informationstechnik,  
Labore Elektrische Antriebe und  
Leistungselektronik sowie Messtechnik  
artur.root@hs-offenburg.de



Differenzierung durch Standards



### Optimierung von Produkten und Prozessen in der Fertigungsindustrie

- 3D-CAD Lösungen (NX & Solid Edge) und Technisches Datenmanagement für ME10, NX, Solid Edge, Pro/E, Catia, I-deas auf Basis von Teamcenter Engineering / Teamcenter Express
- Methodenberatung, Implementierung, Training
- Datenmigration von Bestandssystemen
- Schnittstellen zu ERP/PPS
- Standardisierungs- und Klassifikationskonzepte
- Erarbeitung von ganzheitlichen PDM/PLM-Strategien
- Analyse der Unternehmenspotenziale

BCT Technology AG • [www.bct-technology.com](http://www.bct-technology.com)



# Prädiktives Energiemanagement im Effizienzhaus Plus

Martin Schmelas, M.Eng., Dipl.-Ing. Thomas Feldmann, Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin

Das Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität in Berlin produziert über das Jahr gesehen mehr Energie, als es selbst und zusätzliche Elektrofahrzeuge benötigen. Das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderte Projekt produziert die Energie durch Photovoltaik-Module auf dem Dach und an der Fassade und regelt diesen Stromfluss durch eine elektrische Hausbatterie. Das Prädiktive Energiemanagementsystem (PEMS) ist für die optimale Koordination der Be- und Entladung der Batterie verantwortlich.

The Efficiency House Plus with Electromobility in Berlin produces more energy than the house and the electric vehicles will need. This research project is funded by the German Federal Ministry for Transport, Building and Urban Development (BMVBS) and has photovoltaic modules on the roof and the façade, different energy consumers and energy storages. A Predictive Energy Management System (PEMS) is responsible for the optimal coordination between charging and discharging the battery by forecasting the energy demand and the energy production.

## Einleitung

Gebäude gehören zu den größten Energieverbrauchern in Deutschland. Für mehr als ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs sind Gebäude verantwortlich, die daher maßgeblich zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beitragen können.

Die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) will dieses Potenzial nutzen, indem sie ein Forschungs- und Anschauungsobjekt entwickelt hat, das nicht nur energie-neutral ist, sondern über das Jahr gesehen mehr Energie erzeugt, als es selbst benötigt. Das im Dezember 2011 eröffnete Gebäude wird Prognosen zufolge selbst dann einen Überschuss an Energie produzieren, wenn zusätzlich zwei Elektrofahrzeuge und ein Pedelec (Pedal Electric Cycle) mit dieser Energie versorgt werden.

Es werden mehrere wissenschaftliche Untersuchungen am Haus durchgeführt, zu denen insbesondere Energiemanagementsysteme, Stromnetzstabilisierung, Batteriezellenwiederverwendung/Dimensionierung von Hausbatterien, Wärme- und Feuchtetransport in hochgedämmten Außenbauteilen und die sozialwissenschaftliche Betreuung der vierköpfigen Familie gehört, die von Anfang März 2012 bis Mai 2013 das Gebäude und die Elektromobilität nutzt. So sollen neuste Komponenten getestet, Lösungsmöglichkeiten für Weiterentwicklungen aufgezeigt und die Wirtschaftlichkeit solcher Projekte verbessert werden.

## Beschreibung des Gebäudes

Das in Abbildung 1 dargestellte Effizienzhaus Plus ist in zwei Ebenen aufgeteilt. Im Erdgeschoss befindet sich eine Parkfläche für die Elektroautos und das Pedelec. Der „Energiekern“, der die gesamte Technik in einem gläsernen Raum beherbergt, trennt Wohn- und Essbereich von der Parkfläche. Die Schlafzimmer befinden sich im Obergeschoss des Hauses. Auf der Ost- und Westseite befinden sich große Glasflächen. Kleinere Glasflächen auf der Süd- und Nordseite sowie die große Glasfläche auf der Ostseite sind mit beweglichen Aluminium-Verschattungslamellen ausgestattet. Bodenkonstruktion, Dach, Deckenkonstruktion sowie tragende äußere und innere Wände wurden in einer Holztafelbauweise hergestellt. Die Gebäudehülle ist durch eingeblassene Zellulosedämmung hoch wärmegeklämt. Die wichtigsten Kennwerte des Gebäudes sowie die technischen Anlagen werden in Tabelle 1 aufgezeigt.



Abb. 1: Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität, Außenansicht aus östlicher Richtung [1]

## Merkmale und Besonderheiten

Es handelt sich bei diesem Gebäude um ein sogenanntes „Nur-Strom-Haus“, d. h., alle Anlagen, selbst die Heizung und der Warmwassererzeuger, werden mit Strom bzw. mit einer Wärmepumpe betrieben. Das Haus ist zu jeder Zeit mit dem Stromnetz gekoppelt, um mögliche Ungleichgewichte im Netz kompensieren zu können oder bei leeren Speichern auf das öffentliche Stromnetz zurückzugreifen. Im Gebäude befindet sich ein stationärer Batteriespeicher mit einer Speicherkapazität von 40 kWh. Die Elektromobilität nimmt ca. 40% des Gesamtenergiebedarfs des Gebäudes ein. Neben den zwei Elektrofahrzeugen gibt es außerdem ein Pedelec. Das Energiemanagementsystem (EMS) arbeitet auf der Grundlage von Energiebedarfsprognosen für unterschiedliche Zählerpunkte. Es werden Wetterprognosen des Deutschen Wetterdienstes

<b>Flächen:</b>		
Bruttogrundfläche		181 m <sup>2</sup>
Nettogrundfläche		147 m <sup>2</sup>
Bruttorauminhalt		645 m <sup>2</sup>
<b>Heizen:</b>		
Wärmepumpe	Weishaupt Luft/Wasser-Wärmepumpe WWP L 8 IK	5,8 kW Heizleistung
Warmwasserspeicher	Weishaupt WAC 300	288 l
Lüftungsgerät	Menerga Trisolair Typ 52	400 m <sup>3</sup> /h Wärmerückgewinnung > 80%
<b>Photovoltaik:</b>		
Dach	Bosch-Solar-Module c-Si M 60	98,2 m <sup>2</sup> ; 14,10 kWp
Fassade	GeneCIS-Solarmodul 80W WSG0036E080	73,0 m <sup>2</sup> ; 8,0 kWp
Hausbatterie	aus zwei gebrauchten E-Mini-Antriebsbatterien aufbereitet	40 kWh
Prognostizierte Energieerzeugung		16625 kWh
Prognostizierter Energieverbrauch		16210 kWh
Gebäudeleittechnik	Wonderware SCADA-System	

**Table:** Kennwerte des Gebäudes und der technischen Anlagen

(DWD) verwendet. Daher wird das EMS auch als prädiktives Energiemanagementsystem (PEMS) bezeichnet. Das Haus ist über die Batterie Teilnehmer an einem virtuellen Kraftwerk. Die Demontage und das Recycling des Hauses sind durch ein nachhaltiges Baukonzept, bei dem ökologisch verträgliche Materialien verwendet werden, rückstandslos möglich.

### Prädiktives Energiemanagement

Die Optimierung der Energieströme im Gesamtsystem, bestehend aus PV-Anlage, dem öffentlichen Stromnetz, den Fahrzeugen, den elektrischen Verbrauchern, dem Anforderungssignal des virtuellen Kraftwerks sowie dem elektrischen Energiespeicher, wird durch ein autonom arbeitendes prädiktives Energiemanagementsystem erreicht. Prädiktiv bedeutet, dass anhand von Ertrags- und Lastprognosen die optimale Be- und Entladung der Haus-Batterie bestimmt wird. Durch eine Reihe von Assistentenprogrammen, die dem PEMS Prognosen

der PV-Leistung, der Haustechnik (gesamtes Wärme- und Lüftungssystem), den Strombedarf des Gebäudes und den Strombedarf der Fahrzeuge liefern, werden Regeln festgelegt, die wiederum unterschiedliche Entscheidungen und Aktionen auslösen.

Die Assistentenprogramme arbeiten mit zwei unterschiedlichen Prognoseverfahren. Während bei der PV-Prognose ein physikalisches Modell verwendet wird, werden für alle anderen Prognosen statistische Verfahren eingesetzt. Durch das statistische Verfahren werden mathematische Modelle auf Grundlage einer multiplen linearen Regression mit Abhängigkeit von mittlerer Tagestemperatur und mittlerer Einstrahlung eines Tages generiert.

Historische Messdaten des Hauses stehen in einer SQL-Datenbank zum Abruf bereit. Zeitstempel, Temperatur, horizontale Einstrahlung und die jeweilige Leistung werden im Zeitraum der ver-

gangenen 60 Tage abgerufen und auf Plausibilität überprüft. Tägliche Mittelwerte der Außentemperatur, der horizontalen Einstrahlung sowie der tägliche Energiebedarf werden gebildet. Durch eine Regressionsanalyse wird ein statistisches Modell erstellt, das über die unabhängigen Variablen mittlere Tagestemperatur- und mittlere globale Einstrahlung den täglichen Energiebedarf prognostizieren kann. Es werden dabei jeweils eine Regressionsebene für Wochentage sowie eine Regressionsebene für Wochenenden erstellt.

Für die Beschaffung von Wetterdaten gibt es unterschiedliche Datenquellen und verschiedene Möglichkeiten, diese Daten zu übertragen, z. B. über Web-Services [2], Langwellenfunksignale [3] oder FTP-Verbindungen. Hier stammen die Wetterdaten vom DWD. Es handelt sich um stündliche Prognosen, die zweimal am Tag erneuert werden und als CSV-Datei auf einem FTP-Server zur Verfügung stehen. Prognosewerte sind die Temperatur, die Globalstrahlung, die Windrichtung, die Windgeschwindigkeit, die Niederschlagsmenge sowie die relative Feuchte. Für die Erstellung der Energieprognosen werden jedoch Windrichtung und Windgeschwindigkeit nicht verwendet. Schematisch wird die Funktionsweise in Abbildung 2 dargestellt.

### Prognoseassistenten

Die Photovoltaik-Prognose erfolgt anhand eines physikalischen Modells der Photovoltaik-Anlagen. Eingabeparameter für das Modell sind Kennwerte des Photovoltaik-Herstellers und standortspezifische Daten. Es wurden unter anderem die Schattenverhältnisse vor Ort gemessen, die mit in das physikalische Modell einfließen.

Zunächst werden die stündlichen Prognosewerte des DWD durch ein Interpolationsverfahren auf zehn-minütige Werte umgerechnet. Diese Wetterprognosewerte gehen neben den Eingabeparametern als Input in das Modell ein. Es erfolgt eine Sonnenpositionsberechnung nach [4]. Aus der prognostizierten Globalstrahlung werden auf eine horizontale Fläche der Diffusanteil und der Direktstrahlungsanteil berechnet [5]. Anhand der Kennwerte Vollverschattung, Halbverschattung und keine Verschattung wurde der direkte Anteil der

Strahlung reduziert. Es wird neben der Globalstrahlung auch die Außentemperatur und die relative Luftfeuchte benötigt. Schlussendlich wird die horizontale Strahlung auf die geeignete PV-Modulfläche umgerechnet [6].

Es ist mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, alle Anlagen in einem physikalischen Modell abzubilden, insbesondere, wenn sich Regel- und Steuerstrategien ständig ändern und sich das gesamte Haus in einer Entwicklungsphase befindet. Daher wurde für die Prognose der anderen Messpunkte die Methode der bereits beschriebenen multiplen linearen Regression eingesetzt, die lern- und anpassungsfähig ist. Zusätzlich zu den beiden Regressionsebenen für Wochentage und Wochenenden gibt es bei der Wärmebedarfsprognose zwei Ebenen für den Fall, dass die Heizung ein- bzw. ausgeschaltet ist. So werden für diese Prognose insgesamt vier Regressionsebenen erstellt.

Untersuchungen haben gezeigt, dass für die Energiebedarfsprognose der Elektrofahrzeuge und des Gebäudebezugs ebenfalls eine Abhängigkeit von Strahlung und Temperatur festzustellen ist. Trotzdem ist der Energiebedarf sehr stochastisch und schwer zu prognostizieren, da er im Gegensatz zur Wärmebedarfsprognose vor allem vom Nutzerverhalten abhängig ist.

**Prognosegenauigkeit**

Das Regressionsverfahren ist nur für Prognosen der Tagessummen des Energiebedarfs geeignet. Um von täglichen auf stündliche Werte zu schließen, wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung aus den historischen Messwerten berechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Gut zu erkennen sind die vier Leistungsspitzen, die sich jede Woche zwischen 2 und 4 Uhr an einem Samstag wiederholen. Es handelt sich hierbei vor allem um den elektrischen Wasserhitzer, der das Wasser auf über 60 °C aufheizt (Legionellenschutz).

Das physikalische Modell zur Prognose der PV-Leistung liefert sehr genaue Werte. In Abbildung 4 wird beispielhaft der Vergleich innerhalb einer Woche zwischen Messwerten und Prognosewerten aufgezeigt. Abweichungen sind durch zu ungenaue Wetterprognosewerte und vor allem sich ständig änderndes Licht und Schattenverhältnisse erklärbar. Ein Vorhersagewert für die Bewölkung des Himmels steht nicht zur Verfügung.

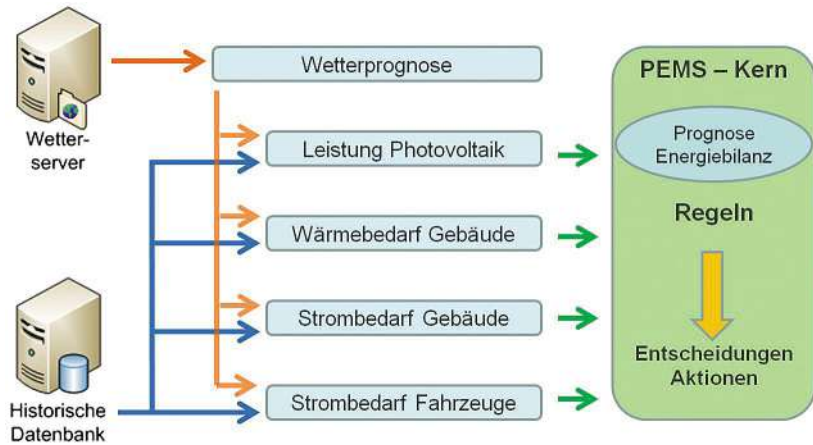


Abb. 2: Schematische Darstellung des prädiktiven Energiemanagementsystems

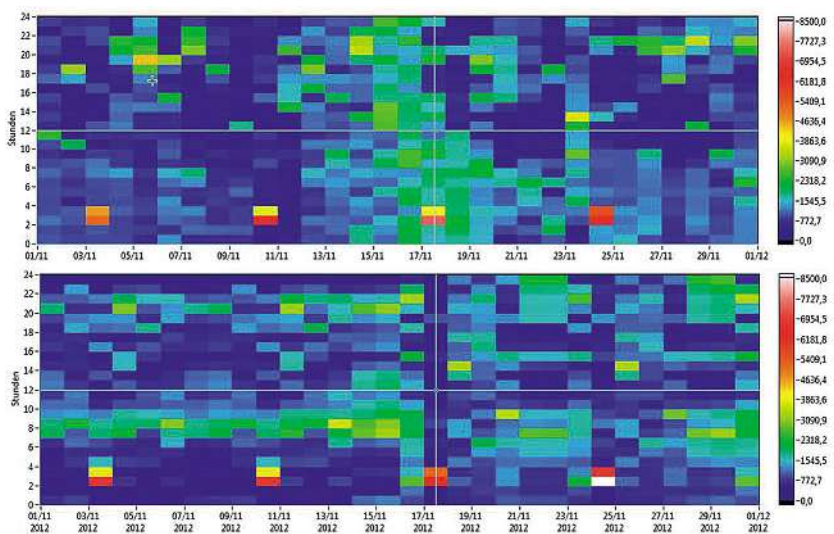


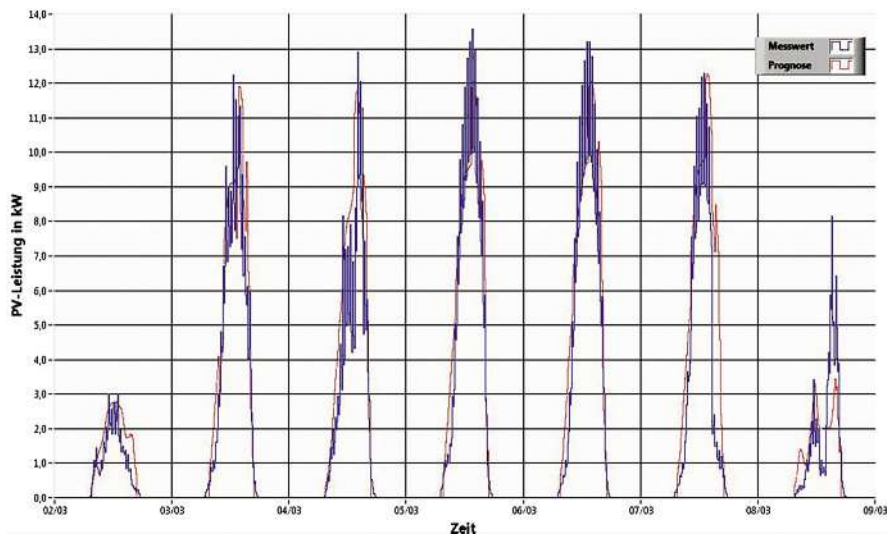
Abb. 3: Carpetplot zum Vergleich zwischen realem Messwert (oberes Bild) und Prognosewert (unteres Bild) des Wärmebedarfs für den stündlichen Energiebedarf zwischen 01.11.2012 und 30.11.2012, farbige Achse in der Einheit W

**Energieflussregelung**

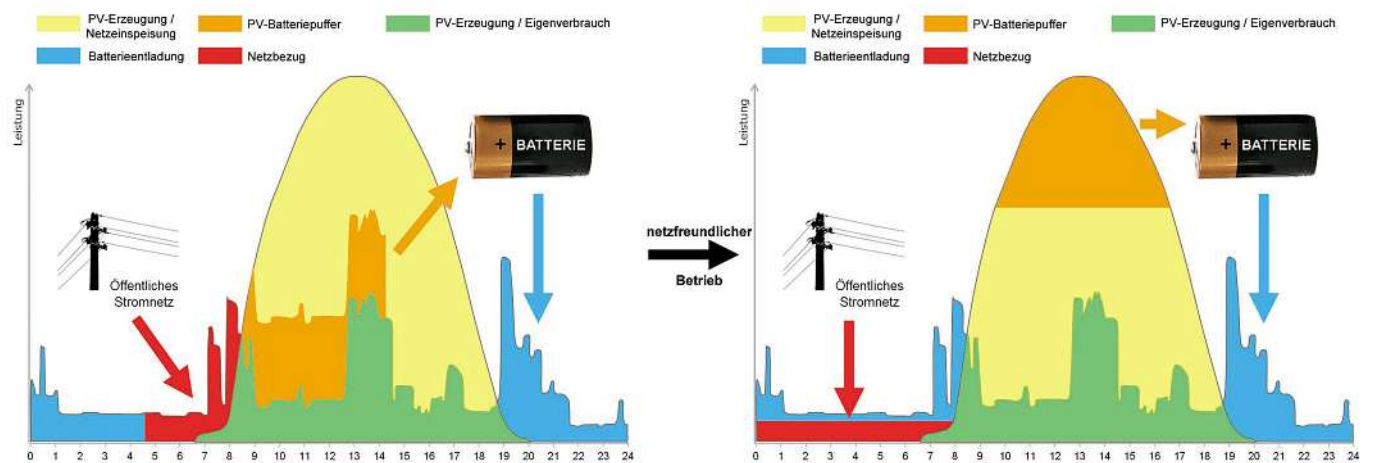
Ein regelbasiertes System wertet die Prognosen von Energiebedarf und Energieangebot aus und wechselt zwischen unterschiedlichen Betriebsarbeiten in Abhängigkeit des Ladezustands der Batterie. Insgesamt gibt es drei verschiedene Betriebsarten zur Optimierung des Energieflusses. Die Standardbetriebsart ist der reine Netzbetrieb. Eine weitere Betriebsart entlädt die Batterie in Abhängigkeit von ihrem Ladezustand. Die dritte Betriebsart ist für das Laden der Batterie zuständig.

**Virtuelles Kraftwerk**

In einem virtuellen Kraftwerk werden meist dezentrale Energieerzeuger, aber auch immer häufiger dezentrale Speicher und Energieverbraucher zusammengeschaltet und zentral in einer Leitwarte koordiniert. Alle Anlagen eines virtuellen Kraftwerks sind mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt und können mit diesem interagieren. Ziel dieses virtuellen Kraftwerks ist die Bereitstellung von Regelleistung (Reserveleistung). Gekoppelt über die stationäre Batterie kann positive und negative Minutenreserve zur Verfügung gestellt werden. Dieses Konzept wird bisher vor allem bei Blockheizkraftwerken und Notstromaggregaten verwendet. Hier erfolgt die Bereitstellung der Minutenreserve über die Hausbatterie.



**Abb. 4:** Vergleich zwischen realem Messwert und Prognosewert des Photovoltaik-Systems in 10-Minuten-Werten zwischen 02.03.2012 und 09.03.2012



**Abb. 5:** Verschiebung von Energieeinspeisung und -bezug durch einen Batteriepuffer

### Netzfrequenter Betrieb

Die Speicher im Effizienzhaus Plus dienen nicht nur zur Eigenverbrauchserhöhung, als Ersatzstrom bei Netzausfall und als Mitglied eines virtuellen Kraftwerks, sondern auch zur Vermeidung der Einspeisung von un stetigen PV- und Verbrauchsspitzen und sorgen damit für eine Verstetigung der Netzinteraktion. Die Batterie soll vor allem auf eine sehr netzfrequente, das heißt stabilisierend wirken, wie es in Abbildung 5 dargestellt wird. Hier wird die PV-Netzeinspeisung verstetigt, indem PV-Spitzen in der Batterie gepuffert werden. Durch Prognosen wird bestimmt, wie viel Energie benötigt wird und wie viel Energie im Batteriespeicher zur Verfügung stehen soll, um Deckungslücken zu verhindern. So wird frühzeitig mit dem Aufladen der Batterie aus dem öffentlichen Stromnetz begonnen, um hohe Verbrauchsspitzen zu vermeiden und

einen nicht mehr sprunghaft und zufälligen Energiebezug zu gewährleisten.

### Zusammenfassung und Ausblick

Das prädiktive Energiemanagementsystem zeigt große Vorteile im Vergleich zu einem traditionellen Energiemanagementsystem. Durch die Berücksichtigung der Bedarfs- und Erzeugungsprognosen kann der Energiefluss im Haus so gesteuert werden, dass die Netzeinspeisung sowie der Netzbezug verstetigt werden und damit das gesamte öffentliche Stromnetz geschont wird. Das PEMS ermöglicht neben einem netzfrequenten Verhalten des Gebäudes außerdem die Bereitstellung einer Netzdienstleistung in Form von negativer und positiver Minutenreserve.

Die Prognosegenauigkeit unterscheidet sich stark zwischen den unterschiedlichen Zählpunkten. Die PV-Prognose,

die die größte Abhängigkeit der äußeren klimatischen Bedingungen zeigt und unabhängig vom Nutzerverhalten ist, liefert die genauesten Werte. Die Wärmebedarfsprognose zeigt bei eingeschalteter Heizung ebenfalls gute Prognosewerte. Da der Gebäudebezug sowie der Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge hauptsächlich vom Nutzerverhalten abhängig sind, können diese Prognosen sehr vom realen Verbrauch abweichen. Mit Ungenauigkeiten in den Prognosen muss daher immer gerechnet werden. Der regelbasierte Systemkern des PEMS wird an diese Erfahrungen, dass Prognosen nur teilweise gut sein können, angepasst. Die Funktion als Mitglied eines virtuellen Kraftwerks wird noch optimal in das Gesamtkonzept integriert.

Um die Prognose für den Energiebedarf der Fahrzeuge besser bestimmen zu

können, wird ein Buchungssystem empfohlen, in dem die Bewohner geplante Fahrten angeben können. Energieertrag- und Energiebedarfsprognosen sind ebenfalls mit neuronalen Netzen vielversprechend, jedoch rechenintensiver.

### Dank

Die Autoren danken der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) für die Förderung des Projekts.

### Referenzen/References

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität, [http://www.dibev.de/uploads/media/E3\\_effizienzhausplus.pdf](http://www.dibev.de/uploads/media/E3_effizienzhausplus.pdf)
- [2] Bollin Elmar: Energieoptimierung auf Basis von Wetterprognosen am Beispiel des sic Gebäudes in Freiburg – Präsentation. Building Performance Congress – Building Forum in Frankfurt am Main, Hochschule Offenburg – Forschungsgruppe NET, 2008
- [3] Forschungsgruppe NET, <http://fgnet.hs-offenburg.de/gebaeude/praebv/projekt/>, Juni 2012
- [4] Walraven Robert: Calculation the position of the sun. Solar Energy Vol. 20, 1978, pp. 393 – 397
- [5] Reindl D. T., Beckman W. A., Duffie J. A., "Diffuse Fraction Correlations", Solar Energy, Vol. 45, No. 1, 1990, pp. 1 – 7
- [6] Temps R. C., Coulson K. L., "Solar radiation incident upon slopes of different orientations". Solar Energy 19 2 (179 – 184), 1977

### Autoren



**Martin Schmelas, M.Eng.**

Doktorand  
Institut für Energiesystemtechnik  
Forschungsgruppe net  
[martin.schmelas@hs-offenburg.de](mailto:martin.schmelas@hs-offenburg.de)



**Dipl.-Ing. Thomas Feldmann**

Institut für Energiesystemtechnik  
Forschungsgruppe net  
[thomas.feldmann@hs-offenburg.de](mailto:thomas.feldmann@hs-offenburg.de)



**Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin**

Institut für Energiesystemtechnik  
Leitung der Forschungsgruppe net  
Lehrgebiete: Solarthermie,  
Nachhaltige Energietechnik,  
Gebäudeautomation  
[elmar.bollin@hs-offenburg.de](mailto:elmar.bollin@hs-offenburg.de)

# Kurzzeitmessungen zum thermischen Komfort im Sommer

Prof. Dr. Jens Pfafferott

In der Praxis stellt sich oft die Frage, ob Gebäude im Gebäudebetrieb tatsächlich die in der Planung formulierten Anforderungen im Hinblick auf das sommerliche Temperaturverhalten einhalten. Eine messtechnische Untersuchung über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen mit mobiler Messtechnik bietet hier die Möglichkeit, objektive Daten bereitzustellen. Wegen des sehr dynamischen Temperaturverhaltens kann jedoch nur eine modellbasierte Evaluation darauf aufbauend einen verlässlichen Vergleich zwischen Planungswerten und tatsächlichem Gebäudebetrieb liefern.

Does an office building answer the users' expectations in day-to-day operation? Does the building operation comply with the requirements from the planning phase? The cooling capacity of buildings which use ambient heat sinks for cooling in summer is limited due to building physical and technical constraints. Thus, the thermal comfort cannot be satisfied at every hour. Architects, HVAC engineers and occupants may ask for objective measurements to evaluate the current indoor climate. A monitoring campaign for a 2-weeks-period with mobile monitoring equipment supplies indoor and outdoor data for an evaluation. Due to the transient temperature behavior of buildings with high thermal inertia in summer, a model-based data analysis is used to standardize the dynamic energy balance. Based on this data evaluation, the current building operation can be compared with the planning assumptions.

## Motivation:

### Planung und Gebäudebetrieb

Viele Gebäude werden mit Umweltenergie (z. B. über Nachtlüftung oder über Flächentemperiersysteme mit reversibler Wärmepumpe) gekühlt. In diesen Gebäuden ist die Kühlleistung bauphysikalisch und anlagentechnisch begrenzt, und folglich kann der thermische Komfort im Sommer nicht zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden. Dieses Gebäudeverhalten wird zwar bereits in der Planung berücksichtigt, dennoch stellt sich in der Praxis oft die Frage, ob die Gebäude im Gebäudebetrieb tatsächlich die in der Planung formulierten Anforderungen im Hinblick auf das sommerliche Temperaturverhalten einhalten. Eine messtechnische Untersuchung über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen mit mobiler Messtechnik bietet hier die Möglichkeit, objektive Daten bereitzustellen. Wegen des sehr dynamischen Temperaturverhaltens kann jedoch nur eine modellbasierte Evaluation darauf aufbauend einen verlässlichen Vergleich zwischen Planungswerten und tatsächlichem Gebäudebetrieb liefern [1].

Einerseits bietet nur eine Messkampagne verlässliche Daten, um ein Gebäudekonzept objektiv bzw. auf Basis messbarer Größen bewerten zu können.

Andererseits sind Kurzzeitmessungen kaum geeignet, um Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines kompletten Gebäudekonzepts für den Sommerfall zu machen.

Eine modellbasierte Auswertung kann die unter ganz bestimmten Nutzungs-

und Wetterbedingungen erfassten Messdaten so aufbereiten, dass eine Beurteilung des Betriebsverhaltens im Vergleich mit der Planung möglich wird.

### Modellbasierte Datenauswertung

Ein Gebäudemodell zur Auswertung von Kurzzeitmessungen muss auf die Unsicherheiten in der bauphysikalischen und anlagentechnischen Beschreibung des Raums und die eingeschränkten Möglichkeiten von Kurzzeitmessungen (Kompromisse bei Messaufbau und -durchführung) angepasst sein. Das Gebäude soll dabei durch wenige charakteristische Größen beschrieben werden.

Der Tagesverlauf der Raumtemperatur kann durch eine phasenverschobene, harmonische Schwingung beschrieben werden:

$$\vartheta_{Raum}(t) = \bar{\vartheta}_{Raum} + \Delta\vartheta_{Raum} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

mit  $\omega = 2\pi/24h$  (1)

Während der tatsächliche Temperaturverlauf von der idealen, einfachen Schwingung erheblich abweichen kann, wird die mittlere Raumtemperatur  $\bar{\vartheta}_{Raum}$  und deren Schwankung  $\Delta\vartheta_{Raum}$  in guter Näherung durch die mittlere Außentemperatur  $\bar{\vartheta}_{au\beta en}$ , deren Schwankung  $\Delta\vartheta_{au\beta en}$ , die Wärmegewinne  $G$ , deren Schwankung  $\Delta G$ , den Verlustkoeffizienten  $H$  und die Speicherkapazität  $C$  beschrieben:

$$\bar{\vartheta}_{Raum} = \bar{\vartheta}_{au\beta en} \cdot G/H$$
 (2)

$$\Delta\vartheta_{Raum} = \frac{24h}{2\pi\tau} \cdot \left( \Delta\vartheta_{au\beta en} + \frac{\Delta G}{H} \right)$$

mit  $\tau[h] = C/H$  (3)

Darin bilden die beiden Verlustkoeffizienten  $H_T$  (temperaturbezogener Transmissionswärmeverlust) und  $H_V$  (temperaturbezogener Lüftungswärmeverlust) den Kopplungsfaktor  $H$  zwischen innen und außen.  $G$  und  $\Delta G$  umfassen alle Wärmegewinne, insbesondere die solaren Wärmegewinne durch opake und transparente Bauteile und interne Wärmegewinne.  $C$  beschreibt die dynamische Speicherkapazität des Raums für eine periodische Anregung von 24 Stunden.

So lässt sich das thermische Raumverhalten durch die Hauptkomponenten der dynamischen Energiebilanz Wärmegewinn, Wärmeverlust und Wärmespeicherung beschreiben.

### Messkampagnen

Zur messtechnischen Gebäude- und Anlagenbewertung werden die Innen- und Außenbedingungen erfasst, Abbildung 1. Neben den zur Anwendung des Gebäudemodells unbedingt erforderlichen Daten (Raum- und Außentemperatur sowie Solarstrahlung) werden in den meisten Messkampagnen auch weitere Messdaten, z. B. weitere Komfortparameter, Nutzerverhalten, interne Wärmegewinne, Luftwechsel nach der CO<sub>2</sub>-Abklümmethode, Fassadentemperaturen oder Luftgeschwindigkeiten an Lüftungsein- und -auslässen.

### Auswertung von Kurzzeitmessungen

Neben dem thermischen Raumklima wird während der Messkampagne auch das Mikroklima am Gebäude erfasst. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Auswertung für ein Gebäude.





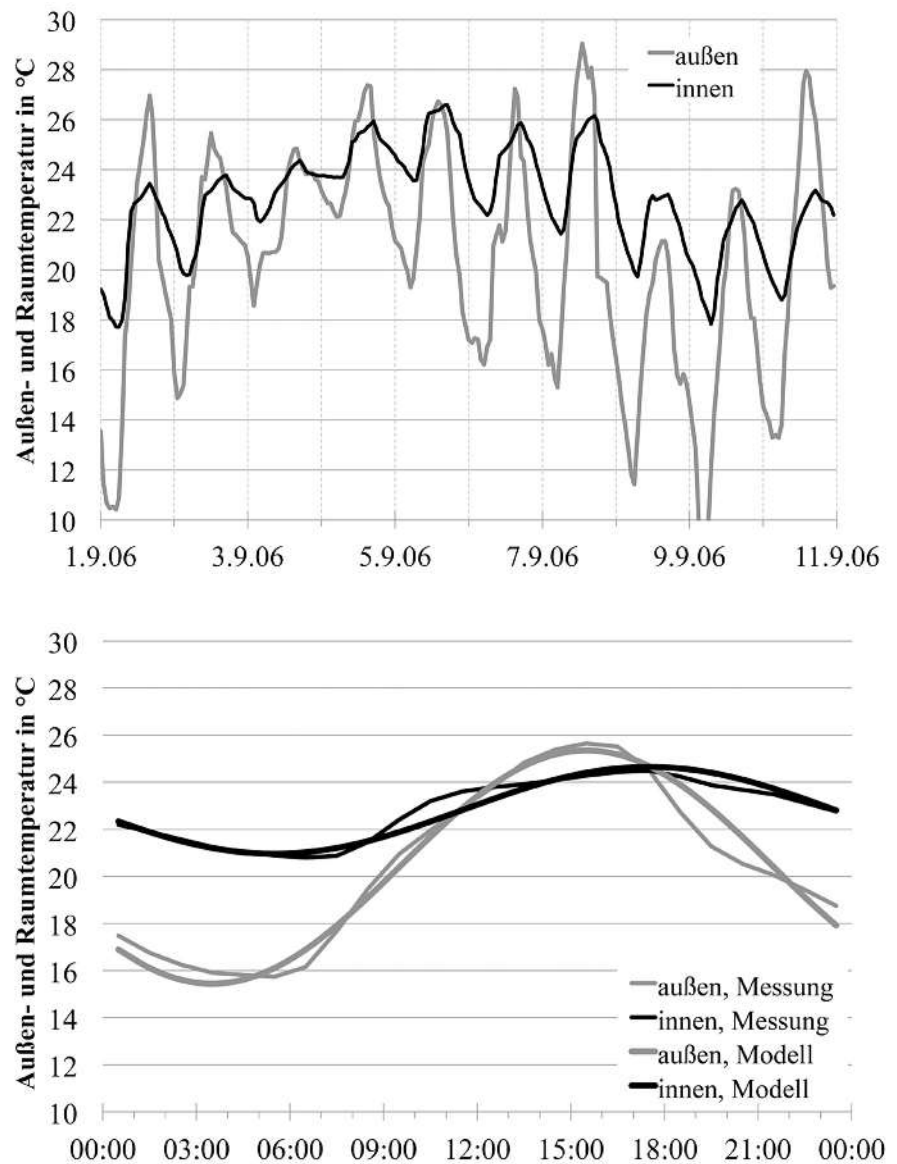
**Abb. 1:** Mobile Messtechnik zur Datenerfassung, -speicherung und -übertragung von Wetter (links), Mikroklima an der Fassade und Raumklima (rechts). Quelle: Fraunhofer-ISE

Die Auswertung für dieses Gebäude liefert z. B. folgende auf die Grundfläche des Raums bezogenen Werte:  $H=14,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $G=35,8 \text{ W/m}^2$ ,  $\Delta G=60,7 \text{ W/m}^2$  und  $C=277,2 \text{ Wh/m}^2$ . Dabei ist zu beachten, dass diese Werte auf Basis einer Fourieranalyse bestimmt wurden. Besonders auffällig ist dies bei den Wärmegewinnen, deren Schwankung größer als der Mittelwert ist. Bei einer einfachen harmonischen Schwankung würde dies an einzelnen Stunden zu negativen Gewinnen führen. Sowohl die mittleren Werte als auch die Schwankungen von Innen- und Außentemperatur werden mit einer Genauigkeit von kleiner als  $0,2 \text{ K}$  berechnet.

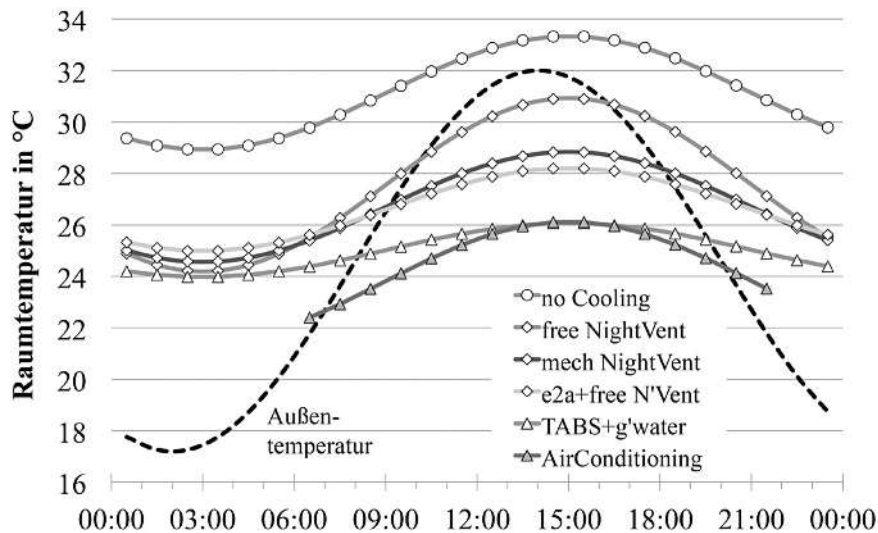
Damit können die Messungen auch unter einheitlichen Randbedingungen dargestellt werden. Abbildung 3 stellt beispielhaft Messdaten aus sechs Gebäuden mit unterschiedlichen Energiekonzepten vor.

**Fazit**

Ein vergleichsweise einfaches Parametermodell ist gut geeignet, Messkampagnen, die unter nahezu beliebigen sommerlichen Wetter- und realen Nutzungsbedingungen durchgeführt wurden, unter standardisierten Randbedingungen (wie Planung) zu analysieren. In der praktischen Anwendung sind außer den erforderlichen Geometrieangaben weniger als 20 weitere beschreibende Parameter erforderlich, wobei die meisten dieser Parameter wiederum aus einfachen Wertetabellen gewählt werden können. Eine belastbare Analyse der Messdaten ist so unter Ausle-



**Abb. 2:** Messwerte aus einer 10-tägigen Messkampagne (oben) und deren standardisierte Auswertung des mittleren Tagesverlaufs (unten)



**Abb. 3:** Messdaten aus sechs Messkampagnen in standardisierter Auswertung für das Wetter nach Kühllastzone 3 nach VDI 2078 [10]. Hinweis: Unter diesen Randbedingungen (14-tägige Schönwetterperiode nach VDI 2078) liegt die Komforttemperatur nach EN 15251 [4] für das PMV-Modell zwischen 23 und 26 °C und für das adaptive Komfortmodell zwischen 23,8 und 29,8 °C, jeweils für Komfortklasse II. Die Messdaten aus Abbildung 2 sind hier als Gebäude „mech NightVent“ berücksichtigt

gungsbedingungen mit wenig Aufwand möglich. Damit können Planung und Betrieb vergleichend auf der Basis objektiver Daten bewertet und schließlich Varianten und Optimierungsvorschläge transparent vorgestellt werden.

#### Dank

In anonymisierter Form wurden für die vorliegende Studie Messungen aus insgesamt 16 Bürogebäuden aus den Jahren 2006 bis 2009 analysiert. Der Autor dankt den Projektpartnern und Betreibern der Gebäude Bundesministerien BMVBS, BMJ, BMBF und BMZ, DB Netz AG, Engelhardt & Bauer, Fraunhofer-Haus, Fraunhofer-ISE, Kaserne Foch, Lamparter, Pathologisches Institut, Pollmeier, SOBIC, Solar Campus Freiburg, Solar Info-Center und tri-Haus.

Aktuell wird das Gebäudemodell in dem Projekt PAkoGA (BMBF, 2012 – 2015) weiterentwickelt.

#### Referenzen/References

- [1] J. Pfafferott, S. Herkel, F. Kagerer, D. Kalz, M. Sonntag: Kurzzeitmessungen zum thermischen Komfort im Sommer. BAUPHYSIK 35 (2013), Sonderheft „Messtechnik im Bauwesen“, Februar 2013

#### Autor



**Prof. Dr. Jens Pfafferott**  
 Institut für Energiesystemtechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung,  
 jens.pfafferott@hs-offenburg.de



Ganz großes Kino:  
 Wir bringen auch  
 kleine Unternehmen groß raus!

Mit Firmenvideos von **mps** erreichen Sie deutlich mehr Werbewirkung. Denn Videos steigern Image, Markenbekanntheit, Werbeerinnerung und Kaufbereitschaft

**mps**  
 Media Production Service GmbH & Co. KG  
 Zähringerstraße 6  
 77652 Offenburg  
 Telefon 0781 / 207-86

Videospots unserer Referenzkunden finden Sie auf  
[www.mps-mediaproduction.de](http://www.mps-mediaproduction.de)



# Moderne Auswertung in der Dünnschichtchromatographie

Prof. Dr. Bernd Spangenberg, Barbara Milz, B.Sc.

Wir präsentieren eine "High Performance Thin Layer Chromatography (HPTLC)"-Methode zur Analyse von Benzocain in Lutschpastillen. Wir verwenden dafür einen preiswerten 16-bit-Flachbettscanner als Messinstrument. Die Verwendung eines solchen Scanners macht quantitative Dünnschichtchromatographie auch solchen Labors zugänglich, die nicht über einen hochpreisigen DC-Scanner verfügen.

We present a HPTLC method for the quantification of benzocaine in lozenges using an inexpensive 16 bit flatbed scanner as measurement device. Such scanners will extent quantitative TLC to laboratories which have no access to (expensive) mono-wavelength TLC scanners.

## Einleitung

### Problemstellung

Die Weltwirtschaftskrise 2008 hat mit ihrer zeitweisen Verknappung von Acetonitril eindringlich gezeigt, dass man nicht nur auf eine einzige chromatographische Methode setzen sollte. Genau dies wird aber im Augenblick getan, denn Industrie und Forschung setzen mehrheitlich auf die High Performance Liquid Chromatography (HPLC) als die Trennmethode ihrer Wahl. Für viele Anwendungen in der Pharmazie, in der Umweltanalytik, der Lebensmittelanalytik, aber auch in der Inprozesskontrolle gibt es eine Alternative. Besteht die Aufgabe darin, nicht mehr als ca. 10 Substanzen zu trennen, reicht die Trennleistung der Dünnschichtchromatographie (DC) zur Analyse völlig aus. Dabei ist eine DC-Trennung meist preiswerter zu haben als ein HPLC-Chromatogramm [1]. Gespart werden insbesondere Zeit, Lösungsmittel (wie Acetonitril), aber auch Elektrizität.

### Dünnschichtchromatographie

Die Dünnschichtchromatographie entstand aus der Papierchromatographie und ist die älteste Trennmethode, die mit Fest-flüssig-Phasen arbeitet [1]. Diese altbekannte Methode wird gern als nicht mehr zeitrelevant eingeschätzt. Dabei ist die DC eine vollwertige analytische Trennmethode, die durch ihre einfache Handhabung besticht. Als stationäre Phase werden Glasplatten oder Aluminiumfolien benutzt, die mit den verschiedensten Materialien belegt sind. Als stationäre Phasen verwendet man Kieselgel, Aluminiumoxid, Cellulose, RP-2, RP-8, RP-18, Aminopropyl-, Cyanopropyl- oder Diolphasen wie auch Kationen- oder Anionenaustauscher. Ein Wechsel der stationären Phase ist damit denkbar einfach. Verwenden sollte man da sogenannte HPTLC-(High Performance Thin Layer Chromatography) Platten. Diese Platten

zeigen eine enge Korngrößenverteilung. Sehr gute Trennresultate werden auf Trennstrecken von wenigen Zentimetern erreicht.

Vor der Trennung werden Standards und Proben mit Mikrokapillaren strichförmig auf die Platten aufgetupft und mit wenigen Millilitern mobiler Phase aufgetrennt. Dazu benötigt man einen Glastrog, der eine 10 x 10-cm-Platte fassen kann.

In einer stehenden Kammer (Trogkammer) werden ca. 20 ml, in liegenden Kammern (Schmalkammern) nur etwa 2 ml mobile Phase zur Entwicklung der Platte benötigt. Nach der Trennung, die etwa 10 bis 20 Minuten dauert, wird das Lösungsmittel verdampft, und die Platte kann vermessen werden. Die DC ist damit die einzige chromatographische Methode, bei der nicht in der mobilen-, sondern in der stationären Phase gemessen wird.

Die Dünnschichtchromatographie ist eine offene Methode, denn die auf der Platte getrennten Zonen sind einfach zugänglich. Das Plattenmaterial ist inert, und weil die Zonen nach der Trocknung lösungsmittelfrei vorliegen, können auch biologische Detektionsverfahren eingesetzt werden. Hier haben sich Leuchtbakterien bewährt, die die Toxizität von Substanzen über Hemmhöfe direkt auf der Platte anzeigen [1]. Häufig werden die getrockneten Platten in chemische Reagenzlösungen getaucht oder mit diesen besprüht. Möchte man die Trennergebnisse quantifizieren, wird allerdings ein relativ teurer Ein- oder Mehrwellenscanner zur Auswertung im Fluoreszenz-, im UV- oder im vis-Bereich benötigt.

DC-Trennungen sind in Schule, Hochschule und Industrie weit verbreitet, werden aber häufig nur qualitativ aus-

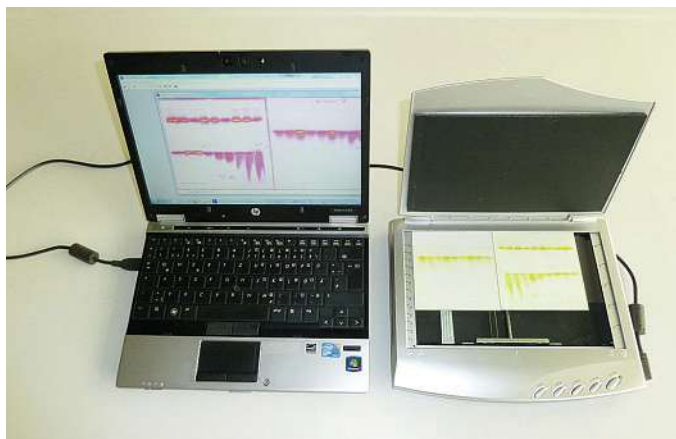
gewertet. Dazu wird bei farblosen Substanzen eine mehr oder weniger spezifische Färbereaktion auf der Plattenoberfläche durchgeführt, die eine farblose DC-Platte in ein farbiges Bild umwandelt. Es gibt mehrere hundert Färbereaktionen, die mit allen chemischen Substanzen, teilweise hochselektiv, Farbstoffe bilden [1 – 3].

Meist werden DC-Platten mit den eigenen Augen ausgewertet. Mit den heutigen Flachbettscannern bietet sich eine preiswerte und vor allem schnelle Alternative zur visuellen Auswertung an, die echte 16-bit-Chromatogramme erzeugt (Abbildung 1). Beide Geräte sind über einen USB-Anschluss miteinander verbunden. Eine separate Stromquelle für den Scanner ist nicht nötig [4].

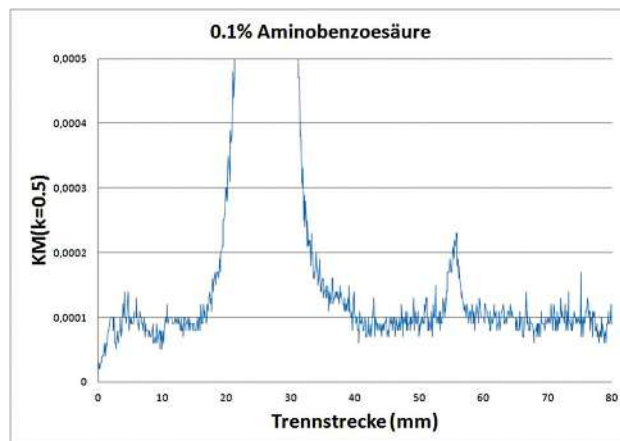
### Analytische Ergebnisse

Die Trennung von Benzocain (4-Ethylaminobenzoat) und seinem Abbauprodukt 4-Amino-benzoesäure erfolgt auf Cyanopropyl-Platten (Fa. Merck, Darmstadt) mit dem Laufmittel Wasser, Acetonitril, Dioxan, Ethanol, NH<sub>3</sub> (25%) (8+2+1+1+0.05, v/v). Die Laufzeit über 75 mm beträgt 15 Minuten. Nach der Trennung wird die Platte mit *Ehrlich's Reagenz* behandelt. Dazu löst man 500 mg 4-Dimethyl-amino-benzaldehyd in 50 mL Methyl-tert.-butylether (MTBE) und taucht die trockene Platte für 2 Sekunden. Es resultieren charakteristische gelbe Banden auf weißem Untergrund [4]. Ein Erwärmen der Platte kann entfallen.

Das Abscannen einer DC-Platte benötigt 40 Sekunden, dabei werden die farbigen Zonen der DC-Platte direkt in 16-bit-Bilder umgewandelt (Abbildung 2). Die von der Plattenoberfläche reflektierten Lichtintensitäten stehen so als 16-bit-Zahlenwerte zur Verfügung. Ausgewertet wird hier der Blaukanal.



**Abb. 1:** Kombination eines 64-bit-Rechners mit einem Flachbettscanner



**Abb. 2:** Trennung von Benzocain (großes Signal) und 4-Aminobenzoesäure (Signal bei 55 mm Trennstrecke)

Die Dünnschichtchromatographie arbeitet hochgradig parallel. Auf einer 10 x 10-cm-Platte können bis zu neun Bahnen gleichzeitig entwickelt werden, wenn mit ca. 7 mm breiten Auftragungen gearbeitet wird. Zur Auftragung wird eine gefüllte Glaskapillare mehrfach kurz auf die Platte aufgesetzt, um mit vielen kleinen Punkten die strichförmigen Startlinien zu formen.

Die Darstellung der Bahn 5 als Chromatogramm (siehe Abbildung 2) erfolgte mit der Software ImageTLC® [4]. Eine Kalibration beider Substanzen zeigt Linearität im Bereich von 5 bis 1500 ng pro Auftragung.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Die Kombination aus Computer und Flachbettscanner kann in der Pharmazeutischen Analytik als präzises Remissionsspektrometer für den vis-Bereich verwendet werden. Sie bietet sich insbesondere in der Inprozesskontrolle zur Überwachung von Verunreinigungen an, da sich hier die Anschaffung eines teuren DC-Scanners meist nicht lohnt.

Ein Netzanschluss ist zum Betrieb nicht nötig, und damit kann die Kombination aus Rechner und Flachbettscanner weltweit „vor Ort“ zur schnellen Analyse genutzt werden.

#### Literatur

- [1] B. Spangenberg, C. Pool, Ch. Weins: Quantitative Thin-Layer Chromatography. A practical survey, Springer 2011
- [2] H. Jork, W. Funk, W. Fischer, H. Wimmer: Thin Layer Chromatography, Volume 1a, Physical and chemical detection methods, Volume 1b, Reagents and detection methods. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1990, 1994
- [3] Dyeing Reagents for Thin Layer and Paper Chromatography, Merck-Company. [http://www.cob.uha.fr/site%20cot/toolbox.php\\_files/TLC%20bible.pdf](http://www.cob.uha.fr/site%20cot/toolbox.php_files/TLC%20bible.pdf)
- [4] B. Milz, B. Spangenberg: A Validated Quantification of Benzocaine in Lozenges Using TLC and a Flat-bed Scanner, Chromatographia DOI 10.1007/s10337-013-2436-4

#### Autoren



**Barbara Milz, B.Sc.**  
Labor Umwelt- und Bioanalytik  
Verfahrenstechnik,  
[barbara.milz@hs-offenburg.de](mailto:barbara.milz@hs-offenburg.de)



**Prof. Dr. Bernd Spangenberg**  
Chemiker  
Lehrgebiete: Verfahrenstechnik,  
Organische Chemie, chemische Analytik,  
Abfall- und Recyclingtechnik,  
[spangenberg@hs-offenburg.de](mailto:spangenberg@hs-offenburg.de)

# Mikrostrukturbasierte Modellierung von lamellarem Gusseisen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, Mario Metzger, M.Sc.

Damit Ingenieure bewerten können, ob ein Bauteil die vorgesehene Lebensdauer erreicht, benötigen sie Informationen zu Werkstoffeigenschaften. Bei Bauteilen aus lamellarem Gusseisen variieren die Werkstoffeigenschaften, weil sich unterschiedliche Mikrostrukturen durch unterschiedliche Abkühlbedingungen beim Abgießen des Bauteils einstellen. Zur Erhöhung der Lebensdauer von Bauteilen ist daher die Kenntnis des Zusammenhangs von Mikrostruktur und Eigenschaften wichtig.

Engineers rely on material properties in order to assess the lifetime of a component. The material properties of cast iron, however, strongly depend on the microstructure of the material. Due to different cooling conditions during casting of cast iron components, the microstructure varies within a component even if the same cast iron material is used. To increase the quality and lifetime of the cast components the knowledge of the correlation of the microstructure and the resulting material properties is an important aspect which is addressed in the project "Microstructure based modeling of cyclic plasticity of cast iron with lamellar graphite inclusions".

## Einleitung

Viele Bauteile im Fahrzeug- und Motorenbau werden aus Eisengusswerkstoffen hergestellt, wie beispielsweise Bremscheiben und Zylinderköpfe. Bei der Auslegung derart hoch beanspruchter Bauteile sind Ingenieure auf Werkstoffkennwerte angewiesen, die die elastischen und plastischen Eigenschaften eines Werkstoffs beschreiben (z. B. Elastizitätsmodul und Streckgrenze). Mithilfe der Werkstoffkennwerte können die Ingenieure eine Aussage treffen, ob das Bauteil aus dem eingesetzten Werkstoff die vorgesehene Lebensdauer erreichen wird oder ob mit einem frühzeitigen Ausfall des Bauteils gerechnet werden muss [1 – 3].

Im Bauteil können die Werkstoffeigenschaften und damit die Werkstoffkennwerte jedoch stark variieren. Grund dafür ist, dass Werkstoffe zwar mit dem Auge betrachtet homogen aussehen, d. h., als ob sie eine gleichartige und gleichmäßige Struktur hätten. Bei einem Blick durch ein Mikroskop wird jedoch sichtbar, dass die Mikrostruktur des Werkstoffs eben nicht homogen ist, sondern dass der Werkstoff aus unterschiedlichen Phasen besteht. Eisengusswerkstoffe unterscheiden sich in ihrer Mikrostruktur durch die Form und die Menge der Graphitausscheidungen, die als Phasen im Werkstoff vorliegen. In Abbildung 1 ist die Mikrostruktur von Eisenguss mit lamellaren Graphitausscheidungen dargestellt.

Aufgrund von unterschiedlichen Abkühlbedingungen beim Abgießen des Bauteils können bei lamellaren Eisengussarten beispielsweise die Länge der Graphitlamellen und deren Verteilung von Ort zu Ort im Bauteil abweichen. Damit verbunden unterscheiden sich



Abb. 1: Lichtmikroskopische Aufnahme der Mikrostruktur von Gusseisen mit lamellaren Graphitausscheidungen (dunkel)

die Werkstoffeigenschaften im Bauteil, und es besteht heute eine Unsicherheit, da die Ingenieure keine Möglichkeit haben, die lokalen Eigenschaften bei der Auslegung der Bauteile zu berücksichtigen. Daher ist es das Ziel im von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt „Mikrostrukturbasierte Modellierung von Gusseisen mit lamellarer Graphitausbildung bei Wechselplastizität“ an der Hochschule Offenburg, ein grundlegendes Verständnis zum Zusammenhang zwischen der Mikrostruktur von lamellarem Gusseisen

mit seinen plastischen Werkstoffeigenschaften zu schaffen.

Hierzu werden Mikrostrukturen von unterschiedlichen industrierelevanten lamellaren Eisengussarten drei-dimensional (3D) im Computer rekonstruiert. Anhand der Rekonstruktionen werden dann die Werkstoffeigenschaften in Simulationen untersucht. In den Simulationsmodellen sind Einblicke in den Werkstoff möglich, die uns beim realen Werkstoff verborgen bleiben.



**Abb. 2:** 3D-Rekonstruktion der Mikrostruktur von verschiedenen Gusseisensorten mit lamellaren Graphitausscheidungen (grün):  
 a) Eisenguss EN-GJL350; b) Eisenguss EN-GJL250; c) Eisenguss EN-GJL150

### 3D-Rekonstruktion von Mikrostrukturen

Als Basis für die 3D-Rekonstruktion der Mikrostruktur von lamellaren Eisengussarten dienen lichtmikroskopische Aufnahmen des Werkstoffs. Für jede Aufnahme wird an einer Werkstoffprobe ein kleines Volumen des Werkstoffs durch Schleifen und Polieren abgetragen und die polierte Oberfläche über ein Lichtmikroskop fotografiert. Durch wiederholtes Abtragen und Fotografieren ergibt sich eine schichtweise zweidimensionale (2D) Darstellung der Mikrostruktur, aus der die 3D-Rekonstruktion erfolgt. Diese Vorgehensweise wird als serielle Sektionierung bezeichnet [4]. Für die 3D-Rekonstruktion der Mikrostruktur der lamellaren Eisengussarten aus den 2D-Bildern wurde eigens ein Algorithmus entwickelt. 3D-rekonstruierte Mikrostrukturen von drei unterschiedlichen Gusseisenwerkstoffen mit lamellarer Graphitausbildung sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Größe der rekonstruierten Zellen beträgt  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  mm.

### Berechnung von Werkstoffeigenschaften

Wenn Werkstoffeigenschaften aus Berechnungen mit rekonstruierten realen Mikrostrukturen abgeschätzt werden sollen, ist es wünschenswert, dass die betrachtete Zelle repräsentativ für die Mikrostruktur ist. Daher spricht man dabei auch von repräsentativen Einheitszellen (RVEs).

Damit Berechnungen mit den 3D-rekonstruierten RVEs möglich sind, werden

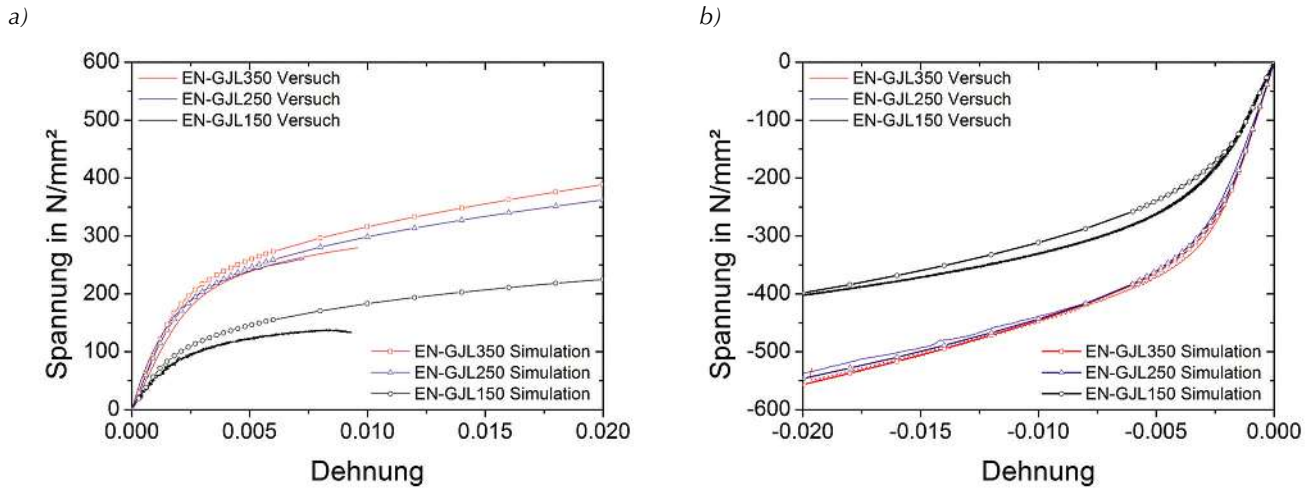
die Zellen zunächst in eine endliche (finite) Anzahl an kleinen Elementen unterteilt. Erst dadurch kann eine so komplexe Struktur überhaupt im Computer verarbeitet werden. Die sogenannten „Finite Elemente“ hängen alle miteinander zusammen. An den Verbindungspunkten, den Knoten, können dann Ergebnisse berechnet werden, die Aussagen zur Belastung des Werkstoffs, also den Spannungen und Dehnungen, an diesem Punkt erlauben. Hierzu müssen jedoch den Graphitausscheidungen wie auch der metallischen Matrix, die die Graphitausscheidungen umgibt, Werkstoffeigenschaften zugewiesen werden, damit der Computer das stark unterschiedliche Werkstoffverhalten beider Phasen berücksichtigen kann. Die metallische Matrix ist schließlich deutlich steifer und fester als die Graphitausscheidungen. Die jeweiligen Werkstoffkennwerte wie Elastizitätsmodul und Streckgrenze konnten aus der Literatur [5] entnommen werden oder wurden über Härtemessungen bestimmt.

Zur Bestimmung der Werkstoffeigenschaften der unterschiedlichen Gusseisensorten werden die in Finite-Elemente unterteilten Zellen nun der 3D-rekonstruierten Mikrostruktur gezogen und gerückt, ähnlich wie der Werkstoff auch in einem Bauteil beansprucht wird. Somit kann der werkstoffabhängige Zusammenhang zwischen der Werkstoffbeanspruchung (Spannung) und der Werkstoffverformung (Dehnung) untersucht werden. Werden die Zellen der unterschiedlichen Gusseisensorten in der Computersimulation einem Zugver-

such bzw. einem Druckversuch unterzogen, ergeben sich die in Abbildung 3 dargestellten Spannungs-Dehnungskurven. In dieser Abbildung sind ebenfalls die in Versuchen ermittelten Spannungs-Dehnungskurven der Gusseisensorten dargestellt. Die mit den mikrostrukturbasierten Modellen bestimmten Kurven stimmen gut mit den experimentellen Kurven überein. Somit steht ein Simulationsmodell zur Verfügung, um einen tieferen Einblick in den Zusammenhang zwischen der Mikrostruktur von Gusseisen und dessen Werkstoffeigenschaften zu gewinnen. Die Erkenntnisse daraus können von Ingenieuren zur genaueren Auslegung von Bauteilen genutzt werden.

### Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde die Mikrostruktur von unterschiedlichen Eisengussarten mit lamellarer Graphitausbildung dreidimensional rekonstruiert. Mit den resultierenden repräsentativen Einheitszellen wurden Spannungs-Dehnungskurven berechnet, die sehr gut mit experimentellen Kurven übereinstimmen. In weiteren Arbeiten sollen nun mathematische Modelle entwickelt werden, die in der Lage sind, die experimentell ermittelten und die über Simulation vorhergesagten Werkstoffeigenschaften der untersuchten Werkstoffe zu beschreiben. Als Eingangsparameter solcher mathematischer Funktionen werden dann beispielsweise die Form und das Volumen der Graphitphase dienen, sodass Ingenieure die lokal unterschiedlichen Eigenschaften bei der Bauteilauslegung einfließen lassen können.



**Abb. 3:** Auf Basis der 3D-rekonstruierten Mikrostrukturen in Computersimulationen berechnete Spannungs-Dehnungskurven der unterschiedlichen Eisengusswerkstoffe und experimentell ermittelte Spannungs-Dehnungskurven: a) Zugversuch; b) Druckversuch

**Dank**

Wir danken der DFG für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts.

**Referenzen/References**

[1] T. Seifert, H. Riedel, Mechanism-based thermomechanical fatigue life prediction of cast iron. Part I: Models, International Journal of Fatigue 32, 2010, 1358 – 1367

[2] T. Seifert, G. Maier, A. Uihlein, K.-H. Lang, H. Riedel, Mechanism-based thermomechanical fatigue life prediction of cast iron. Part II: Comparison of model predictions with experiments, International Journal of Fatigue 32, 2010, 1368 – 1377

[3] M. Metzger, T. Seifert, M. Knappe, Models for Lifetime Estimation of Cast Iron Components, MTZ worldwide 10/2011, 70 – 78

[4] N. Chawla, V.V. Ganesh, B. Wunsch, Three-dimensional (3D) microstructure visualization and finite element modelling of the mechanical behaviour of SiC particle reinforced aluminum composites, Scripta Materialia 35 (2004), 161 – 165

[5] International Atomic Energy Agency, International Working Group On High Temperatures Reactors, Specialists Meeting on Mechanical Behaviour of graphite for HTRs, Gif-sur-Yvette, France (1979)

**Autoren**



**Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert**  
 Fakultät für Maschinenbau  
 und Verfahrenstechnik,  
 Lehrgebiete: Werkstofftechnik, Mechanik,  
 Finite Elemente-Methode, Schadenskunde  
 thomas.seifert@hs-offenburg.de



**Mario Metzger, M.Sc.**  
 Akademischer Mitarbeiter  
 Fakultät für Maschinenbau  
 und Verfahrenstechnik  
 mario.metzger@hs-offenburg.de

# Referenzrotationskörper für energieeffiziente Umströmung

Michael Quarti, M.Sc., Andreas Gottlieb, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Bühler und Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kachel

Im Rahmen von Forschungsarbeiten werden lokale Optimalitätskriterien zur Steigerung der Energieeffizienz von umströmten Körpern als auch von Problemen mit geführten Strömungen entwickelt. Hierfür werden Referenzkörper für verschiedene Reynoldszahlen benötigt, um die Güte neuer Kriterien bewerten zu können. Diese Referenzkörper werden mit einer Parameteroptimierung für verschiedene Reynoldszahlen ermittelt.

Topology optimization is used to optimize flow problems. Within the context of research, optimization criteria are developed to increase the energy efficiency. In order to evaluate the criteria in respect to energy efficiency, reference bodies for different Reynolds numbers are needed. For turbulent flow around bodies no exact solution is known. Accordingly, reference bodies are calculated by CFD simulations at three technical relevant Reynolds numbers by the use of parameter optimization. To get the optimal body, a parameter optimization based on a „brute force“ algorithm is used to optimize the body. The result is an optimal parameter constellation, depending on the Reynolds number.

## Einleitung

Im Rahmen von Forschungsarbeiten werden lokale Optimalitätskriterien zur Steigerung der Energieeffizienz von umströmten Körpern als auch von Problemen mit geführten Strömungen entwickelt [1] [2] [3] [4] [5]. Ein heute verwendetes Kriterium basiert auf der Vermeidung von Rückströmung. Die Entwicklung dieses Verfahrens geht auf die Daimler AG zurück und ist in der kommerziellen Software TOSCA Fluid verfügbar. Anwendungen für diese Software wurden von Bühler et al. [1] und Gottlieb et al. [2] bereits gezeigt. Bei der Verwendung einer Scheibe für die Optimierung ergeben sich bei diesem Kriterium im hinteren Bereich gute Ergebnisse. Im vorderen Bereich der Scheibe kann mit diesem Kriterium jedoch keine gute Topologie gefunden werden, da hier keine Rückströmung auftritt. Um auch im vorderen Bereich Optimierungen durchführen zu können, werden weitere Kriterien benötigt. Zur Entwicklung und Bewertung dieser Kriterien werden optimale Körper bei verschiedenen Reynoldszahlen benötigt. Für sehr kleine Reynoldszahlen im Bereich der schleichenden Strömung ( $Re \rightarrow 0$ ) sind je nach Randbedingungen verschiedene optimale Kör-

per bekannt. Bei der Vorgabe des konstanten Volumens ist dies der Körper nach Borout [6] oder bei vorgegebenem Durchmesser die Scheibe. Um auch im Bereich technisch relevanter Reynoldszahlen von 32.000 bis 100.000 Referenzkörper zu bestimmen, wird eine Parameterstudie durchgeführt.

## Parametermodell, CFD-model und Optimierung

Der Querschnitt des Körpers wird durch zwei unabhängige Splines beschrieben, der erste Spline definiert den vorderen Teil des Körpers bis zum dicksten Querschnitt und der zweite den hinteren Teil ab dem dicksten Querschnitt. In ersten Voruntersuchungen wird die optimale Anzahl an Parametern für die Optimierung ermittelt. Hierbei werden die Parameter von 24 (2 für die Länge, ein parametrisierter Teilkreis, je 5 parametrisierte Punkte im vorderen und hinteren Bereich) auf 10 (2 Längenparameter, 3 Punkte im vorderen Bereich und 2 Punkte mit festen  $\gamma$ -Parametern im hinteren Bereich) reduziert. Mit diesen Parametern ist es möglich, alle für die Aufgabenstellung relevanten Körper darzustellen. Einige Beispiele sind in Abbildung 1 dargestellt.

Zur Berechnung des  $c_w$ -Werts wird der kommerzielle CFD-Löser STAR-CCM+ verwendet. Im Model wird ein  $k-\epsilon$ -Turbulenzmodel verwendet und als Randbedingungen entlang des Körpers mit einem „Two-Layer All  $\gamma+$  Wall Treatment“ gearbeitet. Um die Randschichten am Körper möglichst gut auflösen zu können, werden hier 21 Prisma-Schichten verwendet.

Zur Optimierung des Körpers wird ein „brute force“-Algorithmus eingesetzt. Der Parameterbereich, in dem die einzelnen Parameter variieren werden, liegt anfangs im Bereich von 0 bis 1 und wird mit zunehmender Datenbasis immer weiter eingeschränkt, um die benötigte Rechendauer zu verkürzen.

## Ergebnisse und Ausblick

In Abbildung 2 sind die drei für die verschiedenen Reynoldszahlen ( $Re = 1.000, 32.000, 100.000$ ) ermittelten Körper dargestellt. Der Druckverlust kann im Vergleich zur Scheibe auf 28 % des Druckverlusts der Scheibe bei  $Re=1.000$ , auf 9 % bei  $Re = 32.000$  und 6 % bei  $Re = 100.000$  reduziert werden (siehe Abb. 3+4). Experimentelle Ergebnisse für Luftschiffkörper wurden bereits

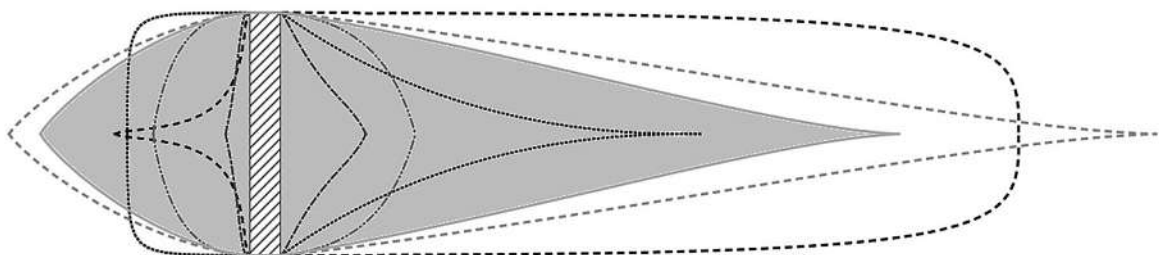


Abb. 1: Beispiele möglicher Querschnitte der Rotationskörper, ein Fall ist schattiert



1911 in der „Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt“ von Fuhrmann [8] beschrieben.

Ein Vergleich der Widerstandsbeiwerte der Referenzkörper von Abbildung 3 mit den experimentell untersuchten ähnlichen Luftschiffkörpern zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Die numerischen Resultate bestätigen damit die Experimente und die erzielten Ergebnisse von Fuhrmann [8].

Die in dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse können zur Entwicklung weiterer lokaler Optimalitätskriterien verwendet werden. Die so gewonnenen Geometrien können als Vergleichsgeometrien zur Validierung der Ergebnisse neuer Optimalitätskriterien eingesetzt werden.

### Referenzen/References

- [1] K. Bühler, G. Kachel, A. Gottlieb, Forschungsbericht der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien, Offenburg 2010, pp. 75 – 77 (2011)
- [2] A. Gottlieb, A. Strobel, M. Stephan, Anwendung der Topologieoptimierung für strömungsführende Bauteile im Fahrzeugentwicklungsprozess, in: SIMVEC Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau 2010 (VDI-Verl, Baden-Baden, 2010), pp. 569 – 584

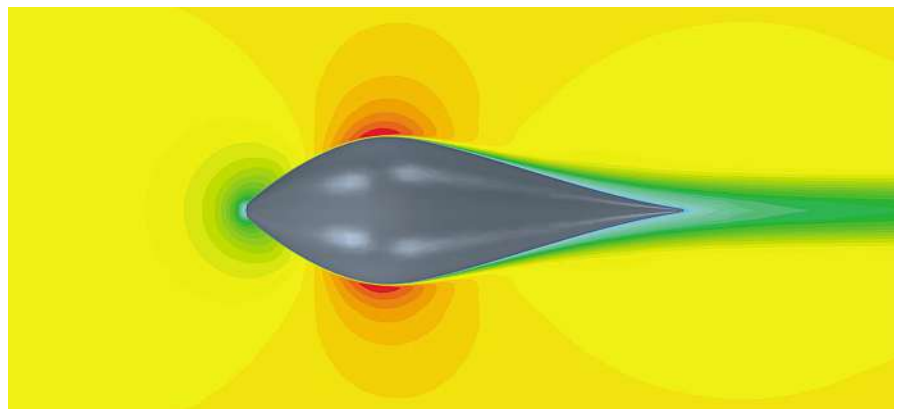
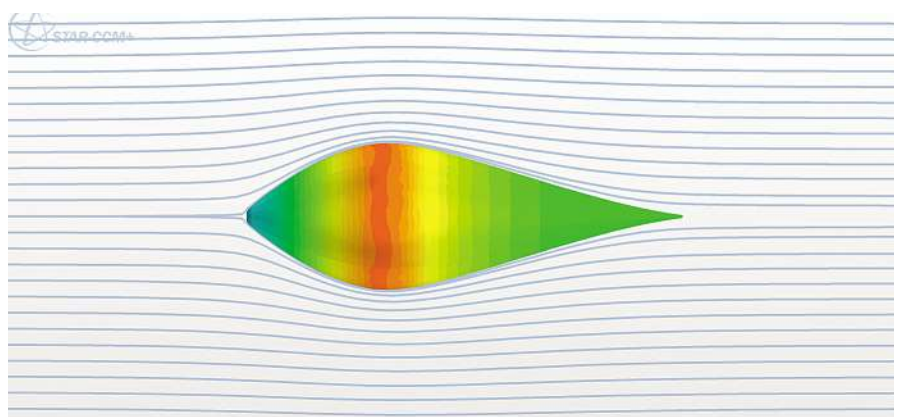
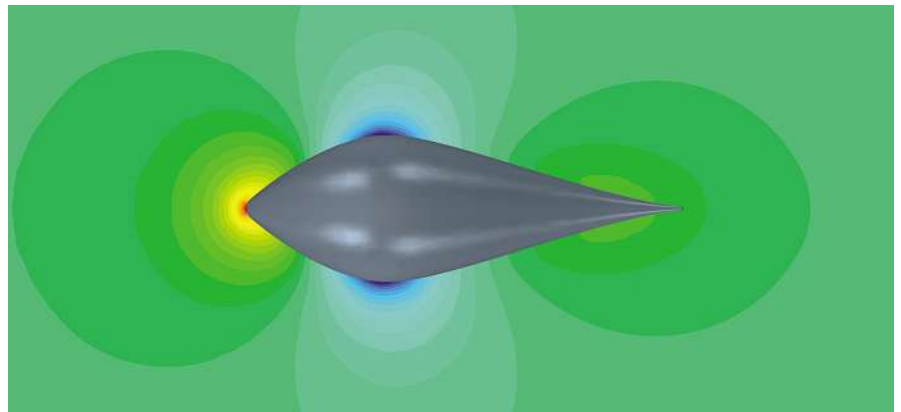


Abb. 2: Querschnitte der drei Referenzkörper bei der Reynoldszahl 1.000 (oben), 32.000 (mitte), 100.000 (unten)

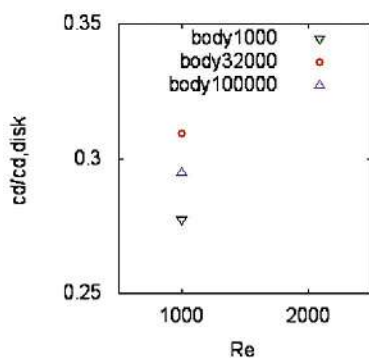


Abb. 3: Widerstand der Referenzkörper im Verhältnis zum Widerstand der Scheibe über der Reynoldszahl ( $Re = 1.000$ )

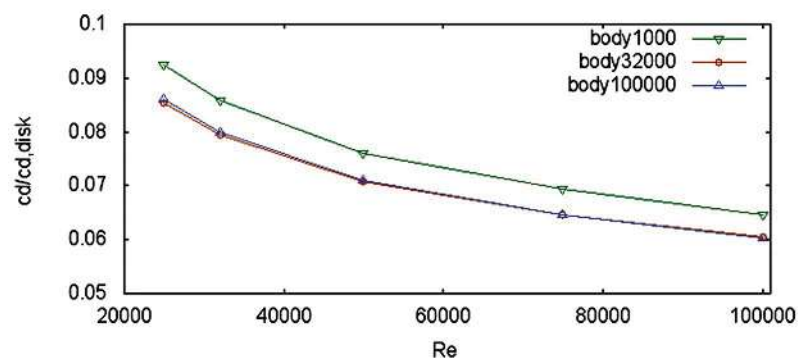


Abb. 4: Widerstand der Referenzkörper im Verhältnis zum Widerstand der Scheibe über der Reynoldszahl ( $Re = 25.000 \dots 100.000$ )

- [3] C. Hinterberger, M. Olesen, Automatic Geometry Optimization of Exhaust Systems Based on Sensitivities Computed by a Continuous Adjoint CFD Method in OpenFOAM, in: General Emissions (SAE International, Warrendale and PA, 2010)
- [4] F. Klimetzek, J. Paterson, O. Moos, AutoDuct: Topology Optimization for Fluid Flow, in: 1. Konferenz für Angewandte Optimierung in der virtuellen Produktentwicklung (FE-Design GmbH, Karlsruhe, 2006)
- [5] C. Othmer, T. Kaminski, R. Giering, Computation of topological sensitivities in fluid dynamics: Cost function versatility, in: European Conference on Computational Fluid Dynamics, (TU Delft, Delft, 2006), pp. 1 – 12
- [6] J. M. Bourot, On the numerical computation of the optimum profile in Stokes flow, in: Journal of Fluid Mechanics, (1974), pp. 513 – 515
- [7] FE-DESIGN GmbH, TOSCA Fluid (FE-DESIGN GmbH, Karlsruhe, 2011)
- [8] G. Fuhrmann, Widerstands- und Druckmessung an Ballonmodellen, in: Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt (Verlag von R. Oldenburg, München und Berlin, 1911), pp. 165 – 166

**Autoren**



**Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Bühler**  
 Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik (M + V)  
 EUdaF+ FoEn, Technische Strömungslehre –  
 Technische Thermodynamik – Mathematik  
 k.buehler@hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kachel**  
 Prodekan M + V  
 Fakultät Maschinenbau und  
 Verfahrenstechnik  
 Lehrgebiete: EUdaF+ FoEn, Technische  
 Mechanik – Finite-Elemente-Methode –  
 Maschinen-elemente/Konstruktionslehre  
 gerhard.kachel@hs-offenburg.de



**Michael Quarti, M.Sc.**  
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fakultät Ma-  
 schinenbau und Verfahrenstechnik (M + V)  
 EUdaF



**Andreas Gottlieb, M.Sc.**  
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
 Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik EUdaF



[www.bau-cooperation.com](http://www.bau-cooperation.com)  
**Gewerbe und Industriebau**  
**Wir schaffen**  
**für Innovationen.**

**Neubau / Umbau /  
 Modernisierung**

- schlüsselfertig
- zuverlässig und preisgünstig



Bau-Cooperation  
 Beraten und Bauen GmbH  
 Badstraße 24a, 77652 Offenburg  
 (Im STZ bei der Hochschule)  
 Telefon 0781 / 91 91 860  
 Telefax 0781 / 91 91 870

[info@bau-cooperation.com](mailto:info@bau-cooperation.com)



**Wir machen Ihnen Platz.**

# Wasserstoffspeicherung durch Sorption an porösen Koordinationspolymeren (MOF)

Dr. Jens Möllmer, Dr. Andreas Möller und Prof. Dr. Reiner Staudt

Wasserstoff gilt als einer der vielversprechenden Energieträger in der Öl- und Gasnachfolge, da er völlig schadstofffrei verbrennt und einen potenziell hohen Energiegehalt pro Masse hat. Problematisch für den Aufbau von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen ist die Speicherung des Treibstoffs, da Wasserstoff als Gas extrem flüchtig ist. Die hier durchgeführten Untersuchungen sollen das Potenzial von neuen porösen Koordinationspolymeren als Speichermedium für Wasserstoff aufzeigen.

Hydrogen is one of the most promising energy sources following to oil and natural gas. Hydrogen has high energy content per mass and is pollutant free. Problems for using Hydrogen in cars are the Hydrogen storage and the fugacity. In this project, different Metal organic Frameworks (MOFs) are investigated to determine their potential for Hydrogen storage.

## Einleitung

Wasserstoff gilt als einer der vielversprechenden Energieträger in der Öl- und Gasnachfolge, da er völlig schadstofffrei verbrennt und einen potenziell hohen Energiegehalt pro Masse hat.<sup>[1,2]</sup> Problematisch für den Aufbau von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen ist die Speicherung des Treibstoffs, da Wasserstoff als Gas extrem flüchtig ist und nur eine sehr geringe Dichte hat. Prinzipiell müssen jedoch bestimmte Eigenschaften für die Speicherung in mobilen Anwendungen erfüllt werden (Bsp. Wasserstofftank in Automobilen):

- Hohe Energiespeicherdichte
- Energieeffiziente Speicherung
- Resistenz gegen mechanische Schläge und Erschütterungen
- Mehrmalige Verwendung des Speichermediums
- Gute Regenerierbarkeit
- Beständigkeit des Speichermediums gegen Druck- und Temperaturschwankungen.<sup>[3]</sup>

Den derzeitigen Zielvorgaben des US-Ministeriums für Energie (DOE) liegt das Konzept zugrunde, dass Fahrzeuge auf dem heutigen Stand der Technik einmal durch effiziente Brennstoffzellen angetrieben werden. Da Wasserstoff fast die dreifache gewichtsbezogene Energiedichte wie Benzin hat und Brennstoffzellen den Erwartungen zufolge mindestens doppelt so effizient wie Verbrennungsmotoren arbeiten, müssten nur 5 bis 10 kg gespeichert werden (für Personenwagen: 4 kg oder weniger). Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass

die Dichte von elementarem Wasserstoff im flüssigen Zustand bei 20 K (1 atm) nur  $70,8 \text{ kg m}^{-3}$  beträgt und 5 kg Wasserstoff bei Umgebungsbedingungen ein Volumen von  $56 \text{ m}^3$  einnehmen. Die Vorgaben für 2010 an die Energiedichte eines Wasserstoffspeichersystems (einschließlich Behälter und notwendiger Komponenten) betragen 6,0 Gew.-% und  $45 \text{ kg m}^{-3}$  ( $\text{H}_2$ ). Die Ziele für 2015 liegen bei 9 Gew.-% und  $81 \text{ kg m}^{-3}$  ( $\text{H}_2$ ), die den Erwartungen der Automobilindustrie nahekommt.

Die am weitesten entwickelten Verfahren verwenden stark komprimiertes Wasserstoffgas oder kryogen gespeicherten flüssigen Wasserstoff, der aus technischer Sicht die Vorgaben der DOE 2010 erfüllen. Man geht jedoch davon aus, dass diese Methoden den zukünftigen Vorgaben nicht mehr genügen werden.<sup>[4]</sup> Des Weiteren haben beide Verfahren schwerwiegende Nachteile, wie z. B. das große Volumen, das gasförmiger Wasserstoff bei Raumtemperatur einnimmt bzw. der hohe Druck (750 bar) bei dem erstgenannten Verfahren oder die tiefen Temperaturen von 20 K, die zur Verflüssigung von Wasserstoff nötig sind.<sup>[1]</sup>

Eine Alternative hierzu ist die Physisorption von Wasserstoff an Oberflächen hochporöser Stoffe. Die größten Vorteile hierbei sind die schnelle Kinetik der Adsorption und Desorption gegenüber einer weiteren Alternative, der chemischen Speicherung sowie die vollständige Reversibilität des Prozesses. Es wird angestrebt, die Physisorption oberhalb von 20 K und bei moderaten Drücken zu realisieren, was ein Vorteil gegenüber der Verflüssigung bzw. der Komprimierung sein würde. Aufgrund der schwachen physisorptiven Wechsel-

wirkungen können hohe Speicherdichten jedoch erst bei tiefen Temperaturen ( $< 100 \text{ K}$ ) erreicht werden.<sup>[5]</sup> Eine weitere Herausforderung ist die Entwicklung neuer poröser Materialien mit starken Adsorptionswechselwirkungen, die bereits im Bereich kleiner Drucke große Mengen Wasserstoff aufnehmen und trotzdem über einen großen Hub im Adsorptions- und Desorptionszyklus verfügen.

## Experimenteller Teil

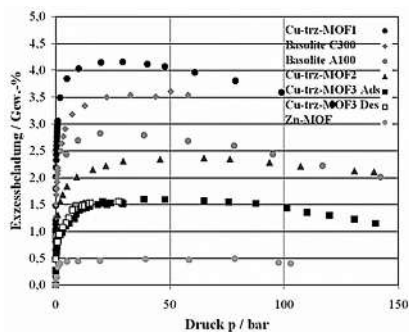
Die Wasserstoffreinstoffisothermen, die wurden bei 77 K sowie bei höheren Temperaturen mit einer Magnetschwebwaage (Rubotherm GmbH) gravimetrisch gemessen. Zur Kühlung wurde ein Dewar mit flüssigem Stickstoff verwendet. Abbildung 1 zeigt den Versuchsstand zur Messung von Reinstoffadsorptionsgleichgewichten im Tieftemperaturbereich. Für Messung bei höheren Temperaturen wurde ein Wasserthermostat verwendet.<sup>[6]</sup>

## Physisorptionsisothermen von Wasserstoff

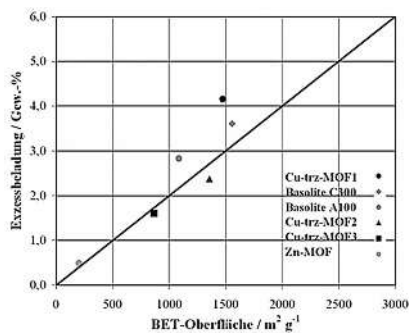
In Abbildung 2 ist ein Vergleich der Adsorptionsgleichgewichte von Wasserstoff für die verschiedenen Adsorbentien bei 77 K dargestellt. Daraus geht deutlich hervor, dass für alle porösen Koordinationspolymere ein Maximum der Gibbs-Exzessmenge im untersuchten Druckbereich auftritt. Eine Begründung hierfür sind die wirkenden Adsorptionskräfte, die eine Zunahme der Dichte nahe der Adsorbentoberfläche gegenüber der Gasphase bewirken. Am Maximum ist der Dichteunterschied zwischen Adsorbentphase und Adsorptiv am größten. Wird der Druck bzw. die Dichte weiter erhöht, kommt es zu einem wesentlich größeren Zuwachs an Molekülen im Adsorptiv gegenüber



**Abb. 1:** Versuchsstand zur Messung von Wasserstoffsorption bei 77 K (Foto: Rubotherm)



**Abb. 2:** Vergleich der Wasserstoffadsorption bei 77 K an verschiedenen MOFs (Daten für Basolite C300 entnommen Ref. [5,7])

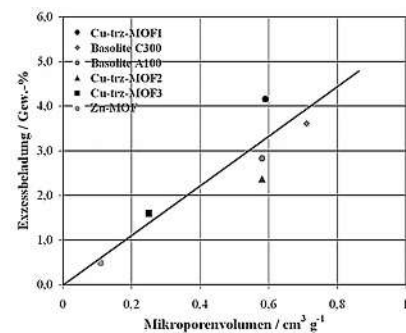


**Abb. 3:** Die Beladung als Funktion der BET-Oberfläche (rechts) und des Mikroporenvolumens bei 77 K am Beispiel der verwendeten MOFs

dem Adsorbat. Da der Exzess die Dichtedifferenz zwischen Adsorbatphase und Fluidphase, also die durch Adsorption zusätzlich an der Oberfläche befindlichen Moleküle im Adsorbat ist, nimmt die Beladung mit steigender Fluidichte ab. Die Lage des Maximums ist von den textuellen Eigenschaften des Adsorbens abhängig. Dabei treten die maximalen Aufnahmekapazitäten der hier untersuchten MOFs in einem Druckbereich von 20 bis 60 bar auf.

Die größte Aufnahmekapazität mit ca. 4,2 Gew.-% wurde für Cu-trz-MOF1 bei ca. 30 bar beobachtet. Trotz der größeren Oberfläche bzw. des größeren Porenvolumens erreicht HKUST-1 diese Beladung nicht. Mit etwa 3,5 Gew.-% am Maximum der Isotherme erreicht es jedoch größere Beladungen als Cu-trz-MOF2, Cu-trz-MOF3 und Zn-MOF. Das Zn-MOF wiederum liegt mit 0,5 Gew.-% maximaler Wasserstoffaufnahme im Vergleich am niedrigsten.

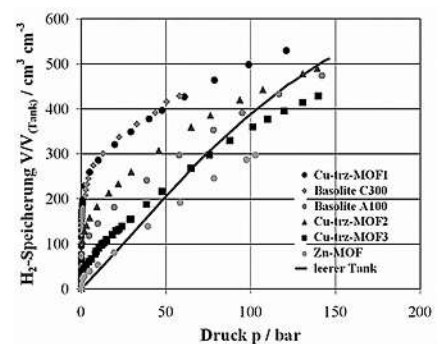
Prinzipiell gilt, je höher das Porenvolumen und die spezifische Oberfläche ist, desto größer ist die Beladung. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 3 die Speicherkapazitäten der verschiedenen Koordinationspolymere als Funktion der jeweiligen spezifischen inneren Oberflächen und des der jeweiligen spezifischen inneren Oberflächen und des Mikroporenvolumens dargestellt. Dies bedeutet, dass für die Einhaltung der Vorgaben der DOE Adsorbentien mit noch größeren Mikroporenvolumina benötigt werden.



### Speicherung von Wasserstoff

Um Aussagen über die Gesamtspeicherkapazität der Koordinationspolymere in einem Tankreservoir zu bestimmen, müssen die spezifischen Volumina bzw. die Schüttdichte des jeweiligen Koordinationspolymers bestimmt werden. Daraus lassen sich die spezifischen gespeicherten Massen berechnen. Und die gespeicherten spezifischen Volumina unter Normbedingungen ermitteln.

Betrachtet man nun die gespeicherten spezifischen Volumina von Wasserstoff unter Normbedingungen in einem Tank mit und ohne Adsorbens (siehe Abb. 4), so sind die Ergebnisse der Physisorption bis mindestens 25 bar deutlich besser als bei Komprimierung des Gases bei 77 K, d. h., bei einem gleich großen Tank wird durch Physisorption unter diesen Bedingungen mehr Wasserstoff gespeichert. Außer im Fall des Zn-MOFs ist der Benefit der untersuchten Koordinationspolymere durch Adsorption bis weit über 50 bar ersichtlich. Je größer der Druck wird, desto kleiner wird jedoch der Unterschied zwischen den beiden Speichermöglichkeiten, bis die Adsorption aufgrund des geringeren Volumens für die Gasphase geringere Speichermengen vorweist. Für weitere Untersuchungen ist somit lediglich der Druckbereich bis max. 75 – 120 bar interessant. Die größten spezifischen Speichervolumina bei 50 bar weisen Cu-trz-MOF3 und Basolite C300 auf. Beide liegen mit ca. 400 cm<sup>3</sup> wesentlich über den anderen untersuchten Koordinationspolymeren sowie über der Speicherkurve für Komprimierung.



**Abb. 4:** Vergleich der gespeicherten spezifischen Volumina (Normbedingungen) mit und ohne Adsorption bei 77 K

### Einfluss der Temperatur auf die Beladung

Vergleicht man die Beladung von Wasserstoff bei unterschiedlichen Temperaturen, so stellt man fest, dass je höher die Temperatur ist, desto niedriger ist die Beladung. In Abb. 5 sind sowohl für Basolite C300 als auch für Zn-MOF-Wasserstoffisothermen bei unterschiedlichen Temperaturen aufgezeigt. Zu erkennen ist, dass auch ein größerer Druckbereich zu keiner signifikanten Erhöhung der Beladung bei Temperaturen im Bereich von Raumtemperatur und höheren Temperaturen führt. Aufgrund der Physisorption von Wasserstoff in den porösen Kavitäten der Koordinationspolymere kann nicht von einem Vorteil für die adsorptive Speicherung von Wasserstoff bei Umgebungstemperatur ausgegangen werden. Vielmehr wird die physisorptive Speicherung von Wasserstoff nur bei niedrigen Temperaturen einen Vorteil gegenüber der im Moment praxisrelevanten Technik der Hochdruckspeicherung haben.

### Einfluss der Adsorptions- und Desorptionszyklen

Am Beispiel des Cu-trz-MOF1 wurde das Verhalten der Wasserstoff-beladung in Abhängigkeit mehrerer Be- und Entladungszyklen untersucht. Nach Aktivierung des Materials bei gleichen Bedingungen (zunächst bei Vakuum/298 K) konnten bei allen drei untersuchten Herstellungsladungen konstante Beladungen nach 3 Zyklen der Ad- und Desorption von Wasserstoff festgestellt werden. Jedoch variieren die Beladungen bei 1 bar und 77 K je nach Herstel-

lungsladungen stark und liegen im Bereich von 3 bis 3,5 Gew.-%. Bei drastischeren Aktivierungen von Vakuum/378 K nehmen die Beladungen minimal ab, bis nach einer Aktivierung von Vakuum/448 K ein Plateau von ca. 2,5 Gew.-% erreicht wird. Das poröse Koordinationspolymer Cu-trz-MOF1 verfügt über eine thermische Stabilität von bis zu 250 °C ohne eine Phasenumwandlung durchzuführen.<sup>[8]</sup> Bei diesen hohen Aktivierungstemperaturen ist es möglich, dass sich einzelne Bereiche des Netzwerks wie freie Cu-Zentren oder Bereiche der Carboxylatfunktionen an den Liganden durch die Anwesenheit von Wasserstoff verändern. Im Fall des Basolite C300 sind derartige Phänomene bereits bekannt. So konnte eine Reaktion von Wasserstoff mit den Carboxylatfunktionen des Liganden Trimessäure IR-spektroskopisch nachgewiesen werden.<sup>[11]</sup>

### Schlussfolgerung

Für die hier untersuchten Koordinationspolymere konnten die Vorgaben der DOE 2010 für die Wasserstoffspeicherung nicht erreicht werden. Jedoch wird es auch in Zukunft schwierig, diese Vorgaben durch Physisorption zu realisieren, da die maximale Aufnahmekapazität linear mit dem Mikroporenvolumen zusammenhängt und somit limitiert ist. Hierfür müssen poröse Materialien mit weitaus größeren Porenvolumina bei gleichzeitiger Erhöhung der Sorptionswechselwirkungen entwickelt werden. Ein weiterer Nachteil sind die für die physisorptive Speicherung von Wasserstoff notwendigen Temperaturen von

etwa 80 K, die eine Anwendung in der Automobilindustrie erschweren. Vergleicht man jedoch die spezifischen Volumina eines Tanks mit und ohne Adsorbens, so ist die Physisorption aufgrund der höheren Speichervolumina bis etwa 100 bar für die Wasserstoffspeicherung interessant.

Zusätzlich notwendige Aspekte für die Auswahl poröser Koordinationspolymere sind die Kenntnis über die Langzeitstabilität des Netzwerks unter Wasserstoffatmosphäre, die Kinetik der Ad- und Desorption sowie der Einfluss von Schadkomponenten bzw. Verunreinigungen im Wasserstoff auf die Struktur bzw. die Beladung. Da derartige Aspekte bisher kaum berücksichtigt wurden, sollten solche Untersuchungen in Zukunft im Fokus der Forschung stehen.

### Dank

DFG Schwerpunktprogramm 1362 "Porous metal-organic frameworks", STA 428/17-1 und 18-2.

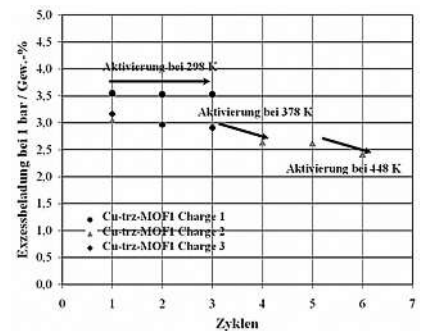
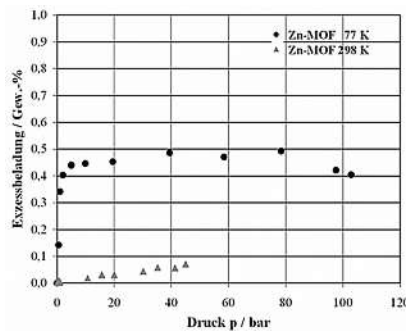
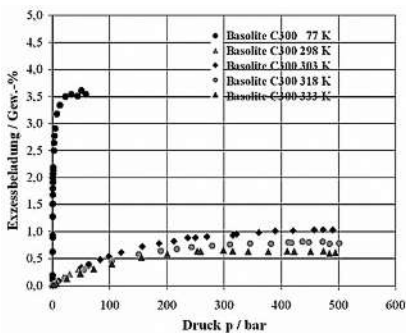


Abb. 5: Vergleich der Exzessbeladung von Wasserstoff an Basolite C300 (links) und Zn-MOF (rechts) bei verschiedenen Temperaturen

Abb. 6: Vergleich von Exzessbeladungen von Wasserstoff an verschiedenen Chargen von Cu-trz-MOF1 bei 77 K

## Referenzen/References

- [1] B. Panella, Dissertation: Hydrogen Storage by Physisorption on Porous Materials (2006)
- [2] F. Schüth, Nachrichten aus der Chemie 54 (2006), 24
- [3] <http://energie-und-umwelt.at/allgemeines/wasserstoff/worin-speichert-man-wasserstoff-373> (Zugriff am 12.12.2011)
- [4] J.L.C. Rowsell, O.M. Yaghi, Angew. Chem. 117 (2005), 4748
- [5] B. Panella, K. Hönes, U. Müller, N. Trukhan, M. Schubert, H. Pütter, M. Hirscher, Angew. Chem. 120 (2008), 2169
- [6] J. Möllmer, A. Möller, F. Dreisbach, R. Gläser, R. Staudt, Micropor. Mesopor. Mater. 138 (2011), 140
- [7] P. Krawiec, M. Kramer, M. Sabo, R. Kunschke, H. Fröde, S. Kaskel, Adv. Eng. Mater. 8 (2006), 293
- [8] D. Lässig, J. Lincke, J. Möllmer, C. Reichenbach, A. Möller, R. Gläser, G. Kalies, K.A. Cychosz, M. Thommes, R. Staudt, H. Krautscheid, Angew. Chem. 123 (2011), 10528 und Angew. Chem. Int. Ed. 50 (2011) 10344
- [9] A. Grzech, J. Yang, T.J. Dingemans, S. Srinivasan, P.C.M.M. Magusin, F.M. Mulder, J. Phys. Chem C 115 (2011), 21521

## Autoren



**Jens Möllmer**

Institut für Nichtklassische  
Chemie e.V. Leipzig  
moellmer@inc.uni-leipzig.de



**Andreas Möller**

Institut für Nichtklassische  
Chemie e.V. Leipzig  
moellmer@inc.uni-leipzig.de



**Reiner Staudt**

Fakultät Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik  
reiner.staudt@hs-offenburg.



Steuerung von  
Tunnelvortriebsmaschinen



Fahrdynamikmessungen  
(„Elch-Test“)



Diagnose von  
Schwindelerkrankungen



Prozess-Automatisierung

**Wir heißen Studenten für Praxissemester  
sowie Bachelor- und Masterthesis willkommen!**

**Students welcome!**

  
**GeneSys**  
Elektronik GmbH

Sensorik für Baumaschinen & Tunneling  
Neigungs-, Kreisel-, Laser-Messtechnik  
Industrielle Bildverarbeitung  
Automotive Testing Equipment

# Enzymatische Unterstützung der Hydrolyse zur Steigerung der Biogasproduktion

Dr.-Ing. Andreas Wilke, Anna Sandhaas, B.Sc.

Gegenstand des vorgestellten Forschungsprojekts ist die biologische Vorbehandlung von Biogassubstraten durch cellulolytische Enzyme. Hierdurch lassen sich polymere Gerüststrukturen in Pflanzen besser aufschließen. Dies macht sich in einer Erhöhung der Biogasbildungsrate bemerkbar. Zusätzlich kann hierdurch das Spektrum potenzieller Biogassubstrate erweitert werden, um der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu begegnen.

The subject of the presented research project is the biological pretreatment of biogas substrates by cellulolytic enzymes. This pretreatment method helps to destroy the polymeric matrix in plant materials. As consequences the biogas yield could be increased depending on the composition of the biogas substrate. Additionally the spectrum of the biogas substrates is expanded. Therefore the competition between biofuels and food will be avoided.

## Einleitung

Die biologische Verwertung von Cellulose-/hemicellulose- und lignocellulosereichen organischen Substraten zur Erzeugung von Energieträgern gewinnt zunehmend an Bedeutung. Im Gegensatz zu Biokraftstoffen der ersten Generation, wo nur ein kleiner Teil des pflanzlichen Materials eingesetzt worden ist (Öl, Zucker, Stärke), wird bei Biokraftstoffen der zweiten Generation fast die vollständige Pflanze einschließlich der schwer zugänglichen Cellulose verwendet. In Biogasanlagen führt diese Zielstellung jedoch häufig zu Problemen. Lignocellulosereiches Material ist für viele Mikroorganismen schwer oder gar nicht abbaubar.

Als Folge verlässt dieses organische Material zumeist ungenutzt die Biogasanlage. Nicht abgebaute Faserstoffe sind

somit ein fester Bestandteil des Gärrests. Dargestellt ist diese Problematik in Abbildung 1. Während leicht „verdaubare“ Biogassubstrate, wie Weizen, fast vollständig in der Praxis zu Biogas umgesetzt werden können, ist dies bei hochcellulosehaltigen Substraten wie Gras nur zu einem Bruchteil gegeben.

## Projektziel

Das Ziel des an der Hochschule Offenburg durchgeführten Forschungsprojekts besteht darin, die Biogasausbeute von vorliegenden Biogassubstraten durch den Einsatz cellulolytischer Enzyme zu erhöhen. Die zur Produktion der Enzyme notwendigen Pilze und/oder Bakterien werden inklusive der gebildeten Enzyme aus einem kontinuierlich betriebenen, aeroben Enzymproduktionsprozess dem Hauptbiogasfermenter zugeführt. Die Enzyme bewirken dort

eine verbesserte Hydrolyse der schwer abbaubaren Kohlenhydrate und lassen damit eine erhöhte Biogasbildung verbunden mit einer verbesserten Biogasbildungskinetik erwarten. Die Integration des zusätzlichen aeroben Prozessschritts ist in Abbildung 2 dargestellt.

Zur effizienten und wirtschaftlichen Herstellung der Enzyme sollen zwei Teilströme innerhalb der Biogasanlage genutzt werden. Die grundlegende mineralische Versorgung der Enzymproduzenten kann durch eine Beimischung von Gärresten gewährleistet werden. Diese enthalten ausreichend hohe Konzentrationen an Phosphat, Sulfat, Chlorid, Natrium, Kalium, Magnesium und Ammonium, um eine Versorgung der Enzymproduzenten zu gewährleisten (Eberhardt, 2007). Eine zusätzliche und kostenaufwendige Beimischung von essentiellen Nährstoffkomponenten entfällt.

Zusätzlich sollten dem Fermentationsmedium geeignete Kohlenstoffquellen zugemischt werden. Diese sollten aus einem leicht verstoffwechselbaren Kohlenhydrat (z. B. Stärke) bestehen und zusätzlich einen sogenannten Induktor (z. B. Cellulose) enthalten. Die leicht metabolisierbare Stärke dient dazu, ein schnelles Anwachsen der mikrobiellen Enzymproduzenten zu erreichen. Der Celluloseanteil als zweiter Kohlenhydratbestandteil sorgt anschließend dafür, dass die hydrolytischen Enzyme wie Cellulasen von den Enzymproduzenten überhaupt erst induziert und gebildet werden können. Hier können nachwachsende Rohstoffe, die der gesamten Biogasanlage als Substrat dienen, eingesetzt werden. Maissilage als Beispiel eines häufig eingesetzten Substrats erfüllt diese Bedingung, da es neben den

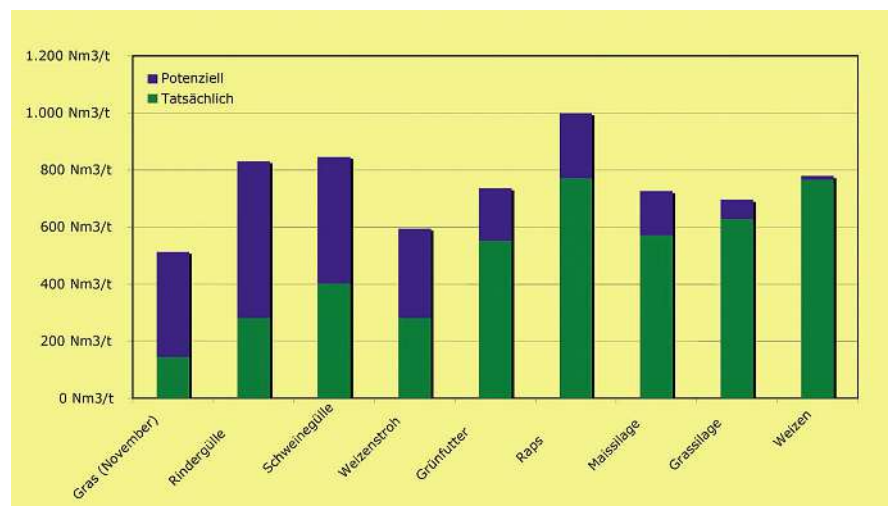


Abb. 1: Theoretisch erzielbare und tatsächliche Biogasausbeute von typischen Biogassubstraten mit unterschiedlichen Celluloseanteilen (Pelenc, et al. 2007)

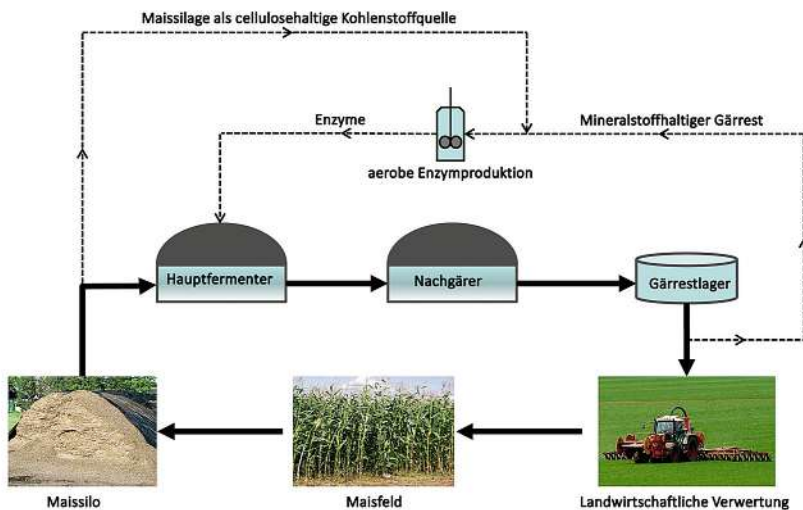


Abb. 2: Fließbild zur Integration der aeroben Enzymproduktion in eine Biogasanlage

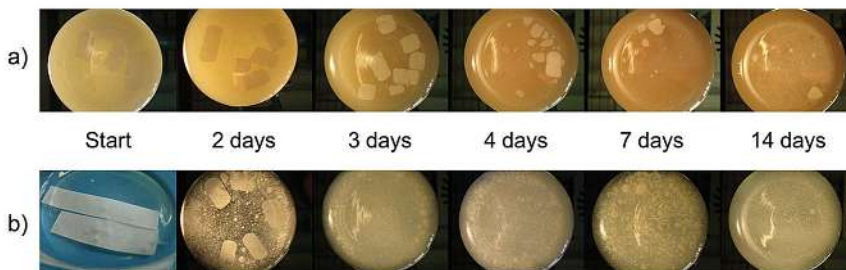


Abb. 3: Abbau von Cellulosestreifen im qualitativen Screening. In der oberen Reihe ist beispielhaft der zeitliche Verlauf des Abbaus durch ein Bakterium (*Thermobifida cellulolytica*) und in der unteren Reihe eines Pilzes (*Trichoderma reesei*) dargestellt (Krawczyk, 2013)

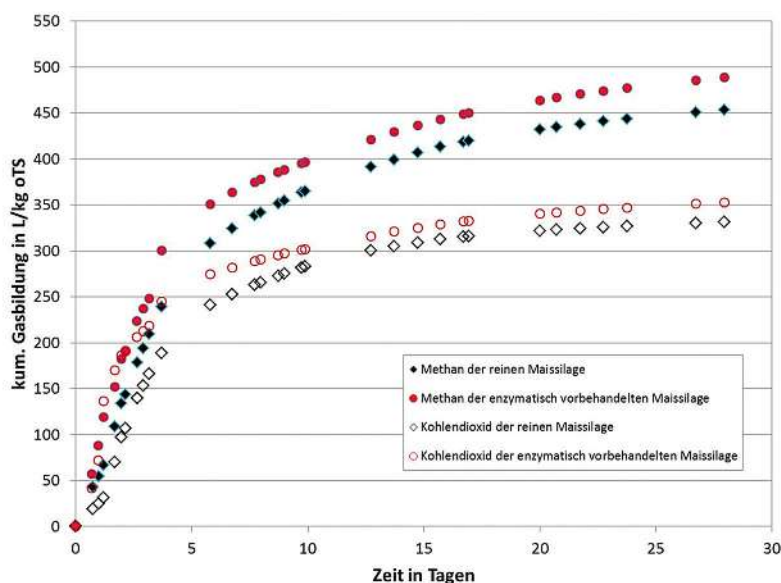


Abb. 4: Verlauf des kumulativen Methan- und Kohlendioxidverlaufs für die reine und enzymatisch vorbehandelte Maissilage (*Cellulasen* von *Trichoderma reesei*) (Krawczyk, 2013)

cellulolytischen Anteilen gleichfalls leicht verstoffwechselbare Kohlenhydrate wie Stärke in geeigneten Mengen enthält.

Die Vorteile der Integration einer aeroben Enzymproduktionsstufe in einer Biogasanlage sind vielschichtig und können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erhöhung der Biogausausbeute
- Verbesserung der Methanbildungskinetik
- Verstärkte Nutzung von hoch cellulosehaltigen Substraten (z. B. Grasschnitt) zur Methanproduktion in Biogasanlagen
- Nutzung des Gärrests als Kultivierungsmedium der Enzymproduzenten
- Verringerung des Gärrestvolumens
- Nutzung von Überschusswärme zur Fermentation
- Verbesserung der Pumpfähigkeit

Das durchzuführende Forschungsprojekt kann nur erfolgreich sein, wenn sich die Produkte der aeroben Fermentation durch eine hohe hydrolytische Enzymaktivität auszeichnen. Hierbei sind Enzyme wie Cellobiosidasen, Endo- und Exoglucanasen, Xylanasen und Galactosidasen verantwortlich. Aus diesem Grund ist ein mehrstufiges Screening, bei dem die potenziellen Enzymproduzenten ausfindig gemacht werden, fester Bestandteil des Projekts.

### Ergebnisse

Im qualitativen Screening wurden cellulolytisch aktive Bakterien und Pilze 14 Tage im Schüttelkolbenmaßstab kultiviert und auf ihre Fähigkeit hin untersucht, hydrolytische Enzyme zu bilden. Zu Versuchsbeginn werden den Kolben jeweils zwei Cellulosestreifen hinzugegeben. Werden die Streifen im Verlauf der Kultivierung schnell aufgelöst, ist dies ein Indiz, dass cellulolytische Enzyme von den Mikroorganismen gebildet worden sind (vgl. Abb. 3).

Im nächsten Schritt wird dann der Einfluss der aktivsten Enzymproduzenten (z. B. *Trichoderma reesei*) auf die Biogasbildung im hochschuleigenen Biogasbatchgärtestand unter Verwendung von Maissilage als Realsubstrat überprüft. Als Referenz wird reine Maissilage in einem Parallelansatz untersucht.



Während des Gärversuchs wird die Gesamtmenge Biogas, Methan und Kohlendioxid gemessen. In der Abbildung 4 ist der kumulative Methan- und Kohlendioxidverlauf der Biogasbildung mit reiner und enzymatisch vorbehandelter Maissilage dargestellt. Durch die enzymatische Hydrolyse des Substrats wurde ein Mehrertrag beider Gaskomponenten erwartet. Durch den höheren Gehalt an leichter verwertbarem Zucker im vorbehandelten Substrat, wurden die Biogasbakterien, die für die ersten biologischen Umsetzungen verantwortlich sind, begünstigt (hydrolytische, acidogene, acetogene Bakterien). Aus diesem Grund stieg in diesem Reaktor die Kohlendioxidkurve zu Beginn schneller an, als die mit reiner Maissilage, da dies eines der Hauptprodukte dieser Mikroorganismen ist. Die ebenfalls erhöhte Produktion von Acetat führt schließlich zu einer Steigerung der Methanproduktion. Acetat dient in einer Biogasanlage den Methanbakterien als Substrat zur Bildung des energiereichen Methans.

Aufgrund der enzymatischen Vorbehandlung konnte in Summe eine 8%ige Erhöhung der Methanausbeute bei der Verwendung von Maissilage als Biogassubstrat erzielt werden.

Erste Versuche mit anderen Biogassubstraten, die einen höheren Celluloseanteil beinhalten (z. B. Reste aus der Tabakproduktion), weisen darauf hin, dass die Biogasausbeute noch deutlicher stärker zu steigern ist, als die hier dargestellten Ergebnisse mit Maissilage zeigen.

### Dank

Dieses Projekt wird gefördert aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG und ist zusätzlich Bestandteil des Industry on Campus Projekts der Hochschule Offenburg.

### Referenzen

- [1] Eberhard W., Scheffknecht C.: „Biogasgülle – Nähr- und Schadstoffgehalte in Gärrückständen“. Bericht UI/VIe-7/2007, Inst. Für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg, Österreich (2007)
- [2] Pelenc V., Gerhardt M.: „Enzyme und Enzympräparate für den definierten Abbau von Biomassen“, Deutscher Bioraffinerie-Kongress 2007; Berlin; 12. – 13.09.2007
- [3] Krawczyk Ilona; „Screening of different Cellulase Producing Microorganisms to optimize the Biogas Yield“, Masterthesis an der Hochschule Offenburg, Februar 2013

### Autoren



**Dr.-Ing. Andreas Wilke**  
Fakultät Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik (M+V)  
andreas.wilke@hs-offenburg.de



**Anna Sandhaas, B.Sc.**  
Projektmitarbeiterin  
Fakultät Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik (M+V)  
anna.sandhaas@hs-offenburg.de



### Wir bauen die Zukunft ein.

Individuelle und flexible Raumkonzepte  
direkt vom Hersteller – alles aus einer Hand.

Praktika und Praxissemester im Bereich Betriebs-  
und Materialwirtschaft bei ARMBRUSTER in Oberkirch.  
Der Baustein für Ihre Zukunft.

Telefon +49 (0) 78 02 - 70 18 - 0  
info@armbruster-gmbh.de  
www.armbruster-gmbh.de

**ARMBRUSTER**  
Einrichtungs  
Systeme

# MINT-Erfolge für Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft

Prof. Dr. Thomas Breyer-Mayländer

**Dem Mangel an Fach- und Führungskräften muss man durch Maßnahmen auf Hochschul- und Unternehmensebene begegnen. Neue Kooperationsformen der Wirtschaft in den Bereichen Bildung, HR-Planung, Employer Branding, Hochschulkooperationen sind genauso erforderlich wie eine Organisationsentwicklung auf Hochschuleite mit qualitativer Entwicklung bei den MINT-Studiengängen und einer Professionalisierung der HR-Arbeit im Bildungssektor, und dies u.a. auch mit externer Beratung.**

The deficit of graduates of the so-called MINT disciplines (Mathematics, Information Sciences, Natural Sciences, and Technology, like STEM: science, technology, engineering and mathematics), is an essential problem for companies in the south-west of Germany. Therefore we need new varieties of cooperation between education, science and business in the section of training and education, HR-development and employer branding, organizational development for universities and new principles in teaching MINT. A requirement for increasing student numbers is also a gender-balanced situation in MINT-programmes. This requires new ideas and often support by external consultants.

## 1. Einleitung

Die Herausforderung dem Fach- und Führungskräfte-mangel in akademischen und nichtakademischen Berufen im technisch-naturwissenschaftlichen Bereich entgegenzuwirken, stellt Unternehmen und Hochschulen gleichermaßen vor neue Aufgaben. Basierend auf Begleitstudien, Drittmittel- und Beratungsprojekten stellt dieser Beitrag die wichtigsten Erfolgsfaktoren dar.

### 1.1 Ausgangslage/Erwartung

Der Fachkräftemonitor der IHK Baden-Württemberg weist für das Kammergebiet des Südlichen Oberrheins einen akuten Fachkräftemangel bei Ingenieuren des Maschinenbaus und der Elektrotechnik sowie von Informatikern aus. Nach einem Gleichgewicht im Jahr 2010 sind die Prognosen hier eindeutig, und auch bei den beruflich Qualifizierten im technischen Sektor zeichnet sich mittelfristig keine Entspannung ab [1]. Aus der Perspektive der Wirtschaft sind daher neue Wege zur Gewinnung von Mitarbeiter/-innen anzugehen. Ältere Arbeitnehmer/-innen werden in den Arbeitsprozess integriert, Mitarbeiter/-innen in der Elternpause werden verstärkt einbezogen, ausländische Interessenten werden angeworben.

### 1.2 Bildungspotenziale ausschöpfen

Da die drei erstgenannten Wege nur begrenzte Ressourcen beinhalten, gewinnt die Ausschöpfung von Bildungspotenzialen in der Region eine besondere Bedeutung. Dies bedeutet, dass mehr junge Menschen für Berufe und Berufsbilder im MINT-Bereich gewonnen werden müssen und auf dem Weg zum Berufsziel möglichst wenig „Verluste“ zu verzeichnen sind.

## 2. Handlungsfeld Bildung

Um Kinder und Jugendliche auf ihrem Weg zu einer sinnvollen und an ihren Talenten und Interessen orientierten Entwicklung und Berufswahl zu begleiten, bedarf es einer Ausweitung der traditionellen pädagogischen Angebote auf Themenfelder aus dem Segment der Naturwissenschaften und Technik. Dies sind Kompetenzen, die gerade im Kontext der Diskussion um nachhaltige Entwicklung in Technik, Wirtschaft und Gesellschaft auch eine breitere gesellschaftliche Anerkennung erfahren als dies in früheren Jahren der Fall war. Ein Beispielkonzept aus der Ortenau ist die BildungsRegion für Umwelt und Nachhaltigkeit Ortenau (BRUNO), das vonseiten der Hochschule Offenburg mit BRO, WRO, TPO, Staatlichem Schulamt Offenburg und dem Regierungspräsidium Freiburg als Leitrahmen für Einzelprojekte diskutiert wird.

Ziel ist die Förderung der Bildung und Ausbildung im MINT-Sektor unter Einbeziehung der unterschiedlichen Bildungsstufen im Rahmen des lebenslangen Lernens. D. h., von den frühkindlichen Angeboten und der Lernentwicklung im Kindergarten wird auf ein ausreichendes Angebot naturwissenschaftlich-technischer Themen geachtet, um die Entwicklung der talentierten Schülerinnen und Schüler für technisch orientierte Berufe und Studiengänge zu ermöglichen.

Die Überzeugungskraft und Begeisterungsfähigkeit der Fachlehrer/-innen sind in der Sekundarstufe auch davon abhängig, dass ausreichend viele talentierte Multiplikatoren zur Verfügung stehen. Der Personalauswahl und -entwicklung an Schulen kommt auch in

diesem Zusammenhang steigende Bedeutung zu.

## 3. Handlungsfeld Wissenschaft

Wie stellt nun die Hochschulwelt sicher, dass möglichst viele MINT-Talente erfolgreich eine Hochschullaufbahn durchlaufen können?

### 3.1 Übergang Schule–Hochschule

Durch gezieltes Übergangsmangement von der Schule zur Hochschule, das neben Informationen über MINT-Berufsfelder auch Unterstützung beim Einstieg in das Hochschulleben umfasst, werden die Voraussetzungen für erfolgreiche Studienanfänger verbessert.

### 3.2 Studienerfolg

Die Hochschule muss anschließend Bedingungen bieten, die einen Studienerfolg wahrscheinlich machen. D. h., didaktische organisatorische Unterstützung für den primären Studienerfolg (Erreichen des angestrebten Abschlusses), Beratung und Netzwerke für den Eintritt ins Berufsleben als Kernelemente des sekundären Studienerfolgs (erfolgreiche fachliche Berufskarriere).

### 3.3 Frauenförderung im MINT-Sektor

Die künftigen Erfolge in MINT-Berufen werden auch stark davon abhängen, ob es gelingt, ausreichend Frauen für die Berufsfelder, Ausbildungs- und Studiengänge zu interessieren. Neben Projekten, die eher als Kommunikationsplattform dienen, wie „Komm, mach MINT“, gibt es auch gezielte Projekte zur Verbesserung der Situation an den Hochschulen, wie das Projekt „Dialog MINT-Lehre. Mehr Frauen in MINT-Studiengänge“.



**Abb. 1:** BRUNO als Projektrahmen für MINT-Talentförderung. Quelle: Steinbeis-Beratungszentrum Leadership in Science and Education 2012

Beispielhafte Konzeptbausteine eines möglichen Beratungsansatzes des derzeit entstehenden Projekts zeigen, worauf es hier an den Hochschulen ankommt [2]. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Lerntypen im Rahmen des Diversity-Managements [3] muss auf die genderspezifischen Erfahrungen (bspw. die Stärkung kooperativer Lernformen [4]) angepasst werden, um die Rahmenbedingungen für Studien-erfolge zu verbessern.

### Selbstverständnis des Fachs

Eine Klärung des Selbstverständnisses der MINT-Fächer in Bezug auf Rollenverständnisse, die mit den spezifischen Sozialisationsbedingungen (Gender, ethnischer Hintergrund, Bildungsbiografie etc.) verbunden sind, ist ein wichtiger Schritt zur Veränderung des Ist-Zustands. Hierzu gehört auch die Bereitschaft zur Kooperation mit dem schulischen Sektor, um frühzeitig bei Schülerinnen Interesse an den Studienfächern zu wecken und damit ein qualitativ und quantitativ gutes Potenzial an Studienanfängerinnen zu erreichen.

### Schulung und Begleitung von Lehrenden

Beratung, Training, Coaching als Dreiklangprinzip des Beratungsansatzes der Lehrenden können unter Einbeziehung der vorhandenen Seminar- und Trainingseinrichtungen vorgenommen

werden. Hier sind etwa die Studienkommission für Hochschuldidaktik an Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg (GHD) und das Hochschul-Didaktik-Zentrum der Universitäten in Baden-Württemberg (HDZ) als Partner zu sehen.

### Partizipation

Die Implementierung der Module und Handreichungen in der eigenen Hochschulorganisation unter Einbeziehung der beteiligten Kolleginnen und Kollegen aus den unterschiedlichen Verantwortungsbereichen (Professorenschaft, studentische Abteilung, Career Center, Gleichstellung etc.) bedarf einer gesonderten Hilfestellung. Hierzu gehört auch die Unterstützung der Hochschulleitung und Fakultätsvorstände / Fachbereichsleitungen bei der Umsetzung. Ebenso spielt die Partizipation der Betroffenen bei der Entwicklung der Handreichungen eine wichtige Rolle, damit die Beteiligten den fachlich relevanten Input geben und anschließend die erzielten Ergebnisse mittragen können. Dies ermöglicht eine authentische Vermittlung der Ergebnisse in der eigenen Hochschule.

### Kulturelle Veränderung

Die gezielte Veränderung der strategischen Ausrichtung einer Hochschule und ihrer technischen Fakultäten auf eine gendersensible Lehre und Betreuung

hat intensive Rückwirkungen auf das gesamte Selbstverständnis einer Hochschule. Ausgehend von den bekannten Quotendiskussionen im Rahmen der Aufsichts- und Governance-Strukturen, muss der aus dem Kerngeschäft Lehre stammende Erfahrungsschatz mit dem jeweiligen veränderten Selbstverständnis in die Organisationskultur der gesamten Hochschule eingebracht werden.

Diese Maßnahmen stammen zwar aus dem Gender-Umfeld, stärken aber die MINT-Studienprogramme generell (etwa durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Lerntypen in der Lehre).

### 3.4 Beispiele der Hochschule

#### Offenburg

#### startING für Orientierung und Einstieg

Das Projekt startING ist ein erstes Semester, bei dem die Grundlagen für alle Ingenieurdisziplinen gleichermaßen gelegt werden und die Studierenden sich nach Beendigung dieses ersten Semesters entscheiden, welches Ingenieurstudium sie anschließend absolvieren möchten. Die erzielten Studienleistungen werden dabei voll angerechnet, sodass neben einem entzerrten Studieneinstieg auch eine Orientierung und Qualifizierung (im Bereich der Lern-techniken etc.) möglich werden.

**MINT-College: Talente individuell, erfolgreich fördern und entwickeln (TIEFE)**

Die vielfältigen Möglichkeiten, eine Hochschulzugangsberechtigung zu erwerben, führen dazu, dass die Bildungsbiografien zunehmend individuell ausgeprägt sind. Die Hochschule Offenburg hat sich zum Ziel gesetzt, die Bildungspotenziale der Region auszuschöpfen, zugleich aber die hohen Standards in Lehre und Forschung beizubehalten. Hierfür wird speziell für den Sektor der MINT-Berufe das MINT-College eingesetzt, das individuelle Unterstützung im Bereich der Didaktik bietet und gleichzeitig die Orientierung im Berufsfeld der MINT-Berufe erleichtert (Fördervolumen 3,7 Mio. Euro).

Das Konzept „MINT-College“ beinhaltet:

- Programme für individuelle Lerngeschwindigkeiten
- Intensive Lern-Unterstützung für MINT-Studierende
- Kompetenz- und Talentförderung
- Beratung zu Studium und Berufseinstieg
- Begleitende Lehr- und Lernforschung zur Evaluation, Adaption und Weiterentwicklung

**Crosslife – Crossmentoring für Frauen**

Crosslife umfasst das Mentoring und Coaching von Studentinnen während des Studiums und beim Übergang in den Beruf sowie den Aufbau eines Netzwerks für Frauen aus dem Bereich Lehre, Forschung, Wirtschaftspraxis (aus dem COMENT-Programm des Landes Baden-Württemberg).

**SAUNA (Seiteneinsteiger, Abbrecher, Um-/Neuorientierungs-Anlaufstelle) der Hochschule Offenburg**

SAUNA beinhaltet den Aufbau eines Online-Beratungsnavigators und die Verstärkung der internen und externen Beratung für Studierende in kritischen Situationen. Dieses Projekt hat in Kooperation mit IHK, Handwerkskammer und Bundesagentur für Arbeit bereits im Vorfeld als externes Beratungsprojekt begonnen und wird 2013 verstärkt auf die interne Beratungskoordination ausgedehnt.

**Career Center für Berufseinstieg**

Mit der Etablierung eines Career Centers, das die Entwicklung von Softskills studienbegleitend unterstützt und die Vorbereitungen für den Berufseinstieg fördert, konnte die Berufsorientierung der Studierenden in Offenburg merklich gesteigert werden [5].

**4. Professionalisierung der Organisationsstrukturen von Hochschulen**

Die Entwicklungen im Bereich der Lehre an Hochschulen bedürfen für eine dauerhafte Sicherung der Erfolge im Wissenschaftsbetrieb der Ergänzung durch weitere Maßnahmen der Organisationsentwicklung und der Professionalisierung der Strukturen und Prozesse, was an zwei Beispielen aufgezeigt wird.

**4.1 Personalentwicklung und Berufungsverfahren**

Der inhaltliche Erfolg eines Berufungsverfahrens als zentraler Teil der Personalentwicklung an Hochschulen ist durch die Komplexität aus rechtlichen Rahmenbedingungen, kollegialen Entscheidungs- und Willensbildungsstrukturen geprägt. Dann, wenn die umworbenen Berufsbilder lukrative Karrierealternativen haben, was im MINT-Sektor eigentlich durchgängig der Fall ist, fällt es oft schwer, konkurrenzfähig zu sein und Talente zu akquirieren. Das Wissenschaftsministerium (MWK) empfiehlt daher gerade unter dem Gesichtspunkt des Geschlechterproporzesses der Lehrenden die Einbeziehung von Beratern. Das Angebot von hochschulerfahrenen Beratern ist jedoch begrenzt und der Erfolg hängt gerade von diesem Kriterium (Einpassung in den Berufungsprozess) entscheidend ab, sodass dieses Problem an vielen Hochschulen als ungelöst gilt.

**4.2 Unterstützung bei Konzepten und Anträgen zur Organisationsentwicklung**

Die Organisationsentwicklung von Hochschulen hängt in immer größerem Ausmaß von zusätzlichen Ressourcen aus externen Förderprogrammen ab. Hier kommt den hochschulinternen Antragsteams in Hochschul- und Fakultätsleitung steigende Bedeutung zu. Die mangelnden Ressourcen und Erfahrungen können beim Aufbau des Organisationsentwicklungsprozesses auch durch interne oder externe Beratungsschritte bei der Projektkonzeption und Antragstellung ausgeglichen werden.

**5. Handlungsfeld Wirtschaft**

Der Erfolg bei Fach- und Führungskräften im MINT-Sektor hängt aus Firmenperspektive sehr stark vom eigenen Engagement ab. Viele Unternehmen des Technologiesektors haben für sich bereits erkannt, dass die Versorgung mit Fach- und Führungskräften zu einem



Abb. 2: MINT-Nachwuchs: Akteure, deren Professionalisierungs- und Beratungsfelder. Quelle: Steinbeis-Beratungszentrum Leadership in Science and Education 2013

der entscheidenden Engpassfaktoren werden kann und dem Thema daher ein Augenmerk gewidmet, das dem Thema einen übergreifenden Stellenwert beimisst und somit über die Personalarbeit hinaus auf der Ebene der Unternehmensleitung angesiedelt ist.

### 5.1 Bildungspartnerschaften

Im Kooperationsfeld Schule – Wirtschaft haben sich Bildungspartnerschaften etabliert, bei denen die Partner Unternehmen und Schule einen formalen Rahmen für gemeinsame Projekte (Praktika, Betriebsbesichtigungen, Bewerbertrainings, Infoveranstaltungen etc.) abstecken. Aus Unternehmenssicht kann somit ein erster Kontakt zu relevanten Zielgruppen (Schüler/-innen, aber auch Multiplikatoren wie Lehrer/-innen und Schulleitung) geschaffen werden.

### 5.2 Hochschulmarketing

Im Rahmen der Kooperation mit Hochschulen sind unterschiedliche Kooperationsformen vorstellbar: Kooperationen mit Studierenden durch Praktika, Abschluss- oder Projektarbeiten, Kooperation mit der Institution Hochschule durch Forschungsprojekte, Sponsoring von Stipendien und Preise, Mitgliedschaft in Förderverein und Hochschulgremien, Übernahme von Lehrveranstaltungen durch Unternehmensvertreter, Präsenz auf dem Campus auf Recruiting-Plattformen und Messen. Neben direkt wirksamen inhaltlichen Zielen wie dem Know-how- und Technologietransfer bei gemeinsamen (Forschungs-) Projekten kann ein integriertes Gesamtkonzept gerade bei mittelständischen Unternehmen die mittelfristige Positionierung am Arbeitsmarkt deutlich verbessern.

### 5.3 Employer Branding

Der Wert einer Arbeitgebermarke im Kontext der MINT-Berufe für Akademiker ist gerade für mittelständische Unternehmen ein Problem. Bei den Untersuchungen der beliebtesten Arbeitgeber für den Ingenieur Nachwuchs sind Großkonzerne und dort vor allem diejenigen mit attraktiven Produkten aus dem Verbraucherblickwinkel (meist Automobilhersteller) führend. [6] Kleinere Unternehmen und Mittelständler müssen hier deutlich mehr unternehmen, um bei der Wahl des künftigen Arbeitgebers nicht „unter die Räder“ zu geraten. Interne Maßnahmen der verbesserten Perso-

nalarbeit und externe Kommunikationsmaßnahmen müssen hierfür sehr eng mit den klassischen Themen des Hochschulmarketings kombiniert werden.

### 6. Fazit

Alle Akteure des Bildungs-, Wissenschafts- und Wirtschaftslebens haben Handlungsfelder, auf denen sie aktiv werden können, um dem künftigen Mangel an Fach- und Führungskräften im MINT-Sektor entgegenwirken zu können.

Hierfür ist jedoch eine Vernetzung und Professionalisierung in einzelnen Teilbereichen notwendig, die oftmals die eigenen Möglichkeiten übersteigt, so dass eine Unterstützung durch Netzwerkpartner oder gezielte Beratung ratsam erscheint.

### Referenzen/References

- [1] IHKs in Baden-Württemberg: „Fachkräftemonitor 2025“, <http://www.bw.ihk.de/wa>, 21.12.2012
- [2] Breyer-Mayländer, Steinbeis-Beratungszentrum Leadership in Science and Education 2012, Konzept für Gender-Beratung im Rahmen des Projekts „Dialog MINT-Lehre. Mehr Frauen in MINT-Studiengänge“, Ettenheimmünster Nov. 2012
- [3] Marburger, H.: Gender-Mainstreaming – Interkulturelle Öffnung – Diversity Management. in: Griese, C./ Marburger, H.: Bildungsmanagement. München 2011, S. 193 – 214
- [4] Green, N./Green, K.: Kooperatives Lernen im Klassenraum und im Kollegium: Das Trainingsbuch. Seelze 2005. Reduktion des Frontalunterrichts, Kombination monoedukativer und koedukativer Lehr- und Lernsituationen, vgl. Studiennetzwerk Frauen- und Geschlechterforschung NRW 2012, S. 77
- [5] Jährliche Zufriedenheitsanalysen der HIS (Hochschul-Informationssystem GmbH, Hannover)
- [6] trendence-Absolventen-Barometer, trendence Institut GmbH, Berlin

### Autor



**Prof. Dr. Thomas Breyer-Mayländer**  
*Professur für Medienmanagement  
Prorektor Marketing und  
Organisationsentwicklung  
Leiter Steinbeis-Beratungszentrum  
„Leadership in Science and Education“  
Lehrgebiete Betriebswirtschaft,  
Führung und Strategie, Marketing für  
Medien und Bildung  
[breyer-maylaender@hs-offenburg.de](mailto:breyer-maylaender@hs-offenburg.de)*

# Diffusionsmodell von Gehirngewebe, Potenzial für Entwicklung neuer optischer Sensoren

Prof. Dr. Dan Curticapean, Prof. Dr. Andreas Otte, Prof. Dr. Dr. Adrian Neculae

Die Ergebnisse aus dem vorliegenden Beitrag wurden dem Fachpublikum am 2. Februar 2013 auf der Photonics West 2013 in San Franzisko vorgestellt. Der Beitrag enthält Teile aus den im Rahmen dieses Fachvortrags bereits veröffentlichten Proceedings: „Numerical analysis of the diffusive mass transport in brain tissues with applications to optical sensors. Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XIII.“ – Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 2013.

In our work we present a set of computations of intracellular cerebral mass transport for different types of brain cells. By measuring the time evolution of the concentration profile of an injected substance and using suitable fitting procedures, the main parameters characterizing the tissue can be determined. This type of analysis could be a key tool for the understanding of functional mechanism of effective drug delivery in complex structures such as the brain tissue.

## Einleitung

Im zellulären Milieu des Gehirns unterstützt das Phänomen der Diffusion den Transport von Glucose und Sauerstoff vom vaskulären System zu den Hirnzellen; darüber hinaus werden Substanzen, die an der intrazellulären Kommunikation beteiligt sind, befördert [1]. Das Gehirn ist ein faszinierendes und sehr komplexes Organ. Es besteht aus vielen Milliarden Zellen, die miteinander verwoben sind und stetig Informationen austauschen. Neuere theoretische und experimentelle Arbeiten haben ergeben, dass die klassischen Diffusionsgesetze in Kombination mit der Theorie zu porösen Systemen eine genaue quantitative Beschreibung der Transportwege von Molekülen durch das Gewebe liefern können. Das mathematische *Modeling* und numerische Simulationen sind erfolgversprechende Instrumente

für die Beobachtung von Diffusionsprozessen im Gewebe. Sie können dabei kostspielige Laboruntersuchungen ersetzen. Nichtsdestoweniger muss dieses *Modeling* verlässliche Informationen über die Hauptparameter erhalten, die das Gewebe charakterisieren (wie z. B. Tortuosität, Volumenfraktion [2]) und üblicherweise über strukturelle und funktionelle Bildgebung ermittelt werden. Eine vielversprechende neue Methode zur Erlangung dieser charakteristischen Transportparameter ist die direkte optische Untersuchung mit Faseroptik. Die Analyse dieser Parameter erlaubt auch Rückschlüsse darüber, wie sich die lokale Geometrie des Gehirns über die Zeit oder unter bestimmten pathologischen Zuständen verändert.

Im Folgenden möchten wir einen Ausschnitt aus den in unserer auf der **Pho-**

**tonics West 2013** in San Franzisko vorgestellten computergestützten Simulationen zum Massentransport verschiedener Zelltypen im Hirngewebe vorstellen. Dabei konnten wir durch Simulation des zeitlichen Ablaufs zur Entstehung eines Konzentrationsprofils einer injizierten Substanz und geeigneten *Fitting*-Prozeduren die Hauptparameter zur Charakterisierung des Gewebes bestimmen.

## Methode

Die Transportphänomene im Gehirn können in einer guten Näherung als poröses Medium modelliert (mathematisch betrachtet) werden [2–5]. Für diesen Fall beschreibt die Diffusionsgleichung mit den entsprechenden Randbedingungen das Verhalten des Systems. In der Annahme eines homogenen Mediums mit sphärischer Symmetrie und einer  $\delta$ -Funktion-Verteilung der Quelle liefert die Diffusionsgleichung eine analytische Lösung. Das Besondere dabei ist, dass mithilfe dieser analytischen Lösung eine Regressionsanalyse erstellt werden und dadurch die empfindlichen Parameter „Tortuosität“ und „Volumenfraktion“ für die Simulation bestimmt werden können.

## Ergebnisse

Die Konzentrationsverteilung wurde mithilfe numerischer Methoden, basierend auf finiten Elementen, berechnet. Es wurden die Konzentrationsverteilungen für zwei mögliche Szenarien und drei Zellstrukturen simuliert [2, 4].

Den Autoren gelang es so, nicht nur die lokale Verteilung zu bestimmen, sondern auch die zeitliche Evolution der Konzentration im Gehirngewebe zu berechnen. Dadurch war es möglich, eine Evolution der Konzentrationsverteilung

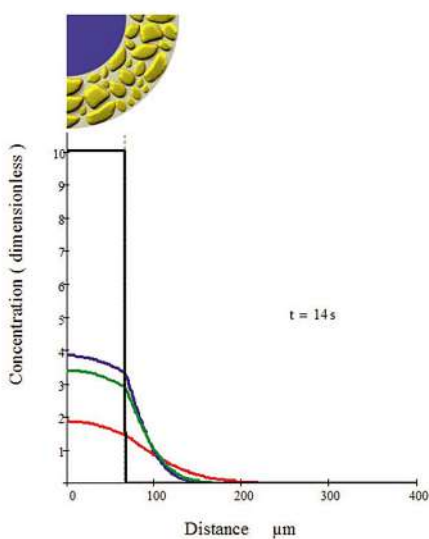


Abb. 1: Animierte Simulation des Konzentrationsprofils für Szenario A der Initialverteilung

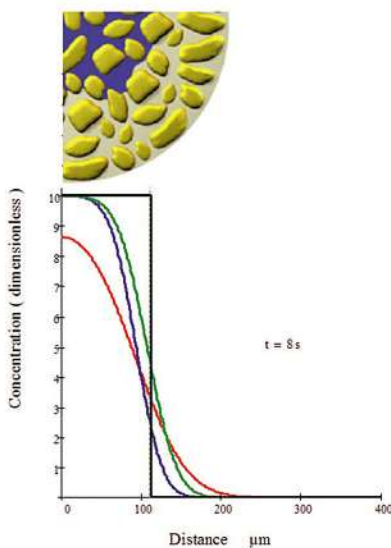


Abb. 2: Animierte Simulation des Konzentrationsprofils für Szenario B der Initialverteilung

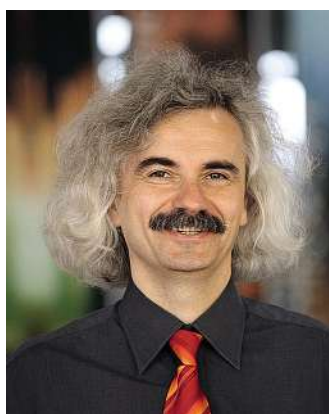
zu erstellen. Ein *Frame*-Ausschnitt der Animation dieser Evolution ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 für die entsprechenden Szenarien zu sehen. Die erhaltenen Ergebnisse entsprechen den Erwartungen und stimmen mit pathologischen Messungen überein [2].

Die mathematische Modellierung des Brechungsindex versus Konzentration ist als anstehende Forschungsaufgabe geplant. Dadurch wird der Einsatz von Lichtwellenleitern als Konzentrationssensor möglich. Als eine geeignete Methode ist eine Rückstrommessung denkbar.

### Fazit

Die vorgestellte Analysemethode könnte ein wichtiges Hilfsmittel darstellen, um funktionelle Abläufe z. B. für eine effektive Arzneimittelabgabe in komplexe Strukturen wie dem Gehirn besser zu verstehen. Es könnte ebenfalls optischen *Imaging*-Methoden unter Verwendung von Fiberoptik Möglichkeiten für *in vivo* und *in vitro* Messungen eröffnen. Darüber hinaus könnte diese Methode Biomarker-Modelle unter Verwendung von Radiotracer, Positronen-Emissions-Tomographie und kinetischem *Modeling* unterstützen, um den Wirkmechanismus neuer chemischer Substanzen (Medikamente) zu verstehen [9 – 12].

### Autoren



**Prof. Dr. Dan Curticapean**  
Fakultät Medien und Informationswesen  
Lehr- und Forschungsgebiete: Physik,  
E-Technik, Mathematik; Forschung in Optics  
& Photonics  
Mitglied der OSA, SPIE, VDE  
dan.curticapean@hs-offenburg.de



**Prof. Dr. med. Andreas Otte**  
Facharzt für Nuklearmedizin  
Professor für Biomedizinische Systemtechnik,  
Forschungscluster Medizintechnik  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Forschungsgebiete: Biomedizinische  
bildgebende Verfahren; Neurosysteme,  
funktionelles Neuroimaging  
andreas.otte@hs-offenburg.de



**Prof. Dr. Dr. Adrian Neculae**  
West University of Timisoara  
Fakultät für Physik  
Lehr- und Forschungsgebiete: Mathematik,  
Biophysik, Transportphänomene  
in poröse Medien, Mathematische  
Simulationen, Nanotechnologien  
neculae@physics.uvt.ro

### Dank

Die Autoren danken Frau Prof.in Sabine Hirtes für das Erstellen der 2D-Abbildungen.

### Referenzen/References

- [1] Silbernagel S, Despopoulos A. Taschenatlas Physiologie, Thieme, Stuttgart, New York, (2012)
- [2] Nicholson C. Diffusion and related transport mechanisms in brain tissue, Rep. Prog. Phys. 64, 815 – 884, (2001)
- [3] Khaled ARA, Vafai K. The role of porous media in modeling flow and heat transfer in biological tissues. Int. J. Heat Mass Transfer 46, 4989 (2003)
- [4] El-Kareh AW, Braunstein SL, Secomb TW. Effect of cell arrangement and interstitial volume fraction on the diffusivity of monoclonal antibodies in tissue. Biophys. J. 64, 1638 (1993)
- [5] Lo WD, Wolny AC, Timan C, Shin D, Hinkle H. Blood-brain barrier permeability and the brain extracellular space. J. Neurological Sciences 118, 188–193 (1993)
- [6] Khanafer K, Vafai K. The role of porous media in biomedical engineering

as related to magnetic resonance imaging and drug delivery. Heat Mass Transfer 42, 939 – 953 (2006)

- [7] Feld M, De Roo M. History of Nuclear Medicine in Europe. Schattauer, Stuttgart, (2003)
- [8] Otte A, Audenaert K, Peremans K, Van Heering C, Dierckx RA (Eds.). [Nuclear Medicine in Psychiatry], ISBN 3-540-00683-4. Springer Berlin, Heidelberg, New York, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo (2004)
- [9] Jens Langner „Transaxial slice of the brain-Photo“, <http://www.jens-langner.de> (2010)
- [10] Dai L, Miura R. A Lattice Cellular Automata Model for Ion Diffusion in the Brain-Cell Microenvironment and Determination of Tortuosity and Volume Fraction. Siam J. Appl. Math. 59, 2247 (1999)
- [11] Wilson B.C., Tuchin V.V., Tanev S., [Advances in Biophotonics], IOS Press, (2005)
- [12] Otte A, Rosé C, Zähringer A, Maier-Lenz H. „Neue klinische Technologien in der Arzneimittelentwicklung.“ Internist; 49: 232 – 237 (2008)

# Acoustic Wedge Waves

Prof. Dr. Andreas Mayer<sup>1</sup>, Prof. Dr. Peter Hess<sup>2</sup>, Dr. Alexey M. Lomonosov<sup>2,3</sup>, Dr. Elena S. Sokolova<sup>1,4</sup>,  
Dipl.-Phys. Pavel D. Pupyrev<sup>1,3</sup>, Alexandar Nikodievich<sup>1</sup>, Reinhold Timler<sup>1</sup>, Sven Stürzel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty B+W, HS Offenburg, University of Applied Sciences, Gengenbach, Germany

<sup>2</sup>Institute of Physical Chemistry, University of Heidelberg, Heidelberg, Germany

<sup>3</sup>General Physics Institute, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering, Kharkov, Ukraine

**Unter den verschiedenen Typen geführter akustischer Wellen finden akustische Oberflächenwellen (Surface Acoustic Waves, SAW) vielfältige technische Anwendungen. Weniger bekannt sind die an Festkörperkanten lokalisierten akustischen Keilwellen (Wedge Acoustic Waves, Line Acoustic Waves). In diesem Beitrag sollen einige der interessanten Eigenschaften dieser Wellen sowie deren experimentelle Untersuchungen mit Laser-Ultraschall-Methoden vorgestellt werden.**

Wedge acoustic waves are guided waves propagating along the edge of a solid elastic medium. Fields of potential technological applications include non-destructive evaluation, sensors, and fluidics. In this contribution, the propagation characteristics of wedge-localized acoustic waves are discussed and the results of experimental investigations based on laser-ultrasonics are presented along with theoretical studies concerning effects of anisotropy and nonlinearity of the elastic medium on the propagation of acoustic waves in elastic wedges. These effects include leaky wedge waves and solitary pulses.

## Introduction

In the wide range of applications which ultrasonics has found in various fields of modern technology, guided acoustic waves are gaining increasing importance. Since the invention of the interdigital transducer in the 1960s, surface acoustic waves (SAW), i. e. acoustic waves propagating along the surface of a solid medium, play a central role in signal processing devices like frequency filters in mobile communication systems. For non-destructive evaluation (NDE) and structural health monitoring (SHM), various types of guided acoustic waves are used [1].

Acoustic wedge waves are guided by the edge of an elastic solid. The apex of

the edge is a straight line that is the intersection of two planar surfaces at an arbitrary angle  $\theta$  (Fig. 1). Like surface acoustic waves in homogeneous media, acoustic waves propagating in an ideal wedge made of a homogeneous medium with a perfect apex are non-dispersive, i. e. their speed is independent of wavelength. This property favours nonlinear effects. On the other hand, imperfections of the wedge tip give rise to dispersion (in addition to dispersion which arises due to finite curvature of the surfaces). This effect can be used to assess the quality of a sharp edge in cutting tools, turbine blades or crystals, for example. In fact, applications of wedge acoustic waves in NDE and SHM are probably the most promising ones. Single imperfections at the apex may be detected by scattering of wedge waves. Recently, a technique has been developed to visualise acoustic wedge and surface waves generated in the scattering process of a wedge wave from a notch at the tip of an edge [2]. Another source of dispersion of wedge acoustic waves is coating of one or both of the two surfaces. This effect is relevant for sensor applications and has been investigated within our research project, too (Refs. (47,51) in [3]).

In addition to their sensitivity to the edge of an elastic medium and the lack of dispersion in the ideal case, wedge waves do not suffer diffraction loss, because, unlike SAWs, they are one-dimensionally guided. In the case of sharp wedge angles ( $<60^\circ$ , depending on the material) they constitute a multi-mode

system (i. e. there are several wedge waves having the same wavelength), and the mode with the lowest frequency has very low speed compared to the velocity of SAWs.

Since their discovery by numerical calculations in the early seventies, wedge waves have been investigated in numerous theoretical and experimental studies (for a recent short review see [3]). Many of the latter have used laser-ultrasonics. A broad-band acoustic pulse is generated on one of the two surfaces of the wedge close to the apex by laser excitation. At one or more observation points, the pulse shape may be measured via the local surface slope or surface elevation by an optical technique using a cw laser [4] (Fig. 2a). The depth profile of the wedge wave is probed by varying the distance  $b$  between the observation point from the apex of the wedge in addition to the distance  $a$  of the observation point from the source. This all-optical method is also well suited for the investigation of nonlinear evolution of acoustic pulses since sufficiently high excitation intensities can be reached.

In the following, we report about results of investigations on acoustic wedge waves carried out in the framework of an international research project funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft and involving several research groups. Laser ultrasonics experiments are performed in laboratories at the University of Heidelberg and the General Physics Institute Moscow, and theoretical work is mainly done at HS Offenburg.

Fig. 1

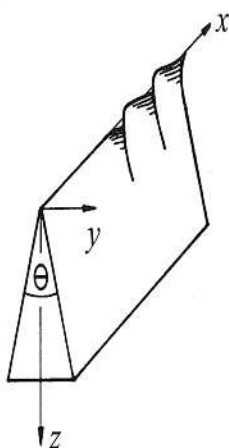


Fig. 1: Anti-symmetric flexural wedge wave



Fig. 2a

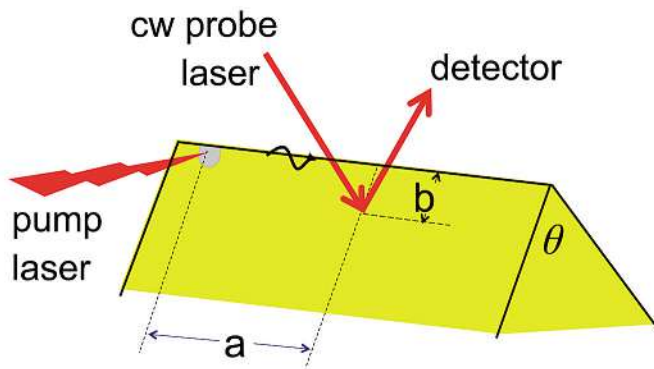


Fig. 2b

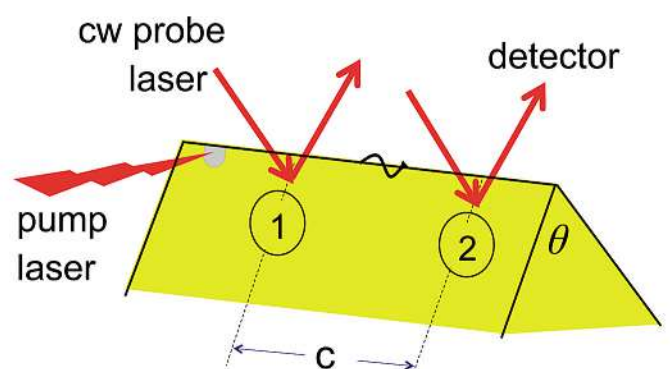


Fig. 2: Experimental set-up for laser-ultrasonic investigations of acoustic pulses propagating in solid wedges (schematic)

### Linear Effects of Anisotropy

Similar to the case of surface acoustic waves, anisotropy has a strong influence on the propagation characteristics of acoustic wedge waves. For example, in the case of rectangular wedges ( $\theta=90^\circ$ ), the existence of a wedge-localized guided wave is not guaranteed. Recently, numerical calculations, based on a representation of the displacement field as a linear combination of products of Laguerre functions (Ref. (13) in [3]), have been carried out for the two materials silicon and strontium fluoride which have both cubic symmetry [5]. Their anisotropy can be characterized by the Zener ratio, which has the value 1.6 for silicon and 0.8 for strontium fluoride. (For isotropic media, the Zener ratio is equal to 1.) For both cubic materials, a wedge wave exists that is well localized at the apex, if the two surfaces are vertical to cubic axes. However, the numerical results indicate that if only one of the two surfaces is vertical to a cubic axis and the apex of the wedge forms an angle of  $45^\circ$  with two cubic axes, a wedge wave still exists in the case of strontium fluoride, albeit not very strongly localized at the apex. For silicon, however, no wedge wave exists in this propagation geometry. Unlike the situation for surface acoustic waves, there is no theory for wedge acoustic waves that would provide general, easily applicable criteria for their existence.

A phenomenon in the context of SAWs that has its origin in the anisotropy of the elastic medium is the existence of leaky surface acoustic waves (LSAW)

with very small attenuation. An acoustic pulse travelling along the surface with the LSAW speed continuously radiates energy into the bulk of the medium and, due to energy conservation, gets attenuated at the surface. LSAWs with very small attenuation exist for special geometries in anisotropic media and play an important role in signal processing devices because high electro-mechanical coupling can be achieved in piezoelectric media.

Very recently, leaky wedge acoustic waves have been discovered by A. M. Lomonosov and P. Hess in laser-ultrasound experiments at the University of Heidel-

berg with an opto-acoustic transducer specially developed for studies of acoustic wave propagation at solid wedges [6]. A silicon edge was studied with the two surfaces being vertical to space diagonals in the crystallographic coordinate system of the cubic crystal ((111)-surfaces).

The wedge angle  $\theta$  is  $70.5^\circ$ . In addition to a perfectly edge-guided pulse travelling at a speed of 4.2 km/s along the apex of the wedge (1<sup>st</sup> pulse), and a surface wave pulse having a velocity of 4.54 km/s (2<sup>nd</sup> pulse), Lomonosov found an acoustic pulse travelling along the apex with a much higher speed of 5.4 km/s (3<sup>rd</sup> pulse), when recording the

Fig. 3

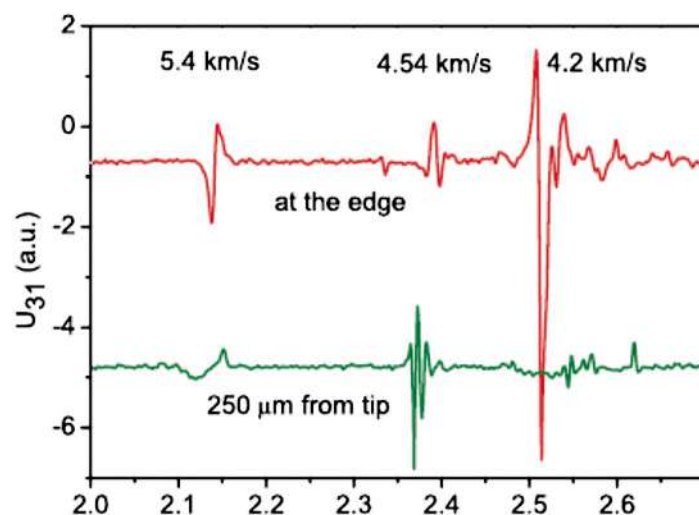
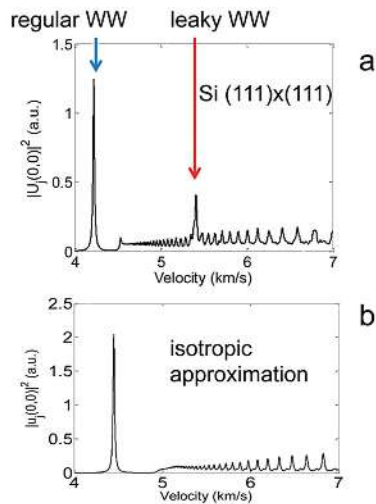


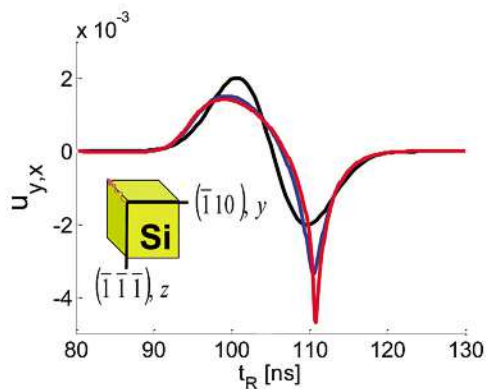
Fig. 3: Pulse shapes (displacement gradient component  $u_{31}$ ) corresponding to an acoustic wedge wave, a surface acoustic wave, and a leaky acoustic wedge wave. Upper trace: detection at the very edge; lower trace: detection at a distance  $b=250 \mu\text{m}$  from the edge tip [6]

Fig. 4



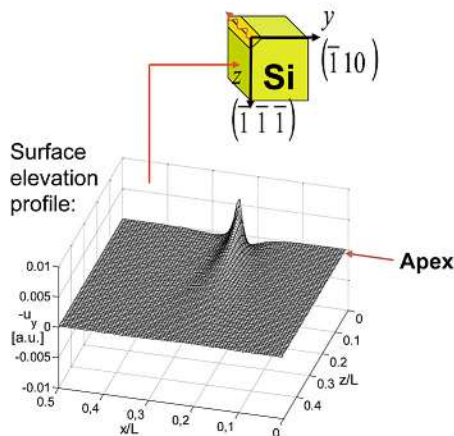
**Fig. 4:** Normalized squared modulus of mode displacements (“apex density of states”) as a function of velocity. Silicon wedge formed by two (111) surfaces (a), isotropic wedge with the same wedge angle (b) [6]

Fig. 5



**Fig. 5:** Nonlinear acoustic pulse evolution at a rectangular silicon edge. Input pulse (black), pulse shape after propagation of 17 mm (blue), 22 mm (red) from the source

Fig. 6



**Fig. 6:** Solitary pulse shape predicted for a truncated rectangular silicon edge (Ref. (24) in [3]).  $L$ : periodicity of periodic pulse train

pulses directly at the apex of the wedge (Fig. 3). At a distance  $b=250 \mu\text{m}$  away from the apex (Fig. 2a), the intensities of the first and third pulses are strongly reduced, while the intensity of the second pulse is even higher than at the tip of the wedge. These findings reveal that in this particular propagation geometry in the highly anisotropic material silicon, a strongly, albeit not fully, edge-localized wave exists in addition to the perfectly localized wedge mode, and that the speed of this additional mode is not only higher than that of the true wedge wave, but also higher than the phase velocity of the SAW propagating parallel to the apex of the wedge.

In order to verify the character of this new type of wedge wave as a leaky wave, numerical calculations have been carried out at Hochschule Offenburg of a physical quantity that may be termed “apex density of states” in analogy to the surface density of states considered in surface dynamics. When plotting this quantity as a function of velocity, fully localized as well as leaky wedge waves appear as peaks. These calculations were again based on the Laguerre-function method. Their only input parameters are the three elastic moduli and the mass density of silicon. Figure 4a shows the corresponding plot for the wedge geometry in silicon referring to the experiment by Lomonosov. The two main peaks appear at the correct velocities. Figure 4b shows the results of an analogous calculation carried out for an isotropic material having elastic properties similar to those of silicon. In this figure, the first peak, representing a truly localized wedge wave, is still present, while there is no second peak in the continuum of acoustic waves. This clearly indicates that it is the anisotropy which gives rise to the leaky wedge wave.

### Nonlinear Propagation of Wedge Acoustic Waves

Laser-ultrasonics methods are well-suited for the investigation of nonlinear effects on surface and wedge acoustic waves. In the past, the evolution of high-intensity surface acoustic pulses was studied in detail by A. M. Lomonosov and P. Hess using this method. Their experiments yielded important insights into the formation of cracks on silicon surfaces. Also, solitary acoustic pulses

were observed on coated surfaces, i. e. pulses, which do not change their shapes during propagation because of a balance between dispersion (due to the presence of a film) and nonlinearity of the substrate.

Similar experiments at crystal edges are currently underway at the University of Heidelberg. They are expected to provide information on the formation, shape, and growth of cracks at solid edges. The basic setup is shown in Figure 2b. An acoustic pulse of high intensity is generated close to the apex of the wedge, and the pulse shape is recorded at two observation points at a distance  $c$  from each other behind the excitation point. The difference of the pulse shapes at the two observation points is due to nonlinearity and, if the wedge is not an ideal one, due to dispersion.

Nonlinear pulse evolution in wedges of anisotropic media is described by the following integro-differential equation:

$$i \frac{\partial}{\partial x} B(f) = \frac{2\pi f}{v_w} \left[ \int_0^f G\left(\frac{f'}{f}\right) B(f') B(f-f') df' + 2 \int_f^\infty \left(\frac{f'}{f}\right)^2 G\left(\frac{f'}{f}\right)^* B(f') B(f-f')^* df' \right] \quad (1)$$

Here,  $B(f, x)$  is the Fourier transform with respect to the retarded time  $t_r = t - x/v_w$  of a component of the displacement gradient at the tip of the wedge ( $t$ : time,  $x$ : spatial coordinate along the apex of the wedge,  $v_w$ : speed of linear wedge waves,  $f, f'$ : frequencies,  $*$  denotes the conjugate-complex). In order to support the above-mentioned experiments, simulations of pulse evolution over the propagation distance  $c$  are carried out on the basis of the above evolution equation. For this purpose, the complex kernel function  $G$  needs to be determined from the second-order and third-order elastic moduli of the wedge material. The quantity  $|G(0.5)|$  is a measure for the efficiency of second harmonic generation of wedge waves in the corresponding system. Figure 5 shows the evolution of an acoustic pulse at a rectangular edge of a silicon crystal with the typical steepening effect. Such calculations are carried out with the aim of finding wedge geometries that give rise to large nonlinearities and lead to the formation of high stress levels in the pulse.

The presence of linear dispersion leads to a qualitative change of nonlinear pulse evolution. The highly intensive acoustic pulse at the excitation point may evolve into one or more solitary pulses plus some quasi-linear background. These solitary pulses have shapes determined by the anisotropic elastic properties of the medium and by the dispersion law, i. e. the dependence of the phase velocity on wavelength. The shapes of solitary pulses do not change when propagating along the tip of the wedge. Figure 6 shows the shape of such a solitary pulse predicted for a truncated rectangular edge of a silicon crystal (Ref. (24) in [3]). It has been obtained in computations at HS Offenburg as a periodic pulse-train solution of Eq. (1) with an additional linear dispersion term representing the truncation of the wedge tip.

### Conclusions / Outlook

Unlike surface acoustic waves, which are known for more than 120 years and are part of devices that seem to be indispensable in our everyday life, there are no products on the market yet that would use acoustic wedge waves. However, feasibility studies have been carried out for various applications including non-destructive evaluation of solid edges, humidity sensors, stirring in micro-fluidics, aquatic propulsion, and ultrasonic motors. The results expected to come out of this research project will help to bring forward such applications especially in NDE, and to gain insight into damage of wedge-type structures due to crack formation and growth.

### Acknowledgment

Financial support by Deutsche Forschungsgemeinschaft (Grant no. MA1074/11) is gratefully acknowledged.

### Referenzen/References

- [1] J. L. Rose: "The Upcoming Revolution in Ultrasonic Guided Waves," Proc. SPIE Vol. 7983, 798302 (2011)
- [2] I. H. Liu and C. H. Yang: "An Investigation on Wedge Waves and the Interaction with a Defect Using a Quantitative Laser Ultrasound Visualization System," Proc. 2010 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 817 – 820 (2011)

- [3] A. P. Mayer, V. V. Krylov, and A. M. Lomonosov: "Guided Acoustic Waves Propagating at Surfaces, Interfaces and Edges," Proc. 2011 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 2046 – 2052 (2012)
- [4] A. M. Lomonosov, A. P. Mayer, and P. Hess: "Laser-Based Surface Acoustic Waves in Materials Science," in: M. Levi, H. E. Bass, and R. Stern (editors), *Modern Acoustical Techniques for the Measurement of Mechanical Properties*. Academic Press, San Diego. pp. 65 – 134 (2001)
- [5] A. Nikodievich: "Numerische Untersuchungen zu an Kanten anisotroper Festkörper geführten akustischen Wellen," Bachelor Thesis, Hochschule Offenburg, Fakultät B+W, (November 2010)
- [6] A. M. Lomonosov, P. Hess, and A. P. Mayer: "Silicon edges as one-dimensional waveguides for dispersion-free and supersonic leaky wedge waves," Appl. Phys. Lett. Vol. 101, 031904 (2012)

### Autor



### Prof. Dr. Andreas Mayer

Fakultät Betriebswirtschaft und Wirtschaftsingenieurwesen (B+W)  
Lehrgebiete: Technische Mechanik, Ingenieurmathematik und Grundlagen der industriellen Automatisierung  
andreas.mayer@hs-offenburg.de

# Energy-Harvesting-basierte drahtlose Sensor-Systeme

Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen

In diesem Beitrag wird die Realisierbarkeit von Energy-Harvesting-basierten drahtlosen Sensorsystemen diskutiert. Zunächst wird auf den Stand der Technik bei Energy-Harvestern eingegangen, danach auf die Herausforderungen bei der Entwicklung derartiger Systeme. Zudem werden die Ergebnisse eines für die Industrie implementierten energieautarken drahtlosen Sensorsystems vorgestellt, das mit einem kinetischen Energy-Harvester betrieben wird.

In this paper the feasibility of energy harvesting based wireless sensor systems due to availability of commercial available energy harvester will be discussed. First an overview about the state of the art of energy harvesters will be given. After that it will be depicted which challenges during the design and development of energy harvesting based wireless sensor systems must be overcome. Furthermore the result of an implemented energy autonomous wireless micro sensors system will be presented. The implemented wireless sensor system which has been designed for industrial applications is only driven by a kinetic vibration energy harvester.

## Einleitung

Energy-Harvesting, das Sammeln der unbegrenzt vorhandenen Energie aus der Umgebung (Sonne, Wind, Temperaturunterschiede etc.), um damit Embedded-Systeme zu betreiben, wurde in den letzten Jahren zu einem intensiven Thema der Forschung [1-3]. Zudem ist ein zunehmendes Interesse seitens der Industrie feststellbar. Treibender Faktor sind hier drahtlose Sensor-Systeme, bei denen der Wunsch besteht, dass diese möglichst über mehrere Jahre autark arbeiten können. Der typische Ansatz, Batterien als Energieversorgung zu verwenden, hat den Nachteil, dass diese je nach Anwendung mehr oder weniger häufig ausgewechselt werden müssen. Dazu verspricht man sich von Energy-Harvesting-basierten Energieversorgungen signifikante Vorteile.

Im Folgenden wird zunächst auf die Fragestellung eingegangen, welche Lösungen derzeit existieren, um drahtlose Sensor-Systeme, basierend auf Energy-Harvesting, mit Energie zu versorgen. Hier werden die wichtigsten Ergebnisse einer Analyse kommerziell verfügbarer Energy-Harvester präsentiert. Im Anschluss werden die Herausforderungen, die mit der Entwicklung von Energy-Harvesting-basierten drahtlosen Sensor-Systemen verbunden sind, diskutiert. Abschließend werden die Ergebnisse eines für industrielle Anwendungen entwickelten energieautarken drahtlosen Sensor-Systems, das mit einem kinetischen Energiewandler betrieben wird, präsentiert.

## Kommerziell verfügbare Energy-Harvester und Stand der Forschung

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den für das Energy-Harvesting möglichen Energiequellen sowie den derzeit aus

der Forschung bekannten Energiewandlern, die die Umgebungsenergie in die elektrische Energie wandeln.

Ziel der Forschung bei Radio-Frequenz-Wandlern ist es, Funkwellen aus der Umgebung, z. B. aufgrund vorhandener drahtloser Geräte wie Mobil-Telefonen, empfangen und als elektrische Energie zur Verfügung stellen können.

Solarzellen, die unter Zufuhr von Strahlungsenergie positive und negative Ladungsträger freisetzen (Photoeffekt) und somit eine Gleichspannung erzeugen, werden heute schon intensiv zur regenerativen Energiegewinnung im Outdoor-Bereich eingesetzt. Da es sich bei drahtlosen Sensorsystemen jedoch zu meist um Indoor-Anwendungen handelt, wo wesentlich weniger Fläche zur Energiegewinnung zur Verfügung steht als im Outdoorbereich, liegt der Schwerpunkt der Forschung auf miniaturisierten und flexiblen Solarzellen mit einem größeren Wirkungsgrad.

Thermowandler setzen thermische Leistungen insbesondere unter Nutzung des Seebeckeffekts in elektrische Leistungen um. Vorteil der Thermowandler ist, dass diese sich hoch miniaturisiert herstellen lassen. Ein Nachteil ist jedoch, dass sie nur eine Spannung erzeugen, wenn zwischen den beiden Seiten des Thermowandlers eine Temperaturdifferenz besteht. Brauchbare Temperaturdifferenzen bei miniaturisierten Thermowandlern können nur durch Verwendung eines Kühlkörpers auf der kälteren Seite des Thermowandlers erreicht werden.

Zur Wandlung von kinetischer in elektrische Leistung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bei allen drei Wandlungsprinzipien werden aufgrund dynamischer mechanischer Bewegungen/Belastungen Wechsellspannungen erzeugt.

Noch nicht kommerziell verfügbar sind zudem Ansätze für die Wandlung chemische in elektrische Energie. Biobrennstoffzellen erzeugen beispielsweise

Energiequelle	In Frage kommende Energiewandler	Kommerziell als Energy-Harvester verfügbar
Elektromagnetische Strahlungsenergie	Radio-Frequency-Wandler	✓
	Photovoltaische Wandler	✓
Thermische Energie	Thermowandler	✓
Kinetische Energie	Elektromagnetische Wandler	✓
	Piezowandler	✓
	Elektrostatische/Kapazitive Wandler	✓
	Mini-/Mikroturbinen	
Chemische Energie	Biobrennstoffzellen	
	Chipintegrierte Brennstoffzellen	

Tabelle 1: Mögliche Energiequellen und Energiewandler für das Energy-Harvesting

<b>Energiewandler</b>	<b>Bereich der verfügbaren Leistungen</b>	<b>Bereich der möglichen Spannungen</b>
RF-Wandler	mW ... W	mV ... V
Photovoltaische Wandler	$\mu$ W ... mW	mV ... V
Thermowandler	$\mu$ W ... mW	mV
Elektromagnetische Wandler	$\mu$ W ... mW	mV ... V
Piezowandler	$\mu$ W ... mW	einige V
Kapazitive/ Elektrostatische Wandler	$\mu$ W	V

**Tabelle 2:** Mögliche Energiequellen und Energiewandler für das Energy-Harvesting

eine Gleichspannung durch eine katalytische Reaktion mit einem Biobrennstoff, z. B. Glukose. Chipintegrierte Brennstoffzellen arbeiten wie normale Brennstoffzellen mit Wasserstoff, der jedoch regenerativ erzeugt wird. Obwohl seit mehreren Jahren intensiv an der Realisierung von Energy-Harvestern geforscht wird, gibt es derzeit erst wenige kommerzielle Produkte.

Die wichtigsten Ergebnisse aus der Analyse kommerziell verfügbarer Energy-Harvester [4] sind im Folgenden zusammengefasst:

Tabelle 2 gibt zusammenfassend einen Überblick über die wichtigsten Kenngrößen kommerziell verfügbarer Energy-Harvester, die im Rahmen zuvor erwähnten Analyse ermittelt werden konnten. Zu erkennen ist die geringe zur Verfügung gestellte Leistung, aber auch die unterschiedlichen Ausgangsspannungen.

Prinzipiell stellt sich nun die Frage, ob die zur Verfügung gestellten Leistungen der Energy-Harvester ausreichend für den Betrieb eines drahtlosen Embedded-Systems sind. Um diese Frage zu beantworten, wurde im Rahmen einer Thesis ein Bluetooth-Low-Energy-Sensor-System zur Leistungsaufnahme und der Energieumsetzung analysiert [5]. Bei dem System, das mit 3 V versorgt wurde, ergab sich beispielsweise für eine einmalige Datenübertragung von 20 Byte Nutzdaten ein Energiebedarf von 0,78 mJ. Rechnet man nun für diesen Fall einen vorgeschalteten DC/DC-Wandler mit einem Wirkungsgrad von 60 % ein, so müsste von dem Energy-Harvester bzw. einem Energiespeicher eine Energie von 1,3 mJ für eine Datenübertragung zur Verfügung gestellt werden. Die Bereit-

stellung dieser Energie ist derzeit unter guten energetischen Voraussetzungen in der Umgebung für drahtlose Embedded-Systeme mit kommerziellen Energy-Harvestern auf jeden Fall möglich. Kritisch wird die Bereitstellung der Energie bei sehr kurzen Zykluszeiten für die Datenübertragung und den Betrieb eines kompletten Sensornetzwerks, bei dem häufiger Kommunikationstätigkeiten notwendig sind.

Des Weiteren konnten zum derzeitigen Zeitpunkt folgende wichtige Erkenntnisse während der Analyse der kommerziell verfügbaren Energy-Harvester gewonnen werden:

- Die Datenblätter der Energy-Harvester sind nicht ausreichend zur Beurteilung des Verhaltens der Energy-Harvester bei variierenden Umgebungsbedingungen. D. h., vor deren Einsatz in Embedded System muss zunächst die Wandler-Charakteristik im Detail ermittelt werden, um das drahtlose Embedded-System entsprechend auslegen zu können.
- Es gibt keine generellen mathematischen Modelle, die eine Simulation der Energy-Harvesting basierten Drahtlossysteme in Abhängigkeit der variierenden Umgebungsbedingungen zulassen.
- Die Ausgangsgrößen Energy-Harvestern sind nicht genormt. Jeder Energy-Harvester verhält sich unterschiedlich.
- Aussagen über Lebensdauer derzeitiger Energy-Harvester sind momentan nicht erhältlich.
- Die Kosten einzelner Energy-Harvester sind noch sehr hoch und haben

einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtkosten des drahtlosen Embedded-Systems.

### Design-Herausforderungen

Im Vergleich zu einem batteriebetriebenen drahtlosen System, wo die Batterie sowohl Energiequelle als auch Energiespeicher und Energiewandler in einem ist, muss bei einem Energy-Harvesting-basierten drahtlosen System ein höherer Entwicklungsaufwand betrieben werden. Folgende Herausforderungen bestehen insbesondere bei dem Design von Energy-Harvesting-basierten drahtlosen Systemen:

Eine große Herausforderung ist das Powermanagement in Energy-Harvesting-basierten drahtlosen Systemen. Da die gewonnene Energie zeitlich nicht kontinuierlich verfügbar ist, muss die Energie zunächst gespeichert und schließlich dem drahtlosen System mit Powermanagement-Komponenten zur Verfügung gestellt werden. Das Power-Management umfasst neben der Auswahl eines passenden DC/DC-Wandlers auch das Management, wann welche Komponenten des drahtlosen Systems in Betrieb sind. Während bei einem batteriebetriebenen System in den meisten Fällen der Mikrocontroller diese Funktion des Powermanagements übernimmt, muss bei einem Energy-Harvesting-basierten System eventuell auch der Mikrocontroller ausgeschaltet werden, um Energie zu sparen. Das Power-Management muss meistens schon bei der Energiespeicherung und der DC/DC-Wandlung ansetzen. Daraus folgt, dass das Power-Management oftmals mit einfachen elektronischen aktiven Bauelementen realisiert werden muss.

Eine weitere Herausforderung ist die Realisierung der eigentlichen Architektur des Energy-Harvesting basierten drahtlosen Systems. Das finale Systemdesign wird stark durch den zum Einsatz kommenden Energiewandler und die Anforderungen an das drahtlose System bestimmt. Je nach zur Verfügung stehender Ausgangsspannung des Energy-Harvesters muss eventuell erst eine DC-DC-Wandlung erfolgen, bevor die Energie gespeichert wird oder zunächst die Energiespeicherung erfolgen, bevor eine DC-DC-Wandlung erfolgt.

Besonders schwer gestaltet sich der Entwurf Energy-Harvesting-basierter drahtloser Sensorsysteme, wenn gefordert ist, dass anstehende Aufgaben immer in Echtzeit erledigt werden müssen. In diesem Fall, dass kein Mindestenergieertrag durch die Energy-Harvester sichergestellt ist, sollte die Architektur hybrid aufgebaut sein. Hybrid kann in diesem Fall bedeuten, dass das System weiterhin durch eine Batterie zur Absicherung der anstehenden Aufgaben ergänzt wird. Hybrid kann aber auch bedeuten, unterschiedliche Arten von Energy-Harvester einzusetzen, um einen maximalen Energieertrag zu gewährleisten.

### Ergebnisse aus der Realisierung eines drahtlosen Sensorsystems auf Basis von Energy-Harvesting

Im Folgenden sollen die Ergebnisse eines energieautarken drahtlosen Sensorsystems, basierend auf einem kinetischen Energiewandler, vorgestellt werden. Das System wurde in Kooperation mit einer Firma im Automotivebereich entwickelt [6]. Es handelt sich dabei um ein hochminiaturisiertes System (20 mm x 30 mm (Abbildung 1), bestehend aus einem 8-Bit-Mikrocontroller, einem bei 2,4 GHz arbeitenden Transceiver, einer Antenne, einem Power-Management, und einem Drucksensor mit für den Betrieb notwendiger Elektronik.

Der Betrieb des Sensormikrosystems basiert lediglich auf einem kinetischen Energiewandler. Es sind dafür keine zusätzlichen Energiequellen, z. B. Batterien, notwendig. Abbildung 2 zeigt die gemessene Ausgangsleistung des kinetischen Energiewandlers in Abhängigkeit der Vibrationsfrequenz.

Das System wurde für raue Arbeitsbedingungen ausgelegt, insbesondere in

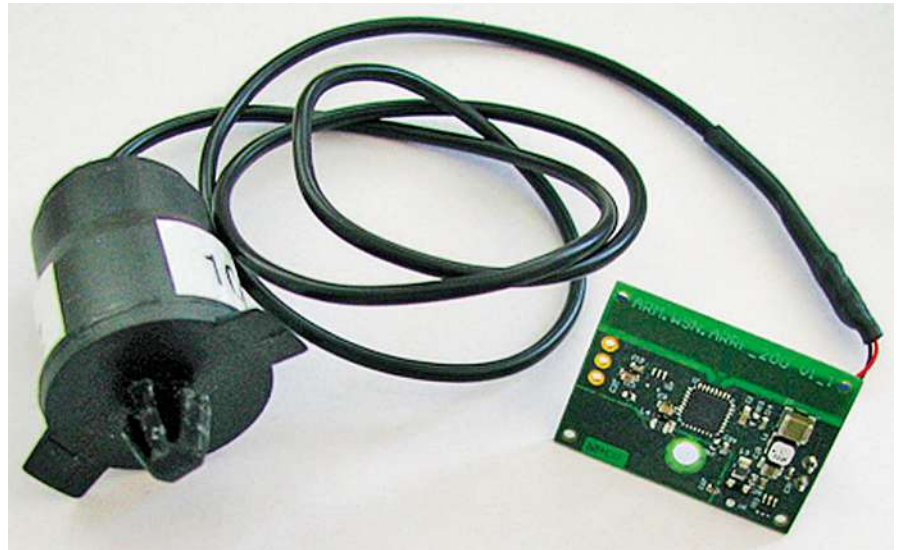


Abb. 1: Miniaturisiertes drahtloses Sensorsystem mit Energy-Harvester

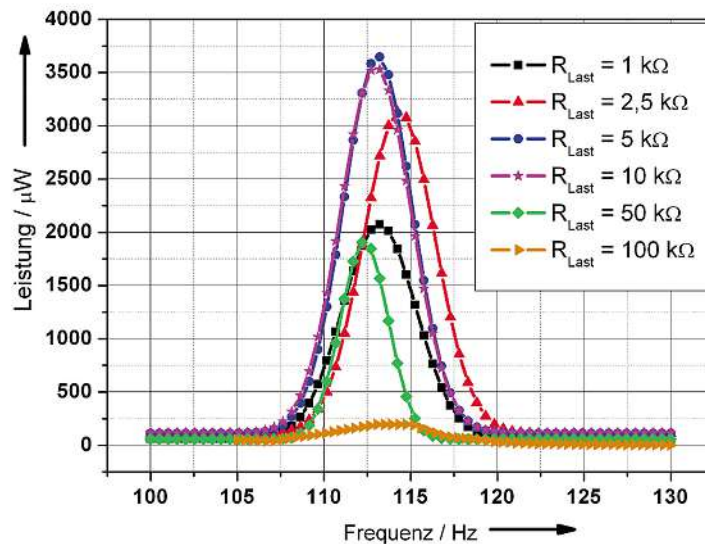


Abb. 2: Leistung des Energy-Harvesters in Abhängigkeit der Vibrationsfrequenz

einem Temperaturbereich von -40 °C bis +125 °C. Mit dem System lassen sich Nutzdatenraten bis zu 70 Hz bei einer Übertragung von 15 Byte Nutzdaten realisieren.

Die Funkreichweite des Systems liegt bei einer Sendeleistung von -9 dBm bei ungefähr 3 m. Das System lässt sich als Punkt-Zu-Punkt-Verbindung oder als Sensornetzwerk betreiben.

Folgende Ansätze und Konzepte führten zum Erfolg des energieautarken Sensorsystems:

- Einsatz einer proprietären Funktechnik und eines speziellen Low-Power-Mikrocontrollers.
- Entwicklung spezieller Hardware für das Power-Management der Systemkomponenten.
- Entwicklung einer speziellen Leiterbahn-Patch-Antenne.
- Einsatz eines energieoptimierten Netzwerkstacks zur Funkdatenübertragung.
- Konsequente Umsetzung verschiedener Energiesparmethoden sowohl in Hardware als auch in Software.

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Beitrags wurde der Frage nachgegangen, wie sich derzeit Energy-Harvesting-basierte drahtlose Sensorsysteme aufgrund kommerziell verfügbarer Energy-Harvester und Energiemanagement-Komponenten realisieren lassen. Energy-Harvester sind zwischenzeitlich – wenn auch nicht in großer Auswahl – kommerziell verfügbar, doch sind deren zur Verfügung gestellten Ausgangsleistungen recht gering. Allerdings können für moderne Funktechnologien wie Bluetooth-Low-Energy durchaus die für eine Datenübertragung benötigte Energie mit den Energy-Harvestern unter guten energetischen Voraussetzungen gewonnen werden. Die Realisierung Energy-Harvesting-basierter drahtloser Sensorsysteme ist auch unter weniger optimalen Bedingungen möglich, wie anhand eines selbst implementierten Systems mit einem kinetischen Wandler gezeigt wurde. Hierzu müssen jedoch wesentlich größere Anstrengungen in die Architektur solcher Systeme fließen. Zukünftige Forschungsaktivitäten werden sich insbesondere mit der Modellbildung und der Simulation von Energy-Harvestern und Energy-Harvesting-basierten drahtlosen Sensor-Systemen beschäftigen.

## Referenzen/References

- [1] Mackensen E.: Energieversorgung, Energiemanagement und Lebensdauer autarker, drahtloser Mikrosensoren und -aktoren. In: ITG/VDE/VDI (Hrsg.): Sensoren und Messsysteme 2006. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2006. – ISBN 3-8007-2939-3
- [2] Kompis C., Aliwell S.: Energy Harvesting to Enable Remote and Wireless Sensing. London: Sensors and Instrumentation KTN, 2008
- [3] Najafi K., Galchev T., Aktakka E.E., McCullagh E.E.: Microsystems For Energy Harvesting. In: IEEE International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers), Beijing, China, pp. 1845-1848, June 2011
- [4] Mackensen E., Wendt T. M.: Energy-Harvesting-basierte Energieversorgungen für drahtlose Sensor-Systeme: Analyse kommerziell verfügbarer Lö-

sungen und daraus abgeleitete Design-Konzepte. In: WEKA Fachmedien GmbH (Hrsg.): 1. Elektronik energy harvesting congress 2012, Tagungsunterlagen. München: WEKA Fachmedien GmbH, 2012 – ISBN 978-3-645-50076-0

- [5] Lai M.: Design eines Bluetooth Low Energy Systems zur Erfassung und Übertragung von Sensor- und Aktordaten. Offenburg: Hochschule Offenburg, Bachelor-Thesis, 2011
- [6] Wendt T. M. et al.: Energieautarkes drahtloses Sensormikrosystem im 2,45-GHz-Band für raue Betriebsumgebungen auf Basis eines kinematischen Energiewandlers. In: ITG; GMM; GMA; AMA (Hrsg.): Sensoren und Messsysteme 2010. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 2010

## Autorin



**Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen**  
Prodekanin (B+W)  
Fakultät Betriebswirtschaft und  
Wirtschaftsingenieurwesen  
Lehrgebiete: Elektrotechnik,  
Automatisierung, Systementwicklung,  
Simulation, Sensorik, Energietechnik  
elke.mackensen@hs-offenburg.de

Ideen aus  
Kunststoff -  
Engagement für  
die Region.



**JACO**  
Ideen aus Kunststoff

Dr. Jaeniche GmbH & Co. KG  
Bodersweierer Str. 30  
77694 Kehl-Leutesheim  
Fon (0049) 07853-88-0  
www.jaco.de

# Usability-Studie mittels Eyetracking

*Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock, Dipl.-Ing. (FH) Martha Jagoda unter Mitarbeit von Franziska Speck*

**Dieses Paper zeigt auf, wie die quantitative Eyetracking-Methodik im Verbund mit vorwiegend qualitativen Probandeninterviews eingesetzt werden kann, um die Benutzerfreundlichkeit einer Website zu analysieren. Als Untersuchungsgegenstand der dokumentierten Studie diente der Unternehmensauftritt der Schöck Bauteile GmbH mit Sitz in Baden-Baden. Auf Basis dieser Forschungsergebnisse lassen sich Handlungsempfehlungen zur Optimierung der untersuchten Internetseite ableiten.**

This paper demonstrates how the quantitative eye tracking method can be used in combination with predominantly qualitative interviews of the test subjects to analyze the general usability of a website. In this scientific process, the website of the German company Schöck Bauteile GmbH, domiciled in Baden-Baden, served as central research subject of the documented study. Based on the following research results, reasonable optimization recommendations were finally formulated.

## Einleitung

Design und Struktur eines professionellen Internetauftritts werden mittlerweile aufwendig konzipiert und gestaltet. Doch dieser zielgerichteten Entwicklung steht eine oftmals flüchtige Wahrnehmung durch die Seitenbesucher entgegen. Betrachtet ein User eine Website zum ersten Mal, liegen zahlreiche Seitenbereiche nicht im direkten Fokus der Aufmerksamkeit. Deshalb bleibt einer Webpräsenz nur sehr wenig Zeit, um den Nutzenden die nötige Orientierung zu verschaffen und sie dazu zu motivieren, tiefer in die bereitgestellten Inhalte einzutauchen. Gelingt es einer Internetseite nicht, die dafür relevanten Informationen möglichst schnell zu transportieren, wird sich der User vermutlich von der Webseite abwenden. Um dieses ungewollte Nutzungsverhalten zu verhindern, ist die Analyse von Orientierungsmustern, Blickverläufen und Aufmerksamkeitschwerpunkten maßgeblich für die Erstellung eines optimalen Internetauftritts.

Die Durchführung einer Eyetrackingstudie liefert dabei die wissenschaftliche Basis zur Bestimmung der Webseiten-Usability, da die sogenannte Nutzerfreundlichkeit einer Seite eine grundlegende Voraussetzung für einen erfolgreichen Webauftritt darstellt [1].

## Eyetracking

Die englische Bezeichnung „Eyetracking“ bedeutet übersetzt Blickregistrierung. Allgemein werden unter diesem Begriff technische Verfahren zusammengefasst, die es ermöglichen, den Blickverlauf einer Testperson beim Betrachten einer ausgewählten Vorlage (z. B. Bild, Text, Film oder Webseite) unmittelbar aufzuzeichnen und digital zu analysieren [2]. Dabei kommen

meist speziell entwickelte Videokameras zum Einsatz, die die Pupillen der Versuchsperson erfassen und deren Bewegungsposition anhand komplexer Algorithmen direkt ermittelt werden können.

Um möglichst aussagekräftige Rückschlüsse über die Aufmerksamkeitsverteilung während des Betrachtungsprozesses zu ziehen, sind im Rahmen der Forschung vor allem Fixationen (durch das Auge fixierte Betrachtungspunkte) und Sakkaden (schnelle Augenbewegungen) unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs zu dokumentieren. Vor diesem Hintergrund kann im Zuge der anschließenden Datenanalyse die Reihenfolge, die Häufigkeit und die Dauer der Betrachtung einzelner Vorlagenbereiche adäquat ausgewertet werden. Dabei korreliert beispielsweise die Fixationsdauer mit dem Grad der Aufmerksamkeit, mit der ein ausgewählter Vorlagenbereich wahrgenommen wird [3].

## Probanden

Zur Durchführung der Untersuchung wurden zwölf Testpersonen ausgewählt, die alle der Fakultät Medien und Informationswesen der Hochschule Offenburg angehörten. Sämtliche Probanden können somit als besonders medien- und internetaffin angesehen werden, da sie als Medienschaffende das notwendige Grundverständnis für gängige Gestaltungsregeln und für die Anwendungsfreundlichkeit von Kommunikationsmitteln mitbringen. Das Durchschnittsalter betrug 24,6 Jahre. 33 Prozent der Teilnehmenden waren weiblich.

## Forschungsdesign

Zur ganzheitlichen Ermittlung der allgemeinen Benutzerfreundlichkeit des In-

ternetauftritts [www.schoeck.de](http://www.schoeck.de) wurde mit den Testpersonen eine zweistufige Untersuchung im Labor durchgeführt. Im ersten Teil der Forschung wurden den Probanden folgende Aufgaben zur direkten Lösung am mit Eyetracking-Hard- und Software ausgestatteten Laborrechner gestellt:

1. Betrachten Sie die Webseite.
2. Bringen Sie in Erfahrung, welche Jobs die Firma Schöck Bauteile GmbH anbietet.
3. Finden Sie das PDF zur technischen Information Schöck Isokorb.

Neben der digitalen Erfassung der rein quantitativen Eyetrackingdaten wurden spontane Anmerkungen der Probanden, die sich in der Regel unmittelbar aus der konkreten Aufgabenstellung oder dem Forschungsprozess ergaben, durch die Versuchsleiterin ergänzend notiert. Anschließend absolvierten die Teilnehmenden in der zweiten Forschungsstufe eine qualitative Nachbefragung zur mündlichen Evaluation des vorangegangenen Versuchsablaufs. Dabei galt es, vor allem das Design, den Bild- und Textesatz, die Benutzerführung, die Übersichtlichkeit sowie die technische Umsetzung der Webseite ausführlicher hinsichtlich ihrer Benutzerfreundlichkeit verbal zu bewerten. Hierzu wurden in einer angenehmen Gesprächsatmosphäre vorwiegend offene Fragen gestellt. Mithilfe des zuvor durch Experten erstellten Fragebogens konnte somit überprüft werden, inwieweit die im Rahmen der Eyetracking-Untersuchung wahrgenommenen Informationen von den Probanden gespeichert und verarbeitet wurden. Mit einer reinen Eyetracking-Untersuchung ist dies nur be-



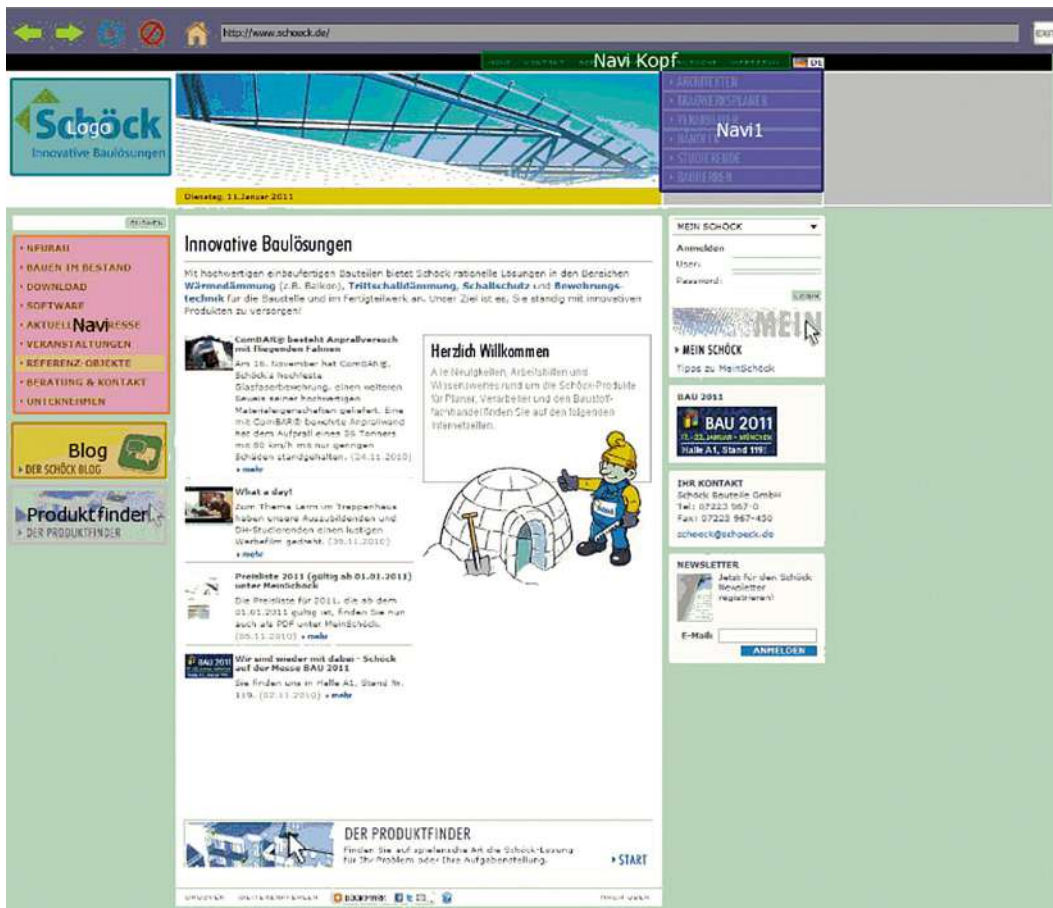


Abb. 1: AOI der Startseite



Abb. 2: Heatmap der Startseite

grenzt möglich, da diese quantitativen Daten ausschließlich auf einen Zusammenhang zwischen Betrachtungshäufigkeit und Wahrscheinlichkeit der Speicherung schließen lassen. Fundierte Empfehlungen zur Optimierung der Benutzerfreundlichkeit der Webseite können deshalb erst durch den wissenschaftlichen Abgleich der Eye-trackingdaten mit den Ergebnissen der qualitativen Nachbefragung formuliert werden.

### Auswertung

Um die Forschungsergebnisse zielgerichtet auswerten zu können, erfolgte zunächst eine Aggregation nach räumlichen Arealen (Areas of Interest = AOI, vgl. Abb.1). Hierbei wurde die Seite in einzelne Elemente aufgeteilt, für die entsprechende Aufmerksamkeitsparameter ausgewiesen werden konnten.

Ausgehend von der Bestimmung der hier definierten AOI, konnten die einzelnen Teilaufgaben der Laboruntersuchung zielführend ausgewertet werden.

### 1. Betrachtung der Webseite

Zur Auswertung der ersten Teilaufgabe wurde die Heatmap der Startseite herangezogen (vgl. Abb.2). Dabei vereint diese Abbildung die Betrachtungsschwerpunkte aller Testpersonen und gibt anhand der Farbgebung Auskunft über die durchschnittliche Verweildauer der einzelnen Blicke.

Dadurch wird deutlich, dass der allgemeine Aufmerksamkeitschwerpunkt der Probanden auf der linken Hauptnavigation lag. Die Zielgruppennavigation fand weitaus weniger Beachtung. Die Kopfnavigation und das Firmenlogo wurden ebenfalls nur schwach wahrgenommen, während die Verlinkungen des Schöck-Blogs und des Produktfinders bei der Fülle der dargestellten Informationen nahezu untergingen. Im direkten Inhaltsbereich wurde der einleitende Seitentext zwar betrachtet, jedoch nur kurz überflogen. Sowohl die rechts positionierte Sidebar als auch die weiteren Seiteninhalte stießen auf verhältnismäßig wenig Aufmerksamkeit.

Das allgemeine Klickverhalten der Testpersonen bewies zudem, dass die linke Seitennavigation als mehrheitlicher Hauptorientierungspunkt der Benutzerführung angesehen werden konnte.

### 2. Jobsuche

Die Mehrheit der Probanden nahm den allgemeinen Weg über die linke Hauptnavigation und den damit verbundenen Menüpunkt „Karriere & Ausbildung“. Nur drei Probanden nutzten die rechte Zielgruppennavigation, wobei eine Testperson diese Suche später wieder abbrach. Allgemein wurde der Seitenaufbau deshalb als eher unübersichtlich empfunden. Abbildung 3 visualisiert die individuellen Scanpfade dreier Probanden im Unternehmensbereich des Internetauftritts. Dabei korreliert der Radius der Blickpunkte mit der Dauer der Betrachtung.

### 3. Technische Informationen

75 Prozent der Testpersonen wählten zur Erfüllung der Aufgabenstellung in der Hauptnavigation zunächst den

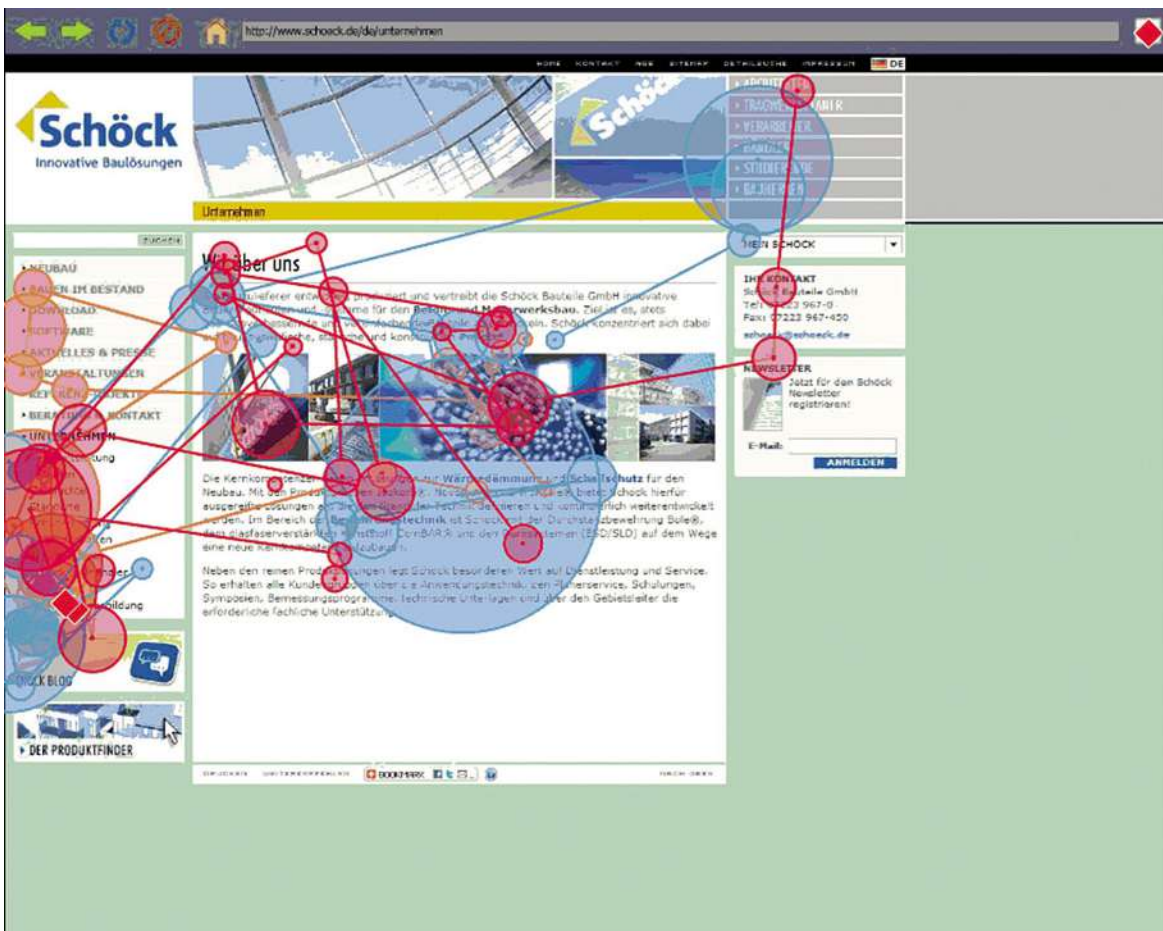


Abb. 3: Scanpfad im Bereich Unternehmen

Downloadbereich aus. Ein Proband brach die Suche bereits nach diesem Schritt ab, da ihm die Seitendarstellung zu unübersichtlich erschien. Das gesuchte PDF konnte entweder direkt über ein Dropdown-Menü der technischen Informationen im Hauptinhaltsbereich des Screens erreicht werden oder über die Auswahl des in der Subnavigation erscheinenden Menüpunkts. Darüber hinaus musste in der Seitennavigation der Produktname „Isokorb“ angesteuert werden, um das Dokument im nächsten Schritt erfolgreich herunterladen zu können. Dabei wurde die Unübersichtlichkeit des Downloadbereichs bemängelt. Vor allem die Auflistung von zahlreichen Teildokumenten lenkte die Probanden häufig von dem zu suchenden Hauptdokument ab und sorgte damit teilweise für Verwirrung. Dies erschwerte den Suchprozess.

### Zusammenfassung

Bei der Betrachtung der individuellen Ergebnisse der qualitativen Nachbefragung fiel auf, dass diese im Einzelnen sehr ambivalent ausfielen, da die definierten Usability-Kriterien von den Testpersonen stets rein subjektiv bewertet wurden. Untersuchte man diese einzelnen Bewertungen jedoch in ihrer Gesamtheit, ergaben sich entscheidende Zusammenhänge und Gemeinsamkeiten, die zur Verbesserung des Webauftritts der Schöck Bauteile GmbH beitragen könnten. Somit ergaben sich durch die Kombination der Resultate der durchgeführten Eyetracking-Untersuchung und der qualitativen Nachbefragung zwei wesentliche Hauptansatzpunkte zur Optimierung der Benutzerfreundlichkeit – zum einen das Design und zum anderen die Benutzerführung der Webseite.

Die Verbindung der beiden Methoden kann deshalb für die Zukunft durchaus weiterempfohlen werden. Durch die ergänzende Befragung musste die Versuchsleiterin keine Hypothesen zum Probandenverhalten aufstellen. Über die eingesetzte „Think-aloud“-Methode erklärten einige der Testpersonen ihre Handlungen völlig eigenständig und nachvollziehbar. Durch ihre eigenen Notizen und Beobachtungen konnte die Versuchsleiterin im Anschluss an das quantitative Eyetrackingverfahren auch nochmals gezielte Nachfragen zum besseren Verständnis stellen. Durch

offene Interviewfragen bestand gleichzeitig auch immer die Möglichkeit, auf jeden Teilnehmenden individuell einzugehen. Auch wenn viele Probanden in der Nachbefragung oftmals dazu neigten, trotz Nutzungsproblemen alles als tendenziell gut zu bewerten, konnte durch die Ergänzung der diversen Methoden einer Verzerrung der Antworten entgegengewirkt werden. Somit kamen auch kritische Momente auf Basis der vorangegangenen Beobachtungen entgegen der sozialen Erwünschtheit zur offenen Diskussion. Ehrliche Antworten wurden deshalb durch die erneuten Aufforderungen zu kritischem Feedback gefördert. Folglich konnten viele der Annahmen der vorangehenden Expertenanalyse im Rahmen der Usability-Studie bestätigt und durch neue, wertvolle Erkenntnisse zur Optimierung des Webauftritts ergänzt werden.

### Referenzen/References

- [1] Reese Frank: „Website Testing - Conversion Optimierung für Landing Pages und Online-Angebote“, ISBN 978-3-938358-96-2, 2009
- [2] Nielsen Jacob: „Eyetracking Web Usability“, ISBN 978-0321498366, 2009
- [3] Wirtz Bernd, Burmann Christoph: „Ganzheitliches Direktmarketing“, ISBN 9783409143455, 2006

### Autorinnen



**Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock**  
Fakultät Medien  
und Informationswesen  
Prodekanin M+I  
Studiendekanin MI  
Leiterin des Labors Medienforschung  
ute.rohbock@hs-offenburg.de



**Dipl.-Ing. (FH) Martha Jagoda**  
Akademische Mitarbeiterin  
im Labor Medienforschung und  
Lehrende der Fakultät  
Medien und Informationswesen  
martha.jagoda@hs-offenburg.de

# Zusammenstellung

## Angaben zum IAF der Hochschule Offenburg

### Gliederung

#### IAF-Leitung

*Geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin

*Stellvertretender  
geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora

#### IAF-Mitarbeiter

*Sekretariat:*  
Diane Weiß

*Forschungskoodinator:*  
Dr. rer. nat. Gunnar Henschen

*Forschungssachbearbeiter:*  
Dipl.-Betriebswirt  
Henning Rauenbühler

#### Forschungsaktive Professoren

Prof. Dr. phil. Heinrich Behring  
Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer  
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl Bühler  
Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ  
Prof. Dr. Dan Curticapean  
Prof. Dr.-Ing. Ali Daryusi  
Prof. Dr. rer. nat. Detlev Doherr  
Prof. Dr. rer. nat. Klaus Dorer  
Prof. Dr.-Ing. Tobias Felhauer  
Prof. Dr.-Ing. Daniel Fischer  
Prof. Dr. phil. Robert Gückler  
Prof. Dr. rer. nat. Daniel Hammer  
Prof. Dr.-Ing. Peter Hildenbrand  
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg  
Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer  
Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen  
Prof. Dr.-Ing. Joachim Jochum  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk  
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kachel  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Kern  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köbler  
Prof. Dr.-Ing. Heinz-Werner Kuhnt  
Prof. Ralf Lankau  
Prof. Dr.-Ing. Winfried Lieber  
Prof. Dr. rer. nat. Klemens Lorenz  
Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Mayer  
Prof. Dr. rer. nat. Erwin Mayer  
Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Nasdala  
Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß  
Prof. Dr. med. Andreas Otte  
Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott  
Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock  
Prof. Dr. rer. pol. Volker Sängler  
Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

Prof. Dr.-Ing. Lothar Schüssele  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert  
Prof. Dr.-Ing. Evgenia Sikorski  
Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg  
Prof. Dr.-Ing. habil. Reiner Staudt  
Prof. Dr.-Ing. Peter Treffinger  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Waltersberger  
Prof. Dr. phil. Hans-Ulrich Werner  
Prof. Dr. rer. nat. Harald Wiedemann  
Prof. Dr. rer. nat. Michael Wülker  
Prof. Dr.-Ing. Richard Zahoransky  
Prof. Dr. rer. nat. Christiane Zell  
Prof. Dr.-Ing. Christian Ziegler

#### Forschungsaktive Mitarbeiter

Naksit Anantalapochai  
Srinivasa Ragavan Devanathan, M.Sc.  
Philipp Digeser  
Martin Dold  
Ognjen Drazic, B.Eng.  
Benjamin Dusch, B.Eng.  
Simon Girsch, B.Sc.  
Stefan Glaser, B.Sc.  
Jan Oliver Grafmüller, B.Sc.  
Waldemar Grünwald, M.Eng.  
Anneque Hassan  
Andreas Huber, M.Eng.  
Corinna Hummel, M.Sc.  
Martin Klemm, B.Eng.  
Rafael Knauf  
Fabian Korak  
Christoph Kramer, B.Sc.  
Andreas Kreker, M.Eng.  
Nico Maier, B.Sc.  
Fabian Meyer, B.Sc.  
Nicolas Michaux, B.Eng.  
Steffen Mittag, B.Eng.  
Seyed Ali Naghib, B.Eng.  
Valentin Ortega Clavero, M.Sc.  
Alexander Riske, Dipl.-Ing. (FH)  
Manuel Roth, M.Sc.  
Michael Schmidt, M.Eng.  
Fabian Seebacher, M.Eng.  
Andrea Seigel  
Sebastian Stickel, M.Eng.  
Jochen Trenkle  
Igor Tropmann, B.Eng.  
Marco Tubolino  
Tobias Volk, M.Eng.  
Stephan Walter, B.Eng.  
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Weber  
Rico Werner, Dipl.-Ing. (FH)  
Andreas Wilke, Dr.-Ing.  
Sebastian Winter, B.Eng.  
Muhammad Nadeem Zia

#### Forschungsinstitute der Hochschule Offenburg

Institut für Energiesystemtechnik (INES)  
*Geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin



*Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin, Leiter IAF*

*Stellvertretender  
geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott  
Peter Osypka Institute  
for Pacing and Ablation (POI)  
*Geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer  
*Stellvertretender  
geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe

Institute for Unmanned Aerial  
Systems (IUAS)  
*Geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder  
*Stellvertretender  
geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr. Dan Curticapean

Institut für kulturelle  
Kommunikation (IKK)  
An-Institut  
*Geschäftsführender Leiter:*  
Prof. Dr. phil. Heinrich Behring  
*Stellvertretender  
geschäftsführender Leiter:*  
Jürgen Stark

# Kooperationspartner

Das Institut arbeitet mit den nachfolgend aufgeführten Kooperationspartnern zusammen:

## Universitäten

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
 DAAD, Bonn  
 Oregon State University, Corvallis, USA  
 Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
 Universität de Haute Alsace, Colmar, Frankreich  
 Universität Freiburg  
 Universität Karlsruhe  
 Université de Strasbourg, Frankreich  
 Université Joseph Fourier Grenoble, Frankreich  
 University of Warmia and Masuria, Olsztyn, Polen  
 Uppsala University, Schweden

## Institute

ENSPS, Strasbourg, Frankreich  
 Fraunhofer Institut, Freiburg  
 HSG-IMIT, Villingen-Schwenningen  
 Humboldt Forschungsstelle Berlin  
 IHK Südlicher Oberrhein, Freiburg

Naturwissenschaftliches Medizinisches Institut NMI, Reutlingen

## Hochschulen

Hochschule Aalen  
 Hochschule Biberach  
 Hochschule Esslingen  
 Hochschule Furtwangen  
 Hochschule Heilbronn  
 Hochschule Karlsruhe  
 Hochschule Konstanz  
 Hochschule Mannheim  
 Hochschule Pforzheim  
 Hochschule Reutlingen  
 Hochschule Stralsund  
 Hochschule Stuttgart  
 Hochschule Ulm  
 TLB-Technologie Lizenz Büro, Karlsruhe

## Industrie

Badenova AG & Co. KG, Freiburg  
 Badische Stahlwerke GmbH, Kehl  
 Cassidian GmbH, Immenstadt  
 Daimler AG, Stuttgart  
 DFM GmbH Designhaus für Mikroelektronik, Lahr

Dr. Osypka GmbH, Rheinfelden  
 Duravit AG, Hornberg  
 EADS. Deutschland GmbH, Ottobrunn  
 Europa-Park GmbH & Co. Mack KG, Rust  
 GeneSys Elektronik GmbH, Offenburg  
 Heinzmann GmbH & Co. KG, Schönau  
 Hekatron Vertriebs GmbH, Sulzburg  
 Huber Kältetechnik GmbH, Offenburg  
 Hubert Burda Media GmbH, Offenburg  
 INA-Schaeffler KG, Lahr  
 LITEF GmbH, Freiburg  
 LuK GmbH & Co. KG, Bühl  
 MAIKO Maschinenbau GmbH & Co. KG, Offenburg  
 Merck KGaA, Darmstadt  
 MFG Medien- und Filmgesellschaft Baden-Württemberg mBH, Baden-Baden  
 Papierfabrik August Köhler AG, Oberkirch  
 PFW Aerospace AG, Speyer  
 Robert Bosch GmbH, Bühl  
 Schweizer Elektronik AG, Schramberg  
 SICK AG, Waldkirch  
 Siemens AG, München  
 Tricumed GmbH, Kiel  
 VEGA Grieshaber KG, Schiltach



Engagierte Mitarbeiter, innovative Produkte und modernste Technologien sind auch weiterhin die Garanten für den weltweiten Erfolg der Koehler Paper Group.  
 UNTERNEHMEN MIT ZUKUNFT – PAPERS FOR THE FUTURE

Papierfabrik August Köhler SE  
 Hauptstraße 2 · D-77704 Oberkirch  
 Telefon +49 7802 81-0 · Fax +49 7802 81-4330  
[www.koehlerpaper.com](http://www.koehlerpaper.com)



# Formen der Zusammenarbeit mit dem IAF

Das IAF ist eine Dienstleistungseinrichtung der Hochschule Offenburg für alle Forschenden und Forschungsinteressierten und bildet gewissermaßen das organisatorische Dach für alle Aktivitäten in der Angewandten Forschung. Das IAF stellt seine Dienstleistungen jedem forschenden Hochschulmitglied zur Verfügung. Das IAF ist außerdem Ansprechpartner für Unternehmen und öffentliche Institutionen der jeweiligen Region sowie für andere Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Als öffentlich rechtliche Institution ist das IAF nicht gewinnorientiert und nicht im eigentlichen Sinn wirtschaftlich tätig. Die Hochschule ist daran interessiert, mit der Industrie und anderen Forschungsinstituten in anspruchsvollen Projekten zusammenzuarbeiten. Hierbei liegt anwendungsorientierte Forschung im besonderen Fokus der Hochschule. Unter „Angewandter Forschung“ sind dabei Aufgabenstellungen zu verstehen, die einerseits soweit produktnah sind, dass in absehbarer Zeit eine wirtschaftliche Verwertung möglich ist, andererseits aber das Risiko im Industrieumfeld zu groß erscheinen lassen, als dass eine einzelne Firma eine eigene komplette Entwicklung durchführen könnte. Typische Beispiele sind die Umsetzung neuartiger Verfahren und Technologien und die Anwendung neuer wissenschaftlicher Methoden im Rahmen von Entwicklungsprozessen. Routineaufgaben der Entwicklung und Planung sind deshalb hier nicht von Interesse und würden in Konkurrenz zu Industrie oder ingenieurtätigen Selbstständigen stehen.

Das besondere Potenzial der Hochschulforschung liegt dabei in der Interdisziplinarität, d. h., an der Hochschule stehen hervorragende Fachleute auf vielen Fachgebieten mit Spezialkenntnissen und Laboratorien unter einem Dach zur Verfügung.

Im Rahmen von Kooperationen kann die Hochschule sowohl begutachtend, begleitend und beratend tätig werden. Sie kann auch aktiv Aufgaben aus dem Entwicklungsbereich selbstständig übernehmen und Produktentwicklungen vorantreiben. In mehrjährigen Forschungsvorhaben kooperiert die Hochschule mit Industrie und Institutionen, um Pilotprojekte durchzuführen oder

um die Marktnähe neuer Komponenten und Systeme zu demonstrieren.

Dabei sind zahlreiche Formen der Kooperation möglich. Vertraulichkeitsschutz wie auch Neutralität sind kennzeichnend für ein öffentlich rechtliches Institut, das Einblick in viele Firmen hat und niemals selbst als Konkurrent auf dem Markt auftreten wird. Häufig werden nach einem erfolgreichen Projekt die Mitarbeiter, die hervorragend eingearbeitet sind und alle Details der Entwicklung kennen, übernommen. Kooperationen mit Hochschulen sind auch häufig die Schlüssel zu Fördergeldern nationaler wie internationaler Organisationen, die nur in Verbindung mit dem Partner Hochschule akquiriert werden können. Die Aktivität des Themas kann dabei von der Industrie als auch von der Hochschule ausgehen.

In der Regel sind die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Projekten mit klar definierten Arbeitspaketen und Zeitplänen organisiert. Der Schwerpunkt der Arbeiten wird von hauptamtlichen Mitarbeitern geleistet, die hierfür mit Zeitverträgen eingestellt sind. Anders ist die notwendige Projektkontinuität wie auch die Qualität der Ergebnisse nicht zu gewährleisten. Diese werden auf dem Arbeitsmarkt akquiriert und sind meist hervorragende Absolventen aus den eigenen Studienprogrammen. Studierende werden nur in Form von Tutorien, Praktika und bei der Erstellung von Abschlussarbeiten eingebunden. Die Leitung der F&E-Projekte erfolgt durchweg durch die Professoren der jeweiligen Fachgebiete.

Im Folgenden sollen die möglichen Formen der Zusammenarbeit mit dem IAF der Hochschule Offenburg kurz dargestellt werden. Wegen weiterer Einzelheiten bitten wir, mit dem geschäftsführenden Leiter des IAF Kontakt aufzunehmen und sich beraten zu lassen.

## Direkte Forschungsaufträge

Direkte Forschungsaufträge durch die Industrie kommen in Frage, wenn sich das Ziel der Entwicklung sowohl inhaltlich als auch zeitlich klar absehen lässt und das Risiko kalkulierbar bleibt. Das IAF erarbeitet hierzu ein Angebot. Umfang der Tätigkeit, Rechte und Pflichten werden vertraglich geregelt. Für kleinere Aufträge (z. B. Gutachten) wird auf

Standardkonditionen verwiesen. Der Umfang sollte ausreichend sein, einen Mitarbeiter für einen gewissen Zeitraum zu bezahlen. Die Kalkulation stellt hierbei marktübliche Kosten für Personal in Rechnung, die Abrechnung erfolgt nach Aufwand oder pauschal. Die Lieferung von Waren ist gewöhnlich ausgeschlossen, es können nur Dienstleistungen erbracht und allenfalls ein Prototyp oder Demonstrator gebaut und ausgeliefert werden. Der Auftrag muss notwendig den Charakter der Forschung und Entwicklung enthalten. Gewöhnlich werden nur Forschungsaufträge akzeptiert, die im jeweiligen Forschungsgebiet der Professoren liegen.

## Kooperationen

Die Kooperation ist die häufigste und flexibelste Form der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Hochschule. Sie ist gewöhnlich auf ein bestimmtes Arbeitsfeld und einen Zeitraum begrenzt und regelt die Vorgehensweise. Rechte und Pflichten der Kooperationspartner werden in einem Vertrag festgelegt, um gemeinsam Anträge an Förderinstitutionen zu stellen, Projekte gemeinsam zu bearbeiten und Ergebnisse miteinander auswerten zu können. Die Form der Zusammenarbeit kann sehr lose wie auch sehr eng sein, die Förderrichtlinien sind gewöhnlich zu beachten oder werden als Leitlinie für Vertragsabschlüsse verwendet.

Kooperationen beginnen meist mit einem „Letter of Intent“ (Absichtserklärung). Einzelheiten der Verträge werden gewöhnlich erst festgelegt, wenn eine verbindliche Förderzusage vorliegt. Die Fördermittel werden in den meisten Fällen von den Partnern separat beantragt, verwaltet und abgerechnet, ein Unterauftragnehmerverhältnis besteht nicht.

Kooperationen können auch strategisch, informativ und ohne Geldfluss in beiderseitigem Interesse abgeschlossen werden.

## Arbeitsgemeinschaften

Diese Form der Zusammenarbeit geht über Kooperationen hinaus, wobei ein Partner verantwortlich Projektleitung und finanzielle Abwicklung übernimmt. Der Partner kann sowohl im Industrials als auch Institutsbereich angesiedelt sein. Gewöhnlich umfasst eine Arbeitsgemeinschaft mindestens drei und mehr

– auch internationale – Partner und findet sich zur Bearbeitung von Großprojekten, bevorzugt im EU-Bereich, zusammen.

### Verwertung von Lizenzen

Die Hochschulen erarbeiten im Rahmen von Projekten Ergebnisse, die dem Urheberrecht oder Patentrecht unterliegen. Soweit eigene Mittel der Hochschule aufgebracht wurden oder die Förderanträge dies zulassen, können die Ergebnisse an Industrieunternehmen zur ausschließlichen oder nicht ausschließlichen wirtschaftlichen Verwertung lizenziert oder auch verkauft werden. Hierbei werden marktübliche Konditionen angestrebt. Die Hochschule berücksichtigt dabei den Charakter der lizenznehmenden Firma. So werden bei Ausgründungen häufig sehr günstige Konditionen in der Anfangsphase vereinbart, um den Start-up des Unternehmens nicht zu belasten. Grundsätzlich erhebt die Hochschule aber den Anspruch auf Beteiligung am wirtschaftlichen Erfolg des lizenzierten Systems.

### Grants, Stiftungen und Spenden

Eine strategische Zusammenarbeit der Industrie mit dem Institut wird durch Grants, im deutschen Sprachraum Stiftungen oder auch Spenden genannt, stark beflügelt. Stiftungen sind von Natur aus zweckgebunden und auf die Bearbeitung bestimmter Themen ausgerichtet, die Maximalform ist wohl die Stiftungsprofessur für ein bestimmtes Arbeitsgebiet. Stiftungen unterscheiden

sich von Forschungsaufträgen dadurch, dass die erzielten Ergebnisse allgemein zugänglich sein müssen, z. B. veröffentlicht werden, also nicht exklusiv dem Auftraggeber zur Verfügung stehen. Der steuerrechtlich enger gefasste Begriff der Stiftung kommt nur in wenigen Fällen zum Tragen, z. B., wenn eine regelmäßige Summe zur Förderung von F&E in einem bestimmten Arbeitsgebiet ausgelobt wird. In den meisten Fällen handelt es sich um einmalige „Spenden“, die ebenfalls zweckgebunden sein können. Der Sinn dieser Spenden von Industrie aus ist der Aufbau eines entsprechenden Know-how-Trägers im Institut, auf den dann über direkte Forschungsaufträge zurückgegriffen werden kann. Über die Annahme einer Spende muss wegen der Implikationen und eventuellen Folgekosten durch die Hochschulleitung entschieden werden. Klassisch sind Gerätespenden, d. h. die kostenlose Überlassung oder auch Schenkung von Geräten und Anlagen zur weiteren Verwendung in der Forschung oder Lehre.

Grants sind in Deutschland bisher noch wenig entwickelt und ihr Wert für die Industrie noch nicht deutlich genug erkannt. Sie dokumentieren auch nach außen hin die Bedeutung, die die Hochschule für die Grants gebende Industrie hat. Die Wirtschaft übernimmt damit ein kleines Stück der Verantwortung für die Zukunft selbst und kann entsprechend eigene Schwerpunkte setzen. Verglichen mit den Kosten für eine eigene F&E-Abteilung, deren Auslastung

auch zu sichern wäre, ist die Förderung eines entsprechenden Forschungsschwerpunkts an der regionalen Hochschule durch Grants überaus effektiv, steuerrechtlich vorteilhaft und kostengünstig.

### Erstellen von Gutachten

Gutachten sind eine Standarddienstleistung von Forschungsinstitutionen. Das IAF leitet Anfragen direkt an geeignete Fachgutachter weiter, die gewöhnlich nach Gebührenordnung abrechnen. Das IAF wird dabei nicht direkt involviert. Wegen des persönlichen Bezugs wird das Gutachten immer vom zuständigen Professor auch persönlich erstellt, verantwortet und auch abgerechnet.

### Beratung

Das IAF berät die Industrie in allen Fragen, in denen es kompetent ist. Ein erster Beratungskontakt ist nach Vereinbarung möglich und meist kostenfrei. Umfangreiche und mehrfache Beratungen werden nach Aufwand abgerechnet, wobei marktübliche Kostensätze zugrunde gelegt werden. Beratungen werden neben Anfragen und Projektakquisitionen häufig in Verbindung mit Lizenzverträgen zur Begleitung einer Entwicklung in die Serie angefordert.

### Wissenschaftlich-technische Begleitung

Das IAF bietet Firmen und Institutionen die Möglichkeit, neuartige Komponenten und Systeme im Markt und in der Anwendung zu erproben. Dazu führen die Forscher in der Regel Langzeitmessungen unter Nutzungsbedingungen durch (Monitoring) und bewerten die Messergebnisse. Schwachstellenanalysen und Optimierungsvorschläge ergänzen hier das Portfolio.



Abb.: Fachforum Forschung auf dem Campus; IAF-Leiter Prof. Elmar Bollin beglückwünscht Prof. Bruno Ismer zur Einweihung des Peter-Osypka-Instituts

# Beratung für Existenzgründerinnen und -gründer

Seit Juni 2012 gibt es das neue Gründerbüro an der Hochschule Offenburg. Es unterstützt Existenzgründungen an der Hochschule Offenburg und hat zum Ziel, dass das große Potenzial an technischem und wirtschaftlichem Wissen der Studierenden und Beschäftigten der Hochschule für die Gründung von neuen Unternehmen genutzt werden kann. Das Angebot des Gründerbüros richtet sich deshalb an Studierende, Beschäftigte, Dozenten/-innen und Professoren/-innen der Hochschule.

In Zusammenarbeit mit dem IAF sollen dabei besonders die technologieintensiven Gründungen gefördert werden.

Der Beauftragte für Existenzgründungen, Prorektor Prof. Dr. Thomas Breyer-Mayländer und der Leiter des Gründerbüros, Wolf-H. Blochowicz, beraten Unternehmensgründerinnen und -gründer auf dem Weg zur beruflichen Selbstständigkeit. Sie stehen für alle Fragen rund um die Selbstständigkeit und die Gründung eines Unternehmens zur Verfügung.

## Beratungsthemen:

- Unterstützung bei der Entscheidung, ob eine Existenzgründung überhaupt sinnvoll ist
- Tipps aus der Praxis zu allen Phasen der Unternehmensgründung
- Vermittlung von Kontakten zu Experten (IHK, TPO, Ministerien u.a.)
- Infos zu Förderprogrammen des Bundes und des Landes Baden-Württemberg

Außerdem ist die Hochschule Offenburg Mitglied des Gründerverbands Campus Technologies Oberrhein (CTO). CTO ist eine regionale Förderinstitution, die innovative Gründungsvorhaben der Universität Freiburg und den Hochschulen Furtwangen und Offenburg unterstützt.

Die Hochschule, vertreten durch Prof. Dr. Winfried Lieber, ist Mitglied des Stiftungsrats des TechnologieParks Offenburg (TPO). Der TechnologiePark Offenburg begleitet junge Unternehmen bereits seit 1987 bei ihrem Start in die Zukunft. Jung-Unternehmer tauschen sich hier mit anderen Existenzgründern aus und greifen auf ein bewährtes System der Beratung zu.

## Ansprechpartner:

Wolf-H. Blochowicz  
Leiter Gründerbüro  
Tel.: 0781/205-4638  
Mobil: 0176/23163252  
E-Mail: wolf.blochowicz@hs-offenburg.de

Förderprogramme, die mit Unterstützung der Hochschule Offenburg beantragt werden können:

## Das EXIST-Gründerstipendium

Das EXIST-Gründerstipendium richtet sich an Studierende und Mitglieder von Hochschulen, die innovative technologieorientierte oder wissenschaftsbasierte Ideen (Produkte oder Dienstleistungen) in einer Existenzgründung verwerten möchten. Dabei werden aber nur Projekte gefördert, die eine gute wirtschaftliche Erfolgsaussicht vorweisen können und bei denen die Gründerteams nicht größer als drei Personen sein sollten, die sich jedoch nicht nur aus Studierenden zusammensetzen dürfen.

Die Förderung umfasst die Sicherung des persönlichen Lebensunterhalts über ein Stipendium, Sachausgaben bis zu 10.000 Euro für Einzelgründungen und bei Teams bis 17.000 Euro und Ausgaben für externes Coaching bis zu 5000 Euro. Dabei beträgt die maximale Förderdauer ein Jahr.

Die Hochschule stellt dem Gründer/der Gründerin einen Mentor und einen Arbeitsplatz zur Verfügung, garantiert kostenfreie Nutzung der Infrastruktur und verwaltet die Fördermittel.

## Junge Innovatoren

Das Förderprogramm Junge Innovatoren wurde geschaffen, um jungen wissenschaftlichen Mitarbeiter/-innen aus den Hochschulen den Weg in die Selbstständigkeit zu ebnen. Gefördert werden Gründungen, die neue und innovative Produkte und Verfahren herstellen oder vertreiben wollen. Diese Produkte oder Verfahren müssen jedoch von den Gründern/-innen selbst entwickelt worden sein. Schwerpunkt der Förderungen umfassen maßgeblich die zukunftsträchtigen Felder wie Optoelektronik, Biotechnologie, Medizintechnik, Solartechnik, Automatisierungstechnik und Mechatronik.

Gefördert wird unter der Obhut des bisherigen Arbeitgebers die gezielte Vorbereitung der Existenzgründung durch einen Beitrag zur Sicherung des Lebensunterhalts für die Dauer von maximal zwei Jahren, die kostenlose Nutzung der Räumlichkeiten und der technischen Infrastruktur der Hochschule, externes Coaching und ein Beitrag zu Investitionen und Sachmitteln von bis zu 20.000 Euro.



Abb.: Professor Dr. Thomas Breyer-Mayländer (links), Wolf H.-Blochowicz



# Forschungs- und Entwicklungsprojekte 2012

## Wettbewerbslich neu eingeworbene Projekte und Teilprojekte in 2012

Projektleiter: Projekttitle, Mittelgeber:

**Bessler Wolfgang:** Strom aus Luft und Li, BMBF/PTJ

**Bessler Wolfgang:** PUMA MIND – Arbeitspaket „Macroscopic single-cell models“, EU – 7. Rahmenprogramm

**Bollin Elmar:** Dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsanlagen für energetisch sanierte Gebäude, Badenova AG & Co.KG

**Bollin Elmar:** Energienetzmanagement dezentraler, wärmegeführter BHKW, Badenova AG & Co.KG

**Bollin Elmar:** Regenerative Energiezentrale des Geflügelhofes Zapf, Zapf Hof GmbH

**Bollin Elmar:** wissenschaftlich-technische Begleitung des Projekts „SOL-COOL BaWü“, Land BW; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

**Bollin Elmar:** Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern (Teil 3), Stadt Offenburg

**Bollin Elmar:** Weiterbetreuung der solaren Klimatisierung Rottweil nach dem Projekt „Solarthermie 2000plus“, PASM GmbH München

**Doherr Detlev:** Geothermale Fluide, tektonische Spannungen und Seismizität, Land BaWü/BWPLUS

**Fischer Daniel:** Entwicklung eines neuartigen hybriden Aktivfilters mit integrierter Smart-Grid, ZIM (BMW)/AiF

**Hammer Daniel:** Cyberdrugs Verlängerung, Bayer AG

**Hochberg Ulrich:** Fertigung Joulemeter und dessen Überarbeitung, Shell Research Limited

**Ismer Bruno:** MAGNETO – Entwicklung eines intravaskulären Kathetersystems, ZIM (BMW)/AiF

**Jansen Dirk:** Tricumed Schmerzinfusionspumpe Weiterentwicklung (Teil 3), Tricumed Medizintechnik GmbH

**Jansen Dirk:** Tricumed Beschaffung ASIC-Bausteine (Teil 4), Tricumed Medizintechnik GmbH

**Jansen Dirk:** SEAGSense Bearbeitung Reklamation 1, zu SensoTAG (Sommer 12), Schweizer Electronic AG (SEAG)

**Jansen Dirk:** SEAGSense Bearbeitung Reklamation 2 zu SensoTAG (Winter 12/13), Schweizer Electronic AG (SEAG)

**Jansen Dirk:** Fermenter-Sensorik Teil 2 (Erweiterung), Siemens AG

**Jansen Dirk:** Gesundheits-WC Hauptprojekt Teilprojekt Elektronik, Duravit AG

**Kachel Gerhard:** Formoptimierung zur Verbesserung der Energieeffizienz bei geführten Strömungen, BMBF

**Mackensen Elke:** Fit4PracSis: Fitness for Practice and Sciences, MWK BaWü/IQF Fonds

**Mayer Andreas:** Experimentelle und theoretische Untersuchung linearer und nichtlinearer Kantenwellen Teil 3, DFG

**Müller Andrea:** KommWeb KMU (Verwertungsbericht), e-pro solutions GmbH

**Nuß Uwe:** HDR3 Hard- und Software Teil 2 (Verlängerung), GNDC Co. Limited, Taiwan

**Pfafferott Jens:** Modellbasierte Datenauswertung Sporthalle Weixdorf, Fraunhofer ISE Freiburg

**Pfafferott Jens:** Weiterentwicklung Datastorage, Fraunhofer ISE Freiburg

**Pfafferott Jens:** Prädiktive Algorithmen in komplexen Systemen der Gebäudeautomation, BMBF

**Pfafferott Jens:** Bauphysik der Fassade im Klimawandel, Deutscher Wetterdienst Freiburg

**Rohbock Ute:** Analyse des Blogs der Firma Schöck, Schöck Bauteile GmbH

**Schröder Werner:** Entwicklung eines Verfahrens zur berührungslosen Schadensanalyse von Betonbauwerken, ZIM (BMW)/AiF

**Schröder Werner:** Entwicklung eines professionellen Vermessungswerkzeugs auf Basis von Smartphones (Mobile Measure), ZIM (BMW)/AiF

**Seifert Thomas:** Beratung Bosch Mahle Werkstoffe Teil 4, Bosch Mahle GmbH & Co. KG

**Seifert Thomas:** Probabilist. Werkstoffmodelle zur Lebensdauervorhersage von Turbinenkomponenten, MTU Aero Engines GmbH

**Sikora Axel:** Android auf einer Sauter PLC; Gateway OPC und zu BACnet Webservices, Sauter AG

**Sikora Axel:** Implementierung eines zertifizierbaren, erweiterbaren Embedded Smart Meter Gateway, ZIM (BMW)/AiF

**Sikora Axel:** Studien zum Verhalten von GSM-Modulen, Deutsche Telekom AG

**Spangenberg Bernd:** Entwicklung von Dämmplatten aus einem neuartigen, rein mineralischen Polymer, ZIM (BMW)/AiF

**Spangenberg Bernd:** Gesundheits-WC Hauptprojekt Teilprojekt Analyse, Duravit AG

**Treffinger Peter:** Optimierung energieintensiver Prozesse am Beispiel Elektrolichtbogenverfahren, BMBF

**Velten Dirk:** Telefonberatung „Oberflächenschutz“, Hydro Systems KG

## Forschungs- und Entwicklungsbestandsprojekte 2012

### Einzahlungen in 2012 bei Projekten und Teilprojekten, die bereits vor 2012 wettbewerbslich eingeworben wurden

Projektleiter: Projekttitle, Mittelgeber:

**Bollin Elmar:** Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern Teil 1 und 2, Stadt Offenburg

**Bollin Elmar:** Anlagenmonitoring Pilotanlage Solare Prozesswärme, Pfizer Deutschland GmbH, Freiburg

**Bollin Elmar:** Prädiktives Energienetzmanagement für ein Effizienzhaus Plus, BBSR im BBR

**Breyer-Mayländer Thomas:** Wissenschaftliche Begleitung von Schülerunternehmen in der Ortenau, Europäische Sozialfonds; Wirtschaftsbeirat

**Breyer-Mayländer Thomas:** Clue „Grenzüberschreitendes Cluster der kreativen Industrien“, Europäische Fonds für Regionalentwicklung

**Christ Andreas:** Promotionsstipendien, Uni Freiburg

**Dorer Klaus:** Agentenbasierte Transportoptimierung zur CO- und Transportkostenreduzierung, BMBF

**Felhauer Tobias:** Spektrum Monitoring, LS telcom AG

**Hammer Daniel:** Aufstieg durch Bildung, Open C3S, BMBF

**Hildenbrand Peter:** Agentenbasierte Regelung des Temperierprozesses, ZIM (BMW)

**Hirtes Sabine:** Design am Oberrhein, Interreg-Projekt

**Hochberg Ulrich:** EC-wheel, Leichtbau-radnabenmotor, ZIM (BMW)

**Isele Alfred:** MINT DM Isele, verschiedene Industrieunternehmen

**Isele Alfred:** Industry on Campus, Badenova AG & Co. KG; Ernst Möschle Behälterbau; IWB; RMA Rheinau GmbH & Co.KG, Steag New Energies GmbH; Schiele AUH GmbH

**Isele Alfred:** MINT Fa. Schneider, Anton Schneider GmbH & Co KG

**Jansen Dirk:** Tricumed Schmerzinflusionspumpe Teil 1 und 2, *Tricumed Medizintechnik GmbH*

**Jansen Dirk:**  $\mu$  Trans, *BMBF*

**Jansen Dirk:** Fermenter-Sensorik Teil 1 (Hauptprojekt), *Siemens AG*

**Jochum Joachim:** Dezentrales Holzvergaserkraftwerk mit gekoppelter Mikrogasturbine (DeHoGas), *BMU/AiF*

**Kachel Gerhard:** EUdaF – Energieeffiziente Umströmungsprozesse durch automatische Formoptimierung, *BMBF*

**Mayer Andreas:** Experimentelle und theoretische Untersuchung linearer und nichtlinearer Kantenwellen Teil 1 und 2, *DFG*

**Mayer Andreas:** Nichtlinearitäten in OFW-Filtern, *EPCOS AG*

**Nuß Uwe:** HDR3 Hard- und Software Teil 1, *GNDC Co. Limited, Taiwan*

**Schröder Werner:** Photon, *EFRE; ZAFH / ZO IV*

**Schröder Werner:** Akustische Längenmessung, *ZIM (BMW)/AiF*

**Schröder Werner:** Evaluation eines zukunftsweisenden Inertialsystems, *Fraunhofer Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie*

**Seifert Thomas:** Verformungsberechnung zur Lebensdauerbestimmung bei Kriechermüdung, *DFG*

**Seifert Thomas:** Mikrostrukturbasierte Modellierung von Gusseisen, *DFG*

**Seifert Thomas:** Beratung Bosch Mahle Werkstoffe Teil 1 bis 3, *Bosch Mahle GmbH & Co. KG*

**Seifert Thomas:** Beratung zu Werkstoffkennwerten und Werkstoffmodellen für Finite-Elemente, *Faurecia Emissions Control Technologies*

**Sikora Axel:** WiMBex, *EU - 7. Rahmenprogramm*

**Vinke Johannes:** Entwicklung einer Niedertemperatur-Pulverlackbeschichtung für Nichtmetalle, *ZIM (BMW)/AiF*

**Waltersberger Bernd:** Entwicklung eines Auslegeverfahrens kritischer Bauteile zur Prozessgasaufbereitung, *ZIM (BMW)/AiF*

**Wilke Andreas:** Unterstützung der Hydrolyse durch aerobe Prod. von Enzymen in einer Biogasanlage, *Badenova AG & CO. KG*

**Wiedemann Harald:** Aufbau eines Pe-delec-Verleihsystems in Offenburg, *E-Werk Mittelbaden, Stadt Offenburg*

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen (peer reviewed)

**Ahmed Naveed, Jensen Christian D., Zenner E.:** Towards Symbolic Encryption Schemes, *Proc. ESORICS 2012, Springer LNCS 7459, 2012*

**Bagheri N., Gauravaram P., Knudsen L. R., Zenner E.:** The Suffix-Free-Prefix-Free Hash Function Construction and its Indifferentiability Security Analysis, *International Journal of Information, Security, Volume 11, Issue 6, 2012*

**Bastos-Neto M., Patzschke C., Lange M., Möllmer J., Möller A., Fichtner S., Schrage Chr., Lässig D., Lincke J., Staudt R., Krautscheid H.:** Assasment of Hydrogen storage by physisorption in porous media, *Energy Environ. Sci., 5, 8294, 2012*

**Benoit P., Fey S., Rohbogner G., Kreifels N.:** Different Approaches for Communication Systems in large-scale PV and CPV Installations, *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition EUPVSEC, Frankfurt, pp. 3955 – 3963, September 24-28, 2012*

**Benoit P., Rohbogner G., Fey S., Kohrs R., Wittwer C.:** Modellierung und Simulation von Kommunikationsnetzen für Smart Grid Anwendungen [Modelling and Simulation of Communication Networks for Smart Grid Applications], *VDE Kongress: Smart Grid -Intelligente Energieversorgung der Zukunft, Stuttgart, S. 6, 05. – 06.11.2012*

**Curticapean D., Neculae A.:** Radiative heat transfer in optical fibers with applications to temperature measurement and controlled splicing processes considering the SP1 approximation, *Frontiers in Optics/Laser Science XXVIII (FIO/LS), FW3A.37, Rochester, New York, 2012*

**Curticapean D., Otte A., Neculae A.:** Numerical analysis of the diffusive mass transport in brain tissues with applications to optical sensors, *SPIE Paper BO 8576-4, Photonics West, San Francisco 2013*

**Debatin F., Möllmer J., Mondal S.S., Behrens K., Möller A., Staudt R., Thomas A., Holdt H.-J.:** Mixed gas adsorption of carbon dioxide and methane on a series of isoreticular microporous metal-organic frameworks based on 2-substituted imidazolate-4-amide-5-imidates, *10221 – 10227, Journal of Mater. Chem. 22, 2012*

**Digester P., Sikora A.:** Management of Routed Wireless M-Bus Networks for Sparsely Populated Large-Scale Smart-Metering Installations, *International Conference on Security in Computer Networks and Distributed Systems (SNDS'12), October 2012*

**Fey S; Benoit P., Rohbogner G., Christ A., Wittwer C.:** Device-to-Device Communication for Smart Grid Devices, *Proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Berlin, Germany, Pages: 7, October 15-17, 2012*

**Grünwald W., Jansen D.:** A digital low frequency transceiver for biomedical implants with enclosed titanium housing, *ICES 2012 – International IEEE Conference on Signals and Electronic Systems WROCLAW, POLAND, September 18 – 21, 2012*

**Junk S., Côté S.:** A practical approach to comparing energy effectiveness of rapid prototyping technologies, *Proceedings of AEPR'12, 17th European Forum on Rapid Prototyping and Manufacturing, Paris, France, 2012*

**Junk S., Côté S.:** Energy and material efficiency in additive manufacturing using 3D printing, *Proceedings of GCSN 2012, 10th Global Conference on sustainable Manufacturing, Istanbul, Turkey, 2012*

**Junk S., Taleb-Araghi B.:** Schnelle und günstige Herstellung von Versuchswerkzeugen für den Leichtbau durch 3D-Drucken mit Kunststoffpulvern (Low Cost Rapid Tooling), *Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.: EFB-Kolloquium Bad Boll, ISBN 978-3-86776-380-6, 2012*

**Junk S., Taleb-Araghi B.:** New Developments in Rapid Tooling Using 3D-Printing with Plaster Powders, *Proceedings of DDMC 2012, Fraunhofer Direct Digital, Manufacturing Conference, Berlin, 2012*

**Kandzia P., Trahasch S.:** E-Learning an Hochschulen – Vom Projekt zum Prozessmanagement, *icom, 11(1), 34 – 37. doi:10.1524/icom.2012.0010, 2012*

- Lincke J., Lässig D., Stein K., Möllmer J., Kuttathayil A.V., Reichenbach C., Moeller A., Staudt R., Kalies G., Bertmer M.:** A Novel Zn4O-Based Triazolyl Benzoate MOF, Synthesis, Crystal Structure, Adsorption Properties and Solid State <sup>13</sup>C NMR Investigations, Dalton Trans., 41 (2012) 817 – 824, 2012
- Lincke J., Lässig D., Kobalz M., Bergmann J., Handke M., Möllmer J., Lange M., Roth C., Staudt R., Krautscheid H.:** At the Borderline of Crystal Engineering: A Series of Porous, Copper Based Triazolyl Isophthalate MOFs, Inorg. Chem. 51(14), 7579 – 7586, 2012
- Mackensen E., Lai M., Wendt T. M.:** Performance Analysis of an Bluetooth Low Energy Sensor, Proceedings of the 1st IEEE Symposium on Wireless Syst. (IDAACS-SWS'2012). Offenburg, ISBN 978-1-4673-4677-1, 2012
- Mackensen E., Wendt T. M.:** Anwendung von SysML und Agilen Entwicklungsmethoden bei der Entwicklung von Embedded Systemen, Design & Elektronik Entwicklerforum Embedded-System-Entwicklung. Tagungsunterlagen, München, 2012
- Mackensen E., Lai M., Wendt T. M.:** Bluetooth Low Energy (BLE) based wireless sensors. In: Proceedings of the IEEE Sensors, Taipei, ISBN 978-1-4577-1765-9, 2012
- Mackensen E., Wendt T. M.:** Anwendung von SysML und Agilen Entwicklungsmethoden bei der Entwicklung von Embedded Systemen, Design&Elektronik Entwicklerforum Embedded-System-Entwicklung. Tagungsunterlagen. München, 2012
- Mackensen E., Wendt T. M.:** Energy-Harvesting-basierte Energieversorgungen für drahtlose Sensor-Systeme: Analyse kommerziell verfügbarer Lösungen und daraus abgeleitete Design-Konzepte, Elektronik energy harvesting congress 2012, Tagungsunterlagen. München: WEKA Fachmedien GmbH, ISBN 978-3-645-50076-0, 2012
- Milz B., Idros I. B., Spangenberg B.:** Limits of quantification of some neonicotinoid insecticides measured by thin-layer chromatography, J. liq. chrom. & rel. technol. 35, 1404 – 1414, 2012
- Milz B., Klein K.-F., Spangenberg B.:** Quantitative Two-Dimensional Thin-Layer Chromatography Using a Diode-Array Detector, Journal of Planar Chromatography 25, 493 – 497, 2012
- Möllmer J., Möller A., Patzschke C., Stein K., Lässig D., Lincke J., Gläser R., Krautscheid H., Staudt R.:** Pure and mixed gas adsorption of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub> on the metal-organic framework Basolite® A100 and a novel copper-based 1,2,4-triazolyl benzoate MOF, J. Mater. Chem. 22, 10274-10286, 2012
- Otte A.:** Neuroimaging in mild traumatic brain injury and M. Ravel's injury, Hell J Nucl Med 2012; 15(1): 76, 2012
- Otte A.:** Positron emission tomography and single-photon emission tomography in neurosciences, Hell J Nucl Med 2012; 15 (3): 256, 2012
- Pfuhler J., Sikorski E., Kuhn M.:** Modeling the Air Temperature Profiles in the Cavity of a Double-skin Façade, 2nd International High Performance Buildings Conference at Purdue, West Lafayette, IN, USA, #3282, 8 p, 07/12
- Rohbogner G., Fey S., Hahnel U. J. J., Benoit P., Wille-Hausmann, B.:** What the term Agent stands for in the Smart Grid, IEEE Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Breslau, Poland, pp. 1301 – 1305, September 9 – 12, 2012
- Sänger V., Schmidt C.:** Das virtuelle Informatiklabor – Konzeption, Design und Realisierung einer E-Learning-Umgebung zum Erlernen von Algorithmen, Informatica Didactica – Zeitschrift für fachdidaktische Grundlagen der Informatik, Ausgabe Nr. 9, 2012
- Schüssele L., Felhauer T., Christ A., Klausmann T., Weber Ch.:** Application of Wireless Technology for IP-based Aircraft In-flight Entertainment, 1. IEEE Intern. Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Offenburg, 2012
- Sikora A.:** Weiterentwicklung der Protokolle für die Primärkommunikation in Smart Metering & Smart Grid Anwendungen, VDE Kongress 2012, Stuttgart, 5.11.2012
- Sikora A.:** Security Solutions for Highly Dynamic Car2X Networks in the KoFAS initiative, 4th International Workshop, Nets4Cars/Nets4Trains 2012, Vilnius, Lithuania, Springer Lecture Notes, LNCS7266, ISBN 978 3642296666, April 25-27, 2012
- Sikora A., Lill D.:** Design, Simulation, and Verification Techniques for Highly Portable and Flexible Wireless M-Bus Protocol Stacks, Hong Kong, ICSGCE 2012: 26 – 28 October 2012
- Sikora A., Landwehr K.:** Communication Solutions for Smart Gas Meters and Energy Efficient Embedded Services, ARTEMIS track, Embedded World Conference, Nürnberg, 29.02.2012
- Sikora A., Schappacher M.:** Network Simulation of Wireless Metering Networks, Embedded World Conference, Nürnberg, 28.02. – 01.03.2012
- Sikora A., Braun N., Jaeckel S., Jaeckle D.:** Gateway Architectures for Home Care Applications Using Wireless Sensor Networks, International Journal of Computing, 2011, Vol. 10, Issue 4, p. 367 – 372. Hinweis: erschienen erst in 2012
- Sikora A., Braun N., Bachmann V.:** Energy optimisation for GPRS based M2M communication, Embedded World Conference, Nürnberg, 28.02. – 01.03.2012
- Sikora A., Villalonga P., Landwehr K.:** Extensions to Wireless M-Bus Protocol for Smart Metering and Smart Grid Application, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI-2012, Chennai, India, Aug. 3 – 5, 2012
- Sikora A., Werner R., Digeser P., Klemm M., Tubolino M.:** Model Based Development of a Tiny OS-based Wireless M-Bus Implementation, 1st IEEE Intern. Symp. on Wireless Sys. within the Conf. on Intelligent Data Acqu. and Adv. Computing Systems (IDAACSSWS' 2012), Offenburg, Sep. 20 – 21, 2012
- Spangenberg B.:** Quantifying Quaternary Herbicides by Standard Addition Method, Journal of Planar Chromatography 25, 262 – 268, 2012
- Staudt R.:** Energy & Environmental Science, Publikation 2, Royal Soc Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Rd., Cambridge, England, Cambs, CB4 0WF, Monthly ISSN: 1754-5692, 2012
- Staudt R.:** Dalton Transactions, Publikation 3, ISSN: 1754-5692, Royal Soc Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Rd., Cambridge, England, Cambs, 2012

**Staudt R.:** Journal of Materials Chemistry, Publication 4 and 5, Weekly ISSN: 0959-9428, Royal Soc Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Rd., Cambridge, England, Cambs, 2012

**Staudt R.:** **Chemical Communications, Publication 6, Weekly ISSN:** 1359-7345, Royal Soc Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Rd., Cambridge, England, Cambs, 2012

**Staudt R.:** Inorganic Chemistry, Publikation 1, Semimonthly ISSN: 0020-1669, Amer Chemical Soc, 1155 16TH ST, NW, Washington, USA, DC, 20036, 2012

**Sultana R.; Christ A.; Meyrueis, P.:** System Architecture of Device and Content Independent Application including 3D Imaging and Virtual Reality Implemented in Collaborative Language Learning Game., Second World Congress on Information and Communication Technologies (WICT 2012), Trivandrum, India, pp. 61 – 65, 30.11. – 02.11.2012

**Venkataraman H., Chowdhary A., Muntean G.-M., Sikora A.:** COARSE - A Cluster-based Quality Oriented Adaptive Radio Resource Allocation Scheme, IET Communications 2012

**Volz M., Saal H.:** Geschweißte Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8., Stahlbau 81, H. 4, S. 282 – 289, 2012

**Weidlich, A., Vogt H., Krauss W., Spiess P., Jawurek M., Johns M., Karnouskos S.:** Decentralized Intelligence in Energy Efficient Power Systems, Handbook of Networks in Power Systems I, S. 467 – 486, 2012

**Wülker M., Böhler K., Bohnert M., Liehr A. W.:** A Robot-Based Measurement System For the Reflectance-Spectroscopic Characterization of Livores Mortis, IEEE Xplore Digital Library, Mecatronics-REM 2012, Paris, France, November 21 – 23, 2012

**Zillgith M., Fey S., Benoit P., Feuerhahn S., Kohrs R.:** Smart Grid Applications for Wireless IP Networks, 1st IEEE Intern Confer on Intelligent Data Acquisition & Advanced Computing Systems, Offenbourg, Germany, pp. 79 – 84, September 20 – 21, 2012

**Zimmer M., Krawatzek R., Trahasch S., Gansor T.:** Definition und Herausforderung: Standards für Agile BI in der BI-Community durch den TDWI, BI-Spekturm, 7(5), S.12 – 15.2012

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen

**Breyer-Mayländer T.:** Hat das noch was mit Schule zu tun?: Warum Schulmarketing Teil des pädagogischen Auftrags ist. In: Regentahl/Schütte: Öffentlichkeitsarbeit mach Schule, Wolters Kluwer Deutschland, Aktualisierungslieferung 10/2012

**Breyer-Mayländer T.:** Medien, Medienwirtschaft. in: Kuhlen/Semar/Strauch: Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation. 6. Ausgabe – Verlag de Gruyter, D14, 2012/2013

**Breyer-Mayländer T., Löffel M.:** Relaunch digitaler Produkte: Charakteristika und Maßnahmen. in: Pepels, W. (Hrsg.): Relaunch – Die Produktrevitalisierung. Symposium Publishing, Düsseldorf 2012/2013

**Daryusi A.:** FEM-Untersuchungen zur Überlagerung von konstruktiven Mehrfachkerben beim Zusammentreffen von Evolventenzahnwellen mit Sicherungsringnuten, 5. VDI-Fachtagung für Welle-Nabe-Verbindungen in Nürtingen bei Stuttgart, VDI-Berichte 2176, VDI Verlag GmbH. Düsseldorf 2012, 25. – 26.09.2012

**Lorenz M., Ismer B., Straube K., Figulla H.R., Heinke M.:** M. Signal averaging transesophageal left heart ECG software to evaluate left atrial conduction delay and left ventricular conduction delay in heart failure patients ..., Biomed Tech (Berl). pii: /j/bmte.2012.57.issue-s1-l/bmt-2012-4274/bmt-2012-4274.xml, 31.08.2012

**Töpfer A., Wehsener I., Ismer B., Kühnert H., Allmann J., Eisentraeger D.:** Novel telemetric signal averaging ECG approach to determine electrical atrial and ventricular conduction delays in implantable cardioverter defibrillator patients, Biomed Tech 2012; 57, Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4170, 2012

**Appelrath H.-J., Kagermann H., Weidlich A.:** Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie. Acatech Studie, C. Mayer (Hrsg.), acatech Studie, Springer. (Mitautorin), 2012

**Bär R., Behr A., Fischer D.:** Code-Coverage auf Embedded-Systemen, Proceedings, Embedded Software Engineering Kongress, Sindelfingen, 3.12-7.12.2012

**Baumgärtler T., Popovic T.:** Heute beginnen. Die Herausforderungen des demografischen Wandels aktiv angehen, BankInformation (BI), S. 52 – 55, Heft 03/2012

**Baumgärtler T., Popovic T.:** Sind Mitglieder eine aussterbende Spezies? Der demografische Wandel zeigt dringenden Handlungsbedarf, GENOGRAPH, S. 13–17, Heft 12/2012

**Bollin E., Feldmann T.:** Verbesserung von Energieeffizienz und Komfort, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens PräBV, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-09.19/II 3 – F20-09-1-039, März 2012

**Bollin E., Huber K.:** Ergebnisse des Langzeitmonitorings an solarthermischen Großanlagen durch die Hochschule Offenburg in Südwestdeutschland, PtJ-/BMU-Forschungsjahresbericht „Erneuerbare Energien“; 2011

**Bucak Ö., Volz M.:** Stähle im Bauwesen, Schneider Bautabellen für Ingenieure. 20. Auflage 2012, Kap. 8D, S. 8.131–8.147. Werner Verlag, Köln Fachbeitrag in einem Fachbuch, 2012

**Burgraff P., Sikorski E., Kalz D.:** Energetische Analyse von Nichtwohngebäuden im Bestand, BHKSalmanach (Bundesindustrieverband Heizung-, Klima-, Sanitärtechnik/Technische Gebäudesysteme e. V.), S. 70 – 73, 2012

**Curticepean D.:** After Image, Optics and Photonics News Optical Society of America ISSN1047-6938 Washington DC, pp. 56, 01, 2013

**Curticepean D.:** Weltrekord, ISBN 978-3-943301-03-8, 2012

**da Costa Fernandes J., Niederklostermann M., Bollin E.:** Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Zeitschrift „horizonte“, Ausgabe Nr.40, S.20–22, ISSN: 1432-9174, Mannheim, September 2012

**da Costa Fernandes, J., Niederklostermann M., Bollin E., Feldmann T., Schneble H.-J.:** Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern, Leitfaden für die Überhitzungsminderung an Schulgebäuden im südlichen Oberrhein, <http://fgnet.hsopenburg.de/gebaeude/schulklima/berichte/>, Forschungsgruppe net der Hochschule Offenbourg/Stadt Offenbourg, 26.03.2012

- Daryusi A.:** Bestimmung des bezogenen Spannungsgefälles bei Zahnwellen mit freiem Auslauf, VDI-Fachtagung für Welle-Nabe-Verbindungen in Nürtingen bei Stuttgart, 25. und 26.09.2012, VDI-Berichte 2176, VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf 2012
- Dittrich I.:** Teilladungsverkehr im Schienengüterverkehr – ein vergessenes Geschäftsmodell für die Zukunft?, *Otte, M./Seyfriedt, Th.: Management 2012: Kurzbeiträge aus Wissenschaft und Praxis*, Scotts Valley (USA) S. 25-42, 2012
- Duttenhöfer W., Otte A.:** Die Krankheiten des Vincent van Gogh, *Baden-Württembergisches Ärzteblatt* 67 (12): 538 – 539, 2012
- Sokolova E. S., Kovalev A. S., Mayer A. P.:** Second-order nonlinearity of wedge acoustic waves in anisotropic media, *Wave Motion*, in press., doi:10.1016/j.wavemot.2012.08.014, Pages 1 – 7, available online 27 October 2012
- Fischer D., Bär R.:** Testcoverage auf kleinen Targets, *Proceedings, Entwicklerforum Embedded-System-Entwicklung*, München, 11.7. – 12.07.2012
- Fischer D., Bär R.:** Code-Coverage auf kleinen Targets, *Elektronik*, 20. Ausgabe, 2012
- Gebhardt D., Schmid F., Weber F., Heinke M., Ennker I. C., Melichercik J., Ismer B.:** What range of pace-sense-compensation should be provided in biventricular pacing systems for heart failure?, *Biomed Tech* 2012; 57, 384 – 385, Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4159, 2012
- Geigenmüller A., Greschuchna L.:** On the Role of Trustworthiness in the Initiation of Service Relationships, *Journal of Marketing Theory and Practice*, 2012, 19 (4), 391 – 405, 2012
- Gopisetty S., Treffinger P.:** Innovative combined heat, cold and power (Trigeneration) at Offenburg University of Applied Sciences, Zur Veröffentlichung eingereicht bei: *Environmental Biotechnology*, Uni of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland ISSN 1734 – 4964, 2012
- Gopisetty S., Treffinger P.:** Energy Analysis of Trigeneration Based on Scarce Data, ein Proceedings/Konferenzbeitrag eingereicht für 10th International Conference on the European Energy Market EEM13
- Habann F.:** Lost in Transition – how to achieve sustainable media development in the 21st century, GIZ, <http://www.digital-developmentdebates.org/issues/07-transition/media/lost-in-transition> (10.965 Zeichen) Ausgabe 07/2012
- Habann F.:** Open Innovation: Werden die kreativen Industrien durch uns kreativer? – Entwicklungslinien in der Medienwirtschaft, T. Breyer-Mayländer, 2012
- Heinke M., B. Ismer, H. Kuehnert, H. Hoppe, O. Solbrig, T. Heinke, J. Querenösser, R. Surber, D. Prochnau, H.R. Figulla:** Optimal biventricular pacing delay and electrical interventricular conduction delay in cardiac resynchronization therapy, *Europace* 14, Suppl. 1, 176P\_15., 2012
- Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Melichercik J., Heinke T., Surber R.:** Focused transesophageal left atrial and left ventricular pacing with different pacing mode for supraventricular tachycardia initiation and cardiac resynchronization therapy simulation., *Biomed Tech* 2012; 57, 375 – 378, Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI10.1515/bmt-2012-4033, 2012
- Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Heinke T., Surber R., Prochnau D.:** Left atrial and left ventricular conduction delay by transesophageal electrocardiography with hemispherical electrodes in sinus rhythm cardiac resynchronization therapy., *Biomed Tech* 2012; 57, 711 – 714; Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4012, 2012
- Huber K., Bollin E.:** Erste Ergebnisse des Langzeitmonitorings einer Anlage zur solarthermischen Unterstützung der Kälteerzeugung des Büro- und Technikgebäudes eines Telekommunikationsanbieters in Rottweil, *Fachzeitschrift TAB Technik am Bau*, Ausgabe 10/2012
- Huber K., Bollin E., Scheck E.:** Erste Ergebnisse des Langzeitmonitorings einer Anlage zur solarthermischen Unterstützung der Kälteerzeugung des Büro- und Technikgebäudes eines Telekommunikationsanbieters in Rottweil, *Tagungsband des OTTI 22. Solarthermiesymposium*, Bad Staffelstein, 9. – 11.05.2012
- Ismer B., Melichercik J., Heinke M.:** High-resolution semi-invasive left heart electrocardiography in cardiac pacing and cardiac resynchronization Therapy, *Biomed Tech* 2012; 57, 711-714. Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI10.1515/bmt-2012-4157, 2012
- Jäckle D., Sikora A.:** Experiences with a telecare platform integration of ZigBee sensors into a middleware platform, 6th European ZigBee Developers' Conference, München, 27. – 28.06.2012
- Junk S.:** Aktuelle Entwicklungstrends in der Abgasnachbehandlung, 3. VDI Fachkonferenz, Abgasnachbehandlungssysteme 2012 Stuttgart, ISBN 978-3-942980-19-7, 2012
- Kalz D., Pfafferott J.:** Energieeffiziente Kühlung und thermischer Raumkomfort: Vergleichende Analyse von acht europäischen Nichtwohngebäuden (Teil 1), *Bauphysik* 34, 2012
- Kalz D., Pfafferott J., Koeningdorff R.:** Betriebserfahrungen mit Thermoaktiven Bauteilsystemen, *Bauphysik* 34, 2012
- Kempe, Nasdala L., Rolfes R.:** Simulating Size-Dependency of the Tensile Modulus of Alumina/Epoxy Nanocomposites using the Molecular Dynamic Finite Element Method, *Proceedings of the International Conference on Mechanics of Nano, Micro and Macro Composite Structures*. Politecnico di Torino, Italy, Paper 182, 2012
- Klemm M., Sikora A.:** Measurement Unit for Energy Efficient M2M Mobile Communication, 48. Workshop der MPC-Gruppe, Aalen, 06.07.2012
- Koebele J., Heinke M., Ismer B.:** Soundcard based Multichannel Live-ECG Simulator for Research, Development and Education., *Biomed Tech* 2012; 57, 331-332, Walter de Gruyter, Berlin, Boston, DOI 10.1515/bmt-2012-4024, 2012
- Kroll K., Rotter K., Heinke M., Melichercik J., Nienaber C. A., Ismer B.:** Novel semi-invasive left-heart electrogram feature to select patients with atrial fibrillation for cardiac resynchronization., *Biomed Tech* 2012; 57 (Suppl. 1) 1102-1103 © 2012 by Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4009, 2012
- Kuehnert Helmut, Figulla H. R., Ismer B., Heinke M.:** New frontiers of supraventricular tachycardia and atrial flutter evaluation and catheter ablation., *Biomed Tech* 2012; 57, 371-373, Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4169, 2012

- Lankau R.:** Das Ich ist eine Datenspur. Identität als Realität im digitalen Kokon, 14. Buckower Mediengespräche. Mein Avatar und ich. Die Interaktion von Realität und Virtualität in der Mediengesellschaft, S. 57 – 69, München, 2012
- Lankau R.:** Welche (Hoch-)Schulen wollen wir? <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/welche-hochschulen-wollen-wir.html>, 02.04.2012
- Lankau R.:** Cyber-Teacher für Internet-sklaven, <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/cyber-teacher-fur-internet-sklaven.html>, 18.02.2012
- Lankau R.:** Räte in Aufruhr: Berater sollen beraten, <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/raete-in-aufruhr-berater-sollen-beraten-2.html>, 27.02.2012
- Lankau R.:** Inkompetenzkompensationskompetenz, <http://bildungwissen.eu/kommentare/inkompetenzkompensations-kompetenz.html> 2012
- Lankau R.:** Angedockt und eingeloggt Die „Zukunft des Lernens“ liegt zeitlich hinter uns. <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/angedockt-und-eingeloggt.html>, 06.11.2012
- Lankau R.:** Der „homo oeconomicus“ als Luftblase, <http://bildungwissen.eu/kommentare/der-homo-oeconomicus-als-luftblase.html>, 05.04.2012
- Lankau R.:** Sudoku, <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/sudoku.html> 2012
- Lankau R.:** Große Aufregung über große Lücken. Große Aufregung herrscht aktuell über eine neue Studie zur Lese- und Schreibkompetenz (genauer: Inkompetenz) von Studierenden, <http://bildungwissen.eu/kommentare/groese-aufregung-uber-groese-lucken-2.html> 2012
- Lankau R.:** Institutionalisierte Denkfehler (IDF), <http://bildungwissen.eu/fachbeitraege/institutionalisierte-denkfehler-idf.html> 2012
- Lomonosov A. P., P. Hess and A. P. Mayer:** Silicon edges as one-dimensional waveguides for dispersion-free and supersonic leaky wedge waves, *Appl. Phys. Lett.* 101, 031904/1-4; Pages: 1 – 5, 2012
- Mayer A.P., Krylov V. V., Lomonosov A. M.:** Guided Acoustic Waves Propagating at Surfaces, Interfaces and Edges, 2011 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, pp. 2046 – 2052, 2012
- Mayer C., Breuer A., Dänekas C., Drziga T., König A., Luhmann T., Maerten M., Rohjans S., Stadler M., Terzidis O., Theisen T., Weidlich A.:** Technologische Migrationspfade in das Smart-Grid, VDE Kongress, Stuttgart, November 2012
- Metzger M., Nieweg B., Seifert T.:** Lebensdauervorhersage für die Graugusswerkstoffe EN GJS700, EN GJV450 und EN GJL250 bei kombinierter nieder- und hochfrequenter Belastung, 50 – 55, Gießerei 99 04/2012
- Milz B., Spangenberg B.:** Schnelle Analyse vor Ort. Moderne Auswertung in der Dünnschichtchromatographie, S. 43 – 44 CITplus 7/2012
- Nasdala L., Kempe A., Rolfes R.:** Are finite elements appropriate for use in molecular dynamics simulations?, *Composites Science and Technology* 72, S. 989 – 1000, 2012
- Nasdala L., Kempe A., Rolfes R.:** Kapitel 10: Molecular Dynamic Finite Element Method (MDFEM), *Computational Finite Element Methods in Nanotechnology*, S. 331 – 372, 2012
- Nuß U.:** Begrenzungsstrategien von Antriebsregelkreisen – eine Stabilitätsanalyse, Tagungsband SPS/IPC/Drives, Nürnberg, S. 359 – 370, 2012
- Nuß U.:** Regelung von Drehstromantrieben, Seminar im Haus der Technik, Essen, 155 Seiten, 18./19.09.12
- Nuß U.:** Feedback Control Systems for Power Electronics, Tagungsband OTTI Seminar Power Electronics for Photovoltaics, München, S. 269 – 302, 11./12.06.12
- Nuß U., Root. A.:** Benötigt ein pulsweitenmoduliert betriebener Drehstromantrieb einen Stromzustandsregler? HS Offenburg, (Technischer Bericht – IAF Report, 8/2012, 18 Seiten. Online verfügbar unter <http://nbnresolving.de/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus-1885>, 2012
- Ortega-Clavero V., Weber A., Schröder W., Meyrueis P., Javahiry N.:** Detailed spectral monitoring of different combustible blends based on gasoline, ethanol and methanol using ft-raman spectroscopy, *Environmental Biotechnology*, ISSN 1734-4964 8(1):1 – 6, 2012
- Ortega-Clavero V., Weber A., Schröder W., Meyrueis P., Javahiry N.:** Comparative spectral analysis of commercial fuel-ethanol blends using a low-cost prototype ft-raman spectrometer, *Proc. SPIE 8368, Photonic, Applications for Aerospace, Transportation, and Harsh Environment III*, 83680E, pages 83680E–83680E–7, 2012
- Otte A.:** Geleitwort zu: Brandt K. Hirnschrittmachersysteme oder: Systeme zur tiefen Hirnstimulation, *WHL-Diskussionspapier Nr. 39, WHL Wissenschaftliche Hochschule Lahr (Hrsg.)*, 03. – 04.06.2012
- Otte A., Wink K.:** Lebenserwartung und Herzfrequenz. Muss man früher sterben, wenn das Herz schneller schlägt?, *ABW* 01, 2012
- Otte M.:** **Neue Ansätze der Budgetplanung, Otte, M./Seyfriedt, Th.:** Management 2012: Beiträge aus Wissenschaft und Praxis, S. 53 – 74, Scotts Valley, USA, 2012
- Quarti M., Gottlieb A., Bühler K., Kachel G.:** Rotation-Symmetric Referencebodies For Energy Efficient Flow Around Bodies, *PAMM journal*, Vol. 12, no. 1, pp. 557 – 558, 2012
- Rotter K., Kroll K., C. Nienaber A., Ismer B.:** Characterization of interventricular desynchronization in heart failure patients, *Biomed Tech* 2012; 57, 887–888, Walter de Gruyter, Berlin, Boston. DOI 10.1515/bmt-2012-4091, 2012
- Schmidt C., Sängler V.:** Fünf Jahre E-Learning in der Informatiklehre – Einsichten und Erkenntnisse, *Ludwigsburger Beiträge für Medienpädagogik*, Ausgabe 14/2011, wurde aber erst veröffentlicht in 2012
- Schmidt H., Zwätz R., Bär L., Kathage K., Hüller V., Kammel C., Volz M.:** Ausführung von Stahlbauten. Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2., Beuth Verlag, Berlin, Mitautor in einem Fachbuch (Beuth-Kommentar), 2012
- Seyfriedt T.:** Wesentliche Bilanzierungsunterschiede zwischen IFRS und HGB, S. 75 – 93 in *Otte/Seyfriedt (Hrsg.): Management 2012*, Createspace, Charleston, USA, ISBN: 978-1481294041; 128 Seiten, 2012
- Sikora A.:** Robotik und Embedded Internet im phaenovum Schülerforschungszentrum, 103. MNU Bundeskongress, Freiburg, 04.04.2012

**Sikora A., Lill D., Schappacher M.:** Development of a Hardware-Software Co-Design for a real-time localization protocol for pedestrian safety, 47. Workshop der MPC Gruppe, Offenburg, 03.02.2012

**Sikorski E.:** Ein Auslands-Forschungssemester und Internationalisierung von Lehre und Forschung, Hochschullehrerbund (HLB), Heft 6, S. 236 – 238, 2011/12

**Sikorski E., Kuttruff U.:** Einblick in die deutsche TGA-Landschaft, tab (Technik am Bau) – Das Fachmedium der TGA-Branche, S. 59, 11/2011-2012

**Sokolova E. S., Kovalev A. S., Maznev A. A., Mayer A. P.:** Acoustic waves guided by the intersection of a surface and an interface of two elastic media, *Wave Motion* 49, 388 – 393, Pages: 1 – 6, 2012

**Sokolova E.S., Kovalev A. S., Timler R., Mayer A. P.:** On the dispersion of wedge acoustic waves,, *Wave Motion*, in press, available online 29 October 2012. doi:10.1016/j.wavemotion, 2012.08.015. Pages 1 – 13, 2012

**Volk T., Jansen D.:** Semi-passive RFID sensor implant, Faible Tension Faible Consommation, FTFC), 2012 IEEE, Page(s): 1 – 4, Publication Year: 2012

**Volk T., Jansen D.:** Implantable RFID sensor platform to monitor vital functions of small animals controlled by network based software, *Smart SysTech 2012 - European Conference on Smart Objects, Systems and Technologie*, München, ISBN 978-3-8007-3441-2, 12. – 13.06.2012

**Wegert H., Reindl L. M., Ruile W., Mayer A. P.:** On the Coriolis effect in acoustic waveguides, *J. Acoust. Soc. Am.* 131, 3794 – 3801, 2012

**Weidlich A.:** Challenges for the Market Integration of Renewables with Smart Grids, *Proceedings, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Europe Conference: Berlin*, 16.10.2012

**Weiß H.-J.:** Markt und Staat in der Verkehrswirtschaft, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, Jg. 83, Nr. 2, S. 110 – 131, 2012

**Weiß, H.-J.:** Wozu noch objektive Marktzugangsbeschränkungen im straßengebundenen ÖPNV?, *Wirtschaftsdienst*, Jg. 92, Nr. 8, S. 547 – 553, 2012

**Weiß, H.-J.:** Die traditionelle Bankenregulierung aus Sicht des disaggregierten Regulierungsansatzes der Netzökonomie, M. Otte und T. Seyfriedt (Hrsg.), *Management 2012: Kurzbeiträge aus Wissenschaft und Praxis*, CreateSpace, Charleston (SC), S. 107 – 127, 2012

**Werner H.-U., Tobinsky U.:** Anatomie einer nationalen Leidenschaft Studs Terkel, der Spurensucher des amerikanischen Traums, *WDR 3 Kulturfeature*, 12.05 – 13.00 Uhr, Samstag, 05.05.2012

**Weuster A.:** Personalauswahl I. Internationale Forschungsergebnisse zu Anforderungsprofil, Bewerbersuche, Vorauswahl, Vorstellungsgespräch und Referenzen, 3., akt. und überarb. Auflage. Wiesbaden 384 S. SpringerGabler, 2012

**Weuster A.:** Personalauswahl II. Internationale Forschungsergebnisse zum Verhalten und zu Merkmalen von Interviewern und Bewerbern, 3., akt. und überarb. Auflage. Wiesbaden 223 S. SpringerGabler, 2012

**Zahoransky R., Böhler F.:** Antriebslösungen für Elektro-Leichtfahrzeuge der Firmengruppe HEINZMANN-PERM, in Buch T.H. Mager (Hrsg.) „Zukunftschancen der Elektromobilität“, KSV Verlag, ISBN Nummer: 9 783940 685 22 3, 2012

**Zhitkova S., Riemer B., Franck D., Hameyer K., Zahoransky R.:** Hochdrehzahlmotoren für mobile Arbeitsmaschinen, 4. Fachtagung Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, M. Geimer (Hrsg.), *Karlsruher Schriftenreihe, Fahrzeugsystemtechnik*, KIT Scientific Publishing, 20.02.2013

**Zierep J., Bühler K.:** Strömungsmechanik, HÜTTE – Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, 34. aktualisierte Auflage, Teil E Technische Mechanik, Seite E 146 – 216 Springer, Berlin, 2012

**Zimmermann M., Seilheimer G.:** Reviewing HTTP and RTSP Work in Two Actual Commercial Media Delivery Platforms for Multimedia Services and Mobile Devices, Buchkapitel (ca. 30 Seiten) im Buch “Multimedia Services and Streaming for Mobile Devices: Challenges and Innovations”, IGI Global, 2012

## Patente

**Kray Daniel und sechs Miterfinder (Studenten):** Verfahren und Vorrichtung zum Transport flacher Substrate, DPA 10 2012110 916.8

**Schröder W.:** Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Eigenschaften einer Rohrleitung, insbesondere der Position eines Abzweigs einer Abwasserrohrleitung, DPA 10 2012101 416.7

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen (Lehrbuch)

**Breyer-Mayländer, T., Ritter B. (Hrsg.):** Schulen im Wettbewerb: Bildung zwischen Entwicklung und Marketing. Schneider-Verlag Hohengehren 2012

**Glaudemans A. W. J. M., Dierckx R., Otte A., Kusic Z., Pruim J., De Deyn P. P.:** Good clinical practice in nuclear medicine. In: Elsinga PH, van Waarde A, Paans AMJ, Dierckx RAJO (Eds). *Trends on the role of PET in drug development*, World Scientific Books, World Science and Nature Publishing Group, ISBN 978-981-4317-73-3, pp. 691 – 725, 2012

**Otte A.:** The role of PET in drug discovery – neuropsychiatry. In: Elsinga PH, van Waarde A, Paans AMJ, Dierckx RAJO (Eds). *Trends on the role of PET in drug development*, World Scientific Books, World Science and Nature Publishing Group, ISBN 978-981-4317-73-3, pp. 559 – 574, 2012

**Sikora A.:** Security Solutions for Highly Dynamic Car2X Networks in the KoFAS initiative”, 4th International Workshop, *Nets4Cars/Nets4Trains 2012*, *Proceedings*”, Springer Lecture Notes LNCS7266, ISBN 978 3642296666.: 4th Intern. Workshop, 2012, Vilnius, Lithuania, April 25 – 27, 2012

**Bollin E.:** Energieaspekte ermitteln und überprüfen – zentrale Aufgabe in Energiemanagementsystemen, Beitrag in *Arbeitssicherheit – ein Praxishandbuch für Arbeits- und Gesundheitsschutz* Heft 5, 41. Jahrgang, Haufe Lexware GmbH, Mai 2012

**Bollin E.:** Monitoring von Energiesystemen, Beitrag in *Arbeitssicherheit – ein Praxishandbuch für Arbeits- und Gesundheitsschutz* Heft 2, 41. Jahrgang, Haufe Lexware GmbH, Februar 2012

**Curticepean D.:** Shell Eco-marathon 2011 - Eurospeedway Lausitzring, ISBN 978-3-943301-04-5, 2012

**Otte A.:** Whiplash Injury: New approaches of functional neuroimaging, Springer Heidelberg, Dordrecht, London, New York, ISBN 978-3-642-28355-0, 2012

**Seyfried T.:** IFRS @ EXAMPLES – 2012, Createspace, Charleston, SC, ISBN: 978-1478340843; 364 Seiten, 2012

**Zahoransky R. A. (Herausgeber), Allelein, Bollin, Oehler, Schelling und Schwarz:** Energietechnik – Systeme zur Energieumwandlung – Kompaktwissen für Studium und Beruf, Vieweg + Teubner Verlag, 542 Seiten, ISBN 978-3-8348-1869-0, 6. Auflage 2013

### Wissenschaftliche Vorträge

**Heinke M., Ismer B., K uehnert H., Hoppe H., Solbrig O.,Heinke T., Querengaesser J., Surber R., Prochnau D., Figulla H.:** Optimal Biventricular Pacing Delay and Electrical Interventricular Conduction Delay in Cardiac Resynchronization Therapy, International Cardiostim, Nizza 13. – 16.06.2012

**Bessler W.:** Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien: Stand der Technologie und Perspektiven, 2. VDI-Konferenz Elektrochemische Energiespeicher für stationäre Anwendungen, Ludwigsburg, 10/2012

**Bollin E.:** Kühlen mit Wärme, Kongress Power Building Im FBC Frankfurt, 25.04.2012

**Bollin E.:** Sustainable Energy Systems Technologies, École de technologie supérieure Montreal, Canada, 31.05.2012

**Bollin E.:** Schlussfolgerungen aus der Begleitforschung Solarthermie 2000, BMU Satus-Workshop Berlin, 06.12.2012

**Bollin E.:** Beschäftigungsperspektiven im Umweltbereich, Forum „Économie Verte“ Euro Institut Straßburg an der Hochschule Offenburg, 13.06.2012

**Bollin E.:** Untersuchung des Betriebens von Gebäuden mit nachhaltiger Energienutzung, rtwe Workshop Nachhaltige Gebäude-, Stadt- und Regionalentwicklung Sporthotel Saig, 29.03.2012

**Bollin E.:** Sustainable Energy Systems, E3 Symposium Markham, Canada, 22.05.2012

**Bollin E.:** Klimawandel im Klassenzimmer, Forum Zukunft Altbau auf der Oberrheinmesse Offenburg, 29.09.2012

**Curticepean D.:** Numerical analysis of the diffusive mass transport in brain tissues with applications to optical sensors, Photonics West, San Francisco, 02.02.2013

**Curticepean D.:** Radiative heat transfer in optical fibers with applications to temperature measurement and controlled splicing processes considering the SP1 approximation, Frontiers in Optics/Laser Science XXVIII (FIO/LS) Rochester, New York, 17. October 2012

**da Costa Fernandes J.:** Statusreport „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“, Vortrag zur Information der Hausmeister der beteiligten Schulen, Schulenzentrum Nordwest Offenburg, Offenburg, 29.02.2012

**da Costa Fernandes J., Bollin E.:** Statusreport „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“, Vortrag zum Forschungsprojekt vor dem Ausschuss Schule und Sport des Gemeinderats der Stadt Offenburg, Technisches Rathaus Offenburg, 05.03.2012

**da Costa Fernandes, J., Bollin E.:** Statusreport „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“, Vortrag zum Forschungsprojekt zur Information der Schulleiter der beteiligten Schulen, Technisches Rathaus der Stadt Offenburg, Offenburg, 15.02.2012

**Daryusi A.:** FEM-Untersuchungen zur Überlagerung von konstruktiven Mehrfachkerben beim Zusammentreffen von Evolventenzahnwellen mit Sicherungsringnuten, VDI-Fachtagung für Welle-Nabe-Verbindungen in Nürtingen bei Stuttgart, 25. und 26.09.2012, VDI-Berichte 2176, VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf 2012

**Daryusi A.:** Überlagerung von konstruktiven Mehrfachkerben, SMK 2012 „Schweizer Maschinenelemente Kolloquium“, Herausgegeben von KISSsoft, 20. – 21.11.2012

**Daryusi A.:** Zur Bestimmung des bezogenen Spannungsgefälles bei Zahnwellen mit freiem Auslauf, 5. VDI-Fachtagung für Welle-Nabe-Verbindungen in Nürtingen bei Stuttgart, 25. und 26.09.2012, VDI-Berichte 2176, VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf, 2012

**Daryusi A., Himmelsbach D.:** Hundertsekundenvorträge in der Konstruktionsausbildung-Organisation und Bewertung, Bayerische Konstruktionstagung 2012 an der Hochschule Kempten am 09. – 10.11.2012

**Feldmann T.:** Prädiktives Energiemanagement für Effizienzhaus Plus-Systeme, Fachtagung „Die neue Plus-Energie-Welt“, Berlin im Rahmen der internationalen Fachmesse für Bauen und Gebäudetechnik Bautech, 21.02.2012

**Feldmann T.:** Effizienzhaus-Plus mit Elektromobilität, Fachtagung: „Gebäudeenergie und Wärmepumpe“ an der Fachhochschule Bingen, 01.03.2012

**Feldmann T.:** Predictive Energy Management“, Efficiency House Plus with Electromobility, Eracobuild Network Event in Berlin im Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, 20. – 21.02.2012

**Fleig C. J.:** Woher beziehen wir zukünftig unsere Energie?, Naturschule Ortenau, Offenburg, 14.03.2012

**Fleig C. J.:** Energieeffiziente Fahrzeuge am Beispiel des Projekts Schluckspecht, E-Mobility Tag bei LuK, Bühl, 18.06.2012

**Fleig C. J.:** New concepts for economical vehicles, MicroTEC Students' Conference, Freiburg (IMTEK), 08.10.2012

**Gebhardt D., Schmid F., Weber F., Heinke M., Ennker I. C., Melicherik J., Ismer B.:** What range of pace-sense-compensation should be provided in biventricular pacing systems for heart failure?, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012

**Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Hoppe H., Solbrig O., Heinke T., Querengaesser J., Surber R., Prochnau D., Figulla H.:** Optimal Biventricular Pacing Delay and Electrical Interventricular Conduction Delay in Cardiac Resynchronization Therapy, International Cardiostim, Nizza 13. – 16.06.2012

**Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Otte A., Surber R., Jansen D., Prochnau D., Figulla H. R.:** Preoperative Electrical Interatrial and Interventricular Conduction Delay by Transesophageal Electrocardiogram Recording in Cardiac Resynchronization Therapy, International Cardiostim, Nizza 13. – 16.06.2012



- Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Melichercik J., Heinke T., Surber R.:** Focused transesophageal left atrial and left ventricular pacing with different pacing mode for supraventricular tachycardia initiation and cardiac resynchronization therapy simulation, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012
- Heinke M., Ismer B., Kuehnert H., Heinke T., Surber R., Prochnau D.:** Left atrial and left ventricular conduction delay by transesophageal electrocardiography with hemispherical electrodes in sinus rhythm cardiac resynchronization therapy, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012
- Huber K., Bollin E., Scheck E.:** Erste Ergebnisse des Langzeitmonitorings einer Anlage zur solarthermischen Unterstützung der Kälteerzeugung des Büro- und Technikgebäudes eines Telekommunikationsanbieters in Rottweil, OTTI 22. Solarthermie-Symposium, Bad Staffelstein, 09. – 11.05.2012
- Huber K., Bollin E., Scheck E.:** Erste Ergebnisse des Langzeitmonitorings einer Anlage zur solarthermischen Unterstützung der Kälteerzeugung des Büro- und Technikgebäudes eines Telekommunikationsanbieters in Rottweil, Fachvortrag Solarthermie-Symposium; 09. – 11.05.2012 OTTI 22. Solarthermie-Symposium, Bad Staffelstein, 09.05.2012
- Ismer B., Melichercik J., Heinke M.:** High-resolution semi-invasive left heart electrocardiography in cardiac pacing and cardiac resynchronization Therapy, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09. 2012
- Ismer B., Heinke M., Rotter K., Weber F., Melichercik J.:** Esophageal left heart electrogram to optimize selection and follow-up in CRT, XV International Symposium on Progress in Clinical Pacing, Rom, 04. – 07.12.2012
- Ismer B.:** Impact of Alternative Methods for Cardiac Resynchronization, 1. International Europa-Park Symposium on Cardiac Arrhythmias. Rust, 30.06.2012
- Koebele J., Heinke M., Ismer B.:** Soundcard based Multichannel Live-ECG Simulator for Research, Development and Education, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012
- Köhler R.:** Key risks/ challenges and opportunities in international supply chain cooperations, RK Vortrag an der AUS Oulu, 2012
- Kroll K., Rotter K., Heinke M., Melichercik J., Nienaber C. A., Ismer B.:** Novel semi-invasive left-heart electrogram feature to select patients with atrial fibrillation for cardiac resynchronization, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09. 2012
- Kuehnert H., Figulla H. R., Ismer B., Heinke M.:** New frontiers of supraventricular tachycardia and atrial flutter evaluation and catheter ablation, 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012
- Lange M. (Betreuer Staudt R.):** Adsorption von C4-Alkanen/Alkenen an Koordinationspolymeren auf der Basis substituierter 1,2,4- Triazolylbenzoate, Doktorandenseminar – Adsorption, Leipzig 06.-07.09.2012
- Lange, Möllmer J., Möller A., Kobalz M., Bergmann J., Lincke J., Lässig D., Staudt R., Krautscheid H., Gläser R.:** Adsorption and in situ XRD studies of C4-Alkanes/Alkenes on the Highly Flexible MOF [(Cu<sub>4</sub>(μ<sub>4</sub>-O)(μ<sub>2</sub>-OH)<sub>2</sub>(Me<sub>2</sub>trzpba)<sub>4</sub>], XVI. Porotec Workshop “Transport in porösen Medien”, Bad Soden, 13. – 14.11.2012
- Lankau R.:** Die Macht der Medien, Dialog im Kloster, Offenburg, 17.06.2012 (wird 2013 publiziert)
- Lankau R.** Von Pinsel, Stift und Touchscreen: Kunstunterricht und Mediengestaltung, Alanus Hochschule Bonn, Ringvorlesung, 06.06.2012 (wird 2013 publiziert)
- Lankau R.:** Systemrelevant? Neue Wege, alte Werte.“: Impulsvortrag Lankau: „Systemfehler. Oder: Es gibt kein richtiges Leben im Digitalen“, 16. Buckower Mediengesprächen (28./29.9.2012), erscheint April 2013
- Lankau R.:** Welche (Hoch-)Schulen wollen wir in Baden-Württemberg?, Hochschule für Verwaltung Kehl, Forum Zukunftsfragen, 28.03.2012
- Lorenz M., Ismer B., Straube K., Figulla H. R., Heinke M.:** Signal averaging transesophageal left heart ECG software to evaluate left atrial conduction delay and left ventricular conduction delay in heart failure patients ..., 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012
- Mayer A.:** Acoustic waves guided at surfaces, interfaces or edges: „A theoretical introduction, Novel Developments and Applications in Sensor Technology,“ Hochschule Coburg auf Einladung der Organisatoren, 12. – 13.09.2012
- Möller A., Bastos-Neto M., Staudt R., Hofmann J.:** Breakthrough Curves of CO for H<sub>2</sub> Purification – Experiment and Modeling, XVI. Porotec Workshop “Transport in porösen Medien”, Bad Soden, 13. – 14.11.2012
- Möllmer J., Möller A., Patzschke C., Lange M., Gläser R., Lincke J., Lässig D., Stein K., Krautscheid H., Staudt R.:** Multicomponent Adsorption Equilibria on Metal-Organic Frameworks, 24. Deutsche Zeolithtagung, Magdeburg, 02.03. – 04.03.2012
- Möllmer J., Möller A., Gläser R., Staudt R.:** Multicomponent Adsorption Equilibria on Cu-Based MOF-Materials, CPM-6 – 6th International Workshop „Characterization of Porous Materials from Angstroms to Millimeters“, Delray Beach, Florida, USA, 30.04. – 02.05.2012
- Möllmer J., A. Möller, R. Gläser, R. Staudt:** Multicomponent Adsorption Equilibria on Cu-Based MOF-Materials, CPM-6 – 6th International Workshop „Characterization of Porous Materials from Angstroms to Millimeters“, Delray Beach, Florida, USA, 30.04. – 02.05.2012
- Otte A.:** Nuklearmedizin und neue Medikamente – wie geht das?, Forschung auf dem Campus, Institut für Angewandte Forschung (IAF), 03.05.2012
- Pfafferott J.:** Erfolgsfaktoren in der Energetischen Gebäudesanierung, Energieforum 2012, IHK Ostwestfalen-Lippe, 27.06.2012
- Pfafferott J.:** Erfolgsfaktoren in der Energetischen Gebäudesanierung, Energetische Sanierung 3.0. Uponor Kongress 2012, St. Christoph am Arlberg, 18. – 23.03.2012
- Pfafferott J.:** Erfolgsfaktoren in der Energetischen Gebäudesanierung – Energetische Sanierung, 3.0. Uponor Kongress 2012, St. Christoph am Arlberg, 18. – 23.03.2012
- Pfafferott J.:** Erfolgsfaktoren in der Energetischen Gebäudesanierung, Energieforum 2012, IHK Ostwestfalen-Lippe, 27.06.2012
- Rotter K., Kroll K., Nienaber C. A., Ismer B.:** Characterization of interventricular desynchronization in heart failure patients., 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012

**Sikorski E.:** Beitrag zur Organisation einer internationalen Fachkonferenz: Geleitet die Sektion R-27 „Wärmepumpen II“, 14th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, West Lafayette, IN, USA, Chair of R-27 Section “Heat Pumps II”, 07/12

**Sikorski E.:** Engineering Education in the USA, Arbeitskreis „Professoren der Heiztechnik“, bei Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Allendorf, Peer-Vortrag, 05/12

**Sokolova E.S., Pupyrev P. D., Lomonosov A. M., Mayer A. P., Hess P., Kovalev A. S.:** Nonlinear acoustic pulse evolution at solid wedges, Posterbeitrag zum IEEE International Ultrasonics Symposium, Dresden, 07. – 10.10.2012

**Staudt R.:** Characterization of Porous Materials, Multicomponent adsorption equilibria on Cu-based MOFs, Delray Beach, Florida, U.S.A., April 30 to May 2, 2012

**Staudt R.:** Multicomponent adsorption equilibria on Cu-based MOFs, Characterization of Porous Materials – Delray Beach, Florida, U.S.A., April 30 to May 2, 2012

**Stein K., Lange M., Worch C., Kobalz M., Lincke J., Lässig D., Möllmer J., Möller A., Staudt R., Gläser R., Krautscheid H.:** Coordination polymers based on 1,2,4-triazolyl benzoates and isophthalates for application in adsorption and catalysis, DFG Status Report Meeting 2012, Dresden, 28. – 29.11.2012

**Töpfer A., Wehsener I., Ismer B., Kuehnert H., Allmann J., Eisentraeger D.:** Novel telemetric signal averaging ECG approach to determine electrical atrial and ventricular conduction delays in implantable cardioverter defibrillator patients., 46. Jahrestagung der DGBMT, Jena, 16. – 19.09.2012

**Weiß H.-J.:** Public Private Partnerships im Verkehr, im Novotel in Freiburg i. Br. im Rahmen des 45. Freiburger Verkehrsseminars „Bürgerbeteiligung bei Infrastrukturprojekten“, 21.09.2012

**Zahoransky R.:** Elektrische High-Speed Antriebe für Mobile Arbeitsmaschinen Symposium TEAM „Entwicklung von energie- und emissionsparenden Antrieben für Mobile Arbeitsmaschinen“, Veranstalter BMBF und VDMA, Frankfurt, 21.01.2013

**Zahoransky R.:** Umweltwissenschaft und Umwelttechnologie, Zukunftsbranchen für den Eurodistrikt? Konferenz des EURODISTRICTS, „Green Economy“ – Neue Perspektiven für die grenzüberschreitende Kooperation, Offenburg, 13.06.2012

#### Messeauftritte

**Bollin et al.:** Intersolar 2012, Gemeinschaftsstand Baden-Württemberg International, Neue Messe München, München; 13. – 15.06.2012

**Bollin et al.:** Achema 2012, Gemeinschaftsstand der Hochschulen Baden-Württemberg, Messe Frankfurt, Frankfurt am Main; 18. – 22.06.2012

**Bollin et al.:** Oberrheinmesse 2012, Stadt Offenburg/Hochschule Offenburg, Energietage auf der Oberrheinmesse Offenburg, Offenburg; 29.09.2012 – 07.10.2012

#### Laufende Promotionen

**Bhattacharayya M.:** Drahtloser Ultra-low-power-Sensorsystem für passive und semi-passive Anwendungen. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Dr. Jansen, Hochschule Offenburg

**Brahaj A.:** Digitale Forschungsumgebung in Digitalen Bibliotheken. Betreuung durch Humboldt-Universität Berlin, Prof. Dr. Peter Schrimbacher und Prof. Doherr, Hochschule Offenburg

**Braun B.:** Empirische Studie zur Lernwirksamkeit von abstrahierenden Skizzen im Kontext des Lernens mit erläuterten Animationen. Betreuung durch PH Freiburg, Prof. Plötzner, Prof. Stahl und Prof. Riempp, Hochschule Offenburg

**Da Costa Fernandes J.:** Predictive systems to optimize small scale energy networks with high shares of renewable energies. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Bollin, Hochschule Offenburg

**Devanathan S.:** Combinatorial Optimization. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Nebel und Prof. Dr. Dorer, Hochschule Offenburg

**Fey S.:** Entwicklung IT-basierter Kommunikationsstrukturen und Systemarchitekturen für neuartige Energieversorgungsnetze. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Dr. Christ, Hochschule Offenburg

**Gopisetty, S.:** Model reduction optimization for energy planning process of Distributed Energy Resources. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Dr. Treffinger, Hochschule Offenburg

**Griebeler-Kollmann J.:** Strukturinnovationen im Journalismus. Betreuung durch Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Prof. Dr. K.-D. Altmepfen und Prof. Dr. Habann, Hochschule Offenburg

**Grünwald W.:** Untersuchung für Eignung niederfrequenter magnetbasierter Übertragungsverfahren zur Telemetrie bei medizinischen Implantaten mit metallischer Kapselung. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Dr. Jansen, Hochschule Offenburg

**Jagoda M.:** Interne Markenführung in kleinen und mittleren Mediendienstleistungsunternehmen der Medien Stuttgart. Betreuung durch Humboldt-Universität Berlin, Prof. Dr. Friedrichsen und Prof. Rohbock, Hochschule Offenburg

**Löffel M.:** Websites als Werbemittel: Empirische Untersuchung zum Einfluss von Usability und Design auf den Werbeerfolg. Betreuung durch Humboldt-Universität Berlin, Prof. Dr. Friedrichsen und Prof. Breyer-Mayländer sowie Prof. Habann, Hochschule Offenburg

**Möller J.:** Adsorption der reinen Gase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, und N<sub>2</sub> sowie deren Gemische an Mikroporösen Koordinationspolymeren. Betreuung durch Universität Leipzig, Sachsen, Prof. Dr. Roger Gläser und Prof. Staudt, Hochschule Offenburg

**Ortega V.:** Monitoring of different production processes involving contaminating waste using Fourier-Transform Raman spectroscopy. Betreuung durch Université de Strasbourg, Prof. Patrick Meyrueis (unistra) und Prof. Schröder, Hochschule Offenburg

**Schmelas M.:** Load management of thermal storages on base of predictive algorithms for maximisation of renewable energies as well as release the grid.

Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Bollin, Hochschule Offenburg

**Sultana R.:** Research on system architecture for device independent applications for 3D imaging and virtual reality, Betreuung durch Université de Strasbourg, Prof. Dr. Meyrueis und Prof. Dr. Christ, Hochschule Offenburg

**Volk T.:** Untersuchung und Entwicklung eines semi-passiven Sensorsystems mit RFID-ähnlicher Datenübertragung für die physiologische Überwachung von Kleintieren. Betreuung durch Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Reindl und Prof. Jansen, Hochschule Offenburg

**Zahoransky R., Böhler, F.:** Antriebssysteme für Elektroleichtfahrzeuge und Hybridanwendungen – Firmengruppe HEINZMANN-PERM MobiliTec 2012, Plattform für Diskussion und Netzwerk, im Rahmen der Hannover Messe 2012

## Technische Berichte

**Stickel S., Jansen D.:** SIRIUS Hulk, IAF März 2012

**Stickel S., Jansen D.:** SIRIUS Hulk MMU, IAF März 2012

**Seebacher F., Jansen D.:** PDA OS Betriebsprogramm für den Hochschul-PDA, IAF März 2012

**Winter S., Jansen D.:** SiBioSens, IAF April 2012

**Winter S., Jansen D.:** SiBioSens Erweiterung, IAF Juni 2012

**Volk T., Jansen D.:** SensoTAG PuertoRico/Siemens, IAF Juli 2012

**Volk T., Jansen D.:** Untersuchung von 198 RFID FE 0802, IAF Juli 2012

**Nuß U., Root A.:** Benötigt ein pulsweitenmoduliert betriebener Drehstromantrieb einen Stromzustandsregler? IAF Oktober 2012

**Schmidt M., Jansen D.:** SIRIUS Hulk v1.0, IAF November 2012

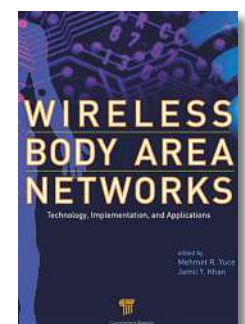
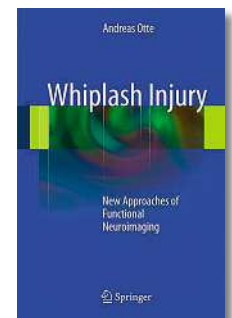
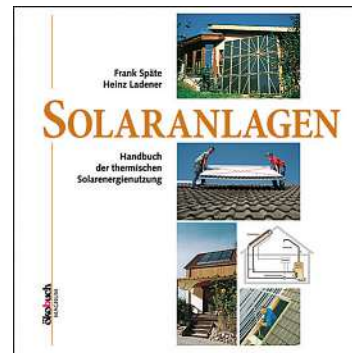
**Schmidt M., Jansen D.:** SIRIUS Peripheriemodule, IAF November 2012

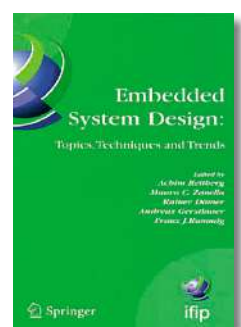
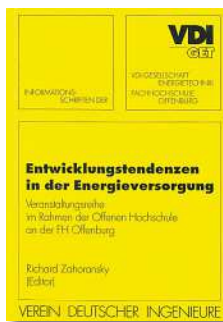
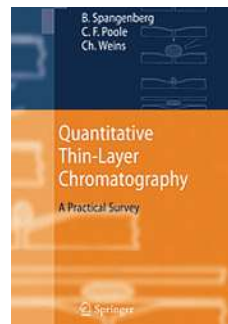
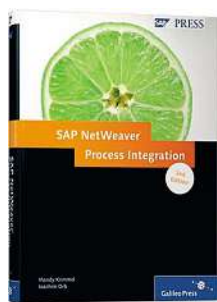
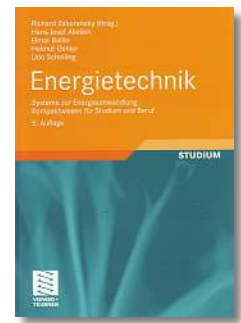
**Schmidt M., Jansen D.:** SIRIUS IRQ Controller, IAF November 2012

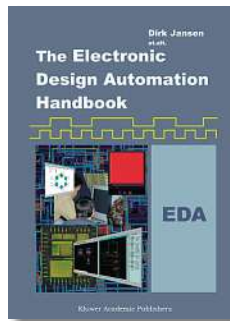
**Volk T., Jansen D.:** SEAGsens Untersuchungsbericht: SensoTag 10003E7, IAF Dezember 2012

**Grünwald W., Jansen D.:** Low Frequency Continuous Phase, Differential Quadrature Phase Shift Keying, Front End ASIC, Datasheet: QKPSK\_FE 1231, IAF Dezember 2012

# Werbung in eigener Sache







Sie suchen einen neuen Standort für Ihr Unternehmen?

Wir machen Sie

# startkLahr

Mit idealen Startbedingungen:

Vielfältige Verkehrsanbindungen, optimale Infrastruktur.

Objekte zur Vermietung, Verpachtung und zum Verkauf.

[www.startklahr.biz](http://www.startklahr.biz)

AIRPORT & BUSINESS PARK  
RAUM LAHR



## Formvollendet

Entwickeln Sie mit uns präzisere Bauteile für bessere Fahrdynamik

**als Jungingenieur, Diplomand, Trainee oder Praktikant.**

Jetzt bewerben und dabei sein:  
[www.ernst.de/jobs](http://www.ernst.de/jobs)

## ERNST

Ernst Umformtechnik GmbH  
Am Wiesenbach 1 | D-77704 Oberkirch-Zusenhofen  
Telefon +49 7805 406-0 | Telefax +49 7805 406-100  
[info@ernst.de](mailto:info@ernst.de) | [www.ernst.de](http://www.ernst.de)

## // Energiewende – mit uns

 **E-Werk  
Mittelbaden**  
*Dahem gut versorgt*

### Kostenfreie Beratung zum Energiesparen

- >> Energiespartipps
- >> Einsatz regenerativer Energien
- >> Trends in der Energiewelt
- >> Fachvorträge von Experten

**E>welt, Telefon: 0781 280-223,  
Freiburger Straße 23 a, 77652 Offenburg**



**Besuchen Sie uns:**  
Mo.–Fr. 09:00–12:00 Uhr, 13:00–16:00 Uhr  
Do. 09:00–12:00 Uhr, 13:00–18:30 Uhr  
Jeden 1. Samstag im Monat 09:00–13:00 Uhr

[www.e-welt-info.de](http://www.e-welt-info.de)

[www.schweitzer-online.de](http://www.schweitzer-online.de)

The logo for Schweitzer Fachinformationen features a blue curved line above the word 'schweitzer' in a bold, lowercase sans-serif font. Below it, the words 'Fachinformationen' are written in a smaller, regular sans-serif font.

Über 18 Mio. Medienartikel

- Bücher
- Zeitschriften
- E-Books
- E-Journals
- Datenbanken
- Bibliotheksservices
- E-Procurement
- Wissensmanagement

Seit 1.6.2012 auch in Mannheim!

**hoser+mende**

Literatur und Dienstleistungen

Charlottenplatz 17 • 70173 Stuttgart  
Telefon 0711 16354-0 • Fax 0711 16354-25  
[hoser@schweitzer-online.de](mailto:hoser@schweitzer-online.de)

Karlstraße 76 • 76137 Karlsruhe  
Telefon 0721 98161-0 • Fax 0721 815343  
[mende@schweitzer-online.de](mailto:mende@schweitzer-online.de)

Wattstr. 21-23 • 68199 Mannheim  
Telefon 0621 42944-522 • Fax 0621 42944-524  
[mannheim@schweitzer-online.de](mailto:mannheim@schweitzer-online.de)