

Technische Hochschule  
Wildau [FH]  
Technical University  
of Applied Sciences

Bahnhofstraße  
15745 Wildau  
Germany

Telefon +49 (0) 3375 / 508-300

[www.th-wildau.de](http://www.th-wildau.de)

## FORSCHUNG, ENTWICKLUNG & LEHRE

ERKENNTNISSE/KONZEPTE/PROJEKTE

### SCHWERPUNKTE:

- » Biosystemtechnik/Bioinformatik
- » Energie- und Umweltmanagement
- » Informations- und Kommunikationstechnologien
- » Material- und Produktionstechnologie
- » Lehr- und Lernmanagement
- » Logistik
- » Management und Innovation
- » Optische Technologien

[www.th-wildau.de](http://www.th-wildau.de)

# IMPRESSUM

## HERAUSGEBER

### **Der Präsident der Technischen Hochschule Wildau [FH]**

Prof. Dr. László Ungvári  
Bahnhofstraße  
15745 Wildau

Telefon +49 (0) 3375 / 508-300

Fax +49 (0) 3375 / 508-324

[www.th-wildau.de](http://www.th-wildau.de)

## REDAKTIONSKOLLEGIUM DER TH WILDAU [FH]

Prof. Dr. rer. nat. Asta Richter  
Prof. Dr. Tina Hubert  
Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme  
Prof. Dr.-Ing. Michael Hendrix  
Prof. Dr. rer. nat. Tilo Wendler

## REDAKTION

### **Redaktionsleitung**

Markus Vossel  
Telefon +49 (0) 3375 / 508-673  
[markus.vossel@th-wildau.de](mailto:markus.vossel@th-wildau.de)

### **Redaktionsmitarbeit**

Annika Stahlberg

## GESAMTHERSTELLUNG

### **pixelmaedchen.de**

Dani Winkler  
An der Linde 27  
50668 Köln

Telefon +49 (0) 221 / 42 36 22 58

[hello@pixelmaedchen.de](mailto:hello@pixelmaedchen.de)

Titelfotos: [www.clemens-barth.de](http://www.clemens-barth.de)

### **ISSN 0949-8214**

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge bei Quellenangabe frei.

# WISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE 2013

# INHALTSVERZEICHNIS

Wissenschaftliche Beiträge 2013

BIOSYSTEMTECHNIK/BIOINFORMATIK	8	Charakterisierung des mikrobiellen Symbioms von Blutegeln
	13	Experimentelle Therapieentwicklung für die akute lymphatische Leukämie
	17	Direkte Kontaktierung des Enzyms (PQQ)-GDH und Elektroden mithilfe von polymermodifizierten Nanoröhren für die Anwendung in Biobrennstoffzellen
	23	Der Nacktmull als ein Modellorganismus für Krebsresistenz <i>Bioinformatische Analysen</i>
	27	Einfluss von Kopienzahlvariationen auf die Tumorentwicklung
ENERGIE- UND UMWELTMANAGEMENT	31	Zu Bedeutung und möglichen Haftungsrisiken bei der Umsetzung von gesellschaftsrechtlichen Bürgerbeteiligungsmodellen bei Erneuerbare-Energien-Projekten
	39	Beschreibung eines regenerativen Energiesystems mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik für Lehre und angewandte Forschung
	43	Photoscanning-Verfahren zur nichtinvasiven Charakterisierung fabrikationsbedingter Defekte in Solarzellen
INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN	49	Our mobile as an everyday lifestyle object <i>How has it changed our daily life and what are the challenges for the future?</i>
	55	Erkennung von Bewegungsprofilen im Gebäudemanagement mithilfe von Complex Event Processing
	61	A metamodel-based ASN.1 editor and compiler for the implementation of communication protocols
	67	An indoor localization system using active RFID technology
MATERIAL- UND PRODUKTIONSTECHNOLOGIE	72	Automatisierte Handhabung biegeschlaffer Materialien <i>Wo setzt die Ingenieursaufgabe an?</i>
	77	Molekulares Design für innovative PU-Systeme
LEHR- UND LERNMANAGEMENT	84	Offene Standards und verteilte Anwendungen als Grundlage „verteilter Wissensarbeit“ (auch) im Open Government

## LOGISTIK

- 91 Mathematical model for the integrated calculation of production, logistical and service capacities in the value chain

## MANAGEMENT UND INNOVATION

- 97 Aktivierende Methodik im Fremdsprachenunterricht  
*Nutzen, Wirkung, praktische Beispiele*
- 103 Wirtschaftlichkeitsprognosen für Automatenstandorte
- 109 Teaching the Teachers  
*A report on key events and activities run by the UAS Wildau Centre of Competence for Teaching in English*
- 114 Gleichstellungspolitik im Wissenschaftsbereich  
*Der „brandenburgische Weg“ zur Förderung der Chancengleichheit von Frauen und Männern an Hochschulen*
- 121 BPMN als neuer Modellierungsstandard?
- 128 Personaleinsatzplanung für Bodenverkehrsdienste  
*Ein exakter Algorithmus*
- 133 Innovation Hub als Nukleus regionaler Entwicklung
- 138 Creative Labs in offenen Innovationsprozessen  
*Typen und Funktionen*
- 143 Das Internationalisierungsverhalten deutscher Unternehmen  
*Ergebnisse einer vergleichenden Studie für Brandenburg, Berlin und das Bundesgebiet*
- 149 The Process of Second Language Acquisition and its Implications for Teaching

## OPTISCHE TECHNOLOGIEN

- 154 Großflächige Abscheidung von Graphen  
*Ein wichtiger Schritt für neuartige Bauelemente*

# VORWORT

## PROF. DR. LÁSZLÓ UNGVÁRI

Die Technische Hochschule Wildau [FH] hat auch im Jahr 2012 ihre positive Entwicklung fortschreiben können. Die Zahl der Studierenden an der TH Wildau [FH] lag 2012 mit fast 4.200 Studierenden zum dritten Mal hintereinander über 4.000. Davon kommen knapp 16% der Studierenden aus dem Ausland, eine nicht nur für Fachhochschulen hoher Prozentsatz. Erneut hat die Hochschule über 900 Absolventen ihre Abschlusszeugnisse aushändigen können. Ihnen stehen spannende berufliche Perspektiven offen. Seit Bestehen unserer Hochschule erwarben 7.981 Frauen und Männer einen Abschluss der TH Wildau [FH], davon allein 2012 insgesamt 903.

Die TH Wildau [FH] hat in den vergangenen Jahren ihr ingenieur- und naturwissenschaftliches Profil schärfen können. Dies zeigt sich auch an dem hohen Anteil von Studierenden in naturwissenschaftlichen und technischen Studiengängen an der Gesamtstudierendenzahl. Im Wintersemester 2012/13 machten diese Studierende knapp 55% der Studierendenschaft aus.

Ein beliebter und herausragender Ort des Lernens ist die Bibliothek der TH Wildau [FH]. Sie wurde 2012 vom Deutschen Bibliotheksverband für ihre Innovationskraft und ihren exemplarischen Einsatz der RFID-Technologie (Identifizierung mithilfe elektromagnetischer Wellen, wird in Bibliotheken eingesetzt zur Sicherung und Verbuchung von Medien) mit dem Preis

„Bibliothek des Jahres“ ausgezeichnet. Mit der Auszeichnung der Bibliothek wurden die technische Ausstattung sowie die implementierten Dienste der Bibliothek gewürdigt. Die Bibliothek steht aber auch für hervorragende Architektur. Insgesamt zeichnet sich der Campus der TH Wildau [FH] durch ein einzigartiges Architekturensemble aus, dessen Entwicklung 2013 abgeschlossen wird.

Denn das derzeit größte Hochschulbauvorhaben im Land Brandenburg ist gut vorangeschritten. Im Frühjahr 2013 werden der TH Wildau [FH] die neuen Gebäude übergeben werden. Den Studierenden und Mitarbeitern wird dann eine zusätzliche Nutzfläche von über 7.500 Quadratmetern zur Verfügung stehen. Neue Hörsäle, Seminarräume sowie Labor- und Versuchsflächen für die technischen Studiengänge Ingenieurwesen, Logistik, Wirtschaftsingenieurwesen und Telematik werden die Bedingungen für das Studieren, Lehren und Forschen deutlich verbessern. Für die Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst, steht der Neubau als Investition in die Zukunft: „Dass die Landesregierung sich entschieden hat, ein solch aufwändiges Bauprojekt zu finanzieren, ist großer Beweis für das Vertrauen auch in den künftigen Erfolg der Hochschule.“ Dieses Vertrauen ist uns Aufgabe und Ansporn, an die Erfolge der Vergangenheit anzuknüpfen und auch in Zukunft in Lehre und Forschung erfolgreich zu arbeiten.



Die TH Wildau [FH] hat im Jahr 2012 ihren anerkannten Ruf als Kompetenzzentrum für wichtige Wissenschaftsdisziplinen und als Netzwerkpartner in internationalen, bundesweiten und regionalen Forschungsverbänden für den Wissens- und Technologietransfer weiter gefestigt. Unsere Hochschule erwies sich erneut als ein Vorreiter für Innovationen in Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung. Wildauer Know-how und Erfahrung in der angewandten Forschung und Entwicklung sowie beim Projektmanagement sind gefragt – sowohl bei international tätigen Großunternehmen als auch bei innovativen kleinen und mittleren Unternehmen.

Jährlich werden an der TH Wildau [FH] über 200 Projekte von den Kolleginnen und Kollegen parallel bearbeitet. Dabei agiert die Hochschule als verlässlicher Auftragnehmer bei Forschungsaufträgen wie auch als verlässlicher Partner in Verbundprojekten. Durch erfolgreich beantragte Projekte und direkte Industrieverträge konnte die TH Wildau [FH] 2012 insgesamt 8,51 Mio. Euro an Drittmittel einwerben. Das bedeutet, das Drittmittelaufkommen konnte erneut gesteigert werden, und zum ersten Mal wurde die Schwelle von 8 Mio. Euro überschritten. Durch die Drittmittel erhöhte sich der Haushalt der Hochschule um 68,5%. Das ist bundesweit erneut ein Spitzenwert. Als Hochschule besteht die wissenschaftliche Arbeit auch in der Veröffentlichung der Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Die Kolleginnen und Kollegen publizieren bereits seit Jahren in international renommierten Journalen.

Die Wissenschaftlichen Beiträge der TH Wildau [FH] haben sich in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen Medium entwickelt, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Ergebnisse ihrer Forschung präsentieren können. Dabei wird genauso zu Lehrthemen wie auch zu Themen aus den einzelnen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten der TH Wildau [FH] publiziert. Mittlerweile legen wir mit den Wissenschaftlichen Beiträgen 2013 die 18. Ausgabe der Publikationsreihe vor.

Das Interesse der Kolleginnen und Kollegen, in der Reihe zu publizieren hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Im Jahr 2007 erschienen 12 Artikel, drei Jahre später waren es bereits 19 Beiträge. Die vorliegende Ausgabe der Wissenschaftlichen Beiträge enthält 26 wissenschaftliche Artikel. Ungefähr die Hälfte der Beiträge kommen aus dem Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen, die andere Hälfte steuern Kolleginnen und Kollegen aus den Fachbereichen Betriebswirtschaftslehre/Wirtschaftsinformatik und Wirtschaft, Verwaltung und Recht.

Ich danke den Kolleginnen und Kollegen für das rege Interesse an den Wissenschaftlichen Beiträgen, und ich bedanke mich herzlich bei dem Redaktionskollegium für die Begutachtung der eingegangenen Artikel sowie für die Betreuung der Wissenschaftlichen Beiträge.

**Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre der Wissenschaftlichen Beiträge 2013. Die Beiträge sind auch als PDF über das Internet abrufbar, besuchen Sie dazu die Internetseite:**

[www.th-wildau.de/aktuelles/presse-und-medien/hochschulmedien-und-publikationen/wissenschaftliche-beitraege.html](http://www.th-wildau.de/aktuelles/presse-und-medien/hochschulmedien-und-publikationen/wissenschaftliche-beitraege.html)



*Prof. Dr. László Ungvári*

Präsident  
der TH Wildau [FH]

# CHARAKTERISIERUNG DES MIKROBIELLEN SYMBIOMS VON BLUTEGELN

Stephanie Michel, Nadine Jork, Christian Rockmann, Markus Grohme, Philipp Franke, Detlef Menzel, Marcus Frohme

## Zusammenfassung

Die medizinischen Blutegel, *Hirudo medicinalis* und *Hirudo verbana*, werden wegen ihrer kurativen Wirkung in der Humanmedizin angewandt. Während des Blutsaugens injizieren sie über ihren Speichel eine Vielzahl bioaktiver, derzeit noch unbekannter Moleküle. Eine vollständige Aufklärung aller Inhaltsstoffe mit Wirkmechanismen ist für die Entwicklung von neuen Pharmaka von großem Interesse. Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Organe beider Arten auf ihre Besiedlung durch symbiontische Bakterien untersucht. Dazu wurden die Bakterien zunächst unter geeigneten Bedingungen kultiviert und mittels biochemischer Methoden charakterisiert. Die Identifizierung der Symbionten erfolgte durch Polymerasekettenreaktion (PCR) und Sequenzierung der 16S rDNA. Die biochemischen Tests ergaben, dass die kultivierbaren Bakterien Amylase positiv, Gram negativ und Ornithin Decarboxylase negativ sind. Mit Hilfe von datenbankgestützten Analysen der 16S rDNA-Sequenzen konnte *Aeromonas veronii* biovar *sobria* nachgewiesen werden. Hochdurchsatzsequenzierungen der gesamtgenomischen DNA des Bakteriums aus *H. medicinalis* zeigten deutliche Abweichungen zum Referenzgenom von *Aeromonas veronii* B565.

## Abstract

The medical leeches, *Hirudo medicinalis* and *Hirudo verbana*, are increasingly used in human medicine because of their curative effect. During bloodsucking, they inject a variety of bioactive molecules via their saliva of which most are still unknown. The investigation of all contents and their mechanisms of action are of great interest, especially for the development of new pharmaceutical products. Against this background, the colonization of various organs of both species by symbiotic bacteria was examined. For this purpose, the bacteria were cultivated under suitable conditions and characterized using biochemical methods. The identification of the symbionts was carried out by polymerase chain reaction (PCR), supported by sequencing of the 16S rDNA. The biochemical tests indicated that the culturable bacteria are amylase positive, gram negative and ornithine decarboxylase negative. The occurrence of *Aeromonas veronii* biovar *sobria* could be proved by database analyses of the 16S rDNA. High-throughput sequencing of the genomic DNA showed significant differences from the already known reference genome of *Aeromonas veronii* B565.

## » I. EINFÜHRUNG

Der medizinische Blutegel, *Hirudo medicinalis*, wurde bereits in der Antike zum therapeutischen Aderlass eingesetzt. Aufgrund der antikoagulativen, antiinflammatorischen, immunisierenden und analgetischen Wirkung hat sich die Blutegeltherapie vor allem in der Mikrochirurgie, Naturheilkunde sowie für die Behandlung von Thrombosen und Embolien etabliert (Wells et al. 1993: 183). Da *H. medicinalis* in Europa fast ausgestorben ist, werden heutzutage entweder Zuchttiere oder die in Kleinasien lebenden Egel namens *H. verbana* zu therapeutischen Zwecken verwendet. Während des Blutsaugens, aber auch beim Loslassen, injiziert der Egel über seinen Speichel eine Vielzahl von medizinisch nützlichen, bioaktiven Molekülen. Bisher sind nur acht Inhaltsstoffe bekannt. Dazu zählen unter anderem das *Hirudin* und das *Calin*, welche die Koagulation des Blutes hemmen (Zaidi et al. 2011: 437). Für die Anwendung in der Humanmedizin rücken die Blutegel

zunehmend in den arzneimittelrechtlichen Fokus. Seit dem Jahr 2004 sind die Tiere zwar gemäß § 2 Absatz 1 des Arzneimittelgesetzes als Arzneimittel zugelassen, jedoch ist der Egel an sich vergleichsweise schlecht definiert. So verfügen die Tiere über symbiontische Bakterien, welche sich obligat im Verdauungstrakt (*Intestinum*) befinden, wobei die mikrobielle Flora des Blutegels im Vergleich zu anderen Tieren relativ einfach aufgebaut zu sein scheint (Graf et al. 2006: 365). Bisher konnten nur zwei Bakterien, *Aeromonas veronii* biovar *sobria* und Bakterien der Gattung *Rikenella*, im Verdauungstrakt des Egels identifiziert werden (Graf 1999: 1). Neue Erkenntnisse über diese symbiontischen Bakterien könnten die Arzneimittelsicherheit in Hinblick auf eine standardisierte Laboraufzucht verbessern und dazu beitragen, die physiologischen Zusammenhänge im Egel besser zu verstehen. Letzteres ist vor allem für die rekombinante Herstellung von neuen therapeutischen Proteinen von Bedeutung. Die Symbiose zwischen dem Wirt

*H. medicinalis* und dem Symbionten *A. veronii* biovar *sobria* ist noch weitgehend unverstanden. Es besteht die Annahme, dass der Symbiont den Wirt mit Nährstoffen versorgt (Graf 2010) und dass *Aeromonas* an der Verdauung des aufgenommenen Blutes beteiligt ist, zumal bislang keine an der Verdauung beteiligten Egel-Enzyme nachgewiesen werden konnten. Der Symbiont hingegen ist für seine beta-hämolytischen Fähigkeiten bekannt und könnte die Lyse der Erythrozyten übernehmen (Kozaki et al. 1989: 1782). Untersuchungen ergaben, dass der Wirt wiederum Proteasen ins *Intestinum* absondert, welche die Beta-Hämolyse inhibieren und somit die Speicherung der Erythrozyten ermöglichen (Roters et Zebe 1992: 85). Darüber hinaus zeigten weiterführende Studien, dass *Aeromonas* die Proliferation von nicht symbiontischen Bakterien im Kropf des Wirtes inhibiert (Indergand et Graf 2000: 4735).

Ziel dieser Arbeit war die Isolierung und Charakterisierung symbiontischer

Bakterien aus dem Verdauungstrakt des medizinischen Blutegels *H. medicinalis*. Parallel wurden die symbiontischen Bakterien aus *H. verbana*, welcher ebenfalls zu medizinischen Zwecken eingesetzt wird, extrahiert und bestimmt. Zur Isolierung der Bakterien wurden die Egel zunächst präpariert, der Inhalt des Verdauungstraktes (*Intestinums*) sowie die Speicheldrüsen (*Glandulae salivariae*) entnommen und auf Stärke-Ampicillin-Agar ausplattiert. Anschließend wurden die Kolonien mithilfe geeigneter biochemischer Methoden, wie Amylase-, Gram- und Decarboxylase-Tests untersucht. Charakteristische Kolonien wurden in Flüssigmedien überführt und die Gesamt-DNA isoliert. Zur eindeutigen Identifizierung der Isolate wurden Amplifikate des 16S rDNA Gens mittels konventioneller Polymerasekettenreaktion (PCR) erstellt (Keller et al. 2010: 755) und sequenziert. Ziel war außerdem eine Hochdurchsatzsequenzierung der gesamtgenomischen DNA.

## » II. MATERIAL UND METHODEN

Die Isolierung der symbiotischen Bakterien erfolgte aus *Hirudo medicinalis* und *Hirudo verbana*, welche von der BioRepro GmbH Potsdam bereitgestellt wurden. Dazu wurden Teile der Speicheldrüsen sowie des Verdauungstraktes herauspräpariert, auf Stärke-Ampicillin-Agar (10 g/l Trypton, 1 g/l Hefe-Extrakt, 5 g/l Natriumchlorid, 0,025 g/l Phenolrot, 15 g/l Agar, 10 g/l Stärke, pH 7,4) ausplattiert und über Nacht bei 29 °C inkubiert. Charakteristische Einzelkolonien wurden isoliert, ggf. auf Platte oder in LB-Medium (8 g/l Trypton, 4 g/l Hefe-Extrakt, 8 g/l Natriumchlorid, pH 7,0) weiter kultiviert, um mittels biochemischer und molekularbiologischer Methoden untersucht werden zu können. Zur Bestimmung der Amylaseaktivität wurden Stärke-Ampicillin-Agarplatten mit Bakterienkolonien nach einer Inkubationszeit von drei Wochen bei 4 °C mit Lugolscher Lösung überdeckt, eine Minute bei Raumtemperatur inkubiert und anschließend mit Wasser gewaschen.

Die Untersuchung auf Gramverhalten erfolgte, indem 10 µl einer LB-Übernachtskultur auf einen Objektträger überführt und mit 30 µl 3%iger KOH-Lösung suspendiert wurden. Nach einer

Inkubationszeit von fünf Minuten bei Raumtemperatur wurde die Viskosität der Suspension mit einer Impföse kontrolliert.

Zur Bestimmung der *Aeromonas* Spezies wurde ein Ornithin-Decarboxylase-Test durchgeführt. Dazu wurden Einzelkolonien von Stärke-Ampicillin-Agarplatten gepickt und in jeweils 4 ml Ornithin-Decarboxylase-Medium (5 g/l Trypton, 3 g/l Hefe-Extrakt, 1 g/l Glukose, 0,02 g/l Bromkresolpurpur, 5 g/l Ornithin, pH 6,3) überführt. Die Reaktionsansätze wurden anschließend mit PlusOne DryStrip Cover Fluid (GE Healthcare) bedeckt und für 24 h bei 29 °C unter Schütteln inkubiert. Die Decarboxylase-Fähigkeit der Bakterien wurde optisch anhand des mitgeführten pH-Indikators Bromkresolpurpur bestimmt.

Zur Extraktion der Gesamt-DNA wurden 2 ml Übernachtskultur für fünf Minuten bei 13000 x g zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen und das Pellet in 500 µl TE-Puffer (50 mM TRIS-HCL, 1 mM EDTA, pH 8,0) resuspendiert. Nach erneuter Zentrifugation für fünf Minuten bei 13000 x g wurde das Pellet in 500 µl eiskaltem TES-Puffer (50 mM TRIS-HCL, 100 mM EDTA, 25% Saccharose) resuspendiert und für eine Stunde auf Eis inkubiert. Nach der Zugabe von 50 µl Lysozym (AppliChem) erfolgte eine Inkubation für 30 Minuten bei 37 °C. Anschließend wurden 50 µl 20%iges SDS (Endkonzentration 2%) und 15 µl Proteinase K (AppliChem) zugegeben. Nach einer Inkubation über Nacht bei 37 °C wurde ein Volumen Phenol-Chloroform-Isoamylalkohol (PCI) hinzugegeben, intensiv geschüttelt und für zehn Minuten bei 13000 x g und 4 °C zentrifugiert. Die obere wässrige Phase wurde in ein neues Reaktionsgefäß überführt und die PCI-Aufreinigung wiederholt. Anschließend wurde ein Volumen Chloroform-Isoamylalkohol zugegeben, intensiv geschüttelt und für zehn Minuten bei 13000 x g und 4 °C zentrifugiert. Die obere wässrige Phase wurde in ein neues Reaktionsgefäß überführt und die DNA durch Zugabe des 0,7-fachen Volumens Isopropanol gefällt. Nach einer Zentrifugation von 30 Minuten bei 13000 x g und 4 °C wurde das Pellet zweimal mit 70%igem Ethanol gewaschen. Das getrocknete DNA-Pellet wurde mit 30 µl DEPC-H<sub>2</sub>O resuspendiert. Die Konzentrationsmessung der

DNA erfolgte mithilfe des NanoDrop ND-1000 Spektrophotometer (Peqlab) durch Absorptionsmessung bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 260$  nm. Des Weiteren wurde der Absorptionsquotient A260/A280 herangezogen, um den Reinheitsgrad der DNA zu bestimmen. Die extrahierte Gesamt-DNA wurde anschließend mittels Gelelektrophorese bei 75 V für 35 Minuten in einem 1% Agarosegel und 1x TAE Puffer aufgetrennt. Das Gel wurde in einer Ethidiumbromidlösung (0,5 µg/ml) gefärbt und unter UV-Licht analysiert.

Die Amplifikation des variablen Bereichs der 16S rDNA wurde mithilfe einer PCR durchgeführt. Die Primer wurden der Publikation von Graf entnommen (Graf 1999: 1). Der Mastermix bestand aus 0,2 mM dNTPs, 0,25 µM des Forward Primers und des Backward Primers, 0,2 U Taq Polymerase (DreamTaq™, Fermentas) und 200 ng Ziel-DNA in einem Volumen von 50 µl 1x Reaktionspuffer (DreamTaq™, Fermentas). Die Amplifikationsbedingungen waren wie folgt: 95 °C für zwei Minuten, gefolgt von 30 Zyklen bei 95 °C für 30 s, 57 °C für 15 s und 72 °C für 30 s. Amplifikate in der Größe von 599bp wurden elektrophoretisch aufgetrennt und detektiert (wie oben beschrieben). Die PCR-Produkte wurden anschließend mittels QIAquick PCR purification kit (Quiagen) aufgereinigt. Dabei wurde nach Angaben des Herstellers vorgegangen und in 30 µl Elutionspuffer eluiert. Die Konzentration und Reinheit der Amplifikate wurden mit dem Nanodrop ND-1000 Spektrophotometer (Peqlab) bestimmt. Die Sequenzierung der amplifizierten 16S rDNA wurde durch den Anbieter StarSEQ (Mainz) durchgeführt. Diese erfolgte vom 5'-Ende mit Hilfe des Forward-Primers (Graf 1999: 1).

Weiterhin wurden whole-genome-shotgun Sequenzierungen der Bakterien aus *H. medicinalis* mit GS Junior (Roche) und Ion Torrent (Life Technologies) durchgeführt. Für die referenzbasierten Assemblies wurden GS Reference Mapper 2.7 von 454 Life Sciences (<http://454.com/products/analysis-software/index.asp>) sowie MIRA 3.9.4 (Chevreux et al. 2009: 1147) verwendet. Die Reads der 454 und Ion Torrent Sequenzierungen wurden hierbei auf das Referenzgenom *Aeromonas veronii* B565 (Li et al. 2011: 3389) gemappt. Eine *de novo*

Assemblierung erfolgte mit GS De Novo Assembler 2.7 von 454 Life Sciences. Mit der minimus2-Pipeline (<http://sourceforge.net/apps/mediawiki/amos/index.php?title=Minimus2>) des AMOS Paketes wurden die Datensets aus dem Mappingassembly und dem *de novo* Assembly zusammengeführt. Mithilfe des Referenzgenoms wurden die Contigs mit Mauve (Rissman et al. 2009: 2071) sortiert.

### » III. ERGEBNISSE

Zur Charakterisierung des mikrobiellen Symbioms in medizinischen Blutegeln

Nach einem Kultivierungszeitraum von drei Wochen bei 4 °C wurden die Bakterien auf ihre Fähigkeiten untersucht, Stärke zu hydrolysieren. Dazu wurden die Stärke-Ampicillin-Agarplatten mit Lugolscher Lösung angefärbt. Anhand der farblosen Zonen, welche sich um die Kolonien bildeten, konnten in den Speicheldrüsen- und Verdauungstraktproben beider Egel Amylase-positive Bakterien nachgewiesen werden. Weiterhin zeigten alle Bakteriensuspensionen nach der Behandlung mit KOH eine Zunahme in ihrer Viskosität, was auf die Lysierung der Zellwände schließen lässt. Somit konnten alle Isolate als Gram-negativ identifiziert werden.

Zur Bestimmung der *Aeromonas* Spezies wurde ein Ornithin-Decarboxylase-Test im Flüssigmedium durchgeführt. Sind die Bakterien in der Lage, die im Medium enthaltene Glukose zu fermentieren, entsteht ein saures Nebenprodukt, woraus ein Farbumschlag von violett zu gelb resultiert. Besteht die Fähigkeit, Ornithin zu decarboxylieren, werden alkalische Nebenprodukte (Putrescine) gebildet und das Medium bleibt violett gefärbt. Während *A. veronii* biovar *veronii* die Fähigkeit besitzt Ornithin zu decarboxylieren, ist *A. veronii* biovar *sobria* negativ für diese Reaktion. Nach einer Inkubation von 24 h bei 29 °C konnte sowohl bei den isolierten Bakterien aus *H. medicinalis* als auch bei denen aus *H. verbana* ein Farbumschlag von violett nach gelb beobachtet werden. Während sich bei den Kulturen aus *H. verbana* das gesamte Medium verfärbte, ist bei denen aus *H. medicinalis* nur ein Teil des Mediums in gelb umgeschlagen (Abb. 2). Demnach fermentieren die Bakterien beider Egel die im Flüssigmedium enthaltene Glukose. Sie besitzen nicht die Fähigkeit, Ornithin zu decarboxylieren und können demzufolge als *A. veronii* biovar *sobria* identifiziert werden.

Die Gesamt-DNA der Bakterien aus *H. medicinalis* und *H. verbana* wurde mittels Phenol Chloroform Isoamylalkohol und anschließender Isopropanolfällung isoliert und elektrophoretisch aufgetrennt. Dabei konnte eine DNA Bande oberhalb der 20000bp nachgewiesen werden, welche hochmolekularer genomischer DNA entspricht. Zudem waren zwei DNA Banden oberhalb von 1500bp und 1000bp zu erkennen,

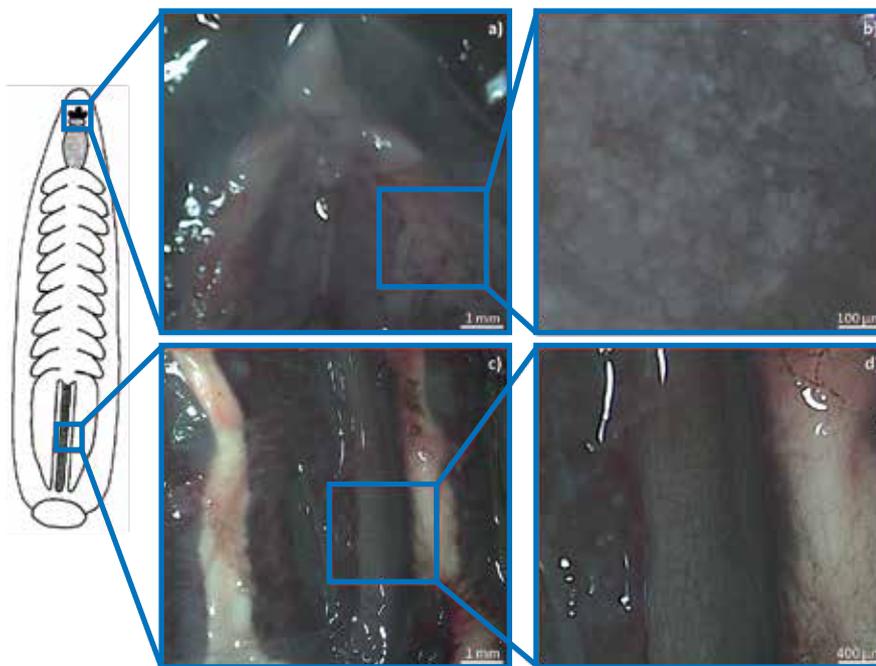


Abb. 1) Ventralschnitt der Speicheldrüsen (*Glandulae salivariae*) und des Verdauungstraktes (*Intestinum*) von *H. medicinalis*. (*H. verbana* analog) im Schema. Foto links oben: Übersicht der Kieferplatten mit angrenzenden Speicheldrüsen. Foto rechts oben: Speicheldrüsengewebe. Foto links unten: Übersicht Verdauungstrakt mit angrenzender Leibeshöhle (*Peritoneum*). Foto rechts unten: Gefüllter Verdauungstrakt.

wurden aus den Speicheldrüsen und dem Verdauungstrakt von *H. medicinalis* und *H. verbana* Proben entnommen (Abb. 1), auf Stärke-Ampicillin-Agar ausgestrichen und über Nacht bei 29 °C inkubiert. Bereits nach 12 h konnte sowohl bei den Bakterienausstrichen von *H. medicinalis* als auch bei denen von *H. verbana* ein Wachstum von großen, runden, gelb bis grauweißen Kolonien beobachtet werden. Die vorliegende Ampicillin-Resistenz sowie die phänotypischen Merkmale deuteten auf die Bakteriengattung *Aeromonas* hin (Imzili 2001: 796; Glünder und Reetz 2005: 223).

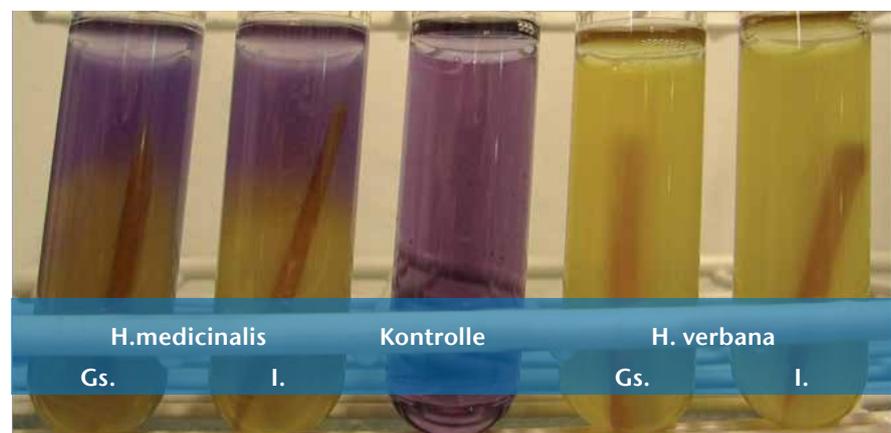


Abb. 2) Ornithin-Decarboxylase Test (Farbumschlag von violett nach gelb). Farbumschlag des Mediums bei Ornithin-Decarboxylase-negativen Bakterien, isoliert aus den Speicheldrüsen (*Glandulae salivariae* = Gs.) bzw. dem Verdauungstrakt (*Intestinum* = I.) von *H. medicinalis* und *H. verbana*.

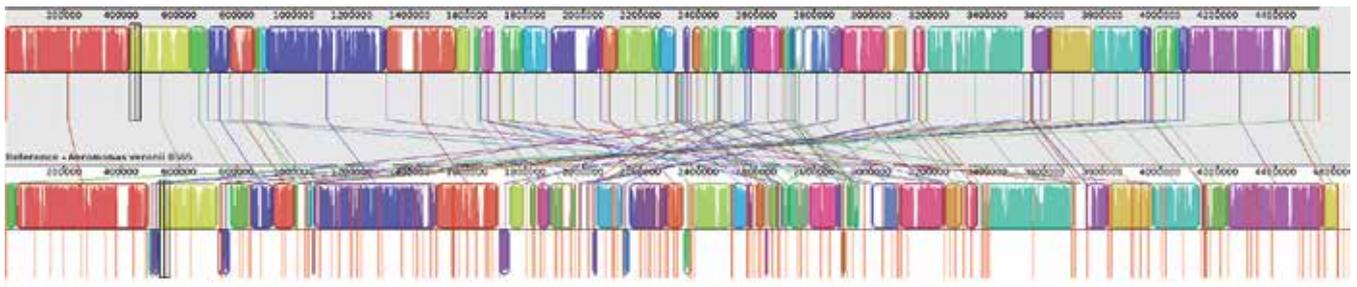


Abb. 3) Sequenzvergleich des publizierten *Aeromona veronii* Stamm B565 (oben) mit dem Assembly des sequenzierten Bakteriums aus *H. medicinalis*.

welche laut Nawaz et al. charakteristisch für niedermolekulare Plasmid DNA in *A. veronii* sind (Nawaz et al. 2006: 6461). Mithilfe der Sequenzierung der 16S rDNA durch den externen Anbieter StarSEQ (Mainz) konnten alle Amplifikate der Gattung *A. veronii* zugeordnet werden. Anhand der 16S rDNA-Sequenz konnte jedoch nicht zwischen den beiden Subspezies *A. veronii biovar veronii* und *A. veronii biovar sobria* unterschieden werden.

Die referenzbasierten Assemblies mit GS Reference Mapper bzw. MIRA zeigten eine Abdeckung der Referenzsequenz von 81 % bzw. 82 % (4265 Contigs) aus einem de novo Assembly resultierten 282 Contigs. Das Zusammenführen beider Datensets mit minimus2 reduzierte die Anzahl der Contigs auf 159, welche mit Mauve sortiert wurden (Abb. 3).

#### » IV. DISKUSSION

Mithilfe biochemischer Methoden konnten Amylase-positive, Gram-negative und Ornithin-Decarboxylase-negative Bakterien in den Speicheldrüsen und dem Verdauungstrakt von *H. medicinalis* und *H. verbana* nachgewiesen werden. Zusammen mit den Ergebnissen der 16S rDNA-Sequenzierung konnte *Aeromonas veronii biovar sobria* als Symbiont identifiziert werden. Auffällig war jedoch, dass die isolierten Bakterien aus *H. verbana* und *H. medicinalis* unterschiedliche Glukose-Fermentationsaktivitäten zeigten. Somit ist nicht auszuschließen, dass es sich bei den aus beiden Egelarten isolierten Bakterien um unterschiedliche Subspezies des Bakteriums *A. veronii* handeln könnte, obwohl die Ergebnisse der 16S rDNA-Sequenzierung beider Symbionten auf das *A. veronii biovar sobria* hindeuten. Es wäre denkbar, dass sich die Aeromonaden infolge der standardisierten Laboraufzucht differenziert

haben. Wie bereits von Graf et al. beschrieben, scheint die mikrobielle Flora des Blutegels im Vergleich zu anderen Tieren relativ einfach aufgebaut zu sein (Graf et al. 2006: 365). Bisher konnten nur zwei Bakterien, *Aeromonas veronii biovar sobria* und Bakterien der Gattung *Rikenella*, im Verdauungstrakt des Egels identifiziert werden (Graf 1999: 1). Die Ergebnisse der Sequenzierung der Bakterien aus *H. medicinalis* zeigten, dass diese in ihrer Genomsequenz nur zu ca. 80% mit dem publizierten *Aeromona veronii* Stamm B565 übereinstimmen. Ein gesamtgenomischer Sequenzierungsansatz auf größere Fragmente wird die vorhandenen Lücken in der Sequenz schließen können. Im Vergleich mit dem noch zu analysierenden Genom aus *H. verbana* wird deutlich werden, worin die Unterschiede beider Symbionten hinsichtlich der DNA und biochemischer Ebene bestehen.

## LITERATUR

- Chevreur B., Pfisterer T., Drescher B., Driesel A. J., Müller W. E. G., Wetter T., Suhai S. (2004): Using the miraEST Assembler for Reliable and Automated mRNA Transcript Assembly and SNP Detection in Sequenced ESTs. In: *Genome Research*. 2004; 14: 1147-1159.
- Delcher A. L., Phillippy A., Carlton J., Salzberg S.L. (2002): Fast Algorithms for Large-scale Genome Alignment and Comparison. In: *Nucleic Acids Research*. 2002; 30: 2478-2483.
- Glünder G. und Reetz G. (2005): *Aeromonas*-Septikämie. Hrsg. v. Otfried Siegmund u. Ulrich Neumann: Kompendium der Geflügelkrankheiten. Schlütersche Verlag. 2005; 6. Auflage. Kapitel 3, 223.
- Graf J. (1999): Symbiosis of *Aeromonas veronii* biovar *sobria* and *Hirudo medicinalis*, the medicinal leech: a novel model for digestive tract associations. In: *Infect. Immun*. 1999; 67: 1-7.
- Graf J., Kikuchi Y., Rio RV. (2006): Leeches and their microbiota: naturally simple symbiosis models. In: *Trends Microbiol*. 2006; 14: 365-371.
- Graf J. (2010): The Digestive-Tract Symbiosis of *Hirudo verbana*, the Medicinal Leech. <http://web.uconn.edu/mcbstaff/graf/AvHm/AvHmmain.htm>.
- Imziln B. (2001): Occurrence and antibiotic resistance of mesophilic *Aeromonas* in three riverine freshwaters of Marrakech, Morocco. In: *Scientific World Journal*. 2001; 1:796-807.
- Indergand S., Graf J. (2000): Ingested Blood Contributes to the Specificity of the Symbiosis of *Aeromonas veronii* biovar *Sobria* and *Hirudo medicinalis*, the Medicinal Leech. *Appl. Environ. Microbiol*. 2000; 66(11): 4735-41.
- Keller P. M., Hombach M., Bloemberg G. V. (2010): 16S-rRNA-Gen-basierte Identifikation bakterieller Infektionen. In: *BIOspectrum*. 2010; 16: 755-758.
- Kozaki S., Asao T., Kamata Y., Sakaguchi G. (1989): Characterization of *Aeromonas sobria* hemolysin by use of monoclonal antibodies against *Aeromonas hydrophila* hemolysins. In: *J. Clin. Microbiol*. 1989; 27(8): 1782-1786.
- Li Y., Liu Y., Zhou Z., Huang H., Ren Y., Zhang Y., Li G., Zhou Z., Wang L. (2011): Complete Genome Sequence of *Aeromonas veronii* Strain B565. In: *Journal of Bacteriology*. 2011; 193: 3389-3390.
- Nawaz M., Sung K., Saeed A., Khan S. A., Khan A. A., Steele R. (2006): Biochemical and Molecular Characterization of Tetracycline-Resistant *Aeromonas veronii* Isolates from Catfish. In: *Appl. Environ. Microbiol*. 2006; 72: 6461-6466.
- Rissman A. I., Mau B., Biehl B. S., Darling A. E., Glasner J. D., Perna N. T. (2009): Reordering contigs of draft genomes using the Mauve aligner. In: *Bioinformatics*. 2009; 25: 2071-2073.
- Roters F. J., Zebe E. (1992): Protease inhibitors in the alimentary tract of the medicinal leech *Hirudo medicinalis*: in vivo and in vitro studies. In: *J. Comp. Physiol*. 1992; B: 85-92.
- Wells M. D., Manktelow R. T., Boyd J. B., Bowen V. (1993): The medical leech: an old treatment revisited. In: *Microsurgery*. 1993; 14: 183-186.
- Zaidi S. M., Jamil S. S., Sultana A., Zaman F., Fuzail M. (2009): Safety and efficacy of leeching therapy for symptomatic knee osteoarthritis using Indian medicinal leech, In: *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 2009; 8(3): 437-442.

## AUTOREN

### Stephanie Michel\*

M. Sc. der Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
smichel@th-wildau.de

### Nadine Jork\*

M. Sc. der Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
njork@th-wildau.de

### Christian Rockmann

M. Sc. der Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
crockman@th-wildau.de

### Markus Grohme

Diplom-Biologe  
Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
mgrohme@th-wildau.de

### Philipp Franke

M. Sc. der Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
pfranke@th-wildau.de

### Detlef Menzel

BioRepro GmbH, Potsdam  
detlef.menzel@biorepro.de

### Prof. Dr. Marcus Frohme

Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
TH Wildau [FH]  
mfrohme@th-wildau.de

\* haben in gleichem Umfang zur Arbeit beigetragen

# EXPERIMENTELLE THERAPIENTWICKLUNG FÜR DIE AKUTE LYMPHATISCHE LEUKÄMIE

Susanne Fischer

## Zusammenfassung

Bei Leukämie handelt es sich um eine Entartung von Vorläuferzellen der weißen Blutzellen (Leukozyten). Die hier betrachtete Form dieser Erkrankung ist die akute lymphatische Leukämie (ALL), bei der vor allem Rückfallpatienten eine schlechte Diagnose haben. Demnach wird nach neuen Therapien gesucht, die neue Angriffspunkte für die Behandlung der ALL bieten. Die getestete Substanz 5-Azacytidin hat zwei therapeutische Wirkmechanismen. Zum einen das Hervorrufen des selbstinduzierten Zelltod (Apoptose) und zum anderen einen epigenetischen Effekt. Der epigenetische Effekt bewirkt eine Veränderung der Genregulation (Veränderung der Genaktivität) ohne die DNA-Sequenz zu beeinflussen. Dies kann mithilfe eines Screenings (Microarraytechnologie) in behandelten und unbehandelten Proben verglichen werden. Da das Screening sehr global ist, erfolgt für eine Auswahl therapeutisch relevanter Gene eine Verifizierung mittels einer molekularbiologischen Methode (qRT-PCR). Dabei wurden Gene mit erhöhter Aktivität bestätigt, MAEL; TMEM56; IL1B; BCL6; MS4A1 und FLT3. Für jedes dieser Gene konnte ein positiver Nutzen für die Therapie einer ALL diskutiert werden. Für FLT3 erfolgte sogar eine positive Kombination mit einer anderen therapeutischen Substanz. Der therapeutische Einsatz des 5-Azacytidins kann zukünftig eine wichtige Therapieoption für Patienten mit ALL darstellen.

## Abstract

Leukemia is a clonal disorder of the bone marrow resulting in degenerated precursors of white blood cells (leukocytes). This study reports about acute lymphoblastic leukemia (ALL). Especially, relapsed ALL patients have a bad diagnosis. In order to improve the chances for these patients, new targeted therapies need to be developed. The analyzed substance, 5-azacytidine, has two main therapeutic effects. On the one hand it causes the self-induced cell death (apoptosis) and on the other hand there is an epigenetic effect. The epigenetic effect causes a change in gene regulation (change in gene activity) without affecting the DNA sequence. With the help of a screening (microarray technology), comparing treated and untreated samples changes in gene activity were detected. For the verification of therapeutic relevant genes (MAEL, TMEM56, IL1B, BCL6, MS4A1 and FLT3) a molecular biological technique (qRT-PCR) was used. Herein, for each of these genes a new therapeutic option is discussed. In addition, a combination of 5-azacytidine and another therapeutic substance (targeting FLT3) was tested. In the future, the therapeutic benefits of 5-azacytidine may be an important treatment option for patients suffering from ALL.

## » I. EINLEITUNG

In Deutschland erkranken jährlich ca. 10.000 Menschen an Leukämie. Damit machen Leukämien einen Anteil von 2,1% aller Krebserkrankungen in Deutschland aus (medac). Bei der hier betrachteten akuten Form einer Leukämie handelt es sich um eine hochgradig maligne Erkrankung. Bei dieser Erkrankung entarten Vorläuferzellen der Leukozyten (der weißen Blutzellen) zu sogenannten unausgereiften Blasten und infiltrieren die blutbildenden Organe und die Blutbahnen. Diese akute Erkrankung führt ohne intensive Chemotherapie binnen weniger Wochen zum Tod des Patienten (cancerquest). Im Folgenden wird hier die ALL betrachtet. Bei dieser Erkrankung sind Vorläuferzellen der B- oder T-Lymphozyten entartet und es gibt eine zweigipflige Altersverteilung. Dabei ist sie zum einen

die häufigste Krebserkrankung bei Kindern und gleichzeitig findet sich ein gehäuftes Auftreten der Erkrankung im höheren Lebensalter (Ribera 2011). Im Kindesalter liegen die Heilungsraten der ALL bei etwa 90%. Problematisch gestaltet sich dabei, dass es bei mehr als 20% der jungen Patienten zu einem Rückfall kommt. Die Heilungsraten nach einem Rückfall sind wesentlich schlechter als bei einer Erstdiagnose (Bhatla et al. 2012). Die komplette Remission der ALL im Erwachsenenalter kann derzeit bei 85-90% der Patienten erreicht werden. Die Langzeitüberlebensrate liegt aber nur bei etwa 40-50%. Auch hier sind Verschlechterungen der Heilungsraten bei einem Rückfall zu verzeichnen (Gökbuget et al. 2012). Als mögliche Therapieoption wurde für diese Studie eine Substanz eingesetzt, deren positive therapeutische Wirkung für akute myeloische Leukämie bereits klinisch

eingesetzt wird. Es handelt sich dabei um die Substanz 5-Azacytidin, welche sowohl zytotoxisch auf Leukämiezellen wirkt sowie auch einen epigenetischen Wirkmechanismus, die DNA-Methylierung, aufweist. Unter Epigenetik versteht man einen Bereich der Molekularbiologie, der sich mit Modifikationen von Genen in einer Zelle beschäftigt. Diese Modifikationen erfolgen ohne Beeinflussung der DNA-Sequenz und sind reversibel. In diesem Fall entfernt 5-Azacytidin Methylierungen, die an einer spezifischen Base der DNA (dem Cytosin) angebracht sein können. Dazu interferiert es als RNA-Baustein bei der Transkription oder wird als umgewandelte Desoxy-Form direkt in die DNA eingebaut. Dort wird es für DNA-Methyltransferasen (DNMTs) zum Substrat. Im Vergleich zu normalen Cytosin-Nukleotiden bindet 5-Azacytidin die DNMTs kovalent, sodass diese nicht abdissoziieren

können und somit inaktiviert sind. Bei den folgenden DNA-Replikationen wird dann an dieser Stelle keine Methylgruppe mehr übertragen (Leone et al. 2002). Dieses Methylierungsmuster ist bei jedem Menschen unterschiedlich und vor allem bei malignen Erkrankungen stark verändert. Wichtige Grundmechanismen der Zellen sind dadurch verändert und ändern somit auch die Funktionalität der Zellen (Piekarz und Bartes 2009). Veränderungen des Methylierungsmusters durch epigenetische Substanzen wie 5-Azacytidin führen somit zu neuerlich veränderten Expressionsmustern in den malignen Zellen. Dementsprechend können in dem so veränderten Expressionsmuster Gene untersucht werden, deren Auftreten einen neuen und geeigneten therapeutischen Ansatz bei der Behandlung der ALL darstellen. Infolgedessen wurden für diese Arbeit Affymetrix-Daten erhoben, die einen Vergleich der Genexpression von unbehandelten und behandelten (5-Azacytidin) ALL Zelllinien (Nalm-6 und BE13) ermöglichen. Auf der Grundlage dieser Daten konnten nun differentiell exprimierte Gene analysiert werden. Da die Auswertung der GeneChips mit einer Normalisierung über den gesamten Chip einhergeht, können fehlerhafte Expressionen auftreten. Darum ist es unbedingt notwendig diese Ergebnisse nur als Grundlage für weitere Untersuchungen anzusehen. Eine Verifizierung der Ergebnisse erfolgte daher mittels qRT-PCR.

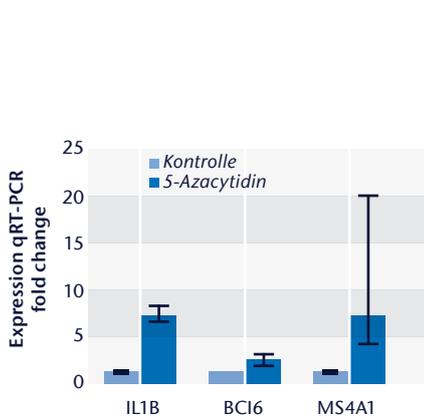


Abb. 1a) Ergebnis der qRT-PCR für IL1B, BCL6 und MS4A1 in Nalm-6 Zellen. Für einen Versuch (pro Gen) wurden jeweils drei Kontrollen und drei Proben (5-Azacytidin 1,3 µM) dargestellt. Zudem zeigt die Grafik die Veränderung des fold changes (auf der Ordinate als Expression qRT-PCR angegeben) der Proben gegenüber den Kontrollen. Die Kontrollen sind dabei auf 1 normiert. Die Fehlerbalken geben die minimale und maximale Abweichung vom Mittelwert an.

## » II. METHODEN

Die Verifizierung der ermittelten Kandidatengene erfolgte mit etablierten molekularbiologischen Methoden. Zunächst erfolgte dabei eine Kultivierung der etablierten Zelllinien Nalm-6 und BE13 bei  $4 \times 10^5$  Zellen/ml, 37 °C und 5% CO<sub>2</sub>. Diese wurden dann über 72 Stunden mit 5-Azacytidin behandelt (Nalm-6: 1,3 µM und BE13 1 µM). Als Referenzkontrolle galten Zellen, die mit dem Lösungsmittel des 5-Azacytidins (Dimethylsulfoxid) behandelt wurden. Aus dem gewonnenen Zellmaterial konnte dann die RNA isoliert werden und im Anschluss in cDNA (complementary DNA) umgeschrieben werden. Diese dient als Template für die qRT-PCR (quantitativ real-time polymerase chain reaction). Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte dann nach der  $2^{-\Delta\Delta CT}$  von Schmittgen und Livak, 2008. Bei den Kombinationsversuchen von 5-Azacytidin und Sorafenib wurden die Zellen zunächst mit 5-Azacytidin und anschließend mit Sorafenib behandelt. Die Auswertung erfolgte mittels der Proliferationsreagenz WST-1.

Zellen mit einer gesunden Stoffwechselaktivität können das rot gefärbte Tetrazoliumsalz WST-1 in Formazan umzusetzen (Peskin und Winterbourn 2000). Dieser Farbumschlag kann dann bei 450 nm photometrisch bestimmt werden.

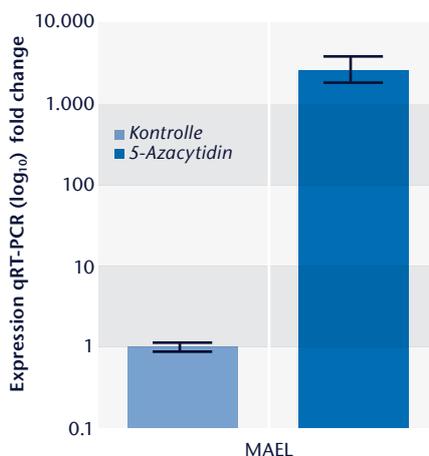


Abb. 1b) Ergebnis der qRT-PCR für MAEL in BE13 Zellen. Für einen Versuch wurden jeweils drei Kontrollen und drei Proben (5-Azacytidin 1 µM) dargestellt. Zudem zeigt die Grafik die Veränderung des fold changes (auf der Ordinate als logarithmische Expression qRT-PCR angegeben) der Proben gegenüber den Kontrollen. Die Kontrollen sind dabei auf 1 normiert. Die Fehlerbalken geben die minimale und maximale Abweichung vom Mittelwert an.

## » III. ERGEBNISSE

Die mittels Affymetrix-Daten ermittelten Dysregulationen wurden durch qRT-PCR verifiziert. Dazu musste zunächst für jedes Kandidatengene ein Primerpaar designt und getestet werden. Danach erfolgte die qRT-PCR. Anhand der fold change Analyse nach Schmittgen und Livak (2008) konnten relative Expressionen der behandelten Proben gegenüber den unbehandelten Kontrollproben ermittelt werden. Dabei war auffällig, dass bei der B-ALL (Zelllinie Nalm-6) und T-ALL (Zelllinie BE13) unterschiedliche Gene dysreguliert waren. Es gab jedoch auch eine Schnittmenge von 109 gemeinsam hochregulierten Genen. Für drei der ausgewählten Kandidatengene (BCL6, IL1B und MS4A1) konnten die Dysregulationen nur in B-ALL also Nalm-6 Zellen nachgewiesen werden. B-ALL haben einen Anteil von 80% aller ALL Erkrankungen, deshalb ist eine separate Betrachtung dieser Erkrankung durchaus sinnvoll. Die anderen Kandidatengene MAEL und TMEM56 sind in beiden Zelllinien nach der Behandlung mit 5-Azacytidin verstärkt exprimiert. In Abb. 1a sind die Ergebnisse der qRT-PCR für die in Nalm-6 hochregulierten Kandidatengene dargestellt.

Die ermittelten Ergebnisse ließen sich reproduzieren und konnten mindestens als signifikant eingestuft werden (nicht dargestellt). Eine besonders starke Dysregulation weist MAEL auf. Sowohl in Nalm-6 als auch in BE13 (Abb. 1b) Zellen kann eine enorme Expressionserhöhung verzeichnet werden. Da es sich bei ALL um eine sehr heterogene Erkrankung handelt, kommen für eine Therapie immer Substanzkombinationen zum Einsatz. Das für die Substanz Sorafenib bekannte Targetgen FLT3 war in den mittels Affymetrix erhobenen Daten ebenfalls hochreguliert. Auch hier konnte die erhöhte Expression per qRT-PCR verifiziert werden (Abb. 2).

Sorafenib ist ein Multi-Kinase-Inhibitor und wird klinisch bei der Behandlung von schwerem Nieren- oder Leberkrebs eingesetzt. Der Einsatz von Sorafenib führt dazu, dass die Proliferation der Tumorzellen herabgesetzt wird (Pharmazeutische Zeitung). Bei der Kombination von Sorafenib und 5-Azacytidin konnte sowohl in BE13 als auch in Nalm-6 Zellen

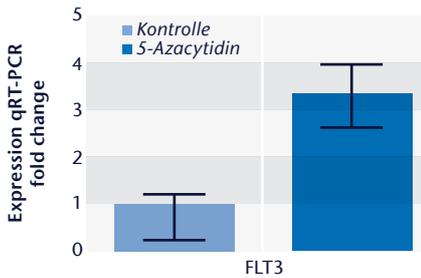


Abb. 2) Ergebnis der qRT-PCR für FLT3 in Nalm-6 Zellen. Ein Versuch mit jeweils drei Kontrollen und drei Proben (5-Azacytidin 1,3  $\mu\text{M}$ ) ist dargestellt. Zudem zeigt die Grafik die Veränderung des fold changes (auf Ordinate als Expression qRT-PCR angegeben) der Proben gegenüber den Kontrollen. Die Kontrollen sind dabei auf 1 normiert. Die Fehlerbalken geben die minimale und maximale Abweichung vom Mittelwert an.

ein positiver Kombinationseffekt ermittelt werden. Für Nalm-6 ist das Ergebnis der Kombination in Abb. 3 dargestellt.

Wie in Abb. 3 zu erkennen, liegt die Viabilität der Zellen (Nalm-6) nach einer Behandlung mit Sorafenib (4  $\mu\text{M}$ ) bei 90%. Die Konzentrationen von 5-Azacytidin wurden in diesem Versuch variiert. Die rote Kurve gibt den Verlauf der Einzelkonzentrationen von 5-Azacytidin wieder. Die blaue Kurve verdeutlicht den Verlauf der Effekte verschiedener 5-Azacytidinkonzentrationen mit 4  $\mu\text{M}$  Sorafenib. So kann beispielsweise bei einer Konzentration von 2  $\mu\text{M}$  5-Azacytidin eine Viabilität von 86% gemessen werden. Die Viabilität von 4  $\mu\text{M}$  Sorafenib liegt, wie bereits beschrieben, bei 90%. Durch die Kombination beider Substanzen proliferieren jedoch nur noch 62% der Zellen.

Die Viabilität bezeichnet hier die anteilig lebenden Zellen in einer Zellpopulation. Die Kombination von 5-Azacytidin und Sorafenib zeigt sehr gute Kombinationseffekte (Abb. 3). Die erhöhte Expression eines Targetrezeptors (von Sorafenib) mittels 5-Azacytidin ist somit ein guter Ansatz für eine Therapie mit Sorafenib.

#### » IV DISKUSSION

Die hier durchgeführten Untersuchungen erfolgten in Kooperation mit dem Forschungsbereich der hämatologischen und onkologischen Abteilung der Charité Berlin-Steglitz. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer Masterarbeit des Studiengangs Biosystemtechnik/Bioinformatik der TH Wildau [FH]

erhoben. Wie bereits für das Targetgen FLT3 gezeigt, werden immer Substanzkombinationen für die Therapie einer ALL eingesetzt. Für die 5 weiteren Kandidatengene gibt es dabei spezifische Kombinationsmöglichkeiten.

Die erhöhte Expression des BCL6 scheint auf den ersten Blick problematisch, denn BCL6 hemmt das natürliche Reparatursystem der DNA und ermöglicht somit das Überleben von malignen Zellen (Ranuncolo et al, 2007). Jedoch ist es auch eine Targetstruktur für einen anti-BCL6-Inhibitor. Weiterführend wäre somit zu untersuchen, inwiefern eine Vorbehandlung der Zellen mit 5-Azacytidin, also eine Überexpression von BCL6, die Wirksamkeit des anti-BCL6 Inhibitors verstärkt. IL1B ist ein Entzündungsmediator und Botenstoff, welcher Einfluss auf verschiedenste Bereiche der Zellregulation hat. Dazu zählen Zellproliferation, Zelldifferenzierung und auch die Apoptose (cancer). Die erhöhte Expression des IL1B nach 5-Azacytidinbehandlung kann zu einer Aktivierung des körpereigenen Immunsystems führen, welches die Bekämpfung der malignen Zellen durch körpereigene Abwehrmechanismen anregt. Für das Oberflächenantigen MS4A1 (auch als CD20 bekannt) gibt es bereits eine zugelassene Therapie. MS4A1 ist B-Zell spezifisch und kann mithilfe des chimären Antikörpers Rituximab angegriffen werden. Eine Erhöhung der Oberflächenantigene durch die Behandlung mit 5-Azacytidin erhöht somit die Anzahl an Targetgenen für Rituximab. Bei TMEM56 handelt es sich ebenfalls um ein Oberflächenantigen,

das einen potentiellen Einsatz als Targetstruktur ermöglicht. Es gibt jedoch kaum Informationen über die Funktion von TMEM56. Hierfür müsste zunächst untersucht werden, ob es ausschließlich auf malignen Zellen eine starke Expression aufweist. Dies konnte für MAEL bereits gezeigt werden. Xiao et al. (2010) berichteten, das MAEL in normalem Gewebe nicht exprimiert wird. In malignen Zellen dagegen ist die Expression erhöht und nach einer demethylierenden Behandlung gibt es eine enorme Expressionserhöhung. Diese konnte auch in dieser Studie nach Behandlung mit 5-Azacytidin gezeigt werden (vergl. Abb. 1b). Somit ist MAEL ein geeignetes Tumorantigen, welches z. B. als Tumormarker Verwendung finden kann. Einen Überblick über die dargestellten Therapieoptionen gibt Tabelle 1. Sie zeigt zunächst einen Überblick aller Kandidatengene und ihrer potentiellen Funktionen für die Therapie einer ALL. Weiter gibt sie eine Übersicht, in welchen Zelllinien das jeweilige Gen durch 5-Azacytidinbehandlung hochreguliert werden konnte. Auch die Zuordnung in verschiedene Gengruppen und der mögliche therapeutische Einsatz, sind dargestellt.

#### » V ZUSAMMENFASSUNG

Durch die Behandlung von ALL Zelllinien mit 5-Azacytidin kann die Auftrittshäufigkeit einzelner Gene verändert werden (differentielle Genexpression). In dieser Arbeit wurden beispielhaft

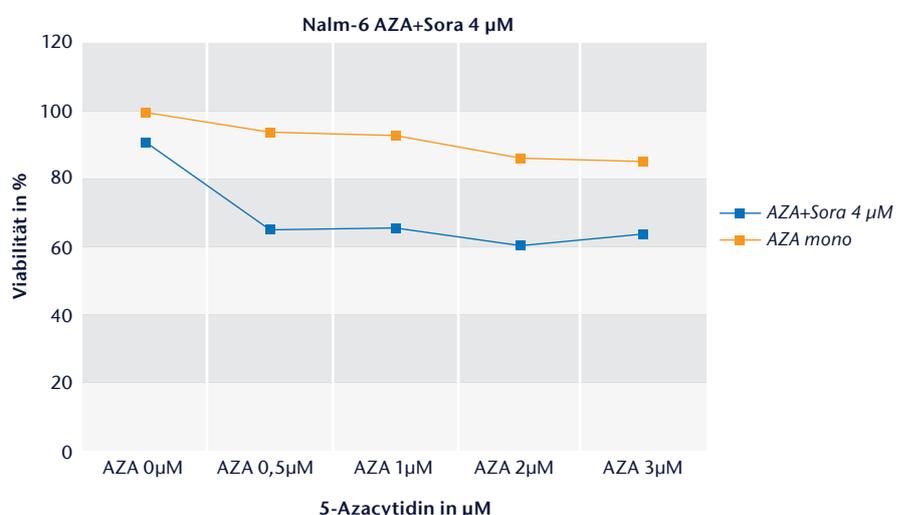


Abb. 3) Viabilitätsmessung von Nalm-6 nach Inkubation mit 5-Azacytidin und Sorafenib. Die Abszisse entspricht den 5-Azacytidinkonzentrationen in  $\mu\text{M}$ , die Ordinate der Viabilität in Prozent. Die Abnahme der Viabilität kann durch Einsatz von 5-Azacytidin und Sorafenib mono, aber auch in Kombination gezeigt werden.

Kandidatengene ausgewählt, für die zusätzlich eine mögliche Kombinationstherapie getestet oder diskutiert werden kann. Der positive Kombinationseffekt des 5-Azacytidins mit Sorafenib zeigt das Potential der Substanz, da Kombinationstherapien für die Behandlung von Leukämien grundlegend sind. Zudem wird durch 5-Azacytidin ein

zelleigener Mechanismus aktiviert, der den selbstprogrammierten Zelltod der Zelle einleitet (Apoptose). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass der Einsatz von 5-Azacytidin für die Behandlung einer ALL durchaus positive Effekte erzielt und eine neue Therapieoption für Patienten mit ALL darstellt.

## LITERATUR

Bhatla T., Wang J., Morrison D. J., Raetz E. A., Burke MJ, Brown P., Carroll W. L. (2012): „Epigenetic reprogramming reverses the relapse-specific gene expression signature and restores chemosensitivity in childhood B-lymphoblastic leukemia.“ In: *Blood*. 2012 May 31; 119(22): 5201-10. Epub 2012 Apr 11. (New York University Cancer Institute, New York University Langone Medical Center, New York, NY 10016, USA) cancer: <http://www.cancer.gov/dictionary?cdrid=624952> (National Cancer Institute), Zugriff am 20.08.2012.

cancerquest: <http://www.cancerquest.org/types-of-leukemia.html> (Winship Cancer Institute), Zugriff am 11.05.2012.

Gökbuğut N., Stanze D., Beck J., Diedrich H., Horst H. A., Hüttmann A., Kobbe G., Kreuzer K. A., Leimer L., Reichle A., Schaich M., Schwartz S., Serve H., Starck M., Stelljes M., Stuhlmann R., Viardot A., Wendelin K., Freund M., Hoelzer D. (2012): „Outcome of relapsed adult lymphoblastic leukemia depends on response to salvage chemotherapy, prognostic factors and realization of stem cell transplantation.“ In: *Blood*. 2012 Apr 4. PubMed PMID: 22493293. (Department of Medicine II, Goethe University Hospital, Frankfurt, Germany).

Leone, G., Teofili, L., Voso, M. T., Lübert, M. (2002): „DNA methylation and demethylating drugs in myelodysplastic syndromes and secondary leukemias.“ In: *Haematologica* 2002; 87: 1324-1341 (Institute of Hematology, Catholic University, Rome, Italy). medac: [http://www.medac.de/patient/fachbereiche/haematologie/index\\_pr.htm](http://www.medac.de/patient/fachbereiche/haematologie/index_pr.htm), Zugriff am 12.09.2012.

Peskin, A. V., Winterbourn, C. C. (2000): „A microtiter plate assay for superoxide dismutase using a water-soluble tetrazolium salt (WST-1).“ In: *Clinica Chimica Acta* 293: 157–166 (Free Radical Research Group, Department of Pathology, Christchurch School of Medicine, P. O. Box 4345, Christchurch, New Zealand)

Piekarz, R. L., Bates, S. E. (2009) „Epigenetic Modifiers: Basic Understanding and Clinical Development.“ In: *Clin Cancer Res* 2009; 15 (12) (Medical Oncology Branch, Center for Cancer Research, National Cancer Institute, Bethesda, Maryland 20892, USA.). Pharmazeutische Zeitung: <http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=2511>, Zugriff am 15.09.2012.

Ranuncolo, S. M., Polo, J. M., Dierov, J., Singer, M., Kuo, T., Greally, J., Green, R., Carroll, M., Melnick, A. (2007): „Bcl-6 mediates the germinal center B cell phenotype and lymphomagenesis through transcriptional repression of the DNA-damage sensor ATR.“ In: *Nature Immunology* 8, 705 - 714 (2007) (Department of Developmental and Molecular Biology, Albert Einstein College of Medicine, Bronx, New York 10461, USA).

Ribera, J.-M. (2011) „Acute lymphoblastic leukemia in adults“ In: *Pediatric Reports* 2011; volume 3:(s2)e1 (Clinical Hematology Department, Institut Catala d'Oncologia, Hospital Universitari Germans Trias i Pujol, Badalona, Spain).

Schmittgen, T. D., Livak, K. J. (2008): „Analyzing real-time PCR data by the comparative C(T) method.“ In: *Nat Protoc*. 2008; 3 (6): 1101-8. (Division of Pharmaceutics, College of Pharmacy, Ohio State University, Parks Hall, 500 West 12th Avenue, Columbus, Ohio, OH 43210 USA).

Xiao L., Wang Y., Zhou Y., Sun Y., Sun W., Wang L., Zhou C., Zhou J., Zhang J. (2010): „Identification of a novel human cancer/testis gene MAEL that is regulated by DNA methylation.“ In: *Mol Biol Rep*. 2010 Jun; 37 (5): 2355-60. Epub 2009 Aug 20. (Key Laboratory of Protein Chemistry and Developmental Biology of Education Ministry of China, College of Life Science, Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China).

## AUTOR

**M.sc. Susanne Fischer**  
Biosystemtechnik/Bioinformatik  
TH Wildau [FH]  
[susanne.fischer86@web.de](mailto:susanne.fischer86@web.de)

	Hochreguliert in	Zuordnung zu relevanten Gengruppen	Möglicher therapeutischer Einsatz
BCL6	Nalm-6 (B-ALL)	Onkogen	Targetgen für den anti-BCL6 Inhibitor
IL1B	Nalm-6 (B-ALL)	Entzündungsmarker	Aktivierung des körpereigenen Immunsystems
MS4A1	Nalm-6 (B-ALL)	Oberflächenantigen	Antikörpertherapie mittels Rituximab
TMEM56	Nalm-6 (B-ALL) BE13 (T-ALL)	Mögliches Tumorantigen	Impfstrategien, Antikörpertherapie
MAEL	Nalm-6 (B-ALL) BE13 (T-ALL)	Tumorantigen	Impfstrategien, Tumormarker

Table 1) Übersicht über die ausgewählten Kandidatengene und ihre möglichen Einsatzmöglichkeiten bei der Therapie von ALL. Zudem ist dargestellt, in welcher Zelllinie eine Hochregulation des jeweiligen Gens nach 5-Azacytidinbehandlung zu detektieren ist.

# DIREKTE KONTAKTIERUNG DES ENZYMS (PQQ)-GDH UND ELEKTRODEN MITHILFE VON POLYMERMODIFIZIERTEN NANORÖHREN FÜR DIE ANWENDUNG IN BIOBRENNSTOFFZELLEN

I. Schubart, G. Göbel, F. Lisdat

## Zusammenfassung

In dieser Studie präsentieren wir eine Enzymelektrode, bei der ein direkter Elektronentransfer (DET) zwischen der Pyrrolochinolinchinon-abhängigen Glukosedehydrogenase (PQQ)-GDH und einer Elektrode realisiert werden konnte. Hierfür wird eine Goldelektrode mit mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren [engl. multi-walled carbon nanotubes (MWCNT)] modifiziert, anschließend mit einem Copolymer aus Anilinderivaten überzogen und dann die (PQQ)-GDH (*Acinetobacter calcoaceticus*) kovalent immobilisiert. Die gepulste Polymersynthese wird hinsichtlich der Effektivität der bioelektrokatalytischen Umsetzung von Glukose optimiert. Die Glukoseoxidation startet bei einem Potential von  $-0,1$  V vs. Ag/AgCl (1 M KCl) und Stromdichten von bis zu  $500 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  ( $+0,1$  V) können erreicht werden. Der Messbereich für Glukose liegt bei  $0,1$ - $5$  mM ( $+0,1$  V vs. Ag/AgCl). Der dynamische Bereich ist bei höherem Potential auf bis zu  $100$  mM ( $+0,4$  V vs Ag/AgCl) erweitert. Die Elektrode wird als Anode in einer Biobrennstoffzelle (BBZ) mit einer Bilirubinoxidase-modifizierten MWCNT/Gold-Kathode eingesetzt. Beide Elektroden basieren auf einem DET. Das Zellpotential der BBZ beträgt  $680 \pm 20$  mV und sie erreicht eine maximale Leistungsdichte von  $65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (bei einer Zellspannung von  $350$  mV).

## Abstract

In this study we present a (PQQ)-GDH electrode with direct electron transfer (DET) between the enzyme and electrode. Soluble pyrroloquinoline-quinone dependent glucose dehydrogenase from *Acinetobacter calcoaceticus* is covalently bound to an electropolymerized polyaniline copolymer film on a multi-walled carbon nanotube modified gold electrode. The pulsed electropolymerization of 2-methoxyaniline-5-sulfonic acid and m-aminobenzoic acid is optimized with respect to the efficiency of the bioelectrocatalytic conversion of glucose. The glucose oxidation starts at  $-0.1$  V vs. Ag/AgCl and current densities up to  $500 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  at a rather low potential can be achieved. The glucose sensitivity reaches from  $0.1$  mM to  $5$  mM at  $+0.1$  V vs. Ag/AgCl. The dynamic range is extended to  $100$  mM at  $+0.4$  V vs. Ag/AgCl. The electron transfer mechanism and buffer effects are investigated. The developed enzyme electrode is examined for bioenergetic application by assembling of a membrane-less biofuel cell. For the cathode a bilirubin oxidase based MWCNT modified gold electrode with DET is used. The biofuel cell has a cell potential of  $680 \pm 20$  mV and a maximum power density of up to  $65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (with a cell potential of  $350$  mV).

## » I. EINLEITUNG

Derzeit werden enzymatische Biobrennstoffzellen (EBBZ) intensiv auf ihre Einsatzmöglichkeit als Stromquelle in implantierbaren Geräten wie z. B. Herzschrittmacher oder Insulinpumpen untersucht (Barton et al. 2004). Hier werden Enzyme für die Oxidation von energiereichen Substraten wie z. B. Glukose, Fruktose oder Laktose zur Energiegewinnung genutzt. Der Vorteil der Enzyme liegt darin, dass sie unter physiologischen Bedingungen arbeiten und somit relativ leicht zu handhaben sind. Dagegen bieten die derzeit erreichten Leistungsdichten und die Stabilität noch Potential für weitere Verbesserungen.

Für den Aufbau solcher Biobrennstoffzellen (BBZ) werden unterschiedliche Oxidoreduktasen untersucht. Auf Kathodenseite werden hauptsächlich Multi-Kupfer-Enzyme wie die Bilirubinoxidase (BOD) (Schubert et al. 2009; Yehzekeli et al. 2011) oder die Laccase (Li et al. 2008; Zebda et al. 2011) eingesetzt. Anodenseitig werden Glukoseoxidase (GOD) sowie bevorzugt verschiedene Dehydrogenasen wie z. B. Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid (NAD)- oder Pyrrolochinolinchinon (PQQ)-abhängige Glukosedehydrogenasen (GDH) (Wen et al. 2011; Miyake et al. 2009; Gao et al. 2007; Yuhashi et al. 2005, Tanne et al. 2010), Alkoholdehydrogenase (ADH) (Topcagic and Minteer 2006) oder

Fruktosedehydrogenase (FDH) (Murata et al. 2009) verwendet.

Aufgrund ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Sauerstoff und ihrer hohen katalytischen Aktivität werden solche Dehydrogenasen für den Aufbau von membranfreien BBZ verwendet. Um eine effiziente Kommunikation des Enzyms mit der Elektrode zu gewährleisten, können grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze verfolgt werden. Einerseits kann der elektrische Kontakt mittels eines Shuttle-Moleküls als mediatorvermittelter Elektronentransferprozess [engl. mediated electron transfer (MET)] realisiert werden. Andererseits kann das Enzym auch direkt durch Elektronentunneling

[engl. direct electron transfer (DET)] kontaktiert werden. Im Falle eines MET wird anodenseitig ein Mediator mit einem Redoxpotential über dem des Enzyms benötigt, um einen effizienten Elektronentransfer zu erhalten. Das Redoxpotential des Mediators hat jedoch auch einen Einfluss auf das resultierende Zellpotential und somit auf die Leistungsdichte der BBZ. Wird hingegen ein direkter Elektronentransfer etabliert, kann das aktive Zentrum direkt mit der Elektrode interagieren. Der DET wird zumeist durch eine Funktionalisierung der Elektrodenoberfläche z. B. mit Kohlenstoffmaterialien realisiert (Schubert et al. 2009; Ivnitski et al. 2007; Weigel et al. 2007).

Für das Enzym (PQQ)-GDH werden unterschiedliche Strategien zur Enzym-Elektroden-Kontaktierung verfolgt. In den meisten Fällen wird der Kontakt mittels eines Mediators hergestellt. Beispiele hierfür sind unter anderem Ferrocenderivate (Razumiene et al. 2000; Laurinavicius et al. 2004), PQQ (Jin et al. 1998, Tanne et al. 2010), N-methylphenanzonium (Malinauskas et al. 2004), 1-methoxy-5-methylphenaziniummethylsulfat (Igarashi et al. 2004), oder Polymere mit Osmiumkomplexen (Habermüller et al. 2003).

## » II. MATERIAL UND METHODEN

Zitronensäure,  $\text{CaCl}_2$  sind von der Carl Roth GmbH + Co KG (D); EDC, Glukose,  $\text{KHCF(II)}$ ,  $\text{KHCF(III)}$ , NHS und Sulfo-GMBS von der Sigma Aldrich Chemie GmbH (D). Ethanol, Natriumacetat, KCl sind von der NeoLab GmbH (D). Die Apo-(PQQ)-GDH ist eine freundliche Überlassung der Roche Diagnostics GmbH (D). PQQ kommt von der Wako Chemicals GmbH (D) und MES von der AppliChem GmbH (D). Alle wässrigen Lösungen werden mit gereinigtem Wasser aus dem „ultra clear direct“-System von SG Water (D) hergestellt.

### Elektrodenpräparation

Die MWCNTs werden in 5 mM Citrat-Phosphat-Puffer (CiP, pH 7) in einer Konzentration von 10 mg/ml suspendiert. Nach 10 min werden 50  $\mu\text{l}$  entnommen, mit 100  $\mu\text{l}$  5 mM CiP pH 7 verdünnt und anschließend mit einem Ultraschallhomogenisator (SONOPULS Mini 20) behandelt.

Für die Rekonstitution der PQQ-GDH wird eine Lösung von 1 mg/ml Apo-Enzym und 20  $\mu\text{M}$  PQQ in 50 mM MES-Puffer pH 6,5 + 1 mM  $\text{CaCl}_2$  hergestellt und für 3 h lichtgeschützt und bei Raumtemperatur inkubiert. Danach wird die Lösung aliquotiert und eingefroren.

Die Goldelektroden (BASi MF-2014, USA  $A = 2,01 \text{ mm}^2$  oder CHI101, NL  $A = 3,12 \text{ mm}^2$ ) werden mit Wasser und Schleifpapier der Korngröße 1200, 2500 und 3000 (Dieter Schmid Feine Werkzeuge GmbH) für jeweils 20 s poliert und dazwischen mit Wasser gespült. Nach dem letzten Schleifvorgang wird zusätzlich mit Ethanol (99%) gespült. Auf die gereinigten Elektroden werden 2x 4  $\mu\text{l}$  der behandelten MWCNT-Suspension gegeben und getrocknet.

Für die Elektropolymerisation werden Lösungen mit einer Monomerkonzentration von insgesamt 0,1 M in 1 M Schwefelsäure hergestellt. Mittels der Methode „multiple pulse amperometry“ des PGSTAT12 (AutoLab, Software: GPES 4.9) erfolgt die Elektropolymerisation. Nach der Polymerisation wird der Polymerfilm in 1 M Schwefelsäure zykl voltammetrisch untersucht.

Die Enzymimmobilisierung erfolgt kovalent über NHS/EDC-Chemie. Dazu wird die Elektrode für 15 min in 25 mM NHS und 100 mM EDC inkubiert. Die Immobilisierung des Enzyms erfolgt durch einstündige Inkubation von 20  $\mu\text{l}$  PQQ-GDH (1 mg/ml). Im Anschluss wird 3x mit 50 mM MES-Puffer (pH 6,5 + 1 mM  $\text{CaCl}_2$ ) gespült. Die Elektroden werden in 50 mM MES-Puffer (pH 6,5 + 1 mM  $\text{CaCl}_2$ ) bei 4 °C gelagert. Im Falle der BOD wird eine bereits publizierte Prozedur mit einem heterobifunktionellen Reagens verwendet (Schubert et al. 2009). Der Waschschrift wird mit 5 mM CiP pH 7 durchgeführt. Die Elektroden werden in 5 mM CiP pH 7 bei 4°C gelagert.

### Elektrochemische Messungen

Die voltammetrischen Messungen erfolgen mit einem PGSTAT12 (Autolab). Die Scanrate beträgt, wenn nicht anders erwähnt, 100 mV/s. Als Referenzelektrode dient eine Ag/AgCl, 1 M KCl (Fa. Microelectronics Inc. USA) Elektrode. Die Gegenelektrode besteht aus einem spiralförmigen Platindraht. Die Messzelle ist eine Eigenanfertigung

der AG Biosystemtechnik und hat ein Volumen von 1 ml. Die Auswertung der voltammetrischen Messungen erfolgt mit der Software GPES 4.9 (Eco Chemie B. V., Niederlande).

Die OCP- und die galvanodynamischen Messungen werden an dem Gerät Reference 600 (Gamry Instruments, USA) durchgeführt. Für die Bestimmung der Leistung der Biobrennstoffzelle wird die Enzymanode an den Anschluss für die Arbeitselektrode und die Enzymkathode an den Anschluss der Gegenelektrode angeschlossen. Sowohl die Messungen des OCP als auch die galvanodynamischen Messungen werden in 5 mM MES-Puffer pH 6,5 + 1 mM  $\text{CaCl}_2$  + 20 mM Glucose durchgeführt. Soweit nicht anders erwähnt werden immer Dreifachbestimmungen durchgeführt.

## » III. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Proteinelektrode, die auf einem direkten Elektronentransfer zwischen der (PQQ)-GDH und einer MWCNT-modifizierten Goldelektrode basiert und in einer Biobrennstoffzelle als Anode eingesetzt werden kann. Die Kohlenstoffnanoröhren sollen hierbei die aktive Oberfläche der Elektrode erhöhen und bilden zudem eine ideale Basis für eine Elektroden-Enzym-Interaktion. Wie bereits in einer vorangegangenen Studie gezeigt, eignen sich CNTs mit einer zusätzlichen Zwischenschicht aus PQQ-Molekülen als Mediator, um die (PQQ)-GDH elektrochemisch anzusprechen (Tanne et al. 2010). Um diese Interaktion zu verbessern und auf einen Mediator zu verzichten, wird eine neue Modifizierung entwickelt. Diese besteht aus einem Polyanilinfilm und wird durch Elektropolymerisation direkt auf der MWCNT-Oberfläche synthetisiert. Der Einfluss der Polymerisationsparameter auf die Filmeigenschaften und die damit verbundene Enzym-Elektroden-Interaktion wird analysiert. Weiterhin werden der Elektronentransfermechanismus, das Elektrodenverhalten in Anwesenheit von Glukose sowie der Einfluss der Lösungszusammensetzung untersucht. Die Elektrode wird abschließend mit einer bereits etablierten BOD-Kathode ähnlichen Aufbau (Schubert et al. 2009) in einer Biobrennstoffzelle untersucht und ihre Leistungsparameter bestimmt.

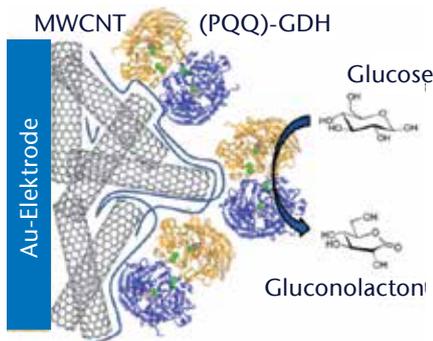


Abb. 1) Schematische Darstellung des Aufbaus der Enzymelektrode

### Polymersynthese

Eine schematische Darstellung der entwickelten Elektrode ist mit Abbildung 1 gegeben. Die Grafik zeigt die MWCNT-modifizierte Goldelektrode mit einem Polymerfilm zur elektrochemischen Kontaktierung der Enzyme. Bei diesem Polymerfilm handelt es sich um Copolymere verschiedener Anilinderivate. Durch die Kombination verschiedener Monomere ist es möglich, die Eigenschaften des Polymers bereits vor der Polymerisation in einer gewünschten Richtung zu beeinflussen, wodurch eine nachträgliche Modifizierung unnötig wird. Untersucht werden die Monomere meta-Anilinsulfonsäure (ABS), 2-Methoxyanilin-4-sulfonsäure (MASA), meta-Aminobenzoesäure (ABA) und 2-Methoxyanilin (MA). Die beiden ersten tragen eine Sulfonsäuregruppe, wodurch die Leitfähigkeit des Polymers auch bei physiologischen Bedingungen positiv beeinflusst wird. ABA dient mit der Carboxylgruppe zur kovalenten Kopplung des Enzyms und MA kann genutzt werden, um das Makromolekül weniger hydrophil zu gestalten.

Die Elektropolymerisation (EP) erfolgt durch eine potentiostatische Pulsmethode. Da hier eine Reihe an Parametern den resultierenden Polymerfilm beeinflussen können, werden diese untersucht und hier kurz zusammengefasst. Die Abbildung 2 zeigt rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen modifizierter Elektroden: a) Gold/MWCNT und b) Gold/MWCNT/Polymer. Die veränderte Oberflächenstruktur durch den synthetisierten Copolymerfilm auf den MWCNTs ist deutlich zu erkennen.

Um die Güte der Kontaktierung des Proteins mit der Elektrode einschätzen

zu können, werden alle präparierten Elektroden nach der EP mit der (PQQ)-GDH gekoppelt. Anschließend werden LSV-Messungen in An- und Abwesenheit von Glukose durchgeführt und die resultierenden Ströme als Vergleichsgröße herangezogen. Mit Ausnahme von Polymerfilmen mit MA in der Monomerlösung ist mit allen synthetisierten Polymerfilmen die elektrochemische Kontaktierung des Enzyms möglich.

Es zeigt sich jedoch, dass das Pulspotential über 0,4 V liegen muss, um die Monomere zu polymerisieren. Ein Optimum wird bei Potentialen zwischen 0,6 V und 0,8 V festgestellt. Die Anzahl der Pulse und somit die Länge der Polymerisation hat ebenfalls einen großen Einfluss. So kann der katalytische Strom bei 300 s Polymerisationszeit gegenüber 50 s von ca. 50  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  auf bis zu 400  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  (5 mM Glucose bei 0,1 V vs. Ag/AgCl) erhöht werden. CV-Messungen deuten hier auf eine vergrößerte Oberfläche hin. Die Steigerung ist jedoch limitiert und endet bei 300 s. Auch die Monomerzusammensetzung sowohl in der Auswahl der Monomere als auch im Verhältnis zweier Monomere hat einen deutlichen Einfluss auf den resultierenden Strom. Für die Untersuchungen werden folgende Parameter der EP als optimal befunden: Pulspotential = 0,6 V, Länge der Pulse 0,8 s;

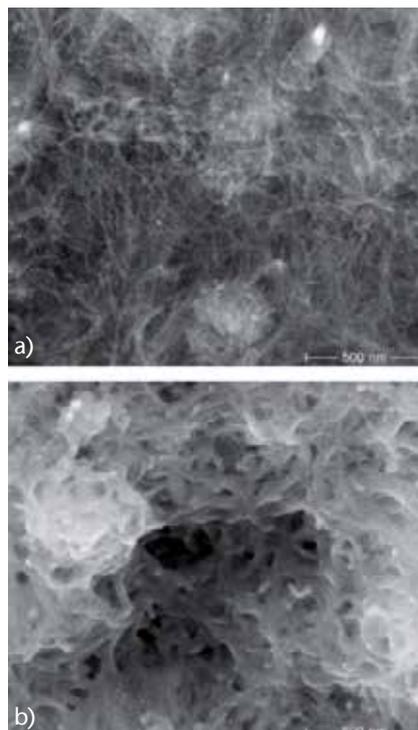


Abb. 2) REM-Aufnahmen der modifizierten Elektroden a) Gold/MWCNT (15 kV), b) Gold/MWCNT/Polymer (10 kV)

Ruhepotential 0 V, Länge des Ruhepotentials 0,1 s; Dauer der Polymerisation = 300 s; Monomere: MASA + ABA im Verhältnis 4:1 in der Monomerlösung.

### Charakterisierung des Elektronentransfermechanismus

Um den Mechanismus des Elektronentransfers zwischen dem Enzym und der Elektrode genauer aufzuklären, werden verschiedene Experimente durchgeführt. Zunächst soll überprüft werden, ob dem katalytischen Strom tatsächlich die enzymatische Oxidation der Glukose zugrunde liegt. Dazu wird das nichtaktive Apoenzym der GDH an die Oberfläche gekoppelt. Durch LSV-Messungen in An- und Abwesenheit von Glukose kann gezeigt werden, dass diese Elektrode keinen katalytischen Strom generiert. Der zuvor detektierte Strom mit dem Holoenzym basiert demnach nur auf der katalytischen Aktivität der (PQQ)-GDH und nicht auf Umsatzreaktionen direkt an der modifizierten Elektrode.

Im Folgenden soll nun der Mechanismus näher untersucht werden. Aus einer früheren Studie ist bekannt, dass freies PQQ als Mediator zwischen dem Enzym und der Elektrode fungieren kann. Möglicherweise könnte PQQ aus dissoziierten Holoenzymmolekülen auch in der hier vorgestellten Elektrodenkonfiguration bei dem Elektronentransfer vermitteln. Aus diesem Grund wird zunächst das Verhalten von PQQ an der polymermodifizierten MWCNT-Elektrode untersucht. Zyklovoltammetrische Messungen zeigen schon bei sehr kleinen Vorschubgeschwindigkeiten relativ große Peakseparationen von  $182 \pm 17$  mV (siehe Abb. 3a). Die heterogene Elektronentransfergeschwindigkeitskonstante zwischen dem PQQ und der modifizierten Elektrode kann bestimmt werden ( $1,59 \cdot 10^{-3} \pm 0,14 \cdot 10^{-3}$  cm/s) und spricht für einen langsamen Prozess.

In einem weiteren Versuch wird die komplette Enzymelektrode hergestellt und LSV-Messungen in An- und Abwesenheit von freiem PQQ in Lösung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3b dargestellt. Die Kurve I repräsentiert hier die Grundlinie ohne Glukose und PQQ in Lösung. Kurve II zeigt den Stromverlauf in 10 mM

Glukoselösung. Die Kurven III bis V stellen den Verlauf bei sukzessivem Zusatz von freiem PQQ in der Glukoselösung dar. Bei geringen PQQ-Konzentrationen ist in der Stromantwort zunächst keine signifikante Änderung zu beobachten. Erst bei höheren PQQ-Konzentrationen steigt bei höheren Potentialen der katalytische Strom. Hieraus lässt sich ableiten, dass PQQ, wie vermutet, als Mediator fungieren kann, jedoch wird dazu eine höhere Konzentration benötigt und der Effekt tritt erst bei Potentialen über 150 mV vs. Ag/AgCl ein. Für die polymer gebundene (PQQ)-GDH kann nach der Interpretation der durchgeführten Experimente der direkte Elektronentransfer als der dominierende Mechanismus identifiziert werden.

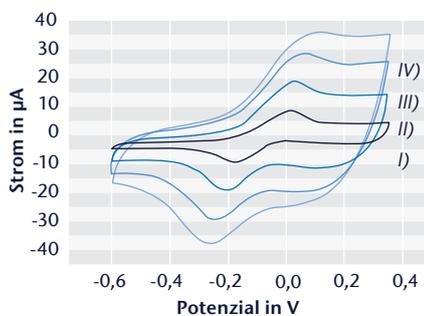


Abb. 3a) Cyclovoltammogramm einer poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode in 1 mM PQQ Lösung bei verschiedenen Scanraten I 5 mV/s, II 20 mV/s, III 40 mV/s und IV 60 mV/s (5 mM MES, pH 6,5 + 1 mM CaCl<sub>2</sub>)

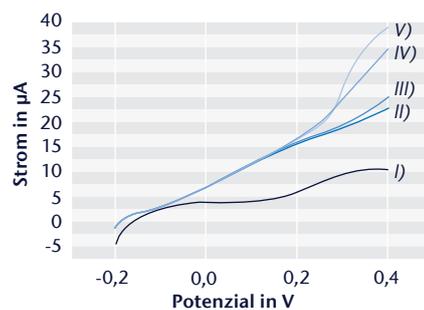


Abb. 3b) LSV einer (PQQ)-GDH/poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode in Abhängigkeit von PQQ in Lösung: I ohne Glucose, II 10 mM Glucose, III 10 mM Glucose + 5 µM PQQ, IV 10 mM Glucose + 10 µM PQQ, V 10 mM Glucose + 30 µM PQQ (10 mV/s, 5 mM MES pH 6,5 + 1 mM CaCl<sub>2</sub>, E vs. Ag/AgCl, 1 M KCl)

### Elektrochemische Charakterisierung

Die elektrochemische Charakterisierung der Enzymelektrode und potentiellen Anode in einer BBZ umfasst den Einfluss der Ionenstärke, des pH-Wertes sowie die Sensitivität gegenüber Glukose und die Stabilität. Abbildung 4a zeigt den Zusammenhang der Stromantwort in 1 mM Glukoselösung bei 100 mV vs.

Ag/AgCl und unterschiedlichen pH-Werten mit einem Maximum bei pH 6,5. Auch bei geringen Abweichungen von diesem Optimum können noch Stromdichten von 90% des Maximalwertes erreicht werden. Bei pH-Werten  $\leq 5,5$  geht die Stromantwort gegen Null. Wird der pH-Wert anschließend wieder erhöht, kann der resultierende Strom auch nicht wieder vergrößert werden. Diese Gegebenheit kann durch eine irreversible Änderung in der Protein-Polymer-Konnektivität erklärt werden, da das aktive Zentrum des Enzyms auch unter sauren Bedingungen funktionsfähig ist. Der Einfluss der Ionenstärke auf das System wird in zwei Experimenten untersucht. Zum einen wird die Pufferkomponente 2-(N-morpholino) ethansulfonsäure (MES) in einem Konzentrationsbereich zwischen 1 mM und 75 mM variiert, zum anderen wird Kalzium in verschiedenen Konzentration der

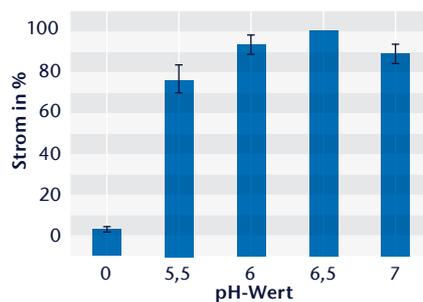


Abb. 4a) Stromantwort einer (PQQ)-GDH/poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode in Anwesenheit von 1 mM Glucose bei 0,1 V vs. Ag/AgCl, 1 M KCl in Abhängigkeit von pH-Wert

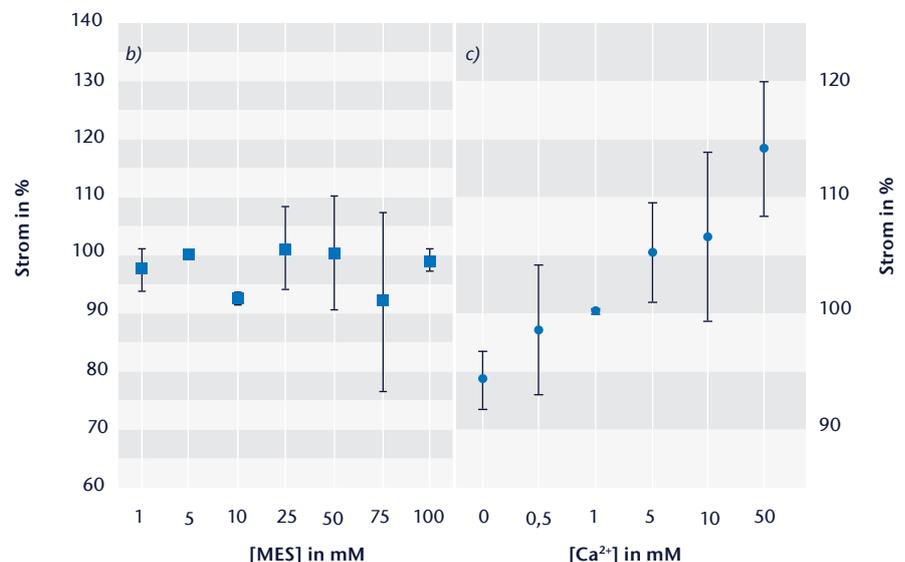


Abb. 4b+c) Stromantwort einer (PQQ)-GDH/poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode in Anwesenheit von 1 mM Glucose bei 0,1 V vs. Ag/AgCl, 1 M KCl in Abhängigkeit von MES-Konzentration (b) und CaCl<sub>2</sub>-Konzentration (10 mV/s, 5 mM MES pH 6,5 + 1 mM CaCl<sub>2</sub>, E vs. Ag/AgCl, 1 M KCl) (c)

Pufferlösung zugesetzt. Es zeigt sich, dass das katalytische System unabhängig von der MES-Konzentration arbeitet (Abb. 4b). Kalzium hingegen hat einen deutlichen Einfluss auf die Stromantwort (Abb. 4c). Pro Untereinheit der (PQQ)-GDH sind drei Kalziumionen gebunden. Sie sind sowohl für die koordinative Bindung der prosthetischen Gruppe als auch für die Assoziation der beiden Untereinheiten verantwortlich (Olsthoorn and Duine 1996; Oubrie et al. 1999). Wie bereits in früheren Studien berichtet, kann die Anwesenheit geringer Konzentrationen an Ca<sup>2+</sup>, das Signal beeinflussen (Tanne et al. 2010; Jin et al. 1995). Ein Einfluss von Ca<sup>2+</sup> auch bei höheren Konzentrationen, kann in dieser Studie belegt werden. Dieser ist wahrscheinlich auf eine bessere Enzyminteraktion mit der Oberfläche zurückzuführen.

Für die weitere Charakterisierung der Elektrode wird die Sensitivität gegenüber dem Substrat mit LSV-Messungen ermittelt. Wie in Abbildung 5 erkennbar, ist der katalytische Strom abhängig vom angelegten Potential. Bei geringem Potential von 0,1 V vs. Ag/AgCl kann eine Inhibition für Glukosekonzentrationen von 10 mM beobachtet werden. Dieser Effekt ist auch für GDH in Lösung bekannt (Dokter et al. 1986). Bei 0,4 V vs. Ag/AgCl hingegen wird bis zu 100 mM Glukose keine Substratinhibition festgestellt. Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass hier nicht nur

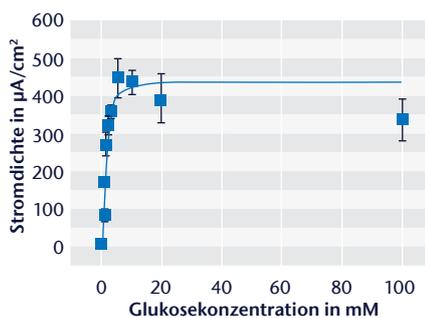


Abb. 5a) Glukosesensitivität einer (PQQ)-GDH/poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode bei 0,1 V

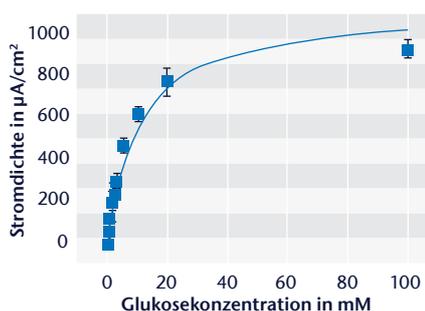


Abb. 5a) Glukosesensitivität einer (PQQ)-GDH/poly[ABA/MASA]/MWCNT/Gold-Elektrode bei 0,4 V vs. Ag/AgCl, 1 M KCl (10 mV/s, 5 mM MES pH 6,5 + 1 mM CaCl<sub>2</sub>)

die Enzymkinetik, sondern auch die Elektronentransferrate und die Orientierung der elektrokatalytischen Domäne zur Elektrode einen Einfluss haben. Offensichtlich kann das Enzym bei höherem Potential schneller regeneriert werden und somit mehr Glukose oxidiert werden. Solche Effekte unterschiedlicher Leistungsfähigkeiten werden auch in einer aktuellen Studie über GDH-Mutanten an Elektroden gefunden (Flexer et al. 2010).

Die apparente Michaelis-Menten-Konstante  $K_{M,App}$  liegt für 0,1 V vs. Ag/AgCl bei 2,0 mM Glukose und für 0,4 V vs. Ag/AgCl bei 10,5 mM. Wird die Elektrode bei 4°C in 5 mM MES Puffer pH 6,5 und 50 mM CaCl<sub>2</sub> gelagert, ist eine Abnahme der Stromantwort bereits nach einem Tag zu beobachten. Innerhalb der folgenden vier Tage stabilisiert sich das Signal und beträgt rund 50% des Ausgangswertes.

### Anwendung in einer Biobrennstoffzelle

Wie bereits beschrieben, ist bei dem Aufbau einer EBBZ mit (PQQ)-GDH keine Membran zwischen Anode und Kathode nötig. Die entwickelte Enzymelektrode wird in diesem Anwendungsbereich

für die katalytische Umwandlung der chemischen Energie von Glukose in elektrische Energie eingesetzt.

Kathodenseitig wird BOD auf eine MWCNT-modifizierte Goldelektrode immobilisiert (Schubert et al. 2009). Beide Elektroden basieren auf einem direkten Elektronentransfer und erreichen Stromdichten im Bereich mehrerer hundert µA/cm<sup>2</sup>. Damit die Brennstoffzelle optimal arbeitet, sollten die Halbzellenpotentiale der beiden Elektroden weit auseinander liegen, damit die Gesamtzellspannung möglichst groß ist. Das Ruhepotential der Anode liegt bei  $-120 \pm 9$  mV vs. Ag/AgCl (n=4), das der Kathode bei  $560 \pm 12$  mV vs. Ag/AgCl (n=4). Folglich beträgt das offene Zellpotential (OCP)  $680 \pm 20$  mV (n=4).

Zunächst wird die Stabilität der Zelle unter Last (durch periodisches Anlegen eines 500 kΩ-Widerstands) analysiert. Durch erstmaliges Anlegen des Widerstands fällt das Zellpotential von 660 mV auf 510 mV ab. Nach 3h periodischen Anlegens des 500 kΩ-Widerstandes sinkt das OCP auf 431 mV. Bei vorangegangenen Studien mit einer MET basierten Anode betrug die Differenz zwischen dem Ausgangswert nach einmaliger Belastung 250 mV, in dieser Arbeit beträgt der Verlust lediglich 150 mV, wodurch belegt wird, dass der direkte Elektronentransfer die Leistung der Brennstoffzelle positiv beeinflusst. Nach 3h beträgt die Differenz 207 mV und liegt damit immer noch deutlich unter der Vergleichsmessung und zeigt die deutlich verbesserte Stabilität des Systems durch Etablierung eines DET (Abb. 6a).

Weitere Charakteristika einer EBBZ sind die Spannung und die Leistungsdichte in Abhängigkeit der Stromdichte (siehe Abb. 6b). Die Leistungskurven werden durch galvanodynamische Messungen bestimmt. Sie zeigen eine maximale Leistungsdichte von 65 µW/cm<sup>2</sup> bei einem Zellpotential von 350 mV. Bei geringen Stromdichten ist ein linearer Anstieg der Leistungsdichte zu beobachten. Wird das Maximum bei einer Stromdichte von 180 µA/cm<sup>2</sup> erreicht, fällt die Leistungskurve mit höher werdender Stromdichte wieder deutlich ab. Die erreichte Stromdichte mit diesem System ist dreimal größer als bei der EBBZ mit MET auf der Anodenseite (Tanne et al. 2010) oder einer Biobrennstoffzelle, bei der eine (PQQ)-

GDH Mutante an eine Kohlenstoffpastelektrode gebunden ist (Yuhashi et al. 2005). Sie ist vergleichbar mit denen von Li et al. (Li et al. 2008) erreichten Leistungsdichten, die SWCNT-modifizierte Kohlenstoff-Elektroden mit Methylengrün nutzten und (NAD<sup>+</sup>)-GDH an der Anode und Laccase an der Kathode immobilisierten, sowie bei Gao et al. (Gao et al. 2007), welche Poly(Brilliantkresylblau) an SWCNT-modifizierten Glaskohlenstoffelektroden verwendeten. Die Literatur gibt aber auch einige Beispiele für höhere Leistungsdichten. So können mit dem Enzym Alkoholdehydrogenase, immobilisiert an einer Tetraalkylammoniumbromid/Nafion Membran, und BOD, eingebettet in einer Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>/Nafion Membran, Werte von bis zu 460 µW/cm<sup>2</sup> erreicht werden (Topcagic and Minteer 2006). Ein anderes System arbeitet mit Fruktosedehydrogenase und ebenfalls BOD in einer dreidimensionalen Goldnanopartikel-modifizierten Goldelektrode und erreicht 660 µW/cm<sup>2</sup> (Murata et al. 2009).

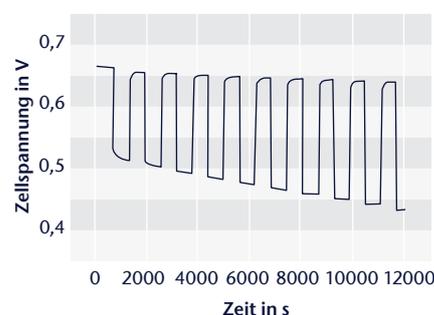


Abb. 6a) Stabilität des Zellpotentials mit und ohne Last von 500 kΩ

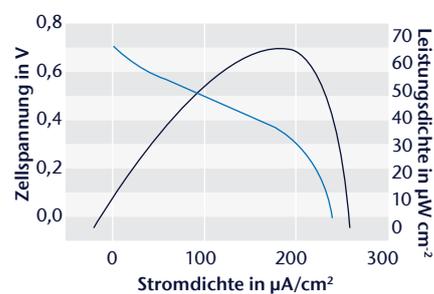


Abb. 6b) Leistungskurven der assemblierten EBBZ mit 20 mM Glucose (5 nA/s, 5 mM MES pH 6,5 + 1 mM CaCl<sub>2</sub>, E vs. Ag/AgCl, 1 M KCl)

### » IV. FAZIT

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer Enzymelektrode auf Basis einer MWCNT modifizierten Goldelektrode, die mit einem Polymerfilm überzogen

wird, um anschließend das Enzym (PQQ)-GDH kovalent zu koppeln und elektrisch anzusprechen. Um den Polymerfilm zu optimieren, wurden Parameter der Elektropolymerisation sowie unterschiedliche Monomere und deren Mischungsverhältnisse untersucht. Es zeigt sich, dass ein Copolymer aus 2-Methoxyanilin-4-sulfonsäure und meta-Aminobenzoessäure am besten geeignet ist. In Anwesenheit von 5 mM Glucose können Stromdichten von bis zu 500  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  generiert werden (0,1 V vs. Ag/AgCl). Die katalytische Umsatzreaktion startet dabei schon bei -0,1 V vs. Ag/AgCl mit einem dynamischen Messbereich zwischen 0,1 mM und 10 mM Glucose, der bei höheren Potentialen auf bis zu 100 mM Glucose erweitert ist. Weiterhin ist der Elektronentransfermechanismus in verschiedenen Experimenten analysiert worden und kann als direkter ET belegt werden. Gezeigt wurde zudem, dass die Elektrode in einem gewissen Bereich unabhängig von der Pufferkonzentration ist, Calciumionen hingegen die katalytische Reaktion positiv beeinflussen. Abschließend wurde die Elektrode in einer enzymatischen Biobrennstoffzelle eingesetzt. Kathodenseitig wurde eine Bilirubinoxidase-Elektrode verwendet. In diesem membranlosen System, in dem sowohl Anode als auch Kathode auf MWCNT-modifizierten Goldelektroden mit direktem ET basieren, konnte eine relativ hohe Zellspannung von bis zu 700 mV erreicht werden. Die maximale Leistungsdichte beträgt 65  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

## LITERATUR

- Barton, S. C., Galloway, J., Atanassov, P. (2004): Enzymatic Biofuel Cells for Implantable and Microscale Devices. *Chemical Review*, 104, 4867–4886.
- Dokter, P., Frank, J., Duine, J. A. (1986): Purification and characterization of quinoprotein glucose dehydrogenase from *Acinetobacter calcoaceticus* L. M. D. 79. 41. *Biochemical Journal*, 239, 163–167.
- Flexer, V., Brun, N., Backov, R., Mano, N. (2010): Designing highly efficient enzyme-based carbonaceous foams electrodes for biofuel cells. *Energy & Environmental Science*, 3 (9), 1302.
- Flexer, V., Durand, F., Tsujimura, S., Mano, N. (2011): Efficient Direct Electron Transfer of PQQ-glucose Dehydrogenase on Carbon Cryogel Electrodes at Neutral pH. *Analytical Chemistry*, 83 (14), 5721–5727.
- Gao, F., Yan, Y., Su, L., Wang, L., Mao, L. (2007): An enzymatic glucose/O<sub>2</sub> biofuel cell: Preparation, characterization and performance in serum. *Electrochemistry Communications*, 9 (5), 989–996.
- Göbel, G., Lisdat, F. (2008): Organic interlayers for oxygen reducing electrodes based on bilirubin oxidase and MW-CNT modified gold. *Electrochemistry Communications*, 10 (11), Elsevier B.V., 1691–1694.
- Habermüller, K., Reiter, S., Buck, H., Meier, T., Staepels, J., Schuhmann, W. (2003): Conducting Redoxpolymer-Based Reagentless Biosensors Using Modified PQQ-Dependent Glucose Dehydrogenase. *Microchimica Acta*, 143 (2-3), 113–121.
- Igarashi, S., Okuda, J., Ikebukuro, K., Sode, K. (2004): Molecular engineering of PQQGDH and its applications. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 428 (1), 52–63.
- Ivnitski, D., Atanassov, P., Apblett, C. (2007): Direct Bioelectrocatalysis of PQQ-Dependent Glucose Dehydrogenase. *Electroanalysis*, 19 (15).
- Jin, W., Bier, F., Wollenberger, U., Scheller, F. (1995): Construction and characterization of a multi-layer enzyme electrode: Covalent binding of quinoprotein glucose dehydrogenase onto gold electrodes. *Biosensors & Bioelectronics*, 10, 823–829.
- Jin, W., Wollenberger, U., Scheller, F. W. (1998): PQQ as Redox Shuttle for Quinoprotein Glucose Dehydrogenase. *Biological Chemistry*, 379 (August/September), 1207–1211.
- Laurinavicius, V., Razumiene, J., Ramanavicius, A., Ryabov, A. D. (2004): Wiring of PQQ-dehydrogenases. *Biosensors & Bioelectronics*, 20 (6), 1217–1222. [Online]. Available at: doi:10.1016/j.bios.2004.05.012 [Accessed: 24 July 2011].
- Li, X., Zhou, H., Yu, P., Su, L., Ohsaka, T., Mao, L. (2008): A Miniature glucose/O<sub>2</sub> biofuel cell with single-walled carbon nanotubes-modified carbon fiber microelectrodes as the substrate. *Electrochemistry Communications*, 10 (6), 851–854.
- Malinauskas, A., Kuzmarskyt, J., Meskys, R., Ramanavicius, A. (2004): Bioelectrochemical sensor based on PQQ-dependent glucose dehydrogenase. *Sensors and Actuators B*, 100 (3), 387–394.
- Miyake, T., Oike, M., Yoshino, S., Yatagawa, Y., Haneda, K., Kaji, H., Nishizawa, M. (2009): Biofuel cell anode: NAD<sup>+</sup>/glucose dehydrogenase-coimmobilized ketjenblack electrode. *Chemical Physics Letters*, 480 (1–3), 123–126.
- Murata, K., Kajiya, K., Nakamura, N., Ohno, H. (2009): Direct electrochemistry of bilirubin oxidase on three-dimensional gold nanoparticle electrodes and its application in a biofuel cell. *Energy & Environmental Science*, 2 (12), 1280.
- Olsthoorn, A. J. J., Duine, J. A. (1996): Production, Characterization, and Reconstitution of Recombinant Quinoprotein Glucose Dehydrogenase *Acinetobacter calcoaceticus*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 336 (1), 42–48.
- Oubrie, A., Rozeboom, J., Kalk, K. H., Olsthoorn, A. J. J., Duine, J. A., Dijkstra, B. W. (1999): Structure and mechanism of soluble quinoprotein glucose dehydrogenase. *The EMBO Journal*, 18 (19), 5187–5194.
- Razumiene, J., Meškys, R., Gureviciene, V., Laurinavicius, V., Reshetova, M. D., Ryabov, A. D. (2000): 4-Ferrocenylphenol as an electron transfer mediator in PQQ-dependent alcohol and glucose dehydrogenase-catalyzed reactions. *Electrochemistry Communications*, 2 (5), 307–311.
- Razumiene, J., Vilkanauskyte, A., Gureviciene, V. (2006): Direct electron transfer between PQQ dependent glucose dehydrogenases and carbon electrodes: An approach for electrochemical biosensors. *Electrochimica Acta*, 51, 5150–5156.
- Sarauli, D., Riedel, M., Wettstein, C., Hahn, R., Stiba, K., Wollenberger, U., Leimkuhler, S., Schmuki, P., Lisdat, F. (2012): Semimetallic TiO<sub>2</sub> nanotubes: new interfaces for bioelectrochemical enzymatic catalysis. *J. Mater. Chem.*, 22 (11), The Royal Society of Chemistry, 4615–4618.
- Schubert, K., Goebel, G., Lisdat, F. (2009): Bilirubin oxidase bound to multi-walled carbon nanotube-modified gold. *Electrochimica Acta*, 54 (11), 3033–3038.
- Tanne, C., Göbel, G. and Lisdat, F. (2010): Development of a (PQQ)-GDH-anode based on MWCNT-modified gold and its application in a glucose/O<sub>2</sub>-biofuel cell. *Biosensors & Bioelectronics*, 26 (2), Elsevier B.V., 530–535.
- Topcagic, S., Minteer, S. D. (2006): Development of a membraneless ethanol/oxygen biofuel cell. *Electrochimica Acta*, 51 (11), 2168–2172.
- Weigel, M. C., Tritscher, E., Lisdat, F. (2007): Direct electrochemical conversion of bilirubin oxidase at carbon nanotube-modified glassy carbon electrodes. *Electrochemistry Communications*, 9 (4), 689–693.
- Wen, D., Xu, X., Dong, S. (2011): A single-walled carbon nanohorn-based miniature glucose/air biofuel cell for harvesting energy from soft drinks. *Energy & Environmental Science*, 4 (4), 1358.
- Yehezkeli, O., Tel-Vered, R., Raichlin, S., Willner, I. (2011): Nano-engineered flavin-dependent glucose dehydrogenase/gold nanoparticle-modified electrodes for glucose sensing and biofuel cell applications. *ACS nano*, 5 (3), 2385–2391.
- Yuhashi, N., Tomiyama, M., Okuda, J., Igarashi, S., Ikebukuro, K., Sode, K. (2005): Development of a novel glucose enzyme fuel cell system employing protein engineered PQQ glucose dehydrogenase. *Biosensors & Bioelectronics*, 20 (10), 2145–2150.
- Zayats, M., Katz, E., Baron, R., Willner, I. (2005): Reconstitution of apo-glucose dehydrogenase on pyrroloquinoline quinone-functionalized Au nanoparticles yields an electrically contacted biocatalyst. *Journal of the American Chemical Society*, 127 (35), 12400–12406.
- Zebda, A., Gondran, C., Le Goff, A., Holzinger, M., Cinquin, P., Cosnier, S. (2011): Mediatorless high-power glucose biofuel cells based on compressed carbon nanotube-enzyme electrodes. *Nature Communications*, 2 (May), Nature Publishing Group, 370.

## AUTOREN

### Ivo Schubart, M.Sc.

Biosystemtechnik/Bioinformatik  
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 TH Wildau [FH]  
 ivoschubart@aol.com

### Dipl.-Biotechnologe Gero Göbel

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 TH Wildau [FH]  
 gero.goebel@th-wildau.de

### Prof. Dr. Lisdat, Fred

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 TH Wildau [FH]  
 fred.lisdat@th-wildau.de

# DER NACKTMULL ALS EIN MODELLORGANISMUS FÜR KREBSRESISTENZ

## Bioinformatische Analysen

Linda Wachholz, Nico Basilowski, Christoph Standfuß, Heike Pospisil

### Zusammenfassung

Bei Nacktmullen wurde bisher Tumorentstehung nicht beobachtet. Zur Untersuchung der molekularen Ursachen dient der Nacktmull daher als ein wertvoller Modellorganismus für Krebsresistenz. Ziel dieser Arbeit war eine weiterführende Analyse des kürzlich publizierten Genoms des Nacktmulls. Eine Genvorhersage konnte auf Grundlage der vorhandenen Genom- und Transkriptomdaten durchgeführt und ein hypothetisches Netzwerk der Interaktionen der tumorinduzierenden Faktoren erstellt werden. Dieses Netzwerk basiert auf den Tumorsuppressor-Regulationswegen p53 und RB im Menschen. Die Genom- und Transkriptom-Daten des Nacktmulls weisen deutliche Unterschiede zu den Befunden im Menschen auf. Dieser Befund könnte ein erster Anhaltspunkt für die Aufklärung der molekularen Ursachen der Krebsresistenz von Nacktmullen sein.

### Abstract

Naked mole-rats are resistant to both spontaneous cancer and experimentally induced tumorigenesis and are a valuable model organism for the systematic study of tumor progression in humans.

The aim of this work was to further investigate the recently published naked mole-rats genome. Based on public available genomic and transcriptomic data gene prediction was performed successfully both with ab initio methods, as well as with RNA sequence data. With the help of the gene prediction data a hypothetical network of interactions of tumor-inducing factors was created. This network is based on the tumor suppressor pathways p53 and RB, which are to be found in humans. We found clear differences in the genomic and transcriptomic data between human and naked mole-rat for both pathways. Probably, that finding could explain the cancer resistance and should be used for further analyses.

### » I. EINLEITUNG

Jährlich erkranken in Deutschland fast eine halbe Million Menschen an Krebs, und etwa jeder vierte Todesfall ist darauf zurückzuführen [Krebs in Deutschland 2012]. Die Suche nach den Ursachen der Entstehung maligner Tumore sowie die Etablierung geeigneter Therapien sind seit vielen Jahren Gegenstand weltweiter Forschungsprojekte: Neben epidemiologischen Studien<sup>1</sup> beschäftigen sich zahlreiche Forschungsinitiativen aus der Biomedizin damit, die molekularen Reaktionswege bei der Tumorentstehung (Karzinogenese) aufzudecken und zu verstehen. In der Tumorbiologie werden molekularbiologische und biochemische Veränderungen von Stoffwechselwegen untersucht. Darüber hinaus umfasst die Krebsforschung auch andere Fachgebiete wie Tumorstudiologie, Infektionsbiologie, molekulare Genetik und Immunologie. Moderne molekularbiologische Techniken (wie Pyrosequenzierung [Margulies et al. 2005], Ionen-Halbleiter-Sequenzierung [Rothberg et

al. 2011], Matrixunterstützte Laserdesorption/Ionisations-Flugzeit-Massenspektrometrie [Tanaka et al. 1998] oder moderne Mikroskopieverfahren) erlauben mittlerweile die genaue und extrem hochauflösende Identifikation zellulärer Bestandteile und biologischer Moleküle, wie z. B. die Sequenzbestimmung von DNA und RNA. Mithilfe von neuen Sequenzierautomaten können die Basenabfolgen von DNA oder RNA sehr effizient bestimmt werden, da hier mehrere Tausend bis Millionen Sequenzierreaktionen gleichzeitig und automatisiert ablaufen. Während das menschliche Genom (ca. 3,2 Milliarden Buchstaben) im Rahmen des Humangenomprojektes in zehn Jahren sequenziert wurde [Lander et al. 2001], braucht man heute nur noch wenige Tage dafür; neue Technologien sollen dies sogar in wenigen Minuten schaffen [Zhanga et al. 2011].

Mit den o. g. Technologien konnten verschiedene mit Krebs in Zusammenhang stehende Schlüsselproteine, Mutationen, Chromosomenvariationen

und andere molekulare Veränderungen identifiziert werden, die bereits teilweise für die Therapie von malignen Tumoren verwendet werden. Allerdings sind die bisherigen Ergebnisse noch weit davon entfernt, Tumorentstehung als globalen Prozess zu verstehen oder gar zu therapieren.

Die hier vorgestellte Arbeit beschreibt einen anderen, bisher wenig verfolgten Forschungsansatz: Während die meisten Untersuchungen sich damit beschäftigen, die vorhandenen Auslöser von Tumoren zu detektieren, versuchen wir, in solchen Organismen, in denen bisher noch niemals Krebsentstehung beobachtet werden konnte, die entsprechenden Faktoren zu identifizieren, die entweder fehlen oder eine Tumorentstehung verhindern können. Als Modellorganismus wurde dazu der Nacktmull (*Heterocephalus glaber*) ausgewählt (siehe Abb. 1), dessen Genom im November 2011 veröffentlicht wurde [Kim et al. 2011a].

<sup>1</sup> Epidemiologische Studien untersuchen die Zusammenhänge zwischen Tumorentstehung und Krebsauslösern (z. B. Viren, Chemikalien, Toxine, Strahlung, Ernährung, Lebensstil, etc.).



Abb. 1) Abbildung eines Nacktmulls (rechts) im Vergleich zu einer Hausmaus (aus Edrey et al. 2011)

Der Nacktmull ist ein in unterirdischen Bauten lebendes afrikanisches Nagetier mit einigen sehr interessanten biologischen Eigenschaften, weshalb er seit geraumer Zeit bereits als Forschungsobjekt in unterschiedlichen Fachgebieten eingesetzt wird:

1. Für Nacktmulle konnte eine Lebensdauer von bis zu 30 Jahren nachgewiesen werden [Edrey et al. 2011]. Damit ist der Nacktmull das am längsten lebende (bisher bekannte) Nagetier [Buffenstein und Jarvis 2002, Buffenstein 2005] (beispielsweise leben Mäuse, die in der Größe dem Nacktmull vergleichbar sind, nur 4 Jahre). Sie zeigen eine sehr geringe Seneszenz, d. h., es gibt keine altersassoziierte Erhöhung in der Zellsterblichkeit. Darüber hinaus gibt es kaum morphologische oder physiologische Veränderungen im Laufe des Lebens und die Fertilität nimmt nicht ab [Sedivy 2009, Jarvis und Sherman 2002].

2. Nacktmulle weisen eine bei Säugetieren einmalige Lebensform auf: Sie leben in Kolonien, in denen es eine Königin gibt<sup>2</sup> (sogenannte Eusozialität) [Jarvis 1981].

3. Ihre Schmerzempfindlichkeit ist aufgrund eines fehlenden Moleküls (Substanz P), das sonst bei allen anderen Säugetieren in der Haut vorkommt, vermindert [Park et al. 2008].

4. Nacktmulle sind resistent sowohl gegenüber spontaner als auch experimentell mittels maligner Transformation induzierter Karzinogenese [Seluanov et al. 2009, Sedivy 2009].

Aufgrund der genannten Krebsresistenz wählten wir den Nacktmull als Modellorganismus für eine umfangreiche Sequenzanalyse des im November 2011 veröffentlichten Genoms [Kim et al. 2011a].

## » II. HAUPTTEIL

Das Genom des Nacktmulls war auf einem öffentlich zugänglichen Genomsequenz-Server am European Bioinformatics Institute [Stoesser et al. 2012] erhältlich. Die Gesamt-DNA war auf 1.094 Genomabschnitte aufgeteilt. (Normalerweise ist die DNA in Chromosomen angeordnet, die jeweils einen kompletten, lückenlosen DNA-Abschnitt darstellen. Dass hier sehr viel mehr Teilbereiche als Chromosomen<sup>3</sup> vorhanden waren, hing mit der unvollständigen Assemblierung<sup>4</sup> der ermittelten Teilsequenzen zusammen, was auf unvollständige Daten oder viele Teilsequenzen mit häufigen Wiederholungen zurück zu führen sein kann.)

Im Zentrum dieser Arbeit stand zunächst die Analyse der Gene des Nacktmulls mit dem Ziel, diejenigen Gene zu identifizieren, die im Zusammenhang mit der Entstehung von Krebs stehen und sie mit denen des Menschen (und der Maus) zu vergleichen.

Zunächst mussten die auf dem Nacktmull-Genom lokalisierten Gene bestimmt werden. Dazu wurde zum einen auf einen publizierten Datensatz

(Punkt 1) zurückgegriffen und zum anderen Genvorhersagemethoden verwendet, um Gene zu identifizieren (Punkte 2 und 3):

1. Die Gesamt-RNA (Transkriptom) aus sieben verschiedenen Nacktmull-Geweben wurde extrahiert, sequenziert und die (kurzen) Sequenzstücke im Anschluss zu kompletten Genen zusammengesetzt (assembliert). Die ermittelten 22.561 Gene sind in der Datenbank „Naked Mole Rat Database“ öffentlich zugänglich [Kim et al. 2011a, Kim et al. 2011b] und wurden für den Vergleich mit bereits veröffentlichten Nacktmull-Genen herangezogen.

2. Die sogenannte ab-initio-Vorhersage sucht nach charakteristischen Signalen innerhalb einer DNA-Sequenz, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten innerhalb eines Gens zu finden sind. Mithilfe der Software AUGUSTUS [Stanke und Waack 2003, Stanke et al. 2004] konnten 44.670 kodierende Bereiche vorhergesagt werden [Wachholz 2012].

3. Neben der ab-initio-Vorhersage ist eine Genidentifikation mithilfe von RNA-Sequenzen möglich (siehe Erläuterungen unter Punkt 1). RNA-Sequenzen

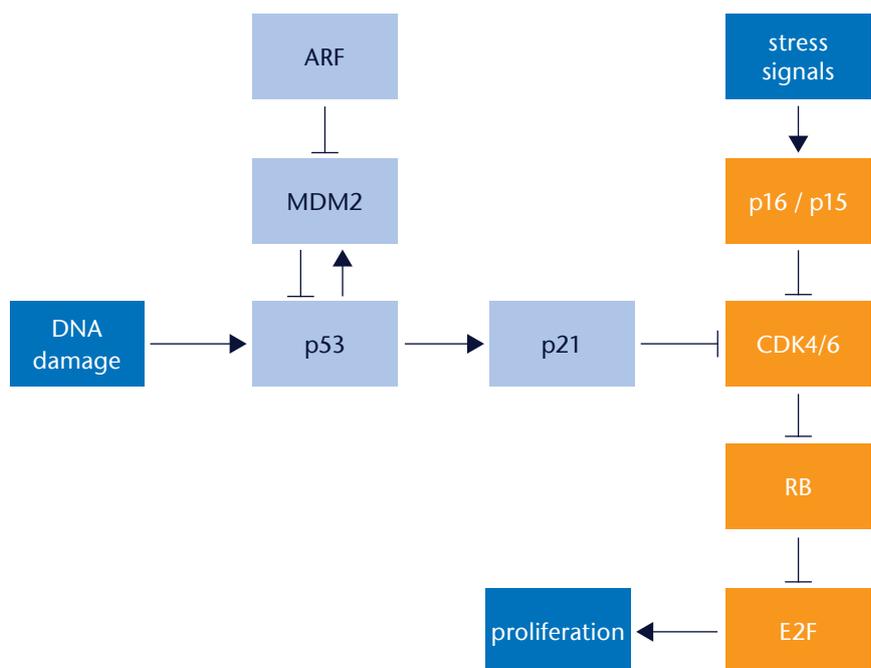


Abb. 2) Darstellung der Schlüsselproteine in Krebsregulationswegen (aus Wachholz 2012).

<sup>2</sup> Koloniebildung ist beispielsweise bei Ameisen und Bienen bekannt.

<sup>3</sup> Der haploide Chromosomensatz des Nacktmulls enthält 30 Chromosomen [Deuve et al. 2008].

<sup>4</sup> Computer-gestütztes Zusammenfügen von Teilsequenzen zu längeren Sequenzen.

werden als Zwischenprodukt bei der Proteinbiosynthese gebildet, so dass ein gefundenes RNA-Molekül die bei der Proteinbiosynthese abgelesenen DNA-Bereiche repräsentiert und einen verlässlicheren Schluss auf eine Gensequenz zulässt.

Die Übereinstimmung der vorhergesagten Gene im Nacktmull nach den o. g. Methoden lag zwischen 49% und 79% [Wachholz 2012]. Dieser scheinbar geringe Wert ist drauf zurückzuführen, dass RNA-Sequenzen stets nur ein Abbild des Zellzustandes zum Zeitpunkt der RNA-Extraktion liefern. Allerdings kann dies leicht erklärt werden, da solche Gene, die gerade nicht in die Proteinbiosynthese involviert (exprimiert) sind, mit sequenzbasierten Genvorhersagemethoden nicht identifiziert werden können, weshalb die Zahl der so vorhergesagten Gene (meist) kleiner ist, wenn man keine RNA-Daten von verschiedenen Zellzuständen, Geweben, Entwicklungsstadien usw. verwendet. Zur Untersuchung der tumorrelevanten Proteine im Nacktmull wurden die identifizierten Gene mit den bekannten Gensequenzen in Mensch und Maus

verglichen. Zunächst beschränkten wir uns dabei auf Proteine, die in die Signal- und Stoffwechselwege im Krebs involviert sind (siehe Abb. 2), insbesondere auf die folgenden 10 Moleküle: p14, MDM2, p53, p21, p16, p15, CDK4, CDK6, RB und E2F. Alle diese Gene werden sowohl beim Menschen als auch bei der Maus exprimiert, und ihre Relevanz in der Tumorentstehung wurde für diese Organismen bereits nachgewiesen. Interessanterweise ergaben die Untersuchungen, dass – unabhängig von der Methode zur Genvorhersage – die Gene, die für die Proteine p14 und p16 kodieren, im Genom des Nacktmulls nicht gefunden werden konnten bzw. stark von denen im humanen Genom abweichen [Wachholz 2012]. p16 (Cyclin-abhängigen Kinaseinhibitor 2A, CDKN2A) spielt eine wichtige Rolle im Zellzyklus und bei der Tumorentstehung [Zorroquiain et al. 2012]. Das Protein p14 entsteht aus demselben Genlocus wie p16, allerdings mit einem alternativen Leserahmen. p16 ist am RB Tumorsuppressor-Regulationsweg und p14 am p53-Tumorsuppressor-Regulationsweg beteiligt. Beide Regulationswege haben eine wichtige Kontrollfunktion im

Zellzyklus und beim sogenannten programmierten Zelltod (Apoptose) [Sherr C] und McCormick 2002, Rousset 1999]. Häufig konnten genomische Veränderungen in diesen beiden Regulationswegen in humanen Tumorzellen gefunden werden. Ein hypothetisches Netzwerk der Interaktionen (siehe Abb. 3) zeigt die zentrale Rolle, die p14 und p16 bei der Kontrolle von Zellzyklus, Proliferation und Apoptose nach Schädigungen der DNA spielen. Zusätzlich konnte mit unseren Befunden eine Theorie von Seluanov [Seluanov et al. 2009] gestützt werden, der bei Fibroblasten vom Nacktmull eine sogenannte Kontaktinhibition gefunden hat. Kontaktinhibition bewirkt den Stopp der Zellteilung bei Zellen, die sehr dicht nebeneinander liegen. So wird eine unkontrollierte Wucherung von Zellen in normalen, gesunden Geweben verhindert. In Tumorzellen ist die Kontaktinhibition nicht mehr vorhanden, so dass es zu einer unkontrollierten Zellvermehrung kommt. Bei Nacktmullen existiert eine zweistufige Kontaktinhibition, bei der bereits bei einer geringen Zelldichte die Zellvermehrung gehemmt

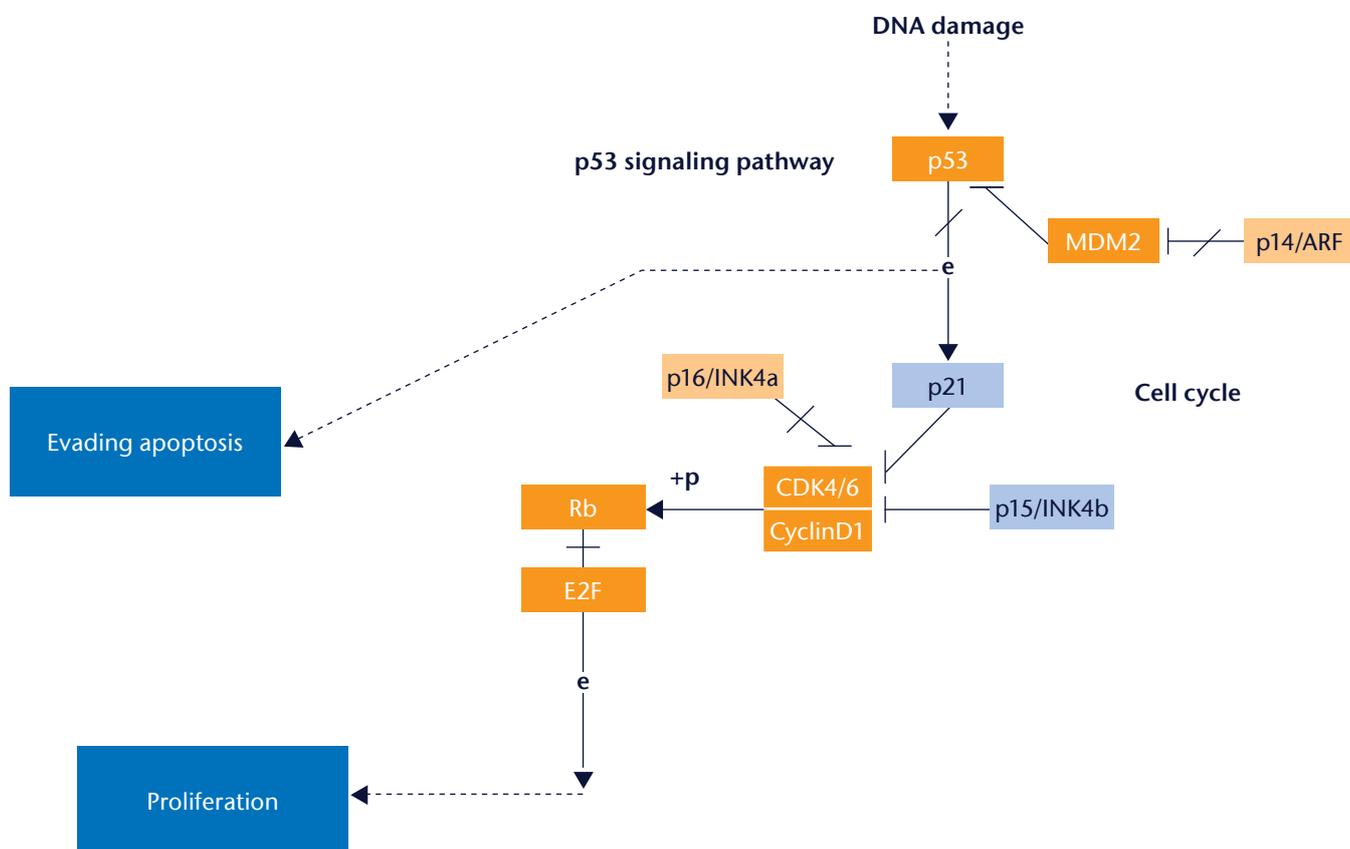


Abb. 3) Hypothetischer Regulationsweg im Tumor. Grün markiert sind die Proteine p14 und p16, für die im Genom des Nacktmulls (bisher) keine Gene identifiziert werden konnten (aus Wachholz 2012).

wird und bei der während der „frühen Kontaktinhibition“ p16 eine entscheidende Rolle spielt.

### » III. SCHLUSS

In der vorliegenden Arbeit wurde das Genom des Nacktmulls mit Bioinformatik-Methoden untersucht mit dem Ziel, Schlüsselmoleküle zu identifizieren, die daran beteiligt sein könnten, dass bei diesen Tieren Tumore scheinbar nicht vorkommen. Es konnte gezeigt werden, dass einige der Schlüsselmoleküle zweier Regulationswege, die bei Krebs eine wichtige Rolle spielen (RB- und p53-Tumorsuppressor-Regulationswege), im Nacktmull nicht exprimiert werden. Weitere Analysen müssen zeigen, ob diese Befunde auch bei deutlich mehr experimentellen Daten und einem besser annotierten Nacktmull Bestand haben.

Die Identifikation von krebsregulatorischen Proteinen erlaubt ein verbessertes Verständnis der regulatorischen Prozesse, die zur Tumorentstehung führen können. Der Nacktmull ist für diese Untersuchungen ein erfolgversprechender Modellorganismus.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Buffenstein, R., Jarvis, JUM (2002): The naked mole-rat – a new record for the oldest living rodent. *Sci Aging Knowledge Environ.* 21: pe7.
- Buffenstein, R. (2005): The naked mole-rat: a new long-living model for human aging research. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 60: 1369–1377.
- Deuve, J. L., Bennett, N. C., Britton-Davidian, J., Robinson, T. J. (2008): Chromosomal phylogeny and evolution of the African mole-rats (Bathyergidae). *Chromosome Research* 16: 57–74.
- Edrey, Y. H., Hanes, M., Pinto, M., Mele, J., Buffenstein, R. (2011): Successful aging and sustained good health in the naked mole rat: a long-lived mammalian model for biogerontology and biomedical research. *ILAR J*, 52(1): 41–53.
- Jarvis, JUM. (1981): Eusociality in a mammal: cooperative breeding in naked mole-rat colonies. *Science*, 212: 571–573.
- Kim, E. B., Fang, X., Fushan, A. A., Huang, Z., Lobanov, A. V., Han, L., Marino, S. M., Sun, X., Turanov, A. A., Yang, P., Yim, S. H., Zhao, X., Kasaikina, M. V., Stoletzki, N., Peng, C., Polak, P., Xiong, Z., Kiezun, A., Zhu, Y., Chen, Y., Kryukov, G. V., Zhang, Q., Peshkin, L., Yang, L., Bronson, R. T., Buffenstein, R., Wang, B., Han, C., Li, Q., Chen, L., Zhao, W., Sunyaev, S. R., Park, T. J., Zhang, G., Wang, J., Gladyshev, V. N. (2011a): Genome sequencing reveals insights into physiology and longevity of the naked mole rat. *Nature* 479: 223–227.
- Kim, E. B., Fang, X., Fushan, A. A., Huang, Z., Lobanov, A. V., Han, L., Marino, S. M., Sun, X., Turanov, A. A., Yang, P., Yim, S. H., Zhao, X., Kasaikina, M. V., Stoletzki, N., Peng, C., Polak, P., Xiong, Z., Kiezun, A., Zhu, Y., Chen, Y., Kryukov, G. V., Zhang, Q., Peshkin, L., Yang, L., Bronson, R. T., Buffenstein, R., Wang, B., Han, C., Li, Q., Chen, L., Zhao, W., Sunyaev, S. R., Park, T. J., Zhang, G., Wang, J., Gladyshev, V. N. (2011b): Transcriptome sequencing of naked mole rat, heterocephalus glaber. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/query/acc.cgi?acc=GSE30337>.
- Krebs in Deutschland 2007/2008 (2012): 8. Ausgabe. Robert Koch-Institut (Hrsg) und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg). Berlin.
- Lander ES et al. (International Human Genome Sequencing Consortium) (2001): Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature* 409: 860–921.
- Margulies, M., Egholm, M., Altman, W. E., Attiya, S., Bader, J. S., Bemben, L. A., Berka, J., Braverman, M. S., Chen, Y. J., Chen, Z., Dewell, S. B., Du, L., Fierro, J. M., Gomes, X. V., Godwin, B. C., He, W., Helgesen, S., Ho, C. H., Irzyk, G. P., Jando, S. C., Alenquer, M. L., Jarvie, T. P., Jirage, K. B., Kim, J. B., Knight, J. R., Lanza, J. R., Leamon, J. H., Lefkowitz, S. M., Lei, M., Li, J., Lohman, K. L., Lu, H., Makhiyani, V. B., McDade, K. E., McKenna, M. P., Myers, E. W., Nickerson, E., Nobile, J. R., Plant, R., Puc, B. P., Ronan, M. T., Roth, G. T., Sarkis, G. J., Simons, J. F., Simpson, J. W., Srinivasan, M., Tartaro, K. R., Tomasz, A., Vogt, K. A., Volkmer, G. A., Wang, S. H., Wang, Y., Weiner, M. P., Yu, P., Begley, R. F., Rothberg, J. M. (2005): Genome sequencing in microfabricated high-density picolitre reactors. *Nature* 437: 376–380.
- Park, T. J., Lu, Y., Jüttner, R., Smith, E. S. J., Hu, J., Brand, A., Wetzel, C., Milenkovic, N., Erdmann, B., Heppenstall, P. A., Laurito, C. E., Wilson, S. P., Lewin, G. R. (2008): Selective Inflammatory Pain Insensitivity in the African Naked Mole-Rat (*Heterocephalus glaber*). *PLoS Biol* 6: e13.
- Rothberg, J. M., Hinz, W., Rearick, T. M., Schultz, J., Mileski, W., Davey, M., Leamon, J. H., Johnson, K., Milgrew, M. J., Edwards, M., Hoon, J., Simons, J. F., Marran, D., Myers, J. W., Davidson, J. F., Branting, A., Nobile, J. R., Puc, B. P., Light, D., Clark, T. A., Huber, M., Branciforte, J. T., Stoner, I. B., Cawley, S. E., Lyons, M., Fu, Y., Homer, N., Sedova, M., Miao, X., Reed, B., Sabina, J., Feierstein, E., Schorn, M., Alanjary, M., Dimalanta, E., Dressman, D., Kasinskas, R., Sokolsky, T., Fidanza, J. A., Namsaraev, E., McKernan, K. J., Williams, A., Roth, G. T., Bustillo, J. (2011): An integrated semiconductor device enabling non-optical genome sequencing. *Nature* 475: 348–352.
- Roussel, M. F. (1999): The ink4 family of cell cycle inhibitors in cancer. *Oncogene*, 18: 5311–5317.
- Sedivy, J. M. (2009): How to learn new and interesting things from model systems based on „exotic“ biological species. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106 (46): 19207–19208.
- Seluanov, A., Hine, C., Azpurua, J., Feigenson, M., Bozzella, M., Mao, Z., Catania, K. C., Gorbunova, V. (2009): Hypersensitivity to contact inhibition provides a clue to cancer resistance of naked mole-rat. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106(46): 19352–19357.
- Sherr, C.J., McCormick, F. (2002): The rb and p53 pathways in cancer. *Cancer Cell*, 2: 103–112.
- Sherman, P. W., Jarvis, JUM. (2002): *Heterocephalus glaber*. *Mammalian Species* 706, 1–9.
- Stanke, M., Waack, S. (2003): Gene prediction with a hidden markov model and a new intron submodel. *Bioinformatics*, 19 Suppl 2:ii215–ii225.
- Stanke, M., Steinkamp, R., Waack, S., Morgenstern, B. (2004): Augustus: a web server for gene finding in eukaryotes. *Nucleic Acids Res*, 32 (Web Server issue): W309–W312.
- Stoesser, G., Baker, W., van den Broek, A., Camon, E., Garcia-Pastor, M., Kanz, C., Kulikova, T., Leinonen, R., Lin, Q., Lombard, V., Lopez, R., Redaschi, N., Stoehr, P., Tuli, M.A., Tzouvara, K., Vaughan, R. (2012): The EMBL Nucleotide Sequence Database. *Nucleic Acids Res*, 30: 21–26.
- Tanaka, K., Waki, H., Ido, Y., Akita, S., Yoshida, Y., Yoshida, T., Matsuo, T. (1988): Protein and polymer analyses up to m/z 100 000 by laser ionization time-of-flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 2: 151–153.
- Wachholz, L. (2012): Bioinformatische Genomuntersuchung und systembiologische Modellierung zur Beschreibung von tumorinduzierenden Interaktionen in *Heterocephalus glaber*. Masterarbeit Technische Hochschule Wildau [FH].
- Zoroquiain, P., Fernandes, B. F., González, S., Novais, G. N., Schalper, K. A., Burnier, M. N. Jr. (2012): p16ink4a expression in benign and malignant melanocytic conjunctival lesions. *Int J Surg Pathol.* 20: 240–245.
- Zhang, J., Chiodini, R., Badr, A., Zhang, G. (2011): The impact of next-generation sequencing on genomics. *Journal of Genetics and Genomics* 38: 95–109.

#### AUTORENANGABEN

##### Linda Wachholz, M.Sc.

Biosystemtechnik/Bioinformatik  
TH Wildau [FH]  
linda.wachholz@th-wildau.de

##### Nico Basilowski, M.Sc.

Biosystemtechnik/Bioinformatik  
TH Wildau [FH]  
nico.basilowski@th-wildau.de

##### Christoph Standfuß, M.Sc.

Bioinformatik (Freie Universität Berlin), wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH Wildau [FH] in der Arbeitsgruppe Bioinformatik/High Performance Computing in Sciences christoph.standfuss@th-wildau.de

##### Prof. Dr. rer. nat. Heike Pospisil

Arbeitsgruppe Bioinformatik/High Performance Computing in Sciences  
TH Wildau [FH]  
heike.pospisil@th-wildau.de

# EINFLUSS VON KOPIENZAHLVARIATIONEN AUF DIE TUMORENTWICKLUNG

Christoph Standfuß, Andreas Klein, Heike Pospisil

## Zusammenfassung

Tumorentstehung ist ein Prozess, bei dem die Abläufe innerhalb der Zelle schrittweise verändert werden. Die vielfältigen Interaktionen bei der Tumorentstehung sind jedoch bislang nicht vollständig erforscht. Bisher wurden vorwiegend Genexpressionsanalysen genutzt, die jedoch nur eine Zeitaufnahme aller Genexpressionen innerhalb der Zelle darstellen und somit allein nicht ausreichend zur Charakterisierung eines Tumors. Wir haben mithilfe von Affymetrix Mouse Diversity Genotyping Microarrays Mausbrustdrüsen-gewebe entsprechend unserem Dreistufen-Mausmodell analysiert und die Kopienzahländerungen berechnet. Wir fanden eine zunehmende stufenweise Änderung von den transgenen zu den Tumorproben. Die Berechnung von chromosomalen Segmenten mit gleicher Kopienzahl zeigte deutliche Fragmentmuster. Unsere Analysen zeigen, dass die Tumorentstehung ein schrittweiser Prozess ist, der sowohl durch Amplifikationen als auch Deletionen chromosomaler Abschnitte definiert ist. Wir fanden charakteristisch konservierte Fragmentierungsmuster und individuelle Unterschiede welche zur Tumorgenese beitragen.

## Abstract

Tumor development is known to be a stepwise process involving various changes that affect cellular integrity and behavior. The complex interactions and relationships between genomic organization and gene, as well as protein expression are not yet fully understood. To date, research has mainly focused on gene expression profiling or alterations in oncogenes, but these results show only snapshot of the cell status and are not sufficient to describe the whole tumorigenesis process. We analyzed DNA from mouse mammary gland epithelial cells according to a three stage mouse model using the Affymetrix Mouse Diversity Genotyping array, calculated the CNAs and found a stepwise increase in CNA during tumor development. The segmental copy number alteration revealed informative chromosomal fragmentation patterns. Our analyses suggest genome reorganization as a stepwise process that involves amplifications and deletions of chromosomal regions. We conclude from distinctive fragmentation patterns that conserved as well as individual breakpoints exist which promote tumorigenesis.

## » I. EINLEITUNG

Krebs zählt zu den häufigsten Todesursachen weltweit und entsteht in einem schrittweisen Prozess, der sowohl die zellulären Eigenschaften als auch das Verhalten innerhalb einer Zelle beeinflusst [Hanahan und Weinberg 2000]. So weiß man seit Jahrzehnten, dass verschiedene Stoffwechselwege die Entwicklung von Tumoren begünstigen und initiieren. Neben Veränderungen einer einzelnen Zelle, bilden vor allem die Veränderung der Kommunikation zwischen Zellen, Veränderungen des Zellstoffwechsels und die veränderten Reaktionen des Immunsystems die Grundlage für eine schrittweise Entwicklung von Krebsgeschwüren [Klein et al. 2005, Hanahan und Weinberg 2000, Osborne et al. 2004].

Ziel unserer Studie war die Untersuchung der Entwicklungen und Auswirkungen von Kopienzahlvariationen bei der Tumorentwicklung in gesunden und transgenen Mausbrustdrüsen. Von Kopienzahlvariationen spricht man, wenn ein genomischer Abschnitt mehrfach oder weniger als normal<sup>1</sup> vorkommt. Ursache hierfür ist die Duplikation oder Deletion chromosomaler Abschnitte. Um die Karzinogenese gezielt initiieren zu können, trugen die transgenen Tiere das WAP/SVT Hybridgen, das aus dem WAP Promotor (kodierend für das wichtigste Milchprotein in Säugetieren) und der kodierenden Region des SV40 Gens [Klein 2005] besteht. Wird die Laktation während der Schwangerschaft aktiviert, so kommt es zu einer anhaltenden Aktivierung von SV40, was in Folge zur Tumorbildung in allen Mäusen führt. Wir

beschreiben dazu ein dreistufiges Mausmodell [Standfuß et al. 2012], welches aus Brustdrüsen von gesunden Mäusen, transgenen Mäusen ohne Tumor, transgenen Mäusen mit Tumor und transgenen Mauszelllinien besteht. Unser Hauptfokus lag zum einen auf der Analyse von Kopienzahlveränderungen während der Tumorentstehung und zum anderen auf der Untersuchung eines Zusammenhanges zwischen genomischen Veränderungen und der Änderung der Genexpression. Ein weiteres Ziel war es, genomische Veränderungen zu erkennen, welche die Entwicklung von Tumoren begünstigen bzw. vorher-sagen können. Dazu verwendeten wir Affymetrix Mouse Diversity Genotyping Microarrays, um Kopienzahlvariationen, und Affymetrix Expressionsarrays, um die Genexpression zu bestimmen.

<sup>1</sup> In tierischen Organismen sowie beim Menschen gibt es einen doppelten Chromosomensatz, d. h. die normale Kopienzahl ist 2.

## » II. ERGEBNISSE

Wir wissen heute aus jahrelanger Forschung und verschiedenen Studien, dass die Veränderung der Kopienzahlvariation ein wichtiger Aspekt bei der Krankheitsentstehung ist und die Mutation einzelner Gene nicht allein ausreicht [Bergamaschi et al. 2006]. Aus früheren Studien ist bekannt, dass die Veränderungen der Kopienzahl eine wichtige Rolle bei Krankheiten spielen [Fanciulli et al. 2010]. Andere Studien zeigen, dass circa 3% des Genoms eines gesunden Menschen leichte Veränderungen in der Kopienzahl aufweisen [Conrad et al. 2009, Redon et al. 2006]. Bei Mäusen schwankt diese Zahl zwischen 3% [Cahan et al. 2009] und 10,7% [Henrichsen et al. 2009].

Durch die Entwicklung vom Microarrays zur Analyse von Kopienzahlvariationen ist es möglich, diese Kopienzahlvariationen in verschiedensten Proben zu analysieren und miteinander zu vergleichen. So konnte eine Arbeitsgruppe um Juliane Hannemann und Burkhard Brandt mithilfe der Microarray-Technologie Veränderung von Kopienzahlvariationen innerhalb des EGFR Gens zeigen, ein wichtiges Gen zur Diagnose und Therapie von Mamakarzinomen [Hannemann 2012]. Die von uns verwendeten Microarrays eignen sich hervorragend für solche Analysen und basieren auf sogenannten SNP Proben. Diese Proben stellen die häufigsten über das Genom verteilten Variationen eines einzelnen Nukleotides dar. So lässt sich, trotz begrenzter Kapazität eines Microarrays, eine gute Abdeckung des Genomes erreichen. Anhand der Kopienzahlen dieser SNPs haben wir dann die Analysen genomischer Veränderungen durchgeführt.

Die Proben unserer gesunden Mäuse zeigen eine vergleichbare Veränderung der Kopienzahlen, wie sie bereits in der Literatur beschrieben wurde (Abb. 1). In unserer Studie konnten wir zeigen, dass eine klare Zunahme der Kopienzahlvariation während der Tumorentwicklung zu beobachten ist.

Um die Kopienzahlvariationen der chromosomalen Abschnitte genau zu untersuchen, haben wir Abschnitte mit gleicher Änderung der Kopienzahl benachbarter SNPs zu Segmenten zusammengefasst (Abb. 2). Vergleicht man diese Abbildung, so lässt sich bereits

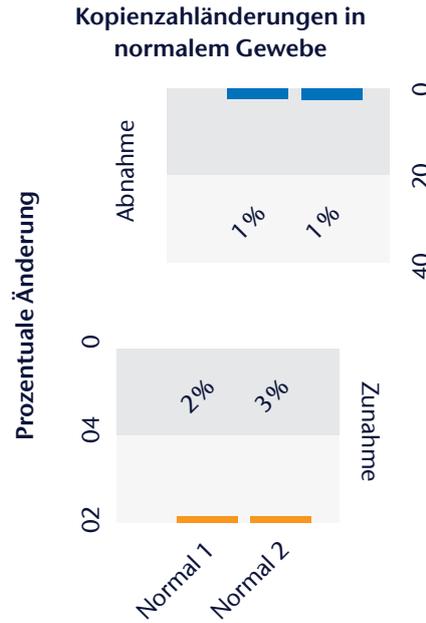


Abb. 1) Ermittelte Kopienzahlvariationen in beiden normalen Proben. Der Vergleich mit Werten aus der Literatur zeigt, dass beide Proben vergleichbar mit den von Cahan beschriebenen Werten sind [Cahan et al. 2009].

erkennen, dass in der normalen Probe keinerlei Segmentierung zu beobachten ist. In der transgenen Probe hingegen lassen bereits beginnende Änderungen chromosomaler Abschnitte erkennen, die in der gezeigten Tumorprobe weiterhin deutlich zunehmen. Vergleicht man die Segmentierung der Tumorprobe und der transgenen Probe, so lässt sich auch eine leichte Zunahme der Segmente erkennen.

Betrachtet man den prozentualen Anteil an genomischer Veränderungen, lassen sich diese Beobachtungen gut quantifizieren. Abbildung 3 zeigt diese prozentualen Kopienzahlveränderungen der errechneten Segmente, wobei diese zur Visualisierung in leichte Zunahme (orange) und leichte Abnahme (hellblau) sowie starke Zunahme (rot) und starke Abnahme (dunkelblau) gruppiert wurden. Während bei den normalen Gewebeproben nur 21% der Segmente eine Veränderung der Kopienzahlvariation zeigen und diese in den transgenen Proben mit 26%-28% etwas höher ausfällt, sind fast die Hälfte aller errechneten Segmente in beiden Tumorproben deutlich verändert. Dabei lässt sich im Tumor 1 überwiegend eine Abnahme der Kopienzahl feststellen, was eine Deletion dieser Abschnitte in vielen Zellen der Probe bedeutet, während im Tumor 2 die Amplifikationen verschiedener

Bereiche überwiegen. Diese prozentualen Veränderungen zeigen somit eine deutliche Zunahme der Veränderungen bei der Tumorentstehung.

Um den Zusammenhang von Genexpression und Kopienzahl zu untersuchen, haben wir genomische Bereiche mit veränderter Kopienzahl und die Expression betroffener Gene miteinander verglichen. Beispielhaft dafür ist ein chromosomaler Abschnitt von Chromosom 6 (17.4 Mb-18.6 Mb) in Abbildung 4 dargestellt. In diesem Bereich lassen sich die 4 berechneten Segmente erkennen, für die eine bis zu 3-fache Zunahme der Kopienzahlvariation ermittelt wurde. Betrachtet man dazu die entsprechende Genexpression der in diesem Abschnitt lokalisierten Gene, lässt sich eine hochregulierte Genexpression in 4 betroffenen Genen feststellen. Lediglich 2 Gene, deren Kopienzahl ebenfalls hoch ist, zeigen einer erhöhte Genexpression. Es lässt sich jedoch feststellen, dass diese direkte Korrelation nur für wenige Beispiele gefunden werden konnte. In den meisten Fällen lässt sich jedoch keine Korrelation feststellen. Dies entspricht den Ergebnissen der Arbeitsgruppe von Sven Nelander, welche zeigen konnten, dass sich die komplexen Zusammenhänge von Kopienzahländerung und Genexpression nicht direkt, aber durch transkriptionelle Netzwerke modellieren lassen [Jörnsten et al. 2011].

Da der gezeigte Bereich der Kopienzahlvariation lediglich in einer Tumorprobe zu beobachten war, überprüften wir die gezeigten Veränderungen mittels einer quantitativen PCR. Die entsprechenden Primerpaare wurden dazu in einem Bereich ohne Kopienzahlveränderung vor Met (Met\_ua) und an 2 Stellen des ersten Segmentes mit erhöhter Kopienzahlvariation (Met\_am1, Met\_am2) gelegt. Vergleicht man die Ergebnisse der qPCR in Abbildung 5 so ist zu erkennen, dass die Erhöhung der Kopienzahl bestätigt werden könnte.

## » III. AUSBLICK

Wir konnten zeigen, dass die Tumorentwicklung mit einer schrittweisen Veränderung der genomischen Struktur und damit auch Kopienzahlveränderungen einhergehen. Der Vergleich der ermittelten Segmente in den verschiedenen



Abb. 2) In dieser Abbildung sind die Kopienzahländerungen der einzelnen SNPs (grün) und die daraus ermittelten Segmente gleicher Kopienzahl (dunkelrot) in 3 verschiedenen Geweben dargestellt. Im normalen Gewebe lassen sich keinerlei Änderungen in der Kopienzahl des errechneten Segmentes feststellen. In der transgenen Probe nimmt die Schwankung der SNP Kopienzahlen, sowie die Fragmentierung und die Kopienzahländerung der entsprechenden Segmente leicht zu. Vergleicht man diese Probe, mit der Tumorprobe erkennt man nicht nur eine Zunahme der Kopienzahländerung, sondern auch eine weitere Fragmentierung der vorherigen Segmente.

Proben zeigte hierbei einen schrittweisen Anstieg der Kopienzahlen von Normal über Transgen zu Tumor. Fast 50% der Segmente wiesen dabei eine deutliche Änderung der Kopienzahl auf. Auch wenn in vielen Fällen keine direkte Korrelation von Kopienzahländerung und Genexpression zu ermitteln war, konnten wir einzelne Fälle ermitteln und aufzeigen. Gleichzeitig bestätigten wir die beobachteten Kopienzahlvariationen mittels einer qPCR. Bei vergleichender Betrachtung der Kopienzahländerungen in beiden Tumorproben lässt sich jedoch feststellen, dass jeder Tumor individuell ist und nicht jede Änderung in beiden Proben zu beobachten ist.

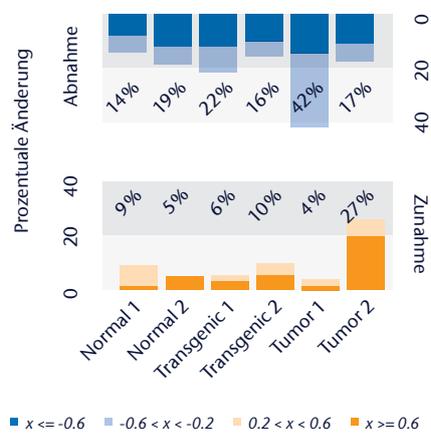


Abb. 3) Die prozentuale Änderung von Kopienzahlen der Segmente in den einzelnen Proben ist in dieser Abbildung dargestellt. Vergleichend betrachtet lässt sich ein Anstieg der Kopienzahlvariation der Segmente im Tumor (-46%) gegenüber der transgenen (-28%) und normalen Probe (-14%) feststellen. Vergleicht man die beiden Tumorproben, so überwiegt im Tumor 1 der Anteil an Deletionen (Kopienzahlabnahme), während im Tumor 2 der größere Prozentsatz eine Amplifikation (Kopienzahlzunahme) darstellt.

## Quantitative Realtime PCR

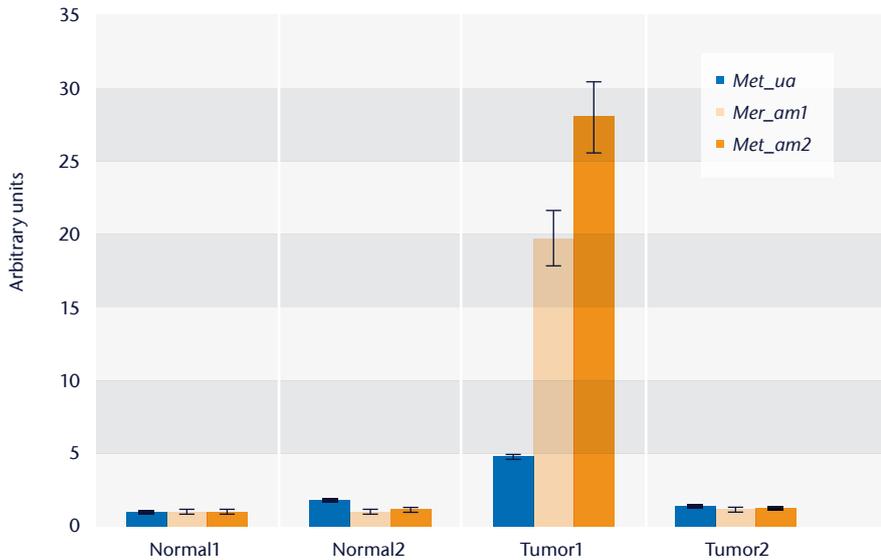


Abb. 4) Diese Abbildung zeigt die Ergebnisse der quantitativen PCR zur Verifizierung der errechneten Kopienzahlvariation auf Chromosom 6 (17.4 Mb-18.6 Mb). Beide normalen Proben zeigen keine Erhöhung des Amplikons. Auch im Tumor 2, in dem diese Amplifikation nicht ermittelt werden konnte, ist keine Erhöhung messbar. Lediglich in Tumor 1 wurde eine erhöhte Kopienanzahl gemessen. Dabei liegen die gemessenen Fragmente Met\_am1 und Met\_am2 in einem Bereich der in Tumor 1 mit erhöhter Kopienanzahl bestimmt wurde, und Met\_ua in einem Bereich ohne Kopienzahländerung.

### LITERATURVERZEICHNIS

Hanahan, D., Weinberg, R. A. (2000): The Hallmarks of Cancer. Cell, 100: 57–70.

Klein, A., Guhl, E., Zollinger, R., Tzeng, Y., Wessel, R., Hummel, M., Graessmann, M., Graessmann, A. (2005): Gene expression profiling: cell cycle deregulation and aneuploidy do not cause breast cancer formation in WAP-SVT/t transgenic animals. J Mol Med (Berl), 83: 362–376.

Osborne, C., Wilson, P., Tripathy, D. (2004): Oncogenes and Tumor Suppressor Genes in Breast Cancer: Potential Diagnostic and Therapeutic Applications. Oncologist, 9: 361–377.

Standfuß, C., Pospisil, H., Klein, A. (2012): SNP Microarray analyses reveal copy number alterations and progressive genome reorganization during tumor development in SVT/t driven mice breast cancer. BMC Cancer, 12: 380.

Bergamaschi, A., Kim, Y. H., Wang, P., Sørlie, T., Hernandez-Boussard, T., Lonning, P.E., Tibshirani, R., Børresen-Dale, A., Pollack, J. R. (2006): Distinct patterns of DNA copy number alteration are associated with different clinicopathological features and gene-expression subtypes of breast cancer. Genes Chromosomes Cancer, 45: 1033–1040.

Fanciulli, M., Petretto, E., Aitman, T. (2010): Gene copy number variation and common human disease. Clin Genet, 77: 201–203.

Conrad, D., Pinto, D., Redon, R., Feuk, L., Gokcumen, O., Zhang, Y., Aerts, J., Andrews, T., Barnes, C., Campbell, P., Fitzgerald, T., Hu, M., Ihm, C., Kristiansson, K., MacArthur, D., Macdonald, J., Onyiah, I., Pang, A., Robson, S., Stirrups, K., Valsesia, A., Walter, K., Wei, J., Consortium WTCC, Tyler-Smith, C., Carter, N., Lee, C., Scherer, S., Hurles, M. (2010): Origins and functional impact of copy number variation in the human genome. Nature, 464: 704–712.

Redon, R., Ishikawa, S., Fitch, K., Feuk, L., Perry, G., Andrews, T., Fiegler, H., Shaper, M., Carson, A., Chen, W., Cho, E., Dallaire, S., Freeman, J., Gonzalez, J., Gratacos, M., Huang, J., Kalaitzopoulos, D., Komura, D., MacDonald, J., Marshall, C., Mei, R., Montgomery, L., Nishimura, K., Okamura, K., Shen, F., Somerville, M., Tchinda, J., Valsesia, A., Woodwark, C., Yang, F., Zhang, J., Zerjal, T., Zhang, J., Armengol, L., Conrad, D., Estivill, X., Tyler-Smith, C., Carter, N., Aburatani, H., Lee, C., Jones, K., Scherer, S., Hurles, M. (2006): Global variation in copy number in the human genome. Nature, 444: 444–454.

Cahan, P., Li, Y., Izumi, M., Graubert, T.A. (2009): The impact of copy number variation on local gene expression in mouse hematopoietic stem and progenitor cells. Nat Genet, 14: 430–437.

Henrichsen, C., Vinckenbosch, N., Zöllner, S., Chaignat, E., Pradervand, S., Schütz, F., Ruedi, M., Kaessmann, H., Raymond, A. (2009): Segmental copy number variation shapes tissue transcriptomes. Nat Genet, 41: 424–429.

Hannemann, J., Meyer-Staeckling, S., Kemming, D., Alpers, I., Joosse, S.A., Pospisil, H., Kurtz, S., Görndt, J., Püschel, K., Riethdorf, S., Pantel, K., Brandt, B. (2011): Quantitative High-Resolution Genomic Analysis of Single Cancer Cells. PLoS ONE 2011, 6: e26362.

Jörnsten, R., Abenius, T., Kling, T., Schmidt, L., Johansson, E., Nordling, T., Nordlander, B., Sander, C., Gennemark, P., Funa, K., Nilsson, B., Lindahl, L., Nelander, S. (2011): Network modeling of the transcriptional effects of copy number aberrations in glioblastoma. Mol Syst Biol, 7: 486.

### AUTORENANGABEN

**Christoph Standfuß, MSc.**

Bioinformatik

TH Wildau [FH]

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Arbeitsgruppe Bioinformatik/High Performance Computing in Life Sciences

Telefon: +49 (0) 3375 / 508-204

christoph.standfuss@th-wildau.de

**Prof. Dr. rer. nat. Heike Pospisil**

TH Wildau [FH]

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Arbeitsgruppe Bioinformatik/High Performance Computing in Life Sciences

Telefon: +49 (0) 3375 / 508-949

heike.pospisil@th-wildau.de

**Dr. med. Andreas Klein**

Charité - Universitätsmedizin Berlin, Institut für Biochemie

Telefon: +49 (0) 30 / 450 52 80 87

andreas.klein@charite.de

# ZU BEDEUTUNG UND MÖGLICHEN HAFTUNGSRISIKEN BEI DER UMSETZUNG VON GESELLSCHAFTSRECHTLICHEN BÜRGERBETEILIGUNGSMODELLEN BEI ERNEUERBARE-ENERGIEN-PROJEKTEN

Prof. Dr. iur. Carsten Kunkel

## Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein Überblick über die unterschiedlichen gesellschaftsrechtlichen Modelle zur finanziellen Partizipation von Bürgern bei der Förderung von erneuerbaren Energien gegeben. In einführenden Worten wird aufgezeigt, dass dem Ausbau erneuerbarer Energien oftmals regionaler Widerstand der Bevölkerung begegnet. Um derartige Konflikte zu vermeiden, werden seit längerer Zeit Bürgerbeteiligungsmodelle diskutiert. Im Folgenden werden verschiedene Bürgerbeteiligungsmodelle skizziert. Der Verfasser erörtert daraufhin eingehend die gesellschaftsrechtlichen Beteiligungsmodelle und nimmt neben den gesellschaftsrechtlichen Haftungsrisiken auch die bei ihrer Umsetzung zu beachtenden kapitalmarktrechtlichen Bezüge aus der echten Prospekthaltung auf, die nur bei einer genossenschaftlichen Beteiligung ausscheidet. Mithin erfährt der Leser in der folgenden Bewertung die passenden Anwendungsbereiche der jeweiligen Modelle. In einer abschließenden Gesamtbetrachtung wird nochmals das primäre Ziel des Ausbaus lokaler regenerativer Energieerzeugung unter finanzieller Partizipation von Bürgern betont.

## Abstract

This paper addresses various corporate models of financial participation of the population in the renewable energy projects. The introduction shows that the expansion of renewable energies often encounters resistance from the local population. Certain participation models were created in order to avoid such conflicts. The introduction is followed by the description of those models and the detailed representation of the corporate participation models. In addition to the corporate liability risks, the author describes noteworthy prospectus liability, which is applicable to every corporate participation model except for the registered cooperative society participation model. Next, the scope of appropriate application is discussed in respect of each model. The final overview emphasizes the primary goal: the promotion of local renewable energy projects under financial participation of the (local) population.

## » I. EINLEITUNG

Bundeskanzlerin Merkel hat in ihrer Regierungserklärung „Der Weg zur Energie der Zukunft“ im Jahre 2011 die von ihrer Bundesregierung ausgerufene Energiewende aufgrund ihrer wirtschaftlichen, technischen und nicht zuletzt auch rechtlichen Dimension selbst als „Quadratur des Kreises“ und „Herkulesaufgabe“ bezeichnet (vgl. Merkel 2011: 12963). Der damit einhergehende Umbau des Energiesektors erfordert einen anerkanntermaßen massiven Ausbau von Kraftwerken auf fossiler, insbesondere aber regenerativer Energiebasis sowie einen massiven Ausbau der Übertragungs- und Verteilernetze

(vgl. Althaus 2012, 103 f.; v. Kaler et al. 2012: 791). Solche Energieprojekte stoßen insbesondere im Hinblick auf die Standortwahl von Kraftwerken und Netztrassen sowie deren technische Ausführung, aber auch die Wahrung von Umweltschutzaspekten vor Ort, auf Widerstand und sehen sich letztlich wachsenden Beteiligungsansprüchen von Bürgern und verschiedenen Interessengruppen mit beträchtlichen wirtschaftlichen und auch politischen Risiken ausgesetzt (ebenda).

Um dieses Dilemma aufzulösen und den Ausbau Erneuerbarer Energien (nachfolgend „EE“) nachhaltig zu stärken, werden in Literatur und Praxis sog. „Bürgerbeteiligungsmodelle“ im

Energiesektor diskutiert und beschrieben. Bürgerbeteiligungsmodellen werden – mit unterschiedlicher Akzentuierung – verschiedene Funktionen bzw. Wirkungen zugeschrieben, so u. a. eine Verbreitung von Informationen über diese Technologie und Erhöhung der Akzeptanz der jeweils vor Ort eingesetzten Technologie und damit einhergehend schnellere Genehmigungsverfahren, die Bereitstellung des nötigen Eigenkapitals durch Erschließung weiterer Investorenkreise insbesondere in frühen Phasen einer Technologie und letztlich eine größere Wertschöpfung für die jeweilige Region (vgl. etwa Althaus 2012: 103 f. m. w. N.; Bönker 2004: 537; Holstenkamp 2011: 31 f.;

v. Kaler et. al. 2012: 791 f.).<sup>1</sup> Zusammenfassend werden dem Begriff der „Bürgerbeteiligung“ somit zwei grundlegend zu trennende Grundbedeutungen beigegeben, zum einen als Beteiligung einzelner Bürger und zugelassener Interessengruppen an den Genehmigungsverfahren für Kraftwerke und Trassen (vgl. hierzu etwa Althaus 2012: 103 f. m. w. N.; Bönker 2004: 537 m. w. N.; Brettschneider et al. 2011: 889 f.; Stender-Vorwachs 2012: 1061 f.), zum anderen als organisationsrechtliches Modell der finanziellen Beteiligung von Bürgern am Ausbau der erneuerbaren Energien (vgl. etwa Althaus 2012: 36, 42; Degenhart 2008: 500; Holstenkamp et. al. 2010: 5 m. w. N.; v. Kaler et. al. 2012: 791 f. m. w. N.; Klare 2010).

Der Beitrag führt – basierend allein auf diesem zweitgenannten Begriffsverständnis der (organisationsrechtlichen) finanziellen Bürgerbeteiligung – in die grundlegenden gesellschaftsrechtlichen Beteiligungsmodelle ein und bewertet diese vor dem Hintergrund möglicher Haftungsrisiken von Investoren und Initiatoren. Aufgrund des eingeschränkten Umfangs dieses Aufsatzes kann hier nur ein kurzer Überblick allein über die wichtigsten rechtlichen Rahmenbedingungen des Gesellschafts- wie auch des Bank- und Kapitalmarktrechts gegeben werden, die es in diesem Zusammenhang zu beachten gilt<sup>2</sup>.

## » II. ÜBERBLICK ÜBER DIE ÜBLICHEN BETEILIGUNGSMODELLE BEI DER UMSETZUNG VON EE-Projekten

Um die (finanzielle) Bürgerbeteiligung umzusetzen, kommt eine Vielzahl von Beteiligungsmodellen in Betracht, wie etwa die gesamte Bandbreite der üblichen und nachfolgend näher dargestellten gesellschaftsrechtlichen Gestaltungen, bei denen die als Gesellschafter investierenden Bürger unmittelbar unternehmerisch am Erfolg des EE-Projektes beteiligt sind, aber auch (bloße) Miteigentumsvarianten (vgl. etwa §§ 741 ff. BGB) sowie verschiedene schuldrechtliche Beteiligungsformen<sup>3</sup>, bei denen die als Investoren beteiligten Bürger keinen sachen- oder gesellschaftsrechtlichen Anteil, sondern nur Zins- und Rückzahlungsansprüche meist mittelbar an dem EE-Projekt erwerben, bis hin zu öffentlich-rechtlichen Varianten<sup>4</sup>.

Die Bürgerbeteiligung erfolgt in aller Regel im Wege der öffentlichen Einwerbung von Eigen- und/oder Fremdkapital unabhängig vom jeweils gewählten Beteiligungsmodell, aber in Abhängigkeit vom Investitionsvolumen entweder deutschlandweit oder – insbesondere um die Akzeptanz von EE-Projekten bei der Bevölkerung vor Ort zu erhöhen – gezielt in regional begrenztem Raum um das jeweilige Vorhaben (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 5). Die öffentliche Kapitalbeschaffung ist als Teilnahme am Kapitalmarkt durch das Bank- und Kapitalmarktrecht reglementiert, die es neben den gesellschaftsrechtlichen Anforderungen gleichfalls zu beachten gilt (vgl. unter IV.).

## » III. GESELLSCHAFTSRECHTLICHE BETEILIGUNGSMODELLE IM EINZELNEN

Unter den gesellschaftsrechtlichen Beteiligungsmodellen sind zunächst, aufgrund ihrer grundlegend unterschiedlichen rechtlichen Konzeption, die Körperschaften von den Personengesellschaften zu trennen (vgl. hierzu vertiefend Reuter 2007: 673 ff.). Nachfolgend werden die im Zusammenhang mit der Bürgerbeteiligung in der Praxis relevanten Körperschaften und Personengesellschaften – beschränkt auf ihre hier interessierenden wesentlichen Grundzüge – dargestellt.

### 1. Körperschaftliche Beteiligungen a) Grundzüge

Körperschaften sind – mit Ausnahme des nicht-rechtsfähigen Vereins – juristische Personen, denen die Rechtsordnung aufgrund ihrer zweckgebundenen Organisation die Rechtsfähigkeit verliehen hat (BGHZ 25, 134, 144; vgl. zum Begriff der juristischen Person eingehend Raiser 1999: 104, 105 m. w. N.; Reuter 2012: Vorb. zu § 21 BGB Rn. 2 f.). Sie sind selbst Träger von Rechten und Pflichten (vgl. etwa in § 13 Abs. 2 GmbHG, § 17 Abs. 1 GenG) und für deren gesellschaftsrechtlichen Mitglieder vor allem deshalb interessant, weil grundsätzlich nur die juristische Person haftet und nicht deren einzelne Mitglieder (vgl. etwa für die GmbH-Gesellschafter § 13 Abs. 2 GmbHG oder für die Genossen § 2 GenG). Die Grundform der Körperschaft ist der Verein (§§ 21 ff. BGB). Der rechtsfähige nichtwirtschaftliche Verein spielt aufgrund seiner gesetzlichen Beschränkung auf bloße nicht wirtschaftliche

<sup>1</sup> Eine einheitliche Definition des Begriffes der Bürgerbeteiligung hat sich bislang nicht erkennbar durchgesetzt (vgl. mit Ihren Erklärungsansätzen etwa Holstenkamp et. al. 2010: 5, 9 f. m. w. N.; v. Kaler et. al. 2012: 791 f. m. w. N.; Stender-Vorwachs 2012: 1062). Eine Annäherung an die Begrifflichkeit erfolgt deshalb hier auch nur aufgrund der unter diesem Begriff beschriebenen Funktionszusammenhänge und Wirkungen. Deswegen und mangels Vorliegens aufbereiteten Zahlenmaterials zu den einzelnen für EE-Projekte zum Einsatz gekommenen Unternehmensformen können die in der Folge dargestellten Beteiligungsmodelle nicht exakt quantifiziert werden (statt vieler vgl. etwa ausdrücklich für den Bereich der Photovoltaik Holstenkamp et. al. 2010: 9 f. m. w. N.). Eine erste Annäherung an die wirtschaftliche Bedeutung der im Folgenden insgesamt dargestellten Beteiligungsmodelle bieten jedoch die jährlichen Erhebungen des Verbandes Geschlossene Fonds e. V. Danach wurden im Jahre 2009 EUR 547 Millionen, im Jahre 2010 EUR 832,2 Millionen und im Jahre 2011 EUR 637 Millionen an Eigenkapital in geschlossene Energiefonds (ohne Differenzierung der gewählten Energieform) investiert (vgl. VGF 2010; VGF 2011; VGF 2012). Ein nicht unerheblicher Teil von EE-Projekten in Form von im Folgenden beschriebenen Bürgerbeteiligungsmodellen dürfte hier – etwa mangels Branchenzugehörigkeit oder nicht prospektpflichtiger Gesellschaftsform – noch nicht einmal erfasst worden sein (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 9 f. m. w. N.).

<sup>2</sup> Die Darstellung auch der kommunalwirtschaftsrechtlichen, steuerlichen und betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen würde den zur Verfügung stehenden Rahmen dieser Ausarbeitung sprengen. Nachfolgend werden diesbezüglich nur weiterführende Vertiefungshinweise gegeben.

<sup>3</sup> Bei der schuldrechtlichen Bürgerbeteiligung im Bereich der erneuerbaren Energien wirbt eine bereits bestehende Gesellschaft Kapital für ein bzw. mehrere bestimmte Projekte ein, das ihr auf Basis schuldrechtlicher Verträge befristet oder unbefristet überlassen wird. Die in der Praxis häufigsten Gestaltungsvarianten sind das Darlehen, die Inhaberschuldverschreibung und das Genussrecht (v. Kaler et. al. 2012: 792, dort auch zum Folgenden). Zins- und Rückzahlungsansprüche beruhen beim Darlehen auf dem Darlehensvertrag (§ 488 Abs. 1 BGB), während sie bei der Inhaberschuldverschreibung auf dem verbrieften Leistungsversprechen des Schuldners gründen (§ 793 Abs. 1 BGB). Der Zins ist hierbei entweder fest vereinbart oder im Falle des partiarischen Darlehens gewinnabhängig ausgestaltet. Beim Genussrecht erwirbt der Gläubiger eine Beteiligung am Gewinn der Gesellschaft, ist allerdings – insofern anders als beim partiarischen Darlehen – mit seinem Genusskapitalanteil regelmäßig zugleich an einem etwaigen Verlust beteiligt.

<sup>4</sup> Wie etwa in Form von kommunalen Zweckverbänden, die in einigen Bundesländern auch privaten Mitgliedern offenstehen können (vgl. etwa Art. 17 Abs. 2 S. 2 BayKommZG).

Zwecke (vgl. § 21 BGB) vor dem Hintergrund der regelmäßig mit der Umsetzung von EE-Projekten beabsichtigten Gewinnerzielung bei der Bürgerbeteiligung nur mittelbar bei den hier nicht behandelten schuldrechtlichen Beteiligungsformen und im Übrigen keine Rolle<sup>5</sup>.

### b) Genossenschaftliche Beteiligung

Diese Rechtsform erfährt bei der Umsetzung von EE-Projekten zunehmende wirtschaftliche, wenngleich im Verhältnis zum Gesamtmarkt für EE-Projekte nicht überragende Bedeutung und wird gegenwärtig vornehmlich mit dem Begriff der Bürgerbeteiligung bei EE-Projekten in Verbindung gebracht (vgl. Althanns 2012: 36 f.; Degenhart 2008: 500; Holstenkamp et. al. 2010: 5, 8 ff.; Holstenkamp 2011: 31). Zunächst häufig auf Bürgerinitiativen beruhend taten sich in einem örtlich begrenzten Gebiet Grundstückseigentümer zur gemeinsamen Errichtung und Nutzung von EE-Anlagen zu „Bürgerenergiegenossenschaften“ zusammen (vgl. mit einem Beispiel v. Kaler et. al. 2012: 791). Bundesweit wurden im Zeitraum 2006 bis 2011 insgesamt 430 Energiegenossenschaften (zuletzt in 2011: 158) gegründet (Althanns 2012: 36).

Die eingetragene Genossenschaft (eG), ihrer Struktur nach eine Sonderform des rechtsfähigen Wirtschaftsvereins (vgl. Geschwandtner/Helios 2006: 691 m. w. N., Schmidt 2002: 1267), gründet auf der Idee der förderwirtschaftlichen Mitglieder Selbsthilfe („genossenschaftlicher Förderauftrag“), wonach die Leistungen, die die Genossenschaft im Rahmen ihres Geschäftsbetriebs erbringt, ihren Mitgliedern selbst zugutekommen sollen und deren Mitgliederzahl nicht geschlossen ist (vgl. § 1 GenG). Zu ihrem Entstehen ist die Eintragung in das Genossenschaftsregister erforderlich. Die eG ist die Körperschaft mit den am stärksten ausgeprägten personalistischen Zügen (vgl. Steding 1999: 282). Von den kapitalgesellschaftlichen Beteiligungsformen der AG und der GmbH unterscheidet

sie sich u. a. dadurch, dass ihre Mitglieder intensiver persönlich, etwa im Hinblick auf den Grundsatz der Selbstverwaltung (Vorstände und Aufsichtsräte müssen Mitglieder der Genossenschaft oder Mitglied einer Mitgliedsgenossenschaft sein, § 9 GenG.) oder das sog. genossenschaftliche Demokratieprinzip („one man one vote“, § 43 GenG), an ihr beteiligt sind (vgl. Althanns 2012: 37 f. m. w. N.; Stumpf 1999: 701 ff.).

Für die Rechtsform der eG sind vor dem Hintergrund der Untersuchung die folgenden weiteren wesentlichen Punkte zu ihrer Charakterisierung hervorzuheben:

- Die Haftung ist auf das Vermögen der eG beschränkt, d. h. den Gesellschaftsgläubigern, wie etwa finanzierende Kreditinstitute, haftet nur das Vermögen der eG, § 2 GenG.
- Ein Mindestkapital ist gesetzlich nicht festgelegt und muss in der Satzung nicht bestimmt werden (§ 8a GenG).
- Neue Mitglieder können ohne Umstände (u. U. allerdings unter Erhebung von Eintrittsgeldern, vgl. Althanns 2012: 39) durch schriftliche Erklärung und Zulassung seitens der eG beitreten (§ 15 GenG). Mit ihrem Beitritt ist die Übernahme eines oder mehrerer Geschäftsanteile verbunden (§ 7a GenG), wodurch das Vermögen der eG mit zunehmender Mitgliederzahl stetig wächst.
- Es sind regelmäßige Pflichtprüfungen der eG durch einen Prüfungsverband gem. §§ 53 ff. GenG zwecks Feststellung der wirtschaftlichen Verhältnisse und der Ordnungsmäßigkeit der Geschäftsführung vorgeschrieben.

Die Geschäftsanteile, mit denen sich die Mitglieder an dem Kapital der eG beteiligen, können regelmäßig so bemessen werden, dass sich auch weniger finanzstarke Bürger beteiligen

können (Holstenkamp et. al. 2010: 8 f.; v. Kaler et. al. 2012: 792). Die Förderleistung kann im Anschluss an ein Energienetz, in der Weiterleitung der erzeugten oder gewonnenen Energie an die Mitglieder (z. B. Nahwärmenetze) zu günstigen Preisen liegen (vgl. Althanns 2012: 38). Zudem sind seit der Genossenschaftsgesetznovelle 2006 auch aktive Beiträge zur Nachhaltigkeit und zum Klimaschutz als Förderleistungen, welche den Mitgliedern der eG zukommen, aufzufassen (§ 1 GenG). Dies erklärt – neben der besonderen Vermarktungsstruktur des EEG – auch, warum bei den eG ein Energievertrieb an die Mitglieder häufig nicht stattfindet, sondern vielmehr die genossenschaftlichen Belange ihrer Mitglieder häufig bereits dadurch gefördert werden, dass die eG einerseits lokal neue EE-Quellen erschließt und dabei andererseits die Interessen der Mitglieder an einem möglichst verträglichen Ausbau der EE berücksichtigt (v. Kaler et. al. 2012: 792).

### c) Kapitalgesellschaftliche Beteiligung

Kapitalgesellschaften i. S. d. § 264 ff. HGB sind die Aktiengesellschaft (AG), die Kommanditgesellschaft auf Aktien (KGaA) sowie die Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH)<sup>6</sup>. Die KGaA verbindet Elemente der AG und der später noch dargestellten Kommanditgesellschaft (KG) miteinander. Sie wird mangels Bedeutung im EE-Bereich hier nicht gesondert dargestellt.

Auch bei AG und GmbH handelt es sich ihrer Struktur nach um eine Sonderform des rechtsfähigen Wirtschaftsvereins, so dass hinsichtlich der gesellschaftsrechtlichen Grundstruktur und den Haftungsgrundsätzen im Hinblick auf die Gesellschafter nach oben verwiesen werden kann. Zu ihrem Entstehen als juristische Person ist die Eintragung in das Handelsregister erforderlich. Auch hier können die Geschäftsanteile bzw. Aktien, mit denen sich die Gesellschafter an dem Gesellschaftskapital beteiligen, regelmäßig

<sup>5</sup> Bspw. kann er Bedeutung erlangen als Kapitalsammelstelle in der Regel in Form einer schuldrechtlichen Beteiligung. In der Folge beteiligt sich der Verein selbst schuldrechtlich, etwa in Form eines partiarischen Darlehens, mittelbar an einem EE-Projekt. Als ein Beispiel sei hier etwa auf den Bürgerkraftwerke e.V. verwiesen, der selbst partiarische Darlehen an EE-Projektbetreiber aus seinem Umfeld vergibt und seinerseits Solarbausteinverträge mit interessierten Bürgern in Form von partiarischen Darlehen, über die er selbst das später weitergereichte Geld einsammelt, abschließt (vgl. Geldanlage in Solar 2012).

<sup>6</sup> Die Unternehmungsgesellschaft (haftungsbeschränkt) ist lediglich eine Sonderform der GmbH und hat aufgrund ihrer im Verhältnis zum regelmäßig hohen Kapitalbedarf bei der Umsetzung eines EE-Projektes geringen Kapitalausstattung nur untergeordnete Bedeutung, vgl. § 5a GmbHG.

so bemessen werden, dass sich auch weniger finanzstarke Bürger beteiligen können, was bei nur geringen Beteiligungssummen allerdings auch den administrativen Aufwand erhöht. Die GmbH erfreut sich im Bereich der Bürgerbeteiligung für EE-Projekte wesentlich größerer Verbreitung als die Rechtsform der AG (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 9 f. m. w. N.).

Im Detail unterscheiden sich beide Gesellschaftsformen von der eG und auch untereinander deutlich, strukturell und vor dem Hintergrund der Untersuchung sind dabei die folgenden wesentlichen Punkte zur Charakterisierung der AG und GmbH hervorzuheben:

- Gesetzlich vorgeschriebenes Mindestkapital: Bei der AG in Höhe von EUR 50.000 (§ 7 AktG), bei der GmbH in Höhe von EUR 25.000 (§ 5 GmbHG).
- Strenge Anforderungen an die Kapitalaufbringung und -erhaltung bei beiden Rechtsformen (für die AG vgl. etwa §§ 9, 27, 32 ff., 182 ff., 192 ff., 202 ff. AktG; für die GmbH vgl. etwa §§ 5, 7, 8, 19, 55 ff. GmbHG), deutlich höherer Formalismus bei der Gründung einer AG, insbesondere bei Börsenzulassung (vgl. §§ 23 ff. AktG, WpHG).
- Satzungsstrenge bei der AG (§ 23 Abs. 5 AktG), d. h. insbesondere geringe Freiheit in der Gestaltung der Binnenorganisation der Gesellschaft (bspw. Aufgaben und Verhältnis der Organe zueinander, Gewinnverteilung etc.), dagegen relative Vertragsgestaltungsfreiheit bei der GmbH.
- Hoher administrativer Aufwand insbesondere bei der AG im Hinblick auf die Buchführung, Bilanzierung und Veröffentlichungspflichten (vgl. Eisenhardt 2009: 266 ff.).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Kapitalgesellschaften insgesamt relativ rigiden Schutzvorschriften unterliegen, wobei die gesetzlichen Anforderungen an die Rechtsform der AG nochmals deutlich höher sind als diejenigen an die GmbH.

## 2. Personengesellschaftsrechtliche Beteiligung

Unter den Personengesellschaften kommen die folgenden rechtlichen Beteiligungsformen bei der Umsetzung von EE-Projekten im Zuge der Bürgerbeteiligung in Betracht: Die Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR), die Offene Handelsgesellschaft (OHG) und die Kommanditgesellschaft (KG). Der wesentliche Unterschied zu den zuvor dargestellten Körperschaften besteht in der Organisationsstruktur und im Haftungskonzept sowie in der mangelnden Rechtsfähigkeit der nur teilrechtsfähigen Personengesellschaften (vgl. § 124 Abs. 1 HGB).

GbR und OHG sind aufgrund ihres Gesellschaftszwecks bzw. ihrer Eintragung in das Handelsregister<sup>7</sup> voneinander abzugrenzen und unterscheiden sich im Übrigen im Hinblick auf die vorgenannten Kriterien nicht wesentlich voneinander. Bei der KG gibt es zwingend zwei unterschiedliche Gesellschafterkreise, den persönlich haftenden Komplementär, der wie der OHG-Gesellschafter zu behandeln ist (vgl. §§ 161 Abs. 1, 2, 128 HGB), und den (haftungsbeschränkten) Kommanditisten (vgl. §§ 161 Abs. 1, 171 ff. HGB).

Vor dem Hintergrund der Untersuchung sind dabei die folgenden wesentlichen Punkte zur Charakterisierung der vorgenannten Personengesellschaftsformen und in Abgrenzung zur Körperschaft hervorzuheben:

- Im Gegensatz zur Körperschaft haften die vorgenannten Personengesellschafter – mit Ausnahme des Kommanditisten – unbeschränkt persönlich, vgl. § 128 HGB.<sup>8</sup> Der Kommanditist haftet bei eingezahlter Kommanditeinlage und rechtzeitiger Eintragung der Kommanditeinlage im Handelsregister nicht persönlich (vgl. Einzelheiten in §§ 171 ff., 176 HGB).
- Enges Kooperationsverhältnis zwischen den Personengesellschaftern aufgrund ihrer gesellschaftsrechtlichen Treubindung sowie Bestandsabhängigkeit, d. h. dem Wechsel im Gesellschafterbestand und der Ausübung von Gesellschafterrechten sind Grenzen gesetzt, die es bei einer Körperschaft nicht zu beachten gilt, da deren Bestand von den einzelnen Mitgliedern unabhängig ist.
- Selbstorganschaft im Gegensatz zur Fremdorganschaft bei der Körperschaft,<sup>9</sup> d. h. die Geschäftsführung liegt zwangsläufig innerhalb des Gesellschafterkreises und kann nicht an gesellschaftsfremde Dritte abgegeben werden.
- Konsensprinzip im Gegensatz zum Mehrheitsprinzip bei der Körperschaft, ergänzt durch den sog. Bestimmtheitsgrundsatz und die Kernbereichslehre, d. h. insbesondere die anfängliche Gestaltung bzw. die Änderung des Gesellschaftsvertrages, ist in wesentlichen Teilbereichen, wie etwa die Gewinn- und Verlustverteilung, eingeschränkt.

<sup>7</sup> Die OHG ist als Personenhandelsgesellschaft auf den Betrieb eines Handelsgewerbes gerichtet und wird als solche mit allen daraus folgenden rechtlichen Konsequenzen in das Handelsregister eingetragen (Publizität des Handelsregisters etc., vgl. §§ 105 ff. HGB), wohingegen die GbR, die auf jeden beliebigen, gesetzlich erlaubten Gesellschaftszweck gerichtet sein kann, nicht eintragungsfähig ist.

<sup>8</sup> Der § 128 HGB wird auch bei der GbR entsprechend angewendet (ständige Rspr. seit BGHZ 142, 315 ff. und fortführend BGHZ 146, 341 ff.).

<sup>9</sup> Bei der eG durch den Grundsatz der Selbstverwaltung durchbrochen, vgl. unter III.1.b).

Neben der Beteiligung als persönlich haftender Personengesellschafter und als Kommanditist sind hier im EE-Bereich ebenso wie in anderen Bereichen des „Grauen Kapitalmarktes“ auch mittelbare Beteiligungsformen über Treuhandverhältnisse anzutreffen (vgl. etwa zu haftungsrechtlichen Risiken von Treuhandmodellen Kunkel 2011: 2087 f.), d. h. dass in diesen Fällen dem investierenden Bürger regelmäßig keine unmittelbare Stellung als Gesellschafter der EE-Projektgesellschaft beikommt. Auf die Bedeutung der Beteiligung als Kommanditist wird nachstehend bei der weitaus häufiger anzutreffenden Mischform der GmbH & Co. KG (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 8 f.) eingegangen, die mittelbare Beteiligungsform ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

### 3. Mischformen, insbesondere GmbH & Co. KG

Die GmbH & Co. KG erfreut sich als gesellschaftsrechtliche Mischform unter den Bürgerbeteiligungen an EE-Projekten großer Beliebtheit (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 9f.; LAG AktivRegion 2010: 4 ff.). Sie vereint einige strukturelle Vorteile aus beiden Grundformen. Hier ist es möglich, die Haftung aller beteiligten Akteure (Investoren und Initiatoren) gleichermaßen auf ein gesellschaftsvertraglich vereinbartes Niveau zu beschränken, und gleichzeitig die Geschäftsführungsbefugnis auf den oder die Gesellschafter der Komplementär-GmbH – eine regelmäßige Domäne der Initiatoren von EE-Projekten – zu begrenzen (vgl. § 13 Abs. 2 GmbHG, § 171 Abs. 1 HGB). Auf diese Weise können die Initiatoren des EE-Projektes zusätzliches Eigenkapital in Form von Kommanditeinlagen zuführen, ohne ihre alleinige Kontrolle über die Geschäftsführung einzubüßen; denn im Gegensatz zur GmbH und zur eG sind die Kommanditisten keine gleichberechtigten Gesellschafter bzw. Genossen, sondern „nur“ kapitalgebende Gesellschafter (vgl. §§ 161 ff. HGB). Im Bereich der Erneuerbaren

Energien ist diese Rechtsform anfänglich oftmals für gemeinschaftliche EE-Projekte von Landwirten genutzt worden, um insbesondere die Eigentümer umliegender Grundstücke an den Anlagen zu beteiligen (vgl. v. Kaler et. al. 2012: 792).

#### » IV. VORGABEN DES BANK- UND KAPITALMARKTRECHTS

Für die hier beschriebenen Beteiligungsmodelle ergeben sich weitere Beschränkungen aus dem Bank- und Kapitalmarktrecht in Form sog. Prospektpflichten. Im Falle öffentlich angebotener Wertpapiere im Sinne des Wertpapierprospektgesetzes (WpPG) besteht eine Prospektpflicht nach § 3 Abs. 1 WpPG. Dies betrifft in erster Linie die hier nicht näher behandelten schuldrechtlichen Beteiligungsmodelle (vgl. hierzu im Überblick v. Kaler et. al. 2012: 794 f.).

Handelt es sich um öffentlich angebotene Vermögensanlagen i. S. d. § 1 Abs. 2 VermAnlG, die nicht in Wertpapieren i. S. d. WpPG verbrieft sind, ergibt sich die Prospektpflicht aus § 6 VermAnlG. Die zuvor ausgeführten gesellschaftsrechtlichen Beteiligungsmodelle unterfallen definitorisch dem Begriff der Vermögensanlage i. S. d. § 1 Abs. 2 VermAnlG.

Für genossenschaftliche Bürgerbeteiligungen besteht jedoch keine Prospektpflicht, da die Anteile an einer eG von der Prospektpflicht explizit gem. § 2 Nr. 1 VermAnlG ausgenommen sind.<sup>10</sup> Dahingegen besteht für die weiteren gesellschaftsrechtlichen Bürgerbeteiligungsmodelle grundsätzlich die Prospektpflicht aus § 6 VermAnlG, es sei denn sie unterfallen dem weiteren Ausnahmekatalog des § 2 VermAnlG, bspw. hinsichtlich der jeweiligen Beteiligungshöhe (vgl. etwa § 2 Nr. 3 c VermAnlG „der Preis jedes angebotenen Anteils mindestens 200.000 Euro je Anleger beträgt“) oder des

Beteiligungskreises (vgl. etwa § 2 Nr. 3 a VermAnlG „nicht mehr als 20 Anteile“).

Hieraus resultieren weitreichende Anforderungen an die inhaltliche Darstellung der angebotenen Beteiligung und deren Veröffentlichung (vgl. §§ 6 ff. VermAnlG), zumal der Verkaufsprospekt zunächst von der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht geprüft und gebilligt werden muss (vgl. § 8 VermAnlG), sowie Haftungsrisiken für die Initiatoren und Prospektverantwortlichen bei fehlendem oder fehlerhaftem Verkaufsprospekt (vgl. dazu im Folgenden).

#### » V. HAFTUNGSRISEN

Bei der gesellschaftsrechtlichen Beteiligung als persönlich haftender Gesellschafter einer GbR, OHG oder KG folgt die persönliche Haftung aus der Natur ihrer personengesellschaftsrechtlichen Stellung, vgl. § 128 HGB. Dieser haftet persönlich und unbeschränkt, d. h. mit seinem gesamten Privatvermögen, primär und unmittelbar auf die gesamte Gesellschaftsverbindlichkeit als Gesamtschuldner. Somit können bei einem solchen EE-Beteiligungsmodell bspw. die Komponentenhersteller und Werkdienstleister oder bei einer teils fremdfinanzierten Errichtung einer EE-Anlage das finanzierende Kreditinstitut jederzeit den einzelnen persönlich haftenden Gesellschafter auf die gesamte Gesellschaftsverbindlichkeit (z. B. Kreditvaluta) in Anspruch nehmen.

Bei den weiteren, vorstehend beschriebenen Bürgerbeteiligungsmodellen ist die persönliche Haftung für alle beteiligten Akteure zunächst beschränkt. Denn bei der eG, der AG, der GmbH und der GmbH & Co. KG folgt die Haftungsbegrenzung gleichfalls aus ihrer Rechtsform bzw. Rechtsformkombination.

<sup>10</sup> Grund für diese Privilegierung der eG ist, dass die Belange der Genossenschaftsmitglieder einer unabhängigen Prüfung nach § 11 a Abs. 2 GenG durch das Registergericht unterliegen, welches die Eintragung der Genossenschaft abzulehnen hat, wenn offenkundig oder auf Grund der bei der Eintragungsanmeldung gem. § 11 Abs. 2 Nr. 3 GenG vorzulegenden Bescheinigung eines Prüfungsverbandes, dass die Genossenschaft zum Beitritt zugelassen ist, sowie einer gutachtlichen Äußerung des Prüfungsverbandes, ob nach den persönlichen oder wirtschaftlichen Verhältnissen, insbesondere der Vermögenslage der Genossenschaft, eine Gefährdung der Belange der Mitglieder oder der Gläubiger der Genossenschaft zu besorgen ist (vgl. vertiefend Althanns 2012: 38; Moritz et. al. 2004: 1352, 1354). „Damit wird dem Anlegerschutz ausreichend Rechnung getragen, so dass es einer zusätzlichen Prospektpflicht nicht bedarf“ (BT-Drs. 15/3174, 42).

Gleichwohl können sich insbesondere für den Initiator<sup>11</sup> bei der öffentlichen Einwerbung privaten Kapitals zusätzliche Risiken aus der Prospekthaftung ergeben. Ausgeschlossen ist die Prospekthaftung lediglich bei der genossenschaftlichen Beteiligung. Insofern kommt allerdings eine Haftung für unrichtige und unvollständige Angaben aus culpa in contrahendo gem. § 311 Abs. 2 BGB in Betracht, die sog. uneigentliche Prospekthaftung (vgl. Grüneberg 2012: § 311 Rn. 71 m. w. N.).

Die eigentliche Prospekthaftung ergibt sich für die hier maßgeblichen außerbörslichen Anlageformen (zur Abgrenzung vgl. unter IV.) seit dem 1. 6. 2012 bei fehlerhaftem oder fehlendem Verkaufsprospekt sowie bei unrichtigem Vermögensanlagen-Informationenblatt nun aus den eigenständigen Regelungen der §§ 20-22 VermAnlG<sup>12</sup>, die jedoch weitgehend an den Inhalt der früheren Rechtslage unter dem VerkaufsprospektG mit seinen Verweisen auf §§ 44, 45 BörsG angelehnt sind. Wichtigster Unterschied zur bisherigen Rechtslage ist, dass die Ausschlussfrist von sechs Monaten ab dem ersten öffentlichen Angebot im Inland für die nicht in Wertpapieren verbrieften Vermögensanlagen auf zwei Jahre verlängert wird (vgl. Bödeker 2011: 278). Danach sind die Prospektverantwortlichen und die Prospektveranlasser<sup>13</sup> verpflichtet, die Vermögensanlagen gegen Erstattung des Erwerbspreises bis zur Höhe des ersten Ausgabepreises sowie der üblichen Transaktionskosten zurückzunehmen bzw. bei Veräußerung etwaige Unterschiedsbeträge auszugleichen, wenn in dem Prospekt oder dem Vermögensanlagen-Informationenblatt wesentliche Angaben unrichtig oder unvollständig sind (vgl. §§ 20-22 VermAnlG).

#### » VI. BEWERTUNG DER VORGESTELLTEN GESELLSCHAFTSRECHTLICHEN BETEILIGUNGSFORMEN VOR DEM HINTERGRUND DER EIGNUNG ALS BÜRGERBETEILIGUNGSMODELL BEI EE-Projekten

Um aus Initiatorsicht und aus Sicht beteiligungswilliger Bürger für den Einzelfall ein optimales Beteiligungsmodell zu entwickeln bzw. zur Finanzbeteiligung zu wählen, bedarf es eines wohl durchdachten Planungs-, Abwägungs- und Umsetzungsprozesses, an dessen Anfang eine sorgfältige Analyse der individuellen Zielsetzung unter Berücksichtigung nicht nur der hier dargestellten rechtlichen, sondern auch der vorliegend nicht dargestellten steuerlichen, betriebswirtschaftlichen und bei kommunalen Akteuren zusätzlich noch der kommunalwirtschaftlichen Rahmenbedingungen stehen sollte.

Hinsichtlich der vorstehend beschriebenen gesellschaftsrechtlichen Grundmodelle und der hier erörterten sonstigen wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen und hieraus resultierenden Haftungsrisiken lassen sich einige Ausgangspunkte festhalten, die bereits eine gute Grundorientierung bei der Initiierung bzw. Wahl von Bürgerbeteiligungsmodellen ermöglichen.

Aufgrund der regelmäßig hohen Investitionssummen ist eine Bürgerbeteiligung an einem EE-Projekt als persönlich haftender Gesellschafter einer GbR, OHG oder KG aus den vorgenannten Haftungsgesichtspunkten nicht ratsam. Ein solches Modell sollte aus Anlegersicht nicht ernsthaft in Betracht gezogen werden (vgl. Kunkel 2011: 2387 f.). Aber auch aus Initiatorsicht bergen diese Beteiligungsformen Nachteile in sich. So ist beispielsweise das Prinzip der Selbstorganschaft hinderlich, bedeutet es doch, dass auch der Initiator sich an der Gesellschaft – ggf. sogar mit einem möglichst großen Anteil – beteiligen

muss, wenn er die Geschäftsführung der EE-Projektgesellschaft übernehmen möchte. Auch das Konsensprinzip in Verbindung mit dem Bestimmtheitsgrundsatz und der Kernbereichslehre schränkt den Initiator bei der vertraglichen Gestaltung und in dem Bemühen um eine möglichst große Gewinnabschöpfung (insbesondere bei der GbR und OHG) – etwa gegenüber den ihm bei der GmbH & Co KG zur Verfügung stehenden Möglichkeiten – ein.

Die eG ist insbesondere für eine gleichberechtigt partnerschaftliche Umsetzung von EE-Projekten attraktiv („Selbstverwaltung“ und „genossenschaftliches Demokratieprinzip“) und dürfte insbesondere auch für Kommunen, die zwar die lokale Erzeugung regenerativer Energien befördern wollen, dabei aber bspw. den Aufwand für die Gründung eines kommunalwirtschaftlich beherrschten EE-Erzeugungsunternehmens vermeiden möchten, attraktiv sein (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 10; v. Kaler et. al. 2012: 795). Das für die Initiatoren bestehende Haftungsrisiko – u. a. dank der fehlenden Prospektspflicht – und der Gründungsaufwand sind vergleichsweise gering (v. Kaler et. al. 2012: 795). Im Vergleich zu einer GmbH ist dieser aber größer, was die Attraktivität der Rechtsform insbesondere für kleine EE-Projekte wiederum verringert (vgl. Holstenkamp et. al. 2010: 10). Die eG eignet sich damit insbesondere für raumgreifende Beteiligungsmodelle, die eine gewisse Größe erreichen, so dass die eG trotz der Kosten für die mindestens alle zwei Jahre anfallende Pflichtprüfung gem. § 53 Abs. 1 GenG rentabel wirtschaften kann (v. Kaler et. al. 2012: 795 f. dort auch zum Folgenden). Als geschäftliche Ausgangsbasis kommt insbesondere bei Einbindung der Kommune die langfristige Anpachtung kommunaler (Dach-)Flächen in Betracht. Daneben kommt dieses Modell insbesondere in ländlichen Gebieten für gemeinschaftlich agierende Landwirtschaftsbetriebe zur Umsetzung von EE-Projekten in Betracht.

<sup>11</sup> IM EE-Bereich sind dies kommunal- wie auch privatwirtschaftliche Akteure, unabhängig von der Rechtspersönlichkeit (vgl. zu den weitergehenden Anforderungen des kommunalen Wirtschaftsrechts bei kommunalen Akteuren v. Kaler et. al. 2012: 792 ff.).

<sup>12</sup> Bislang ergab sich die Haftung aus § 13 Abs. 1 VerkaufsprospektG, der auf die Prospekthaftung für börsenhandelte Wertpapiere gem. §§ 44, 45 BörsG verwies.

<sup>13</sup> Prospektverantwortlicher ist derjenige, der im Prospekt als Verantwortlicher genannt ist; Prospektveranlasser ist derjenige, der als tatsächlicher Urheber des Prospekts ein eigenes wirtschaftliches Interesse an der Emission hegt, etwa die Muttergesellschaft, auf deren Veranlassung eine Tochtergesellschaft die Emission begibt (vgl. v. Kaler et. al. 2012: 795 m. w. N.).

Die AG kommt insbesondere aufgrund ihrer Satzungsstrenge und den hohen Anforderungen an die Kapitalaufbringung und -erhaltung, dem relativ strengem Formalismus bei der Gründung einer AG, insbesondere bei Börsenzulassung (vgl. §§ 23 AktG, WpHG) sowie dem hohen administrativen Aufwand im Hinblick auf die Buchführung, Bilanzierung und Veröffentlichungspflichten allenfalls für die Umsetzung von EE-Projekten mit sehr großem Finanzierungsvolumen in Betracht, bspw. Off-Shore-Windparks, dürfte im Übrigen aber für diese Zwecke weniger geeignet sein als etwa die GmbH oder die GmbH & Co. KG.

Aufgrund ihrer körperschaftlichen Vorteile sowie ihrer weitergehenden Flexibilität in der Gestaltung des Gesellschaftsvertrags und der verhältnismäßig geringeren Kosten bei und den geringen formalen Anforderungen an Gründung und Betrieb eignet sich die GmbH für die Umsetzung jedweden Gesellschaftszweckes und ist grundsätzlich auch zur Umsetzung von (insbesondere kleineren) EE-Projekten gut geeignet. In Abhängigkeit von der konkreten Gestaltung des Gesellschaftsvertrages weist sie stärkere Vorteile entweder für den Initiator oder aber den investitionswilligen Bürger auf.

Konstruktiv und unter steuerlichen Aspekten dürfte aber insbesondere bei breiterer Beteiligung investitionswilliger Bürger die GmbH & Co. KG für die Umsetzung von EE-Projekten geeigneter sein. Vereint sie doch mögliche Vorzüge einer Personengesellschaft, bspw. weitreichende gesellschaftsvertragliche Gestaltungsfreiheit oder steuerliche Veranlagung auf Gesellschafterebene<sup>14</sup>, mit der Haftungsprivilegierung einer Körperschaft. Die Initiatoren, regelmäßig Gesellschafter (und Geschäftsführer) der Komplementär-GmbH, behalten die alleinige Kontrolle über die Geschäftsführung der GmbH & Co. KG und haben die alleinige

Vertretungsmacht inne (vgl. §§ 164, 161 Abs. 2 i. V. m. 114 HGB und §§ 170, 161 Abs. 2 i. V. m. 125 HGB), was aus Initiatorsicht einen klaren Vorteil zur reinen GmbH-Beteiligung darstellt<sup>15</sup> und diesen Abschöpfungsgewinne sichert. Andererseits können die Kommanditanteile auch gezielt vergeben werden, um insbesondere lokale Meinungsführer und potenzielle Gegner zu (wirtschaftlich) Beteiligten zu machen und so die Akzeptanz zu steigern (v. Kaler et. al. 2012: 792). Sie eignet sich vor allem auch zur Realisierung großer Projekte, etwa im Bereich von Photovoltaik, Wind oder Biomasse (vgl. Energie in Bürgerhand: Bürgersolarparks boomen 2010: 4 ff.), da für derartige Vorhaben „eine Organisationsstruktur mit zentraler Führungsverantwortung und einfachen Entscheidungsabläufen von erheblicher Bedeutung“ (v. Kaler et. al. 2012: 796) ist. Dagegen fallen bei einem großen Projekt der im Vergleich zur eG oder auch GmbH höhere Gründungs- und Betriebsaufwand<sup>16</sup> sowie das gegenüber der eG durch die echte Prospekthaftung erhöhte Risiko nicht so sehr ins Gewicht (im Vergleich zur eG ebenso v. Kaler et. al. 2012: 796, dort auch zum Folgenden). Die Bürgerbeteiligung hat hier neben der Akzeptanzverbreiterung auch den Zweck, private Investitionsmittel in erheblichem Umfang zu gewinnen und so die Konditionen der Projektfinanzierung durch eine Vergrößerung der Eigenkapitalbasis zu verbessern.

## » VII. SCHLUSSBETRACHTUNG

Vorliegend wurden die unter dem Stichwort der Bürgerbeteiligung für die Umsetzung von EE-Projekten im Rahmen der Energiewende diskutierten und grundsätzlich in Betracht kommenden gesellschaftsrechtlichen Beteiligungsmodelle vorgestellt und einer sowohl gesellschaftsrechtlichen als auch bank- und kapitalmarktrechtlichen

Bewertung hinsichtlich bestehender Haftungsrisiken von Initiatoren und Investoren unterzogen.

Danach sind aus Investoren- bzw. aus Initiatorsicht letztlich zwei gesellschaftsrechtliche Bürgerbeteiligungsmodelle besonders geeignet:

Die eG ist seit der Genossenschaftsrechtsnovelle von 2006 eine flexible und zukunftsorientierte haftungsbeschränkte Gesellschaftsform, die sich insbesondere aufgrund ihrer Bürgernähe für die Umsetzung der Energiewende insbesondere aus Investorensicht anbietet. Sie weist die demokratischsten Strukturen und damit die größte Möglichkeit der Einflussnahme auf Errichtung und laufenden Betrieb durch die Genossen auf. Aus Initiatorsicht ist das dank fehlender Prospektpflicht (vergleichsweise) geringere Haftungsrisiko hervorzuheben.

Die GmbH & Co. KG bietet sich vor allem aus Initiatorsicht für die Umsetzung der Energiewende an. Sie vereint Haftungsbeschränkung mit der gleichzeitigen Sicherung zentraler Führungsverantwortung zugunsten der Initiatoren. Aber auch aus Investorensicht bietet dieses Modell Vorzüge, wie insbesondere die Haftungsbeschränkung auf die geleistete Einlage und die steuerliche Veranlagung auf Gesellschafterebene.<sup>17</sup>

Schlussendlich bleibt festzuhalten, dass der konkreten Wahl einer (organisationsrechtlichen) finanziellen Bürgerbeteiligungsform durch Initiatoren wie auch Investoren Lenkungswirkung beikommt. Indem sie direkt die Art und Weise sowie den Grad der Einwerbung von Eigen- und Fremdkapital (mit) bestimmen, entscheiden sie auch über den Erfolg der Energiewende (mit). Ihre Wahlentscheidung hat nämlich zugleich Einfluss auf die Festlegung von Ort und Art des Einsatzes erneuerbarer Energien.

<sup>14</sup> Bestehen hier doch ggf. steuerliche Abzugsmöglichkeiten auf persönlicher Ebene infolge der getätigten Investition, etwa unter Ausnutzung des Investitionsabzugsbetrages zur Verlustverrechnung mit anderen Einkünften (vgl. Weßling 2012: 687 f.; Schanz 2011: 1773 m. w. N.; Fromm 2010: 207 f. m. w. N.).

<sup>15</sup> Dort sind die Initiatoren regelmäßig nur gleichberechtigte Gesellschafter (neben weiteren Investoren), so dass oftmals allein die Höhe der Kapitalbeteiligung über den Grad ihrer Einflussnahme auf die Gesellschaft entscheidet.

<sup>16</sup> Immerhin müssen mit der KG und der Komplementär-GmbH zwei Gesellschaften gegründet und geführt werden.

<sup>17</sup> Inwieweit steuerliche Aspekte aus Initiatorsicht- oder Investorensicht für das eine oder andere Modell sprechen, bleibt einer Prüfung des Einzelfalles überlassen.

## LITERATUR

- Althaus, M. (2012): Schnelle Energiewende – bedroht durch Wutbürger und Umweltverbände? Protest, Beteiligung und politisches Risikopotenzial für Großprojekte im Kraftwerk- und Netzausbau. In: Technische Hochschule Wildau [FH] – Wissenschaftliche Beiträge 2012, 103–114.
- Althaus, A. (2012): Genossenschaftliche Modelle bei der Realisierung von Anlagen der erneuerbaren Energien, Zeitschrift für deutsches und internationales Bau- und Vergaberecht 2012, Sonderausgabe, 36–42.
- Bödeke, V. (2011): Anlegerschutz und „Grauer Kapitalmarkt“ – Ein Überblick über die jüngsten Aktivitäten des Gesetzgebers. Gesellschafts- und Wirtschaftsrecht 2011, 278–281.
- Bönker, Ch. (2004): Windenergieanlagen auf hoher See – Rechtssicherheit für Umwelt und Investoren? In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 2004, 537–543.
- Brettschneider, F., Vetter, A. (2011): Bürgerbeteiligung durch Kommunikation – Kommunikation in der Bürgerbeteiligung. In: Die Gemeinde (BWGZ) 21/2011, 889–890.
- Degenhart, H. (2008): Zukunftsträchtige Geschäfte mit der Finanzierung erneuerbarer Energien. In: Betriebswirtschaftliche Blätter, Bd. 57, 500–502.
- Eisenhardt, U. (2009): Gesellschaftsrecht.
- Fromm, A. (2010): Die Photovoltaikanlage im steuerlichen Kontext. In: Deutsches Steuerrecht 2010, 207–210.
- Geldanlage in Solar (2012): Geldanlage in Solar mit dem Solarbausteinvertrag, <http://www.solverde-buergerkraftwerke.de/1/solarbeteiligungen/beteiligungsmodell/geldanlage-solar.html>, Zugriff: 15.09.2012.
- Geschwandtner, M., Helios, M. (2006): Neues Recht für die eingetragene Genossenschaft. In: Neue Zeitschrift für Gesellschaftsrecht 2006, 691–695.
- Grüneberg (2012): Kommentierung zu § 311 BGB. In: Palandt. Bürgerliches Gesetzbuch. Kommentar, 71. Auflage 2012.
- Holstenkamp, L., Ulbrich, St. (2010): Bürgerbeteiligung mittels Fotovoltaikgenossenschaften Marktüberblick und Analyse der Finanzierungsstruktur, Arbeitspapierreihe Wirtschaft & Recht Nr. 8, Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Wirtschaftsrecht.
- Holstenkamp, L. (2011): Bürgerbeteiligungsmodelle mittels Fotovoltaikgenossenschaften. In: Genossenschafts-Magazin, H. 3/2011, 31–33.
- v. Kaler, M., Kneuper, F. (2012): Erneuerbare Energien und Bürgerbeteiligung. In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 2012, 791–796.
- Klare, A.-Ch. (2010): Bürgersolaranlagen liegen im Trend. In: Weser-Kurier, 07.07.2010, <http://www.weserkurier.de/Artikel/Region/Niedersachsen/194051/Buergersolaranlagen-liegen-im-Trend.html>, Zugriff: 15.09.2012
- Kunkel, C. (2011): Anmerkung zur Entscheidung des Bundesgerichtshofs vom 19.07.2011, II ZR 300/08. Betriebsberater 2011, 2383–2388.
- LAG AktivRegion (2010): Energie in Bürgerhand: Bürgersolarparks boomen. In: LAG AktivRegion Nordfriesland Nord e. V. (Hrsg.): Neue Energien, Nr. 2, Oktober 2010, 4-5, [http://aktivregion-nf-nord.de/de/downloads/documents/pdf/Magazin/101013\\_neue\\_energien\\_Magazin\\_2.pdf](http://aktivregion-nf-nord.de/de/downloads/documents/pdf/Magazin/101013_neue_energien_Magazin_2.pdf), Zugriff: 15.09.2012.
- Merkel, A. (2011): Der Weg zur Energie der Zukunft, Regierungserklärung, Plenarprotokoll 17/114, <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btp/17/17114.pdf#P.12958>, Zugriff: 10.09.2012.
- Moritz, H., Grimm, P. (2004): Licht im Dunkel des Grauen Marktes? – Aktuelle Bestrebungen zur Novellierung des Verkaufsprospektgesetzes. Betriebsberater 2004, 1352–1357.
- Raiser, Th. (1999): Der Begriff der juristischen Person – Eine Neubestimmung, In: Archiv für die civilistische Praxis 199, 104–144.
- Reuter, D. (2007): Rechtsfähigkeit und Rechtspersönlichkeit. In: Archiv für die civilistische Praxis 207, 673–717.
- Reuter, D. (2012): Kommentierung zu §§ 21 ff. BGB. In: Münchener Kommentar zum BGB 6. Auflage 2012.
- Schmidt, K. (2002): Gesellschaftsrecht.
- Schanz, S. (2011): Die Vorteilhaftigkeit von Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung der Besteuerung. In: Deutsches Steuerrecht 2011, 1772–1777.
- Steding, R. (1999): Die eingetragene Genossenschaft – eine (noch) konkurrenzfähige Rechtsform zwischen Personen- und Kapitalgesellschaften?, In: Neue Zeitschrift für Gesellschaftsrecht 1999, 282–286.
- Stender-Vorwachs, J. (2012): Neue Formen der Bürgerbeteiligung? In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 2012, 1061–1066.
- Stumpf, C. (1998): Die eingetragene Genossenschaft. In: Juristische Schulung 1998, 701–706.
- VGF [Verband Geschlossene Fonds e. V.] (2010): Offizielle VGF-Branchenzahlen 2009. Fondsliste, [http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF\\_Branchenzahlen\\_2009/VGF\\_Branchenzahlen\\_Fondsliste\\_2009.pdf](http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF_Branchenzahlen_2009/VGF_Branchenzahlen_Fondsliste_2009.pdf), Zugriff: 15.09.2012.
- VGF [Verband Geschlossene Fonds e. V.] (2011): VGF-Branchenzahlen 2010, [http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF\\_Branchenzahlen\\_2010\\_alles/Eroeffnung\\_VGF\\_Branchenzahlen\\_2010.pdf](http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF_Branchenzahlen_2010_alles/Eroeffnung_VGF_Branchenzahlen_2010.pdf), Zugriff: 15.09.2012.
- VGF [Verband Geschlossene Fonds e. V.] (2012): VGF-Branchenzahlen. Geschlossene Fonds 2011, [http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF\\_Branchenzahlen\\_2011\\_alles/VGF\\_Branchenzahlen\\_Gesamtuebersicht.pdf](http://www.vgf-online.de/fileadmin/VGF_Branchenzahlen_2011_alles/VGF_Branchenzahlen_Gesamtuebersicht.pdf), Zugriff: 15.09.2012.
- Weßling, J. (2012): Erwerb eines 100%-Kommanditeils als Anschaffung eines Wirtschaftsgutes i. S. des § 7g Abs. 2 Satz 1 EStG? In: Deutsches Steuerrecht 2012, 687–688.

## AUTOR

**Prof. Dr. iur. Carsten Kunkel**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
Wirtschaftsprivatrecht, insbesondere Gesellschaftsrecht  
TH Wildau [FH]  
[carsten.kunkel@th-wildau.de](mailto:carsten.kunkel@th-wildau.de)

# BESCHREIBUNG EINES REGENERATIVEN ENERGIESYSTEMS MIT WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTÉCHNIK FÜR LEHRE UND ANGEWANDTE FORSCHUNG

Denny Ragusch, Michael Jergović, Siegfried Rolle und Lutz B. Giese

## Zusammenfassung

Angesichts der begrenzten Reichweiten fossiler Ressourcen und der durch ihren Verbrauch entstehenden Umweltprobleme, sind regenerative Energien notwendig für eine klimafreundliche Sicherstellung der Energieversorgung der Erde. Ein Hindernis für die breite Einführung regenerativer Energien ist, dass diese nicht grundlastfähig sind. Neue Speichertechnologien und komplexes Energiemanagement können hier Abhilfe schaffen. Die in dieser Veröffentlichung vorgestellte Anlage leistet hierzu einen Beitrag, insbesondere in der Ausbildung benötigter Ingenieure und Wirtschaftler. Kernkomponente dieser Anlage stellt die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik zur klimafreundlichen Erzeugung, Speicherung und Rückverstromung von Wasserstoff dar. Mittels regenerativer Energien wird mit einem Elektrolyseur Wasserstoff erzeugt. Die Speicherung erfolgt in Metallhydridspeichern, welche sehr gut an das Druckniveau des Elektrolyseurs angepasst sind. Die Rückverstromung erfolgt mittels Brennstoffzellen. Es wird auf die praxisnahen Experimentiermöglichkeiten dieser Anlage, die ersten Betriebserfahrungen und auf zukünftige Forschungsthemen, eingegangen.

## Abstract

Regarding the limited availability of fossil resources and the environmental impact by consuming them, thus Renewable Energy Sources (RES) are urgently needed to guarantee a climate-friendly global energy supply. However, while RES cannot supply the entire base-load, their introduction to the markets can be seen as handicapped. Smart energy storage and energy management systems may improve the situation. This publication is to demonstrate such a system which (i) is to be used to create scientific-technical progress and – as training equipment – (ii) may contribute in terms of educating engineers and scientists. Centerpiece of the appliance is the hydrogen and fuel-cell technology which is dedicated to generate and store hydrogen and furthermore to regain electricity in a climate-friendly way. Electrical energy from RES is transformed into hydrogen by a device called electrolyzer. The hydrogen is stored as hydrid in a metalhydrid-storage tank, which can be easily adapted to the gas-pressure level of the electrolyzer. In order to regain electricity, fuel-cells are to be used. This paper is to mention about (i) the experimental capabilities of the system in step with actual practice, (ii) first operational experience, and (iii) future fields of investigation and research.

## » I. EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas weisen gravierende Nachteile auf. Ihr Verbrauch ist umweltschädlich und die Ressourcen sind begrenzt. Die Kernenergie mit Ihren nicht lösbaren Entsorgungs- und Gesundheitsproblemen stellt ebenso keine sinnvolle Alternative dar (Geitmann 2004). Die Sicherstellung der Energieversorgung der Menschen im 21. Jahrhundert kann auf umweltschonende Art nur mittels regenerativer Energiesysteme erfolgen. Problematisch ist, dass Wind- und Solarenergie nicht grundlastfähig sind (Wedding 2010). Aus diesem Grunde sind für die kurz- und langfristige Speicherung überschüssiger Energiemengen aus den

erneuerbaren Energien neue Speichertechnologien notwendig. Konventionelle Pumpspeicherwerke sind grundsätzlich geeignet, aber unter anderem durch die topografischen Gegebenheiten begrenzt. Eine Alternative bieten Speicherkonzepte basierend auf der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik (Weltenergierat 2011). Weitere Vorteile von Wasserstoff als Energieträger sind unter anderem die Möglichkeit der dezentralen Herstellung, die CO<sub>2</sub>-Einsparung bei solarer Herstellung, Rückverstromung oder Verbrennung in modifizierten Verbrennungsmotoren, sowie die Kombination in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung. Die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik wird unter anderem von der Bundesregierung über

das Nationale Innovationsprogramm „Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ gefördert, sodass hier von einem Wachstum der Branche auszugehen ist.

Aktuell und auch zukünftig werden sehr gut ausgebildete Ingenieure, Betriebswirtschaftler und angrenzende Berufe, die mit dieser Technik sowie den betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten vertraut sind, benötigt. Daher wurde an der TH Wildau [FH] im Labor für regenerative Energietechnik ein regeneratives Energiesystem mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik für angewandte Forschung und Lehre aufgebaut, welches die breiten Anwendungsfelder Technik, Energiemanagement, Praxis,

betriebswirtschaftliche und rechtliche Aspekte abdeckt. Hieraus folgen die Zielstellungen der Ausbildungsinhalte. Im Ingenieurwesen sind das beispielsweise die Anlagentechnik, das Systemdenken und die Sicherheitsaspekte im Umgang mit Wasserstoff. Als betriebswirtschaftliche Aspekte ergeben sich daraus z. B. Anlagenkosten, Service und Wartung bis hin zu den rechtlichen Aspekten. Diese Anlage ist geeignet für all diese Ausbildungsrichtungen- und inhalte, praktische Erfahrungen zu vermitteln.

## » II. SYSTEMBESCHREIBUNG

Das regenerative Energiesystem mit Wasserstoff- Brennstoffzellentechnik wurde von der Firma Heliocentris errichtet und ist schematisch in der Abbildung 1 dargestellt. Der elektrische Teil ist als Inselssystem ausgelegt, bestehend aus Inselwechselrichter mit integriertem Batteriemanagement SMA Sunny Island SI5048, mit einem Batteriespeicher 4 x Hoppecke SB120 mit einer Akkusystemspannung  $V_{DC}=48\text{ V}$  und einer Speicherkapazität von  $Q_{\text{Akku}}=120\text{ Ah}$  zur Generierung einer einphasigen 230 V Wechselspannung, an welcher wechselspannungsseitig regenerative Energiequellen (Fotovoltaik Solarwatt  $P_{\text{Sonne}}=1100\text{ Wp}$ , Windkraftanlage Venco Twister 300T mit  $P_{\text{Wind}}=300\text{ Wp}$  und Brennstoffzellen 4 x Heliocentris Nexa 1200 mit insgesamt  $P_{\text{BZ}}=4,8\text{ kW}$ , welche einzeln zugeschaltet werden können) über entsprechende Wechselrichter SMA SunnyBoy, SMA WindyBoy und SMA

Hydroboy angeschlossen sind. Neben dem Akkumulator als Energiespeicher ist ein zukunftsweisendes Energiespeichersystem, basierend auf Wasserstoff als Energieträger, integriert. Dieses besteht aus einer Wasseraufbereitungsanlage, einem Elektrolyseur für die Wasserstofferzeugung, einem Metallhydridspeichersystem für die Wasserstoffspeicherung und den Brennstoffzellen für die Rückverstromung von Wasserstoff. Der PEM-Elektrolyseur Hogen S40 der Firma Proton Energy Systems kann maximal  $1\text{ Nm}^3$  Wasserstoff pro Stunde produzieren bei 7,36 kW elektrischer Leistung. Die Wasserstoffreinheit beträgt 99,9995 %. Der Wasserstoffspeicher besteht aus zwei Wasserstoffspeicherbänken mit jeweils 3 Metallhydridspeichern MHS1000IHE der Firma Treibacher Industrie AG. Das gesamte Speichervolumen beträgt ca. 23.400 Normliter Wasserstoff. Der maximale Beladedruck der verwendeten Metallhydridspeicher beträgt 30 bar. Prinzip bedingt – und für Forschungszwecke in einem erweiterten Bereich – können die Wasserstoffspeicher gekühlt (bei der Wasserstoffspeicherung) oder beheizt (bei der Wasserstoffentnahme) werden. Alternativ und für verschiedenste Fragestellungen können an der Anlage 200 bar Wasserstoffdruckgasflaschen verwendet werden. Weitere Bestandteile der Gesamtanlage sind Umwelt- und Laborsensorik zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit, der Intensität der Sonneneinstrahlung, der Temperaturen von ausgewählten Solarmodulen, Lufttemperatur und Luftfeuchte in der Umwelt und im Labor,

Wasserstoffsensoren für die Sicherheit, mehrere Druck- und Durchflusssensoren in der Anlage zur Bestimmung des Anlagenzustandes im zeitlichen Verlauf. Das System ist modular aufgebaut und kann um verschiedene Komponenten erweitert werden wie beispielsweise zusätzlicher Fotovoltaik- oder Windkraftanlagen, Brennstoffzellen, aber auch BHKWs oder Wärmepumpen für die Nutzung thermischer Energie.

Alle Systeme sind über eine Industriesteuerung (Siemens Simatic S7-300) kommunikativ verbunden, die gesamten Anlagenparameter und Messwerte werden in einer MySQL-Datenbank abgelegt und werden über einen OPC-Server bereitgestellt. Die Vernetzung ermöglicht eine intelligente Regelung und Steuerung der einzelnen Komponenten bis hin zum Abschalten einzelner Verbraucher. Verschiedene Regelungsstrategien für das Energiemanagement können direkt über die Betriebsführungssoftware an der Anlage getestet und visualisiert werden. Über die Visualisierungssoftware werden die einzelnen Experimente gestartet und die Anlage sicher gesteuert. Eine Fehlbedienung der Anlage ist somit ausgeschlossen.

## » III. EXPERIMENTIERMÖGLICHKEITEN

Die Betriebsführungssoftware der Anlage ermöglicht die Untersuchung der einzelnen Subsysteme und des Gesamtsystems, insbesondere der Wasserstofferzeugung inklusive Wasseraufbereitung mittels Elektrolyseur, der Wasserstoffspeicherung, der Rückverstromung von Wasserstoff mittels Brennstoffzellen, dem Betrieb als Inselstromnetz und des automatischen Energiemanagementsystems (EMS). Für die eben genannten Bereiche gibt es in der Betriebsführungssoftware vorbereitete Experimente, mit denen die Anlage gesteuert und wichtige Anlagenparameter visualisiert werden. Die Abbildung 2 zeigt ein Bildschirmfoto der Softwareoberfläche mit dem aktivierten Reiter „Übersicht“, auf dem die gesamte Anlage mit all Ihren Systemkomponenten dargestellt ist. Bei Anwahl eines Experimentes

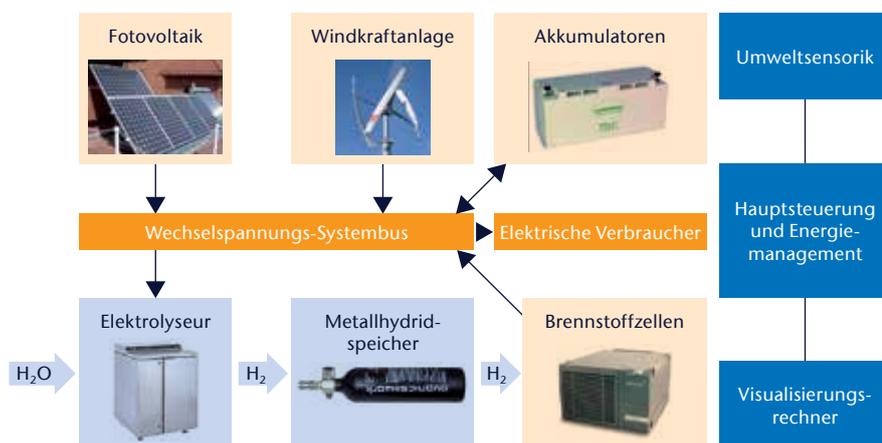


Abb. 1) Schematische Darstellung des regenerativen Energiesystems mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnik

werden nicht benötigte Anlagenkomponenten ausgeblendet und nur die jeweils für das Experiment benötigten Anlagenparameter sind verfügbar. Detailinformationen zu einzelnen Komponenten können zusätzlich abgerufen werden.

Für weitergehende komplexere Untersuchungen, die mit den vorbereiteten Experimenten nicht durchgeführt werden können, besteht die Möglichkeit, über den Zugriff auf OPC-Server und MySQL-Datenbank die Anlage innerhalb der Systemgrenzen zu steuern, und auf die aufgezeichneten Messdaten zuzugreifen.

» IV. ERSTE ERGEBNISSE

Die Inbetriebnahme wurde nach baubedingter Unterbrechung (Gebäudebrandschutz) und daraus folgenden Anlaufschwierigkeiten, wegen Stillstand von Komponenten, verzögert. Sowohl die einzelnen Systemkomponenten als auch die Subsysteme wurden erfolgreich auf ihre Funktionstüchtigkeit und ihr komplexes Zusammenspiel untersucht. Die Wasserstoffspeicher wurden mit dem vom Elektrolyseur erzeugten Wasserstoff beladen. Der gespeicherte Wasserstoff wurde mittels Brennstoffzellen

in elektrische Energie und Wärme umgewandelt. Verschiedene Verbraucher wurden mit elektrischer Energie aus dem Inselnetz versorgt und grundlegende Energiemanagement-Funktionen getestet. Das vorhandene Sicherheitssystem wurde umfassend geprüft und arbeitet innerhalb der Spezifikationen.

» V. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Lösung der Energieproblematik des 21. Jahrhunderts sind sehr gut ausgebildete Ingenieure, Betriebswirtschaftler und angrenzende Berufe nötig. Für einen Teil dieser Ausbildung und zu Forschungszwecken wurde ein bei Bedarf leicht erweiterbares regeneratives Energiesystem mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik im Labor für regenerative Energietechnik errichtet. Dieses System und die Experimentiermöglichkeiten wurden im Detail vorgestellt, Hauptmerkmal ist die klimafreundliche und CO<sub>2</sub>-neutrale Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyseurs über regenerative Energien sowie der Speicherung und Rückverstromung des Wasserstoffes. Die Anlage wurde erfolgreich in Betrieb genommen.

Forschungsgegenstände werden unter anderem die Praxistauglichkeit der einzelnen Systemkomponenten als auch das Zusammenspiel des komplexen Gesamtsystems sein. Hierzu gehören sowohl technische als auch wirtschaftliche und rechtliche Aspekte. Für den Bereich Energiemanagement und Energieeffizienz ist geplant, über Bachelor- und Masterarbeiten Modelle der einzelnen Systemkomponenten und komplexe Regelungsstrategien zu entwickeln und diese auf Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Mit der vorgestellten Anlage und der im Labor vorhandenen Solarthermieanlage kann insbesondere das zukunftsweisende Beispiel Energieautarkes-Einfamilienhaus abgebildet und experimentell untersucht werden.

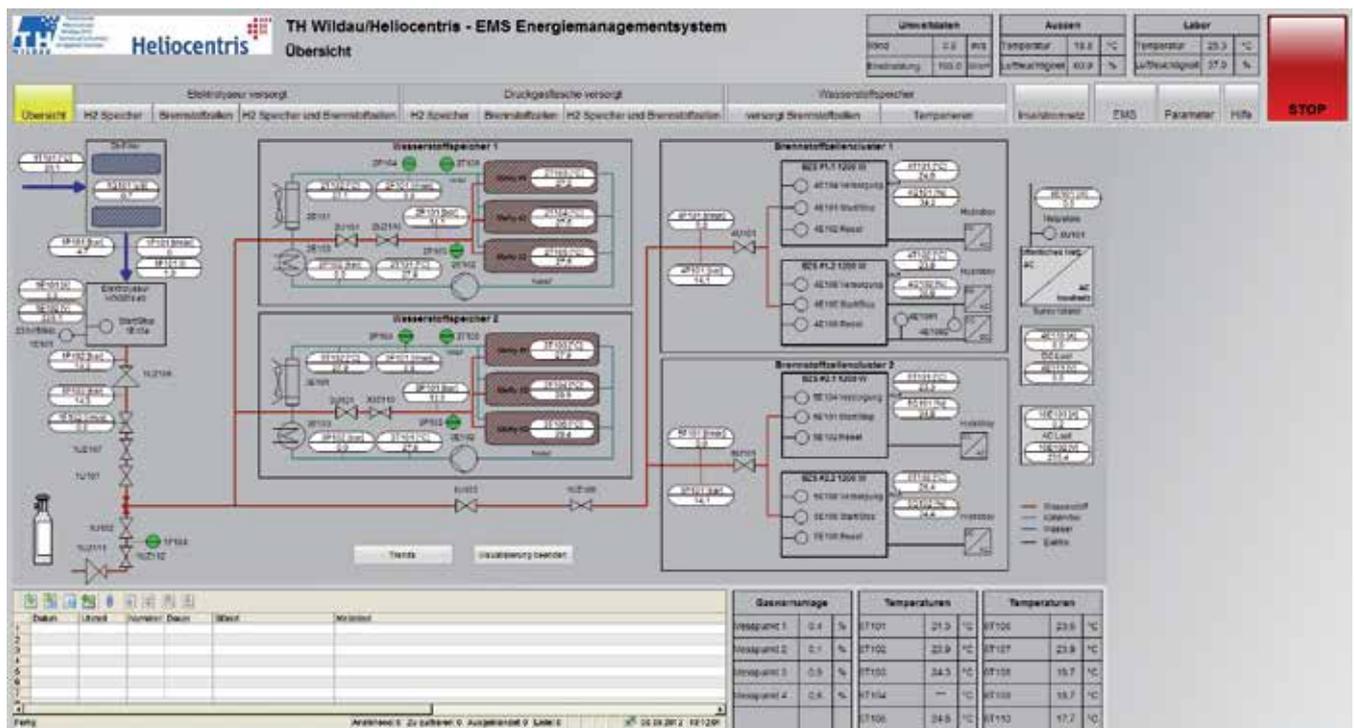


Abb. 2) Bildschirmfoto der Betriebsführungssoftware mit aktiviertem Reiter „Übersicht“

## LITERATUR

Geitmann, Sven (2004): Wasserstoff & Brennstoffzellen – Die Technik von Morgen.

Wedding, Steven Jörg (2010): Inbetriebnahme eines regenerativen Energiesystems mit Wasserstoff und Brennstoffzellentechnik.

Weltenergieerat – Deutschland e.V. (2011): Energie für Deutschland 2011 – Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext, Schwerpunktthema: Integration erneuerbarer Energien in das Stromversorgungssystem.

## AUTOREN

**M. Eng. Dipl.-Ing. [FH] Denny Ragusch**  
Labor für Regenerative Energietechnik  
TH Wildau [FH]  
denny.ragusch@th-wildau.de

**Dipl.-Ing. Michael Jergović**  
Labor für Regenerative Energietechnik  
TH Wildau [FH]  
michael.jergovic@th-wildau.de

**Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Rolle**  
Labor für Regenerative Energietechnik  
TH Wildau [FH]  
siegfried.rolle@th-wildau.de

**Dr. rer. nat. Lutz B. Giese**  
Labor für Regenerative Energietechnik  
TH Wildau [FH]  
lutz.giese@th-wildau.de

# PHOTOSCANNING-VERFAHREN ZUR NICHTINVASIVEN CHARAKTERISIERUNG FABRIKATIONSBEDINGTER DEFEKTE IN SOLARZELLEN

B. Schmieder, T. Döhler, S. Rolle, F. Ruede, T. Schurig, H. Ketelsen, B. Gruska

## Zusammenfassung

Das Photoscanning-Verfahren dient der zerstörungsfreien Detektion von Defekten in Solarzellen. Die Daten ermöglichen Rückschlüsse auf grundlegende physikalische Parameter der Zelle, wie zum Beispiel den Wirkungsgrad, bzw. mechanische Störungen. Es erlaubt eine umfassende Charakterisierung einer Vielzahl von unterschiedlichen Solarzellentypen. Innerhalb des Projektes werden diese Einsatzmöglichkeiten des Photoscanning-Verfahrens verifiziert. Seit 2011 wurde die Weiterentwicklung des Verfahrens innerhalb einer Kooperation mit der Firma SENTECH als Projektträger, der Physikalisch Technischen Bundesanstalt und der TH Wildau als Projektbeteiligte fortgesetzt.

## Abstract

The photoscanning method serves as a kind of measurement for non-invasive detection of mechanical and electrical defects in solar cells. The signals allow conclusions about basic physical parameters of the cell, e.g. the effectiveness or mechanical disturbances. It permits a widespread characterization of many different solar cell-types. Within the project, the possible applications of the photoscanning in the field of solar cells-characterization get verified. Since 2011 the advancement of the method continued with a cooperation of the company "SENTECH Instruments GmbH" as project leader, the "Physikalisch Technische Bundesanstalt" and the "Technical University of Applied Sciences Wildau" as project participants.

## » I. THEMATIK

Die zuverlässige Vermessung von Solarzellen im Produktionsprozess ist eine Möglichkeit, die Weiterverarbeitung fehlerhafter Solarzellen zu verhindern, den Ausschuss zu reduzieren, Kosten zu senken und die Qualität zu erhöhen. Als Folge können die Zellen am Markt günstiger angeboten werden. Um alle wichtigen Charakterisierungsmerkmale einer Solarzelle ermitteln zu können, stehen bislang nur Messverfahren zur Verfügung, die stichprobenartige Vermessungen der Eigenschaften zulassen bzw. nur bestimmte Parameter vermessen. Für die berührungslose Untersuchung sämtlicher prozessierter Zellen im Produktionsprozess auf elektrische Eigenschaften und mechanische Fehler gibt es derzeit kein Verfahren am Markt.

## » II. FUNKTIONSWEISE EINER SOLARZELLE

Eine Solarzelle besteht aus einem Gebiet mit Elektronenüberschuss (n-dotiertes Gebiet) und einem Gebiet mit Elektronenmangel (p-dotiertes Gebiet).

Diese beiden Gebiete bilden an ihrer Grenzfläche den pn-Übergang mit einer besonderen Potentialverteilung, auch Raumladungzone genannt. Durch die Einwirkung von Licht werden bei ausreichender Strahlungsenergie zusätzliche Elektronen-Loch-Paare generiert. Dies führt zur sogenannten Zellspannung einer beleuchteten Solarzelle und kann als elektrische Energie genutzt werden. Fehlerhaftes Material führt zum Verlust von Elektronen-Loch-Paaren und damit zum Verlust elektrischer Energie (Schmieder 2011).

## » III. AUSGEWÄHLTE VERFAHREN ZUR SOLARZELLENANALYSE

Es haben sich derzeit drei bildgebende Untersuchungsverfahren zur Qualitätskontrolle von Solarzellen etabliert: die Photolumineszenz, die Elektrolumineszenz und die Thermographie.

Photo- und Elektrolumineszenz nutzen den Rekombinationsprozess in einer Solarzelle aus. Die Ladungsträger werden durch eine äußere Energiequelle getrennt. Nachfolgend rekombinieren

die Ladungsträger wieder und senden dabei Photonen aus. Diese Photonen werden detektiert. Insgesamt erhält man also eine Information zum Lebensende der Ladungsträger. An Defekten ist die Rekombinationswahrscheinlichkeit größer, so dass hier eine höhere Photonenanzahl nachgewiesen wird.

Der Unterschied der beiden Verfahren liegt in den Untersuchungsbedingungen. Während bei der Elektrolumineszenz die Energiezufuhr (Anregung) über Kontakte an der Zelle erfolgt, kann die Anregung bei der Photolumineszenz kontaktlos über die Beleuchtung der Zelle erfolgen (Schmieder 2011, Kiliani 2009, Prietzel 2010).

Die Thermographie-Messung erfordert eine Lichtquelle im Infrarotbereich (Wärmestrahlung) und eine Infrarotkamera zur Detektion. Die zugeführte Wärme verteilt sich in der Solarzelle. Das Auftreten eines Defektes stört den Wärmefluss, wodurch fehlerhafte Bereiche verdeutlicht werden können (Käs 2003, Eigenbrod 2009). Dies wurde im Rahmen des Projektes nachgestellt.



Abb. 1) Photographie einer defekten Zelle

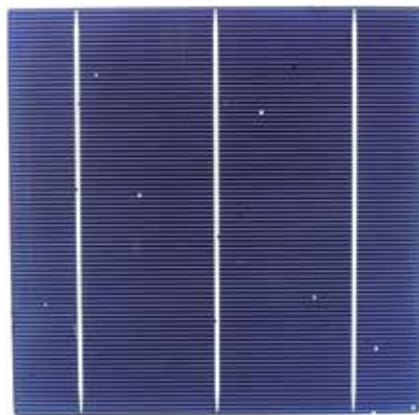


Abb. 3) Photographie einer Solarzelle mit Frontdruckfehlern (weiße Punkte)



Abb. 5) Photographie der Zelle 18

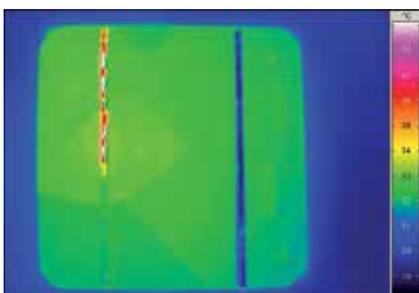


Abb. 2) Thermographie-Untersuchung einer defekten Zelle

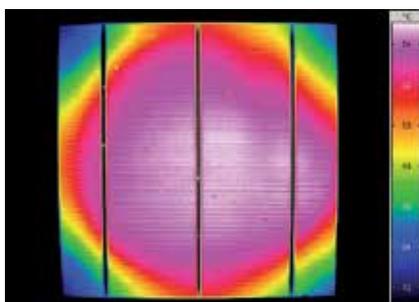


Abb. 4) Thermographie-Untersuchung einer Solarzelle mit Frontdruckfehlern

In Abbildung 2 sind deutlich Brüche in der Zelle detektiert, die in der optischen Ansicht (Abbildung 1) nicht zu erkennen sind. Die Oberflächenfehler in Abbildung 3 und 4 können ebenfalls mit diesem Verfahren untersucht werden.

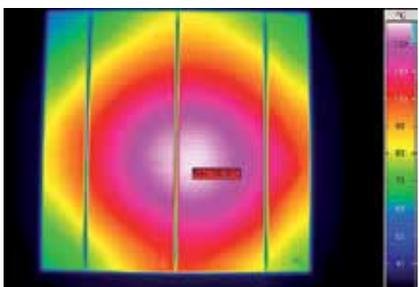


Abb. 6) Thermographie-Messung der Zelle 18



Abb. 8) Elektrolumineszenzaufnahme der Zelle 18

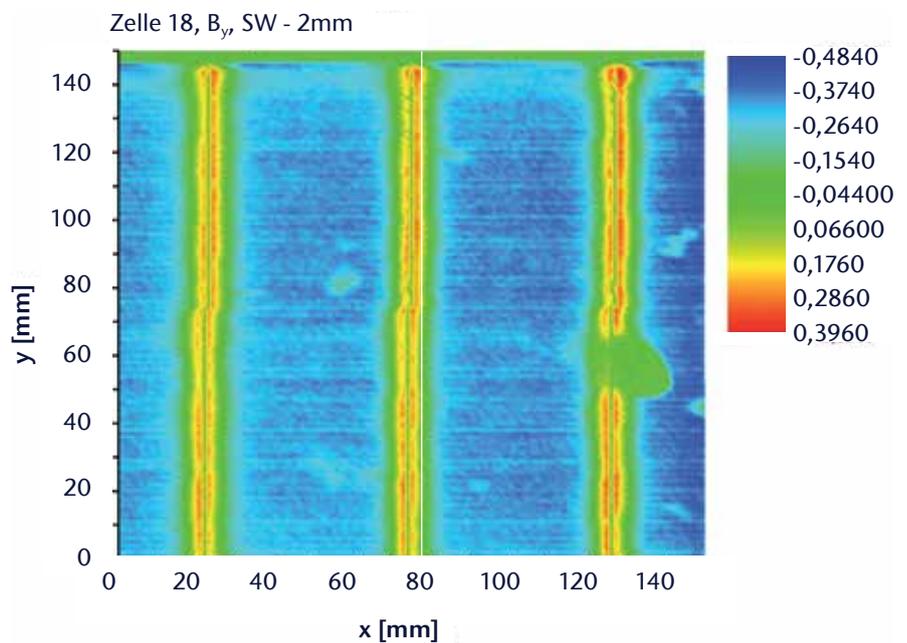


Abb. 7) Photoscanning-Aufnahme der Zelle 18

Nicht detektierbar sind Fehler in den elektrischen Eigenschaften, wie der Vergleich in den Abbildungen 5–8 zeigt. Hier ist bereits ein Vergleich mit einer Photoscanning-Aufnahme zu sehen, welche den elektrischen Defekt rechts im Bild deutlich zeigt.

#### » IV. PHOTOSCANNING-VERFAHREN

Im Photoscanning-Verfahren wird das physikalische Phänomen der Induktion genutzt, um ein Abbild des Stromflusses innerhalb der Solarzelle wiederzugeben. Dabei werden definiert ausgerichtete Spulen systematisch über eine Probe geführt (Scannen), um die lokal durch Laser angeregten Ströme in der Solarzelle zu detektieren. Wie in Abbildung 10 dargestellt, werden die generierten Ströme (weiße Pfeile) im Material von Magnetfeldern (grüne Pfeile) ringförmig um diese Ströme begleitet, die dann in der Messspule eine Spannung induzieren und detektiert werden können. Über den „Umweg“ Magnetfeldes können die elektrischen Eigenschaften der Solarzelle bestimmt werden. Bei einer defektfreien Zelle bewegen sich die Ströme in Richtung der Leiterbahnen. Wenn ein Defekt den Stromfluss stört, ändert sich die Richtung des Stromflusses, und es kann zwischen fehlerhaftem und fehlerfreiem Material unterschieden werden.

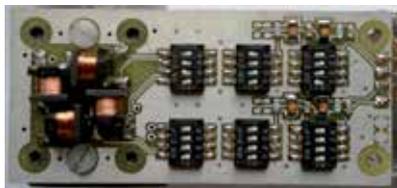
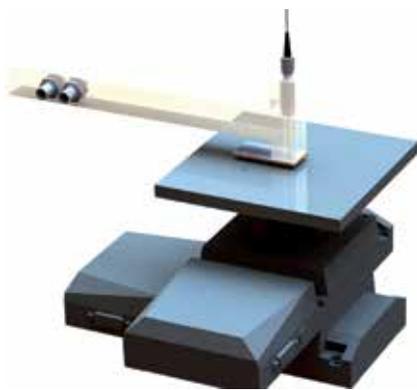


Abb. 9) Darstellung des Messtisches mit Messarm, Spulenkopf und Laser (links), neu entwickelter Messkopf (PTB) (unten)

Da beim Photoscanning-Verfahren mithilfe des Laserspots nur sehr lokal angeregt wird, sind die erzeugten Stromstärken bzw. die resultierenden Magnetfeldstärken auch nur sehr gering. Um äußere Störeinflüsse, wie beispielsweise elektromagnetische Streufelder elektrischer Geräte, aber auch Einflüsse des Erdmagnetfeldes, möglichst gering

zu halten, wird die sogenannte Lock-In-Technik angewandt. Sie ermöglicht die Trennung des Messsignals von störenden Umgebungssignalen.

Dabei wird der anregende Laserstrahl mit einer bestimmten Frequenz gepulst, die sich dann sowohl im erzeugten Stromfluss als auch im detektierten Messsignal wiederfinden lässt. Zum Herausfiltern dieses Signals wird ein Bandpassfilter benutzt. Dadurch werden nur die messrelevanten Signale ausgewertet und die Störsignale weitgehend ausgeblendet. Zusätzlich muss das Signal verstärkt werden (Ragusch 2005; Schmieder 2011).

Abbildung 11 zeigt die Darstellung der Photoscanning-Messung einer weitgehend defektfreien Zelle.

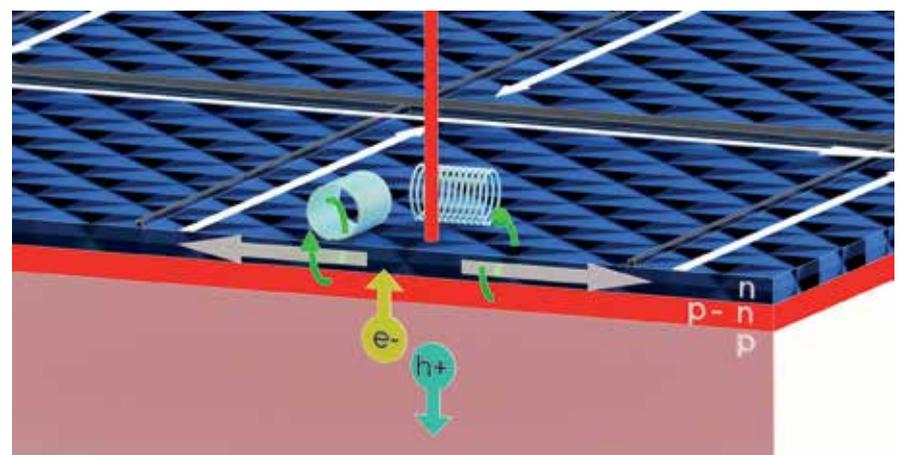


Abb. 10) Aufbau einer Solarzelle mit Hinweis auf Ladungsträgerbewegung ( $e^-$ =Elektron und  $h^+$ =Loch), Magnetfeldrichtung und Spulenposition

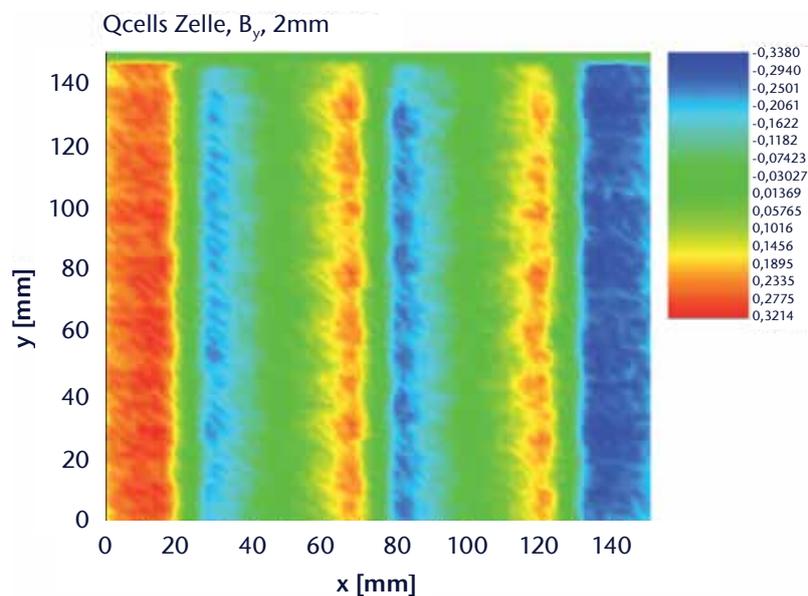


Abb. 11) Photoscanning-Aufnahme einer defektfreien Solarzelle

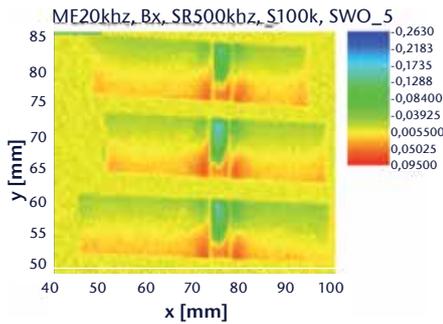


Abb. 12) Photoscanning-Aufnahme von CIS-Zellen

#### » V. DEFEKTE IN SOLARZELLEN

In einer Solarzelle kann es zu verschiedenen Fehlern kommen, die sich unterschiedlich auf den Wirkungsgrad der Zelle auswirken. Grobe Fehler sind Brüche und Leiterbahnunterbrechungen, weite Teile der Solarzelle werden unbrauchbar. Es gibt jedoch auch kleine Brüche, sogenannte Mikrorisse, die mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind. Auch diese Zellen müssen ausgesondert werden.

Ebenfalls negativen Einfluss auf die Leistung einer Solarzelle hat ein sogenannter Shunt. Das ist ein Kurzschluss zwischen p- und n-Gebiet der Solarzelle. Die Elektronen bewegen sich nicht wie gewünscht über die Leiterbahnen, sondern nehmen den kürzeren Weg über die Stelle des Shunts, um zu rekombinieren. Dieser Teil der Zelle leistet keinen Beitrag zur Gesamtenergiebilanz einer Solarzelle.

#### » VI. KONZEPTEINERSTANDARDPROBE

Da die Defekte in der Praxis mit unterschiedlicher lokaler Ausdehnung und Form auftreten und das Photoscanning-Verfahren durch die variable Nachweiselektronik kein absolutes Verfahren ist, ist es notwendig, eine standardisierte Vergleichsprobe einzuführen. Zum einen kann die Reproduzierbarkeit der Messung über lange Zeiträume kontrolliert werden, zum anderen ermöglichen vorhandene definierte Fehler eine Aussage über zugehörige Signalauswirkungen und laterales Auflösungsvermögen. Deshalb wurden verschiedene Fehler, z. B. Flächen- oder Linienfehler, mit variierenden Ausdehnungen in diese Standardprobe eingebracht.

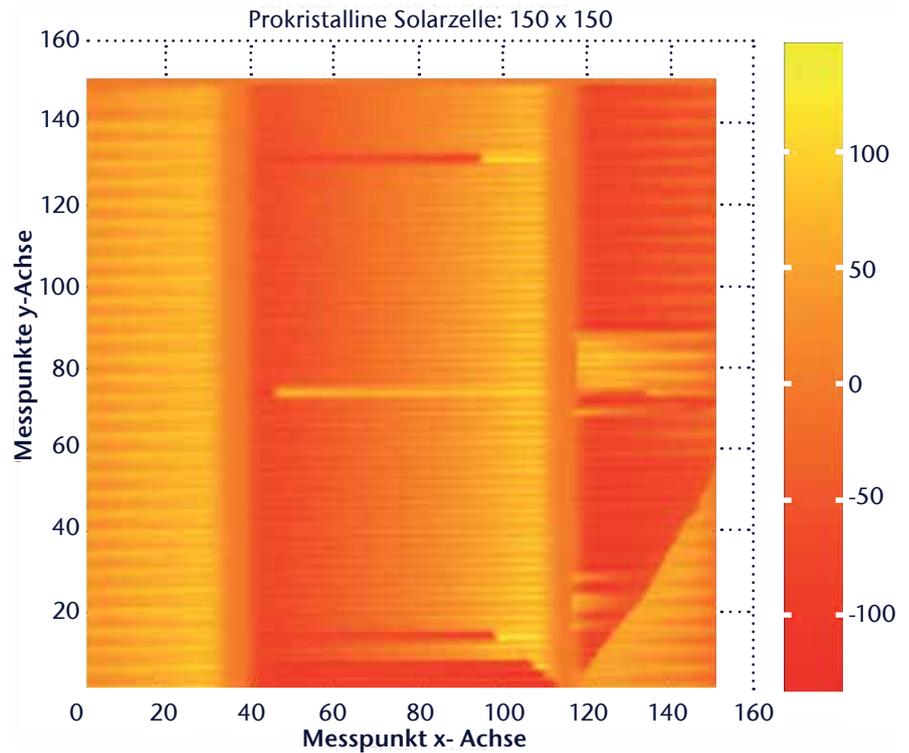


Abb. 13) Photoscanning-Aufnahme einer polykristallinen Solarzelle mit Leiterbahnunterbrechungen und Brüchen

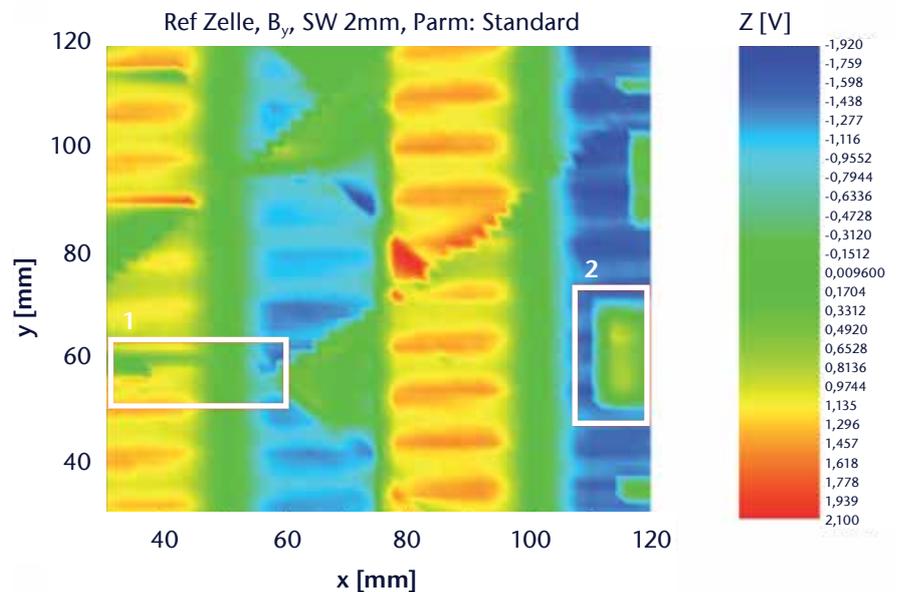


Abb. 14) Vollständige Photoscanning-Aufnahme der Standardprobe

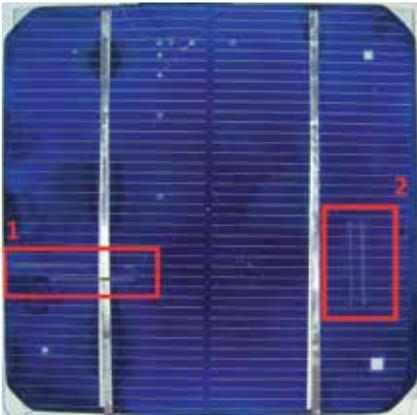


Abb. 15) Photographie der Standardprobe mit ausgewählten Fehlern

## » VI. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Photoscanning-Verfahren ermöglicht die Detektion verschiedener Defekte in Solarzellen, z. B. Brüche oder Leiterbahnunterbrechungen. Dies wurde an siliziumbasierten Solarzellen nachgewiesen. Mit einem verbesserten Messkopf konnten auch Dünnschichtzellen vermessen werden. Ein Vergleich des Photoscanning-Verfahrens mit anderen Messverfahren zeigt, dass es zumindest gleichen Informationsgehalt aufweist. Die aufgenommenen Signale der Magnetfeldstärke lassen zusätzlich Informationen über die elektrischen Eigenschaften der Solarzelle erkennen, aus denen künftig der Zellwirkungsgrad und die Quanteneffizienz bestimmbar sein sollten. Derzeit ist für die Untersuchung einer Solarzelle (Abrasterung) mehr Zeit notwendig als im Produktionsprozess für Qualitätskontrolle zur Verfügung steht. Um diesen Nachteil zu beseitigen, wird ein Messaufbau angestrebt, der mit mehreren Messköpfen gleichzeitig arbeitet und dadurch den Rasterweg und die Messzeit vermindert.

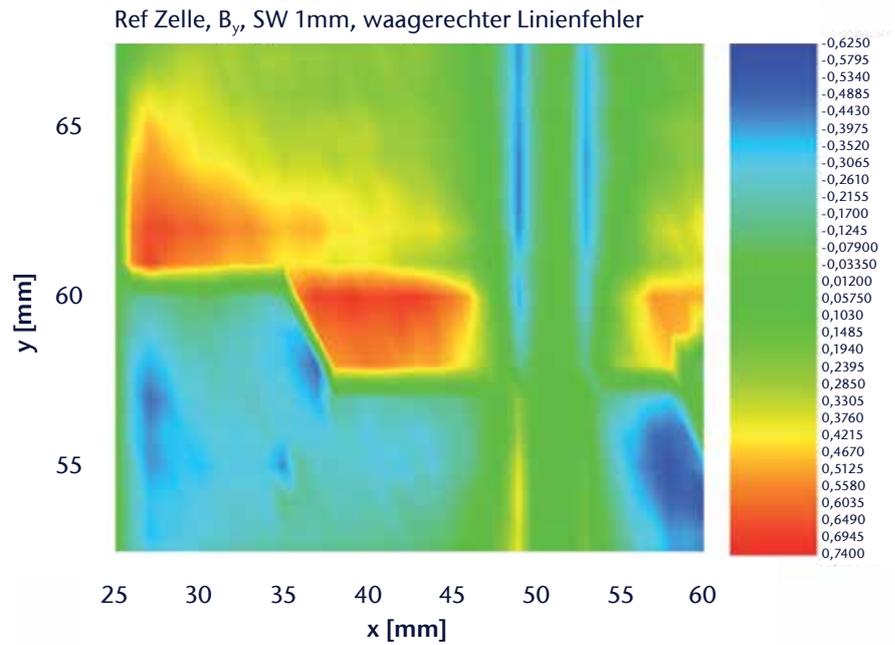


Abb. 16) Messung eines Ausschnitts (1) der Standardprobe mit waagerechem Linienfehler

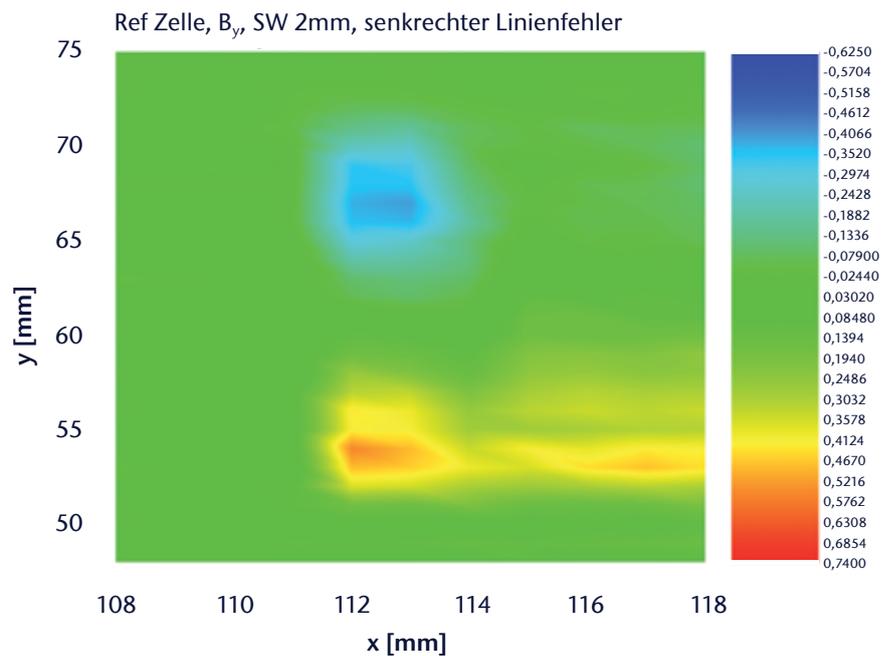


Abb. 17) Messung eines Ausschnitts (2) der Standardprobe mit senkrechtem Linienfehler

## LITERATURVERZEICHNIS

Ragusch, D., Beyer, J., Drung, D., Jergovic, M., Rolle, S., Schurig, T. (2005): Photoscanning-Methode zur nichtinvasiven Charakterisierung fabrikationsbedingter Defekte in Solarzellen, Technische Hochschule Wildau.

Schmieder, B. (2011): Einsatzmöglichkeiten des Photoscanning-Verfahrens zur Qualitätskontrolle von Photozellen, Bachelorarbeit, Technische Hochschule Wildau.

Kiliani, D. (2009): Aufbau eines Lumineszenz-Messplatzes zur Charakterisierung von Solarzellen, Diplomarbeit, Universität Konstanz.

Prietzl, K. (2010): Elektrolumineszenz-Untersuchungen an Kupfer-Indium-Sulfid Dünnschichtmodulen, Diplomarbeit, Technische Hochschule Wildau.

Käs, M. (2003): Thermographiemessung an Solarzellen, Diplomarbeit, Universität Konstanz.

Eigenbrod, H., Fulga, S. (2009): Wärmefluss thermographie zur Rissdetektion an Solarzellen, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung.

## AUTOREN

**B. Schmieder**  
TH Wildau [FH]  
benjamin.schmieder@gmx.net

**T. Döhler**  
TH Wildau [FH]  
tdoehler@th-wildau.de

**S. Rolle**  
TH Wildau [FH]  
rolle@th-wildau.de

**F. Ruede**  
Physikalisch Technische Bundesanstalt  
Abbestraße 1, 10785 Berlin  
frank.ruede@ptb.de

**T. Schurig**  
Physikalisch Technische Bundesanstalt  
Abbestraße 1, 10785 Berlin  
thomas.schurig@ptb.de

**H. Ketelsen**  
Sentech Instruments GmbH  
Schwarzschildstraße 2, 12489 Berlin  
helge.ketelsen@sentech.de

**B. Gruska**  
Sentech Instruments GmbH  
Schwarzschildstraße 2, 12489 Berlin  
bernd.gruska@sentech.de

# OUR MOBILE AS AN EVERYDAY LIFESTYLE OBJECT

## HOW HAS IT CHANGED OUR DAILY LIFE AND WHAT ARE THE CHALLENGES FOR THE FUTURE?

Bernd Eylert

### Zusammenfassung

Der Autor hat zu diesem Thema ein Projekt unternommen und das Ergebnis am 23. März 2012 am Tag der offenen Tür des Centers for Telecommunication Research (CTR) des King's College, London [Eylert: 2012] vorgetragen. Im Zentrum des Beitrags steht die Rolle, die die mobilen Medien im Kontext sozialer Netze spielen. Während sich in den Anfängen der Mobilkommunikation der Begriff „Service“ bestenfalls auf die Telefonie allein bezog, hat sich der Begriff im Laufe der Zeit in der Telekommunikation entwickelt und stark verändert. Damit einhergehend veränderte sich auch der Einfluss der technologischen Entwicklung auf die Gesellschaft und umgekehrt. Besonders deutlich wird das am Beispiel der Nutzung von Facebook über Smartphones.

### Abstract

The author carried out a project on this subject and presented the results at CTR's Open Day on 23rd March 2012 at King's College in London [Eylert: 2012]. The key point of the study is the role of services in the telecommunication business and its development in the role of social networks in modern telecommunication media. The report takes a look at the implication of new services in mobile telecommunications regarding their influence on the society and vice versa. A specific example is given in the use of Facebook through smartphones.

### » INTRODUCTION

First of all we will look back into the development of the mobile communications history and explain the reasons they were created for. Then we will have a look at the present use of mobile communication systems followed by a glimpse into the challenges for the future and the lessons learned from the past.

### » I. THE HIGHLIGHTS OF MOBILE COMMUNICATIONS GENERATIONS

#### The first milestones

We could say mobile communications started with Marconi's first trials of mobile telegraphs followed by the introduction of his system on British and Italian vessels in 1903 as a maritime communication system. It was a semi-public system; it was mainly used under governmental auspices.

The next highlight of mobile communications was the introduction of the railway telephone system in Germany [Baumann, Gold: 2000, p. 77/78] called "Zugtelefonie", in 1925 during the International Communications

Exhibition (IFA) in Berlin by German Railways (Deutsche Reichsbahn) and German P. O. (Deutsche Reichspost). It was the first commercial terrestrial mobile system, using a duplex channel, in common with the plain old telephones, working on long waves (LW). Zugtelefonie was mainly used by business people or by "the rich & the beautiful", very wealthy people of the "Roaring Twenties".

The first system, which we could call the ancestor of our today's mobile systems, was the Mobile Radiotelephone Service (MTS), introduced in 1946 in St. Louis, Missouri. It was the first car phone system working on semi-duplex and a start in a modern communication society.

This system was followed by a lot of new and different mobile systems as a national product in many industrial countries in North-America, Europe and the Far East. Only a few of these systems were exported. All systems were seen as a national asset of their Government owned P. O's. Only the Scandinavian countries decided in 1981 to introduce an international mobile communication system, called Nordic Mobile Telephone (NMT). It

was an analogue system working duplex in the 450 MHz-band, later also in the 900 MHz-band and after 1990 it was introduced into many Eastern European countries to start a new economy with mobile communications. NMT was a milestone in the evolution of mobile communications because it was the first system allowing international roaming. All these systems are based on analogue technology, today called the 1<sup>st</sup> Generation of Mobile Communication Systems (1G).

#### Global System for Mobile Communications

After the four mentioned highlights – Marconi's Maritime Communication System, the German Zugtelefonie, MTS and NMT – the 5<sup>th</sup> milestone in the evolution of mobile communications was the realisation of an old idea of having a Pan-European mobile communication system. The first steps were taken by the French president, François Mitterrand, and the German chancellor, Helmut Kohl. They formed a French-German axis that should include a mobile communication system working in both countries. German and French P. O's (Deutsche Bundespost and PTT France) and the national telecommunication industries received the

order to propose a digital mobile communication system working on 900 MHz, called D900. With this idea the two P. O's went to CEPT<sup>1</sup>. There, the idea was finally shared and CEPT established a working group called Group Spéciale Mobile (GSM). Today, as we all know, a new system was born. However, it still took some time until a broad community anticipated the system and in 1987 a MoU<sup>2</sup> between 14 operators (13 PTT's, plus Vodafone) of 13 countries was signed. One of the goals was to start the system in the early beginnings of the 1990's.

But what was so important about GSM? With respect to a stronger co-operation between the West-European countries in the former EEC<sup>3</sup> and the plans to establish a real European Union, which happened (more or less) with the Treaty of Maastricht in 1992, the governments of the 15 EEC countries urged the European Administrations and industry to build a Pan-European mobile communication system which could intensify the political and economical co-operation between them. That was at first a political goal. There were some more political requirements for GSM, e. g.

- GSM should be a telephone system, optimized on speech.
- It should be the first digital mobile system as a consequence of the introduction of ISDN<sup>4</sup> in the fixed network.
- Following different political problems in the member countries another requirement for GSM was cryptic speech. GSM should be the first mobile system secured e. g. against eavesdropping.

Finally, it should make Europe ready for high quality telecommunication export.

The technical challenges of GSM were broad and different. One of the main problems was the digitalisation of

speech, working properly in all environments.

E. g., the author remembers quite well the difficult tasks in the laboratories of the PTTs and the telecommunication industries to get the vocoders to do what people expected them to do. But that was not the only challenge; more technical requirements were requested:

- New transmitters and receivers had to be built as well as a complete new network.
- Which modulation should be used?
- What should be the access technology?
- What should be the coding rate?

But what made GSM special? For the first time ever, with GSM a mass market for mobile telecommunications opened, which nobody had expected before. Therefore, GSM was a real revolution in mobile communications, not so much from a technical point of view, but certainly from a social point of view. Whoever wants a mobile phone, rich or poor, everyone can have it today for a reasonable price. That also explains the enormous success of GSM in developing countries. Technically, GSM started the 2<sup>nd</sup> Generation of mobile communication systems. We call it "2<sup>nd</sup> Generation", because the main technological swap was from analogue to digital. Additionally, what you should keep in mind is the fact that GSM was planned as a Pan-European system, optimised on speech, and ended up probably as the most successful technology that captured the world's communication markets.

### Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

Another very important step for the mobile industry was the evolution from GSM to UMTS: the Universal Mobile Telecommunications System. It was born 24 years ago in the late 1980s

in the European research project RACE I (Research in Advanced Communications Equipment), a project with the political goal that the enhanced mobile system should be built on GSM with a focus on a worldwide introduction of European technology from the year 2000 onwards. That means two things: Firstly, in those early days, nobody had any inkling that GSM would be once, in the late 90s of the last century, the number one of mobile communication systems in the world and secondly, the European telecommunication industry should be able to compete with the world leaders in communications technology at that time. So the political requirements for UMTS were:

- Create a world wide communication system (universe).
- Enable the European industry to compete against world leaders on very high level of communication technology.
- Digital telephone system, based on GSM, optimised for data communication.
- Advanced cryptic speech, protecting against eavesdropping.

There were also some technical requirements for UMTS:

- Evolutionary system building on GSM
- New transmitters & receivers
- Modulation
- Access technology
- Coding rate
- Advanced crypto system
- Customer friendly system working when roaming in a so-called "virtual home environment (VHE)"

<sup>1</sup> Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications

<sup>2</sup> Memorandum of Understanding

<sup>3</sup> European Economic Community

<sup>4</sup> Integrated Services Digital Network

However, the technical requirements followed the political requirements. Technically, the main difference between GSM and UMTS aside from speed and capacity was the focus on data communications. Researchers expected that the revenue on simple voice communications would remain a vital component but would be overtaken by 2010 by non-voice 3G services. In 2010, two thirds of the operator's ARPU would be related to non-voice 3G services, like mobile internet access, mobile entertainment, location-based services et alia and only a third would remain on simple voice (telephony) according to UMTS Forum's Market Study [UMTS Forum: 2001, p. 64ff]. That was a new challenge and required a new technical system as an evolution of GSM. To make that happen, discussions and decisions in international organisations like ITU and ETSI were very exciting. Europe was not the only region where administrations and industries pushed the new telecommunication generation development forward. Also the US and the Japanese industry were lobbying intensively to get their interests in place. Finally, all players needed to compromise, which means that not a single idea, invention or investment goes straight ahead. The hope is that in the end all participants are even happy (or unhappy), which is how compromises usually work.

### The role of services

To talk about all the technical achievements means carrying coal to Newcastle („*Eulen nach Athen tragen*“), but with the new target of data communication a question arose asking which services could be offered on the new mobile system. The word “service” was not used for telephony in the past, except when talking about ISDN, but which services could go on mobiles in addition to voice and facsimile? The internet as a public service wasn't invented before the early years of the 1990s. So services as we know them today, were a new item discussed from 1990 onwards. The UMTS Task Force, a telecommunications expert group that advised the European Commission on next generation mobiles in the mid 1990s, as well as the 3<sup>rd</sup> generation

development group of the GSM Association created in their final reports in 1996 some new personalised services for mobiles, like business information (e. g. stock exchange news), video telephony, mobile banking etc. The UMTS Forum specified these services in its first Report on “A Regulatory Framework for UMTS” to the European Commission, DG XIII, and has put itself in the driving seat for this development when it published several reports on enabling new Services & Applications [UMTS Forum: 2000] and market expectations. Then the global playing field understood the new challenges of UMTS and especially the industry played on this organ quite aggressively during the spectrum auction process in the year 2000 mainly in the UK and in Germany. That has caused also a lot of misunderstandings, because “John Doe” and “Herr Jedermann” got the impression that the new glorious mobile world would spring up very soon for everybody. There is a timeframe greater than zero between the brilliant ideas of creative people and the introduction of a new system into the market. Finally, after many years and as expected from the experts, the 3G system turned out to be economically quite successful, especially with its further technical development of HSDA<sup>5</sup>.

### » II. THE CHALLENGES FOR THE FUTURE

Regarding technology, the early engineers had an idea about what the terminals should look like. E. g., the author initiated a design study through T-Mobil at University of Applied Sciences Cologne in the late 1990s how a future UMTS terminal could be designed.

We were close to today's look, but the technology to build in was still far behind. Anyhow, people's expectations and users' requirements have changed tremendously. Young people between 14 and 29 in particular have a completely different behaviour of using mobile phones than the elderly group [Czok, Gurczik: 2006]. We still use SMS for text messaging. The industry wants

to make money with their products. In the early days of GSM SMS was free. SMS was developed as a service tool for technical maintenance and discovered in Finland by young people as a cheap alternative to, at that time, quite expensive calls. The operators understood and soon charged the users for text messaging. Finally, it was one of the best big businesses of operators, low investment and very big revenues! When UMTS was developed, MMS should have been the tool that replaced SMS and provided even larger revenues. As we know, MMS provides more freedom, space and the opportunity to deliver pictures as well, one of the early day's key items of UMTS services. The early adaptors first used MMS, but the operators charged it too high; customers, especially youngsters, escape to the internet, sending emails or even better, Facebook's IM service and on the whole MMS failed as a killer application. With the next generation, LTE, operators try it again with the new service called JOYN. JOYN is the keyword for a service published recently at the Barcelona Mobile Communications Fair which will be ready soon as an application on all mobiles and gives people the opportunity of sending more than 160 characters. JOYN is an app that works on the internet; most people have a flat rate for internet usage and do not pay an extra service charge. On the other hand, network operators (NO) see a chance to charge people for JOYN when roaming, different to text message services SMS today. With JOYN network operators also hope to escape from the given restrictions, e. g. by the EU-commissionaire, by markets and competition. The point is, SMS, MMS, JOYN are services created and charged for by the operators. Most services the founding fathers of UMTS were thinking about turned away to third parties and operators thought at that time that they themselves would dominate this market as the oldest kids in the block.

<sup>5</sup> High Speed Data Access

### The i-kids

The reader's attention is now drawn to one system that may surprise him: NTT DoCoMo introduced in 1998 a new system, called i-mode (!). This is a very good example for Japanese creativity. GSM was struggling with its WAP-Service based on GPRS<sup>6</sup> technology, which should give customers access to the internet, but failed because of unsolved software problems. NTT DoCoMo's i-mode services offered to the customers:

#### i-mode logo & services



<p><b>Transaction</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Banking</li> <li>■ Security Trading</li> <li>■ Ticket Reservation</li> <li>■ Airline Information/Reservation</li> <li>■ Credit Card Information</li> <li>■ Book Sales etc.</li> </ul>	<p><b>Data base</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Telephone Directory Search (Yellowpage)</li> <li>■ Restaurant Guide</li> <li>■ ATM locations</li> <li>■ Dictionary Service</li> <li>■ Cooking Recipe etc.</li> </ul>
<p><b>Entertainment</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Network Game</li> <li>■ Character Download</li> <li>■ Horoscope / Fortune telling</li> <li>■ Karaoke / Song Check</li> <li>■ FM Radio Information</li> <li>■ Club Event Information etc.</li> </ul>	<p><b>Information</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ News Updates</li> <li>■ Weather Information</li> <li>■ Sports News</li> <li>■ Stock Quotes</li> <li>■ Business/Technology News</li> <li>■ Town Information</li> <li>■ Horse Racing Information etc.</li> </ul>

Fig. 1) i-mode Logo & Services [UMTS Forum: 2000 GA19]

The business model was very clever and gave NTT DoCoMo a good deal of the revenues generated by third parties. On the whole, i-mode was a great success in Japan, but could not be replicated in the same way in Europe, e.g. introduced by KPN (NL) and e-plus in Germany. A few years later Apple would flood the market with its new i-world, starting with the iPod.

But there was one item as far as the author remembers, that nobody foresaw in those early days: The development of social networks. Most of the founding fathers of UMTS had not even understood the meaning of social networks as it is seen today. Facebook, YouTube and other social networks had not yet been created, and probably, the engineers of that time were not the right computer nerds to think of that. And even Steve Jobs of Apple wasn't that far in getting the technology ready

for the switch from plain old telephone services (POTS) to modern computer/internet facilities as we see them today.

The introduction of Apple's iPhone in 2007 turned the whole value chain and revenue situation for mobile operators upside down, supported by a most questionable strategy of one specific operator in Europe. Well, Apple was able to introduce immediately a lot of services, now called apps, some free, others with a small charge only, where operators were not able to compete. But that also changed the revenue situation in favour of third parties, here especially for Apple. Users have to register on iTunes and soon the consumer data are with Apple and only a small part of the customer data base will remain with the mobile operator. Of course, iPhone and its services were an advantage for the customers and finally the progress of a stuttering UMTS market. iPhone was the turbo for the introduction of smartphones into a boring market. Google, Sony, RIM and all the other vendors of new mobiles, called smartphones, were just followers.

Calling GSM the first revolution of mobiles, because it started the mass market, Apple opened the door for the second revolution of mobile communications. Apple's iPhone gave social networks the platform to operate. Again, it is not about technology, it is because of the paradigm change in using mobiles. Mobiles are not only used for phone calls, text messaging or information downloads from the internet; smartphones are now premier for social life! And the technology of UMTS/3G is just the "engine" that runs the new business and LTE represents the "turbo engine".

### The new role of Social networks

With Apple's iPhone comes the hour of the earlier mentioned computer nerds, creating a new user market for social services, free of charge for the users and a tremendous successful business for the entrepreneurs of Facebook, Google and a few other players (like business platforms as LinkedIn or Plaxo). With reference to Marc

<sup>6</sup> General Packet Radio Service

Zuckerberg, the founder of Facebook, he mentioned recently in a TV interview on the German TV program ARD (13<sup>th</sup> Feb 2012, 20.15h): “Facebook is pure business, people give their data. They share their life with their friends. It is them, who offer the data. Facebook is just the connector and moderator. The more they offer their life, the more Facebook can create specific profiles, target their customers with information of business partners, they are connected to and get the money from.” To summarise, people do not share their data just with their friends; they share their data and their total life with Facebook as well. Facebook has a tremendous and complete customer database which they use for their own advantage. They create profiles and sell these profiles to companies which offer specific products to people of whom they know names, addresses, behaviour etc.: Transparent people in an in-transparent world. George Orwell’s “1984” is a fraction of that what could be done today. Data protection was a key issue in the 1980s and everybody was keen to protect his or her data. Today it seems to me that the contrary is the hype: The more people who know about me, the more I am respected. Warnings are there enough, but who cares? Is the data Protection Act, in which country ever, a toothless tiger? Probably not:

A German judge of a local district court [AG Reutlingen: 2012] has now ordered Facebook (EU centre in Dublin, Ireland) to deliver dedicated data of the accused person’s account to the court to prove that a criminal action (burglary) has been undertaken with the support of Facebook [AG Reutlingen: 2011]. This is the first time that a judge is willing to cross swords with a social network giant.

We are all aware of the success of social networks in the so called “Arab Spring” in early 2011, but on the other hand in countries like Germany political extreme groups organise spontaneous protest marches via their mobiles and social networks, instead of registering a demonstration according to the laws (right of assembly) [GG: 1949]. Before

the LAA<sup>7</sup> can react, the show is already over. But they can be sure, at least next day they will be in the newspapers and the media.

The third point in this environment to raise is the use and misuse of YouTube. That this service has been misused for many years through putting compromising videos/clips on the platform is not very new. Especially youngsters go through bashings by their comrades, regarding them with envy. Or they find themselves discriminated in short clips of “happy slapping” by other gangs on YouTube or so. How much this can change social life for these people and their families is published many times and all in all well known. The latest example coming from America was in the news early March 2012, ending with suicide. Although fighting each other is a necessary way of growing up to get his or her position known in their social group, the quality of adolescence games and the sustainability of their doings is much different today.

#### Challenges and learned lessons

In real life our alumni will be confronted with more than just technology. The one or the other may remember the fights over antenna sites for mobile systems. Where should they go? How dangerous are they? Is there a need to install? Many research on this subject was undertaken during the last 15 years, author’s work included. In summary, the learning lesson is: With just the knowledge of proper technology and how it works you can not succeed! Rhetoric skills, psychology, liability, courtesy are social skills that would help to get your interests in place and be finally successful. By the way, that was a very tough learning lesson for mobile operators in the past, they have had never expected two decades before.

Well, engineers are sitting a bit on the fence. On one hand, they see the great success the industry has achieved with the introduction of the wonderful communication tools GSM and UMTS/3G. That will continue with LTE. On the other hand, we recognise the unforeseen results of our work manifested

in the change of social life, where especially young people organise their daily life, private or business, via their mobiles. Direct communication stands back versus text messaging, emailing, chatting or twitter. Mobile people are “always on”, 365 days, 24 hours a day. That could be called: “Comms around the Clock”. If you ask the mobile kids, why they act as they do, the answer is: “If you are not always on, you are very quickly out, forgotten, forever.” Psychologists know the consequences for years: stress, burn out, finally loss of real social life. Does it mean the glass is half empty? Or is it half full? Engineers will step in and turn the wheels.

In a western democratic society, there is never a stand-still. Our political freedom gives us so many opportunities to be creative. This creativity moves our society ahead. Technical systems and products are for good and for evil, nothing new. But it is our responsibility as technicians and natural scientists to take the right conclusions from this development and play our role in social and political discussions. To be able to discuss the pros and cons with e. g. the representatives in parliamentary groups and the law enforcement agencies, we need to extend the fundamentals of our knowledge. But how can we close the splits between the need to prepare our students for high level research skills and on the other hand the social skills they need to negotiate successfully between industry and politics?

Academics have the mission of best education on highest level skills. Consequently, from the author’s perspective one learned lesson is to extend the curricula (syllabus) and offer today’s students, next to extending their skills in natural sciences and technology, more knowledge of social sciences. Not only students of technology need extended knowledge of social sciences; also students of social sciences need knowledge of maths and technology to understand their/our common world.

<sup>7</sup> LAA – Law Enforcement Agencies

## REFERENCES

Eylert, Bernd (2012), „Our mobile as an everyday lifestyle object – how has it changed our daily life and what are the challenges for the future?“, presentation at CTR's Open Day, Friday 23<sup>rd</sup> March 2012, King's College, London, <http://www.kcl.ac.uk/nms/depts/informatics/research/telecomms/ConferencesandEvents/OpenDay2012.aspx>.

Baumann, Margret, Gold, Helmut (Hrsg.), (2000): „Mensch Telefon“, Kataloge der Museumsstiftung Post und Telekommunikation, Berlin, Band 8, S. 78.

UMTS Forum (2001), Report No. 13, „The UMTS Third generation Market: Structuring the Services Revenue Opportunities“, section 5.1, 5.5 and 6.1, see [www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org).

UMTS Forum (2000), Report No. 11, „Enabling new Services & Applications“, see [www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org).

UMTS Forum (1999), GA17–24 [1], Bern, 14<sup>th</sup>-15<sup>th</sup> September 1999.

Czok, Markus, Gurczik, Marc, (2006) „Das Handy als alltägliches Lifestyle-Objekt“, Wissenschaftliche Beiträge 2006, TH Wildau [FH], ISSN 0949–8214

UMTS Forum (2000), GA19–17 [1], Rio de Janeiro, 17<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> April 2000

AG (District Court) Reutlingen (2012), advice 23<sup>rd</sup> February 2012, Source: <http://beck-aktuell.beck.de/news/ag-reutlingen-beschlagnahmt-facebook-account-eines-angeklagten>, downloaded 29<sup>th</sup> February 2012

AG (District Court) Reutlingen (2011), Entscheidung vom 31.10.2011 (Decision of 31st October 2011), Az (Ref.): 5 Ds 43 Js 18155/10, [Grundlage: StPO §§ 99, 100 Abs. 1, 100 Abs. 3 Satz 2, 162, 169 Abs. 1 Satz 2], Source: <http://open-jur.de/u/268164.html>, downloaded 29<sup>th</sup> February 2012

GG (Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland) (1949), Art 8, Satz 1 i. V. mit VersammlG §§ 14ff (German Constitution, Article 8, clause 1 in connection with Assembly Act §§14ff)

## AUTHOR

Prof. em. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Bernd Eylert  
TH Wildau [FH]  
[beylert@th-wildau.de](mailto:beylert@th-wildau.de)

# ERKENNUNG VON BEWEGUNGSPROFILIEN IM GEBÄUDEMANAGEMENT MITHILFE VON COMPLEX EVENT PROCESSING

Ralf Vandenhouten, Ralph Holland-Moritz

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag präsentiert einen Lösungsvorschlag zur Erkennung von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen anhand von Sensordaten im Gebäudemanagement. Dazu wird zunächst ein Szenario definiert, auf dessen Basis ein Ansatz vorgestellt wird, der auf der Integration von Ereignissen über der Zeit und dem Ort basiert. Anschließend wird auf Informationen eingegangen, welche für eine Auswertung bereit stehen müssen. Zum Schluss wird die umgesetzte Lösung zur Implementierung des Ansatzes auf Basis des Complex Event Processing vorgestellt.

## Abstract

This article presents a solution for detecting movement and spreading profiles by analyzing sensor data in the facility management. First of all, a scenario is defined and described. On the basis of this scenario an approach is made using integration of events over time and location. For making the integration possible, the required information, which the data objects have to provide, is identified. At the end, a solution is presented using Complex Event Processing to implement the integration of events.

## » I. EINLEITUNG

Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Forschungsprojektes InSeM sollte ein Sicherheits- und Informationssystem um eine intelligente Komponente erweitert werden, um komplexe Signalmuster zu erkennen und eine Früherkennung von Gefahrenpotentialen zu ermöglichen. Dabei sollte unter anderem die Alarmsicherheit erhöht und Entscheidungsprozesse unterstützt werden.

Als Basis für den hier vorgestellten Lösungsvorschlag dient ein Sicherheits- und Informationssystem, welches über eine plugin-orientierte Architektur unterschiedlich geartete Sensoren des Gebäudemanagements anbinden, die Sensordaten erfassen und in einer grafischen Oberfläche darstellen kann. Vor dem Einsatz dieses Sicherheits- und Informationssystems an einem konkreten Einsatzort, muss es zunächst an die örtlichen Gegebenheiten angepasst bzw. konfiguriert werden. Dazu werden unter anderem Lagepläne der Örtlichkeit erstellt und die Module für die unterschiedlich angebotenen Gerätarten konfiguriert. Im Rahmen dieses Lösungsvorschlages wird ein fiktives

Szenario definiert, welches in Abbildung 1 dargestellt ist.

Bei diesem fiktiven Szenario handelt es sich um ein beispielhaftes Gebäude, welches aus vier Räumen besteht. Diese vier Räume sind jeweils paarweise anliegend und durch eine Tür miteinander verbunden. Daneben besitzt jeder

Raum eine Außentür und jeweils zwei Fenster.

Jeder Raum des Szenarios ist mit mehreren, unterschiedlich gearteten Sensoren ausgestattet. Zu den eingesetzten Sensoren gehören Glasbruch-, Kontakt- sowie Brand- und Rauchmeldesensoren.

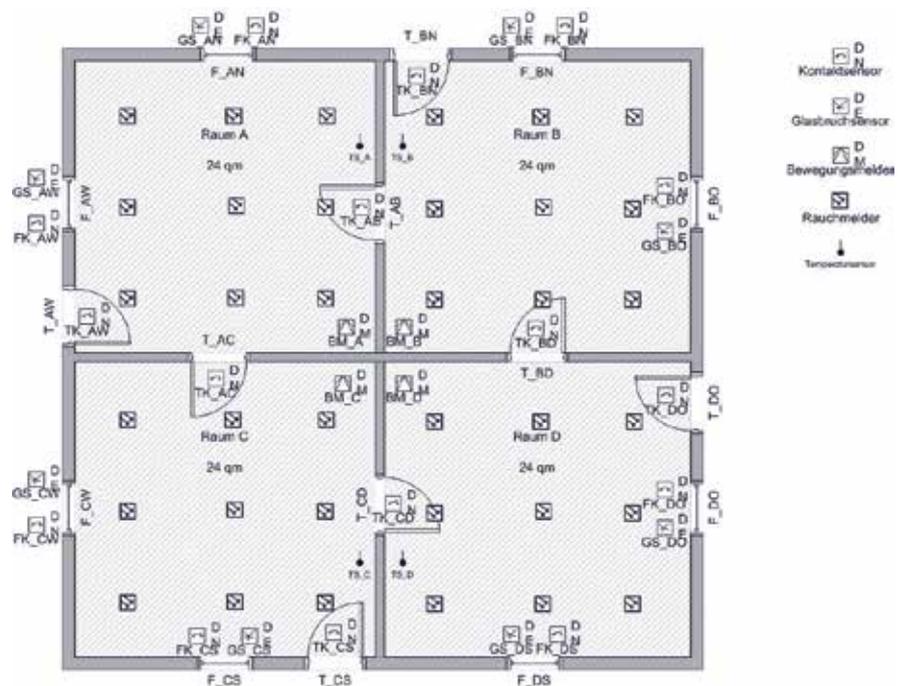


Abb. 1) Fiktiver Grundriss

Jedes Fenster besitzt einen Glasbruchsensor, um ein mögliches gewaltsames Eindringen zu detektieren. Sowohl die Türen als auch die Fenster sind mit Schließ- bzw. Öffnungskontakten ausgestattet, aus denen abzuleiten ist, ob eine Tür oder ein Fenster offen oder geschlossen ist.

Um mögliche Brände in den Räumen zu erkennen, sind diese mit unterschiedlichen Brandsensoren ausgestattet. Zum Erkennen von Rauch existieren in den Räumen jeweils neun Rauchmelder. Die Rauchmelder sind in einem 3x3-Muster angeordnet. Zur Unterstützung der Branderkennung ist in den Räumen jeweils ein Temperatursensor verbaut, der die Temperatur des jeweiligen Raumes misst.

Ziel des Lösungsansatzes ist die Erhöhung der Alarmsicherheit und die Erkennung von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen. Die Erhöhung der Alarmsicherheit wird hauptsächlich durch die Verringerung von Falschmeldungen bzw. Fehlalarmen erreicht. Dabei muss beachtet werden, dass bei zu starker Desensibilisierung, also Absenken der Schwelle, nicht alarmrelevante Sensoreignisse übersehen werden können. Die Erhöhung der Alarmsicherheit kann erreicht werden, indem die Detektionswahrscheinlichkeit erhöht und die Falschmeldungswahrscheinlichkeit verringert wird. Bei der Erkennung räumlicher Ausmaße in Form von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen soll erkannt werden, wie sich ein Brand räumlich ausbreitet, und nachvollziehen lassen, wie sich ein Einbrecher im Gebäude bewegt.

## » II. ANSATZ

Zur Erhöhung der Alarmsicherheit und zur Erkennung von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen bieten sich unterschiedliche Verfahren an, die sich mit der Sensorintegration und der Sensorfusion beschäftigen. Neben der Erhöhung der Alarmsicherheit im Speziellen, bietet die Integration und Fusion von Messwerten unterschiedlicher Sensoren genauere Informationen in Bezug auf die zu erkennenden Eigenschaften innerhalb einer geringeren Zeit bei geringeren Kosten. Hierbei werden redundante Informationen von einer

Gruppe von Sensoren genutzt, welche sich auf die gleiche Eigenschaft in der Umgebung beziehen. Statt einer Gruppe von Sensoren kann auch ein einzelner Sensor über die Zeit betrachtet werden, um eine Redundanz zu erzeugen (Luo et al. 1989). In dem hier präsentierten Lösungsansatz wird die Redundanz durch die Verfahren der Integration über der Zeit und der Integration über dem Ort erreicht.

Bei der Integration der Messgröße über der Zeit wird für einen Sensor angenommen, dass eine gemessene Größe bei den zu erkennenden Gefahren wie Bränden oder Eindringlingen über eine gewisse Zeitspanne vorhanden ist. Im Gegensatz dazu geht man bei einer Störgröße, die einen Fehlalarm auslösen würde, davon aus, dass diese nur innerhalb einer kurzen Zeitspanne auftritt. Bei Sensoren, welche eine Messgröße kontinuierlich messen, kann der Mittelwert über eine definierte Zeit ermittelt und beim Überschreiten dieses Mittelwertes ein realer Alarm ausgelöst werden (Tränkler et al. 1998).

Bei simplen Meldern, welche eine Messgröße intern bearbeiten, eine Gefahr melden und anschließend im Alarmzustand verbleiben, kann die Generierung mehrerer Alarme über kurze Zeit dadurch produziert werden, indem diese nach Auslösung durch ein zentrales System zurückgesetzt werden. Wird hierbei eine bestimmte Anzahl aufeinanderfolgender simpler Alarme überschritten, so kann von einem realen Alarm ausgegangen werden.

Bei dem Verfahren der Integration des Ereignisses über dem Ort werden mehrere Sensoren betrachtet, deren Position zueinander bekannt ist und deren Überwachungsbereiche sich überlappen. Bei zu detektierbaren Ereignissen, die über eine größere Fläche oder Volumen messbar sind, wird hierbei davon ausgegangen, dass benachbarte oder gruppierte Sensoren nahezu gleichzeitig ein und dieselbe Gefahr messen (Tränkler et al. 1998).

Durch die Kombination der Integration der Messgröße über der Zeit und dem Ort wird eine orts- und zeitabhängige Erkennung von Ereignissen möglich, welche die Basis zur Erkennung von

Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen darstellt.

Um die vorgestellten Verfahren anwenden zu können, müssen über die Sensoren bestimmte Informationen vorliegen. Für die Integration über dem Ort werden für einen Sensor Ortsinformationen benötigt. Für die Erkennung von benachbarten Auslösungen reicht jedoch eine einfache Positionsinformation des Sensors in Form einer Koordinatenangabe nicht aus. Daher wird für den Sensor die Information über seine Abdeckung als Eigenschaft festgelegt. Diese definiert sich als Bereich über den der Sensor die entsprechende Messgröße erfasst. Um zu unterscheiden, welche Gefahrenart, wie z. B. ein Einbruch oder ein Brand, durch die Messung eines Sensors erkannt werden kann, wird für den Sensor ein Sensortyp als Eigenschaft definiert. Somit definiert sich ein Sensor wie in Abbildung 2 zu sehen.

Sensor
Typ
Abdeckung

Abb. 2) Sensoreigenschaften

Der Zustand eines Sensors bzw. der aktuelle Messwert wird in Form eines Sensorzustandsereignisses abgebildet. Liegt für einen Sensor eine neue Zustandsinformation vor, so wird ein neues Sensorzustandsereignis generiert. Um die Integration über der Zeit zu ermöglichen, wird für ein auftretendes Ereignis eine Zeitinformation benötigt. Um zu wissen, für welchen Sensor das Ereignis generiert wurde und um auf die Informationen des Sensors zurückgreifen zu können, wird ein Bezug auf den auslösenden Sensor benötigt. Um den konkreten Sensorzustand zu einem definierten Zeitpunkt abzubilden, wird die Eigenschaft Zustand definiert. Dieser kann je nach Art des Sensors unterschiedlich geartete Zustände darstellen, von kontinuierlichen Zuständen wie einer Temperatur bis zu abstrakten Zuständen wie „Ruhe“ oder „Alarm“. Ein Sensorzustandsereignis definiert sich somit wie in Abbildung 3 zu sehen.

Sensorzustandsereignis
Zeitstempel
Sensor
Zustand

Abb. 3) Eigenschaften des Sensorzustandsereignisses

Die eingesetzten Brand- bzw. Rauchmelder sind über eine Brandmeldeanlage an das System angeschlossen und verharren im regulären Auslösefall so lange im Zustand „ausgelöst“, bis diese manuell zurückgesetzt werden. Das bedeutet, dass nur eine einmalige Generierung eines Sensorereignisses auftritt. Um jedoch eine mehrfache Auslösung innerhalb einer kurzen Zeitspanne zu erreichen und somit die Integration der Messgröße über der Zeit zu ermöglichen, bedarf es eines Mechanismus, welcher die Melder nach der Auslösung direkt wieder zurücksetzt. Dies kann mithilfe der nachfolgend beschriebenen CEP-Engine erreicht werden, indem beim Auftreten eines Sensorzustandsereignisses mit dem Zustand „ausgelöst“ eine Aktion im Management System ausgelöst wird, um den entsprechenden Melder unmittelbar in den Zustand „Ruhe“ zurückzusetzen. Alternativ kann der Effekt über interne Mechanismen des Management Systems erreicht werden. Als Ergebnis erhält man beim Vorliegen einer wirklichen Gefahr eine mehrfache Auslösung der Melder über einen längeren Zeitraum.

### » III. LÖSUNG

Zur softwaretechnischen Umsetzung der Integration über der Zeit und dem Ort wird bedingt, dass Aussagen bzw. Regeln mit temporalen Regeln aufgestellt werden können. Neben anderen softwaretechnischen Lösungen bietet sich hier das Complex Event Processing an. Bei der komplexen Ereignisauswertung stehen Ereignisse und das Erkennen von bekannten Mustern im Mittelpunkt. Hierbei wird versucht, das Auftreten voneinander abhängiger Ereignisse zu erkennen und somit abstrakte Aussagen mithilfe komplexer Ereignisse zu treffen (Luckham 2002). Für die Verarbeitung der Ereignisse

kommen Ereignisanfragesprachen zum Einsatz (Eckert et al. 2009). Mithilfe dieser Ereignisanfragesprachen lassen sich komplexe Bedingungen definieren, welche die Beziehungen zwischen Ereignissen darstellen. Ein spezieller Typ von Ereignisanfragesprachen sind die Datenstrom-Anfragesprachen, welche auf den Anfragesprachen von relationalen Datenbanken (SQL – Structured Query Language) basieren (Burger et al. 2010). In der nachfolgenden Lösungsbeschreibung werden die Beispiele in Form der „Event Processing Language“, der Anfragesprache der CEP-Lösung Esper (Esper 2012), dargestellt.

Zur Umsetzung der Szenarien mithilfe des Complex Event Processing kommt eine mehrstufige Auswertung zum Einsatz. Dabei befinden sich auf der untersten Ebene die elementaren Ereignisse, welche direkt die Sensormessungen repräsentieren. Auf der nächsthöheren Ebene findet eine Vorverarbeitung statt, die anhand der Sensorwerte ermittelt, ob es sich um einen alarmrelevanten Zustand handelt. Hier werden im Falle eines relevanten Ereignisses entsprechende Alarmereignisse generiert. In der höchsten, abstraktesten Ebene findet die Auswertung von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen statt. Die Auswertungsstufen sind in Abbildung 4 dargestellt.



Abb. 4) Auswertungsstufen zur Erkennung von Profilen

### » IV. INTEGRATION DER MESSGRÖÖE ÜBER DER ZEIT

Um zu validieren, ob ein Melder im System fälschlicherweise ausgelöst wurde und dadurch einen Fehlalarm generiert, werden in der CEP-Engine die elementaren Sensorereignisse ausgewertet und auf bestimmte Kriterien hin gefiltert. Hierbei wird eine Klasse an der CEP-Engine registriert, welche dann informiert wird, wenn innerhalb von zehn Sekunden zwei Sensorereignisse des gleichen Sensors mit dem Zustand „ausgelöst“ auftreten. Dies geschieht über die Registrierung des folgenden Statements:

```
every (a=SensorStateEvent(state=TRIGGERED) -> SensorStateEvent(sensor=a.sensor,state=TRIGGERED) where timer:within(10 sec))
```

Die Klasse wird somit immer dann informiert, wenn zwei aufeinanderfolgende Objekte vom Typ „SensorStateEvent“ mit Bezug auf denselben Sensor

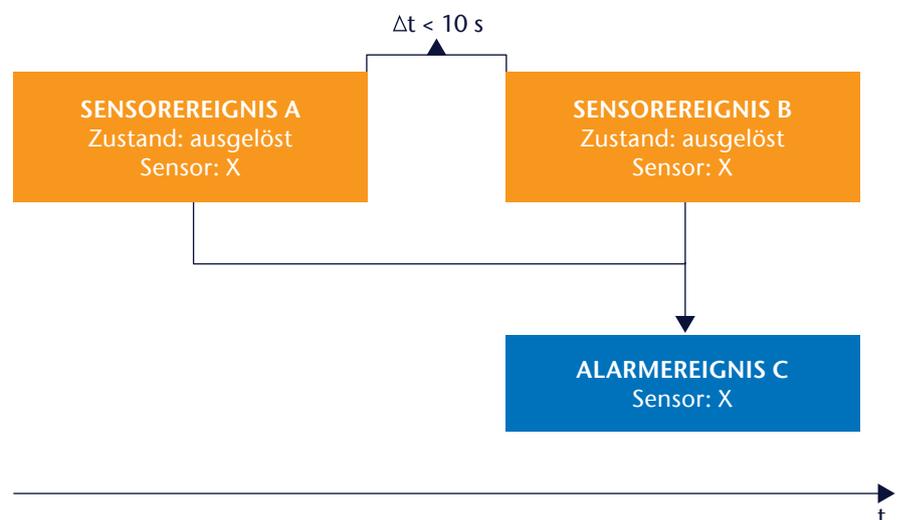


Abb. 5) Zusammenhang zwischen Sensorereignis und Alarmereignis

(„sensor=a.sensor“) und dem Status „ausgelöst“ („state=TRIGGERED“) innerhalb von zehn Sekunden („timer:within(10 sec)“) auftreten, wie in Abbildung 5 dargestellt. Anschließend wird ein Alarmereignis erstellt, welches auf den auslösenden Melder verweist, und an die CEP-Engine übergeben.

## » V. INTEGRATION ÜBER DEM ORT

Für die Integration von Sensorereignissen über dem Ort wird die Information über die räumliche Abdeckung eines Sensors genutzt. Dazu wurde eine Klasse implementiert, welche die räumliche Abdeckung eines Sensors repräsentiert. Diese besitzt eine Funktion, die es ermöglicht, Überschneidungen mit anderen Sensoren zu ermitteln. Um nun die Sensorereignisse über den Ort zu integrieren, wird eine Klasse registriert, die dann informiert wird, wenn innerhalb einer definierten Zeitspanne zwei Ereignisse auftreten, deren verknüpfte Sensoren des gleichen Sensortyps sich überschneidende Abdeckungen besitzen. Dies erfolgt mit dem folgenden Statement:

```
every (a=AlarmEvent ->
b=AlarmEvent(sensor.covers(a.
sensor),sensor.type=a.sensor.type)
where timer:within(10 sec))
```

Dieses Statement tritt genau dann ein, wenn zwei Alarmereignisse des gleichen Alarmtyps („sensor.type = a.sensor.type“) innerhalb von zehn Sekunden („timer:within(10 sec)“) auftreten und die jeweils referenzierten Sensoren mit dem gleichen Sensortyp sich überlappende Abdeckungen („sensor.covers(a.sensor)“) besitzen.

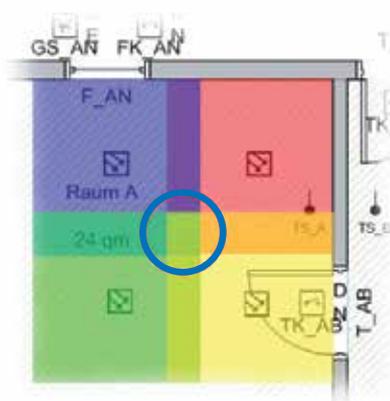


Abb. 6) Überlappende Erfassungsbereiche

Damit die Integration über dem Ort funktioniert, müssen die zugrunde liegenden Sensoren, welche im zu überwachten Gebäude angebracht sind, redundant ausgelegt sein. Das bedeutet, dass sich der Erfassungsbereich eines Sensors mit einem konkreten Sensortyp mit anderen Sensoren des gleichen Sensortyps überschneidet, so wie in Abbildung 6 beispielhaft dargestellt.

## » VI. ERKENNUNG RÄUMLICHER AUSMAßE

Die Erkennung räumlicher Ausmaße basiert auf der Information der räumlichen Abdeckung der Sensoren. Hierbei werden Ereignisse beobachtet, welche sowohl im örtlichen als auch im zeitlichen Zusammenhang stehen. Es werden hier zwei Fälle unterschieden, die erkannt werden sollen.

Bei der Erkennung von Brandausbreitungen wird davon ausgegangen, dass sich der Brand von einem Ausgangspunkt wolkenartig ausbreitet. Das bedeutet, dass für das Brandprofil alle Alarmereignisse herangezogen werden, die sich in zeitlicher und räumlicher Nähe zu vorhergehenden Brandereignissen befinden. Alle Brandereignisse zusammen bilden die aktuelle Brandausbreitung. Ein Brandausbreitungsprofil wird dann erstellt, wenn mindestens zwei Brandereignisse in räumlicher und zeitlicher Nähe auftreten. Ein Brandereignis wird dann aktualisiert, wenn ein neues Brandereignis innerhalb einer definierten Zeitspanne durch einen Sensor ausgelöst wird, der sich nicht im Bereich der aktuellen Brandausbreitung, jedoch in räumlicher Nähe eines zur Brandausbreitung gehörenden Sensors befindet. Um zu ermitteln, ob sich ein Alarmereignis in der Nähe des Brandprofils befindet, besitzt die Klasse, welche das Brandprofil repräsentiert, eine Methode „borders(AlarmEvent)“, die zum übergebenen Alarmereignis zurückgibt, ob der zugrunde liegende Sensor sich in der Nähe der Sensoren des Brandprofils befindet. Zum Aktualisieren und Erstellen von Brandausbreitungsprofilen kommt folgendes Muster zum Einsatz:

```
every ((ae=AlarmEvent or
fpe=FireProfileEvent) ->
(ae2=AlarmEvent(sensor.
type=FIRE,sensor.covers(ae.
sensor)) or ae2=AlarmEvent(fpe.
borders(ae2),sensor.type=FIRE)) where
timer:within(10 min))
```

Hierbei wird zunächst nach dem Brandprofil („FireProfileEvent“) gesucht, auf welches innerhalb von zehn Minuten („timer:within(10 min)“) ein Brandereignis folgt, das in örtlicher Nähe („fpe.borders(ae2)“) zum Brandprofil liegt. Wird ein entsprechendes Brandprofil gefunden, so wird das neue Alarmereignis dem Brandprofil hinzugefügt und das aktualisierte Brandprofil der CEP-Engine als neues Ereignis übergeben, so dass es für eine erneute Prüfung des Musters herangezogen wird. Existiert kein Brandprofil, in dessen Nähe sich das Brandereignis („ae2“) befindet, aber dafür ein vorhergehendes Brandereignis („ae“), welches sich in der Nähe befindet, so wird aus den beiden Brandereignissen ein neues Brandprofil erstellt und als Ereignis der CEP-Engine übergeben.

Zur Festlegung der Zeitspanne zwischen zwei Ereignissen wird von einer minimalen Brandgeschwindigkeit von 0,15 m/min laut DIN 18232 ausgegangen. Hierbei benötigt ein Feuer ungefähr 7 Minuten, um sich einen Meter auszubreiten. Bei einem Erfassungsbereich der Sensoren von 2 Metern und einer Überlappung von 0,5 Metern vergehen ungefähr zehn Minuten zwischen den einzelnen Sensorauslösungen.

Bei der Erkennung von Bewegungsprofilen eines Einbrechers geht es darum, ausgehend von einem Ausgangseinbruchereignis, nachfolgende Einbruchereignisse, einem Bewegungsprofil zuzuordnen. Dieses Bewegungsprofil besitzt Informationen zum Ausgangsereignis, dem Endereignis und den Zwischenereignissen als Ereigniskette. Es handelt sich somit um einen spezialisierten Fall einer Brandausbreitung, da jede neue Bewegung von dem zuletzt ausgelösten Sensor zu einem benachbarten Sensor mit überlappendem

Erfassungsbereich erfolgen kann. Da der Einbrecher einen Sensor mehrfach passieren kann, wenn er zum Beispiel im Kreis läuft, kann die Ereigniskette im Gegensatz zu einer Brandausbreitung mehrfach Ereignisse aufweisen, die sich auf denselben Sensor beziehen. Um ein Bewegungsprofil zu erstellen, werden zwei benachbarte Sensorauslösungen gesucht, die innerhalb einer gewissen Zeitspanne nacheinander auftreten. Das Bewegungsprofil wird dann aktualisiert, wenn ein Alarmereignis im zeitlichen und örtlichen Zusammenhang zum letzten Ereignis der Ereigniskette des Bewegungsprofils auftritt. Die Zeitspanne ist hierbei davon abhängig, nach welcher Zeit eine erneute Sensorauslösung erfolgt bzw. wie schnell der Einbrecher sich von einem Sensor zum nächsten bewegt.

Das Muster zum Erstellen und zum Aktualisieren des Bewegungsprofils sieht dabei folgendermaßen aus:

```
every ((me=MovementEvent
or ae=AlarmEvent) ->
(ae2=AlarmEvent(sensor.covers(ae.sensor),
sensor.type=HOUSEBREAKING) or
ae2=AlarmEvent(sensor.covers(me.last.sensor),
sensor.type=HOUSEBREAKING))
where timer:within(30 sec))
```

Hierbei wird primär nach einem Bewegungsprofil („MovementEvent“) gesucht, dem ein Einbruchalarm innerhalb von 30 Sekunden („timer:within(30 sec)“) durch einen Sensor folgt, der sich in der Nähe des Sensors befindet („sensor.covers(me.last.sensor“), der das letzte Alarmereignis in der Ereigniskette des Bewegungsprofils ausgelöst hat. Gibt es ein entsprechendes Bewegungsprofil, so wird das gefundene Alarmereignis dem Bewegungsprofil als letztes Ereignis in der Ereigniskette hinzugefügt, wie in Abbildung 7 zu sehen ist. Anschließend wird das aktualisierte Bewegungsprofil an die CEP-Engine als neues Ereignis übergeben, so dass das Muster erneut für ein folgendes Alarmereignis zutreffen kann. Wurde kein entsprechendes Bewegungsprofil gefunden, so wird nach zwei aufeinanderfolgenden Alarmereignissen gesucht, die innerhalb von 30 Sekunden in unmittelbarer Nähe auftreten. In diesem alternativen Fall wird ein neues Bewegungsprofil

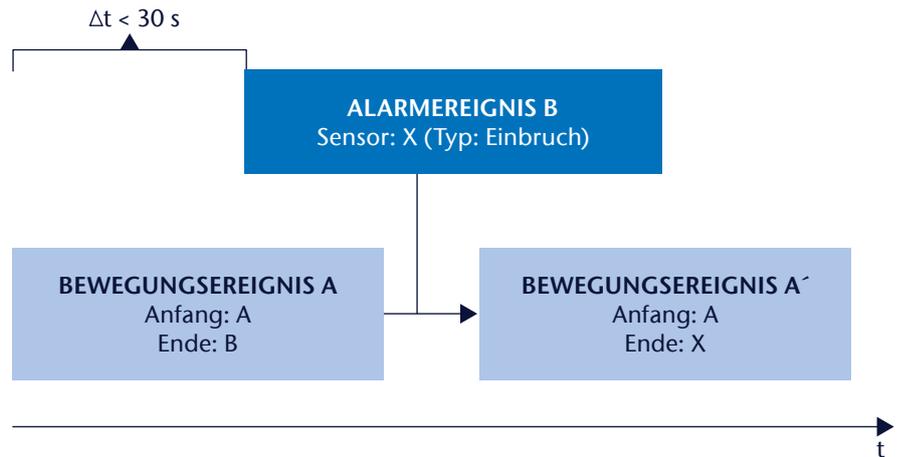


Abb. 7) Aktualisierung eines Bewegungsprofils

mit den beiden Alarmereignissen als Anfang und Ende erstellt und als Ereignis der CEP-Engine übergeben.

Anhand des Bewegungsprofils kann nachvollzogen werden, an welchem Punkt der Einbrecher eingedrungen ist, welchen Weg er durch das Gebäude genommen hat und über welchen Punkt er das Gebäude wieder verlassen hat. Da das Bewegungsprofil in Abhängigkeit der gewählten Parameter echtzeitnah aktualisiert wird, können die Informationen des Bewegungsprofils dazu genutzt werden, das Stellen des Einbrechers zu unterstützen.

In der Abbildung 8 ist beispielhaft die Entwicklung eines Bewegungsprofils zu sehen, bei dem der Einbrecher sich über das Nordfenster des Raumes A über Raum A nach Raum B bewegt. Im rechten unteren Konsolenfenster

sind die Erstellung eines neuen Bewegungsprofils und das Hinzufügen des neuen Ereignisses zum zuvor erstellten Bewegungsprofil zu erkennen.

» VII. FAZIT

Es wurde ein Lösungsvorschlag zur Erkennung von Bewegungs- und Ausbreitungsprofilen anhand von Sensordaten im Gebäudemanagement vorgestellt. Dieser wurde genutzt und prototypisch umgesetzt, um im Forschungsprojekt InSeM Bewegungsprofile zu erkennen. Dieser Lösungsvorschlag eignet sich aufgrund gleicher Ansätze optimal, um in ein intelligentes Management-System auf Basis des Software-Architekturvorschlages aus (Vandenhouten 2012) nahtlos integriert zu werden.

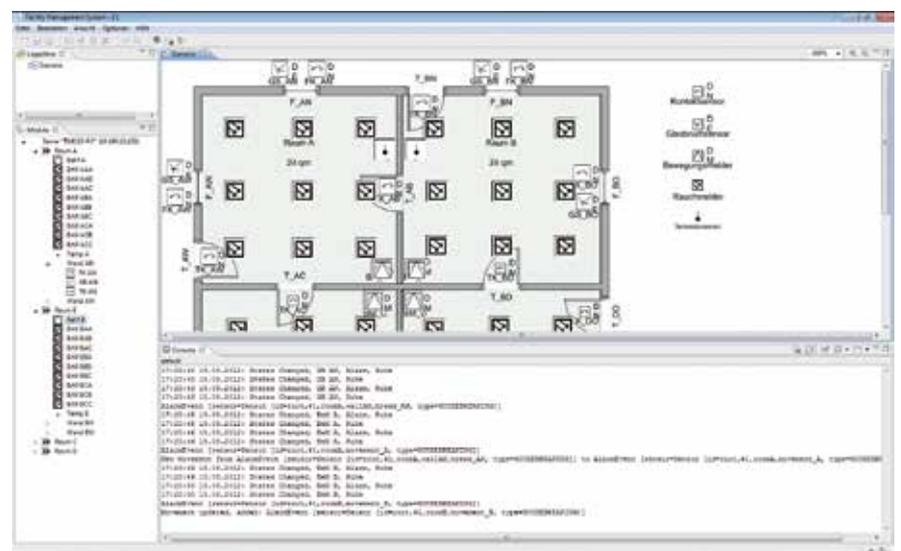


Abb. 8) Bewegungsprofil eines Einbrechers

Mithilfe der zusätzlich gewonnenen Informationen über die Ausbreitung von Bränden und die Bewegung von Einbrechern kann dem Sicherheitspersonal unterstützend geholfen werden, die aktuelle Lage besser einzuschätzen und notwendige Maßnahmen einzuleiten. Durch die Reduzierung von Fehlalarmen kann der Desensibilisierung des Personals entgegengewirkt werden, was zur Steigerung der Sicherheit im Gebäudemanagement führt.

#### QUELLEN

Burger, F., Debicki, P., Kötter, F. (2010): Vergleich von Complex Event Processing-Ansätzen für Business Activity Monitoring. [http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5258/pdf/FACH\\_0112.pdf](http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5258/pdf/FACH_0112.pdf)

Eckert, M., Bry, F. (2009): Complex Event Processing (CEP). Springer, Informatik Spektrum

Esper (2012): Esper: Event processing for java. <http://www.espertech.com/products/esper.php>, Zugriff: 15.09.2012

Luckham, D. (2002): The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems. Addison-Wesley, Amsterdam

Luo, R. C., Kay, M. G. (1989): Multisensor Integration and Fusion in Intelligent Systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, 901–931

Tränkle, H. R., Obermeier, E. (1998): Sensortechnik: Handbuch für Praxis und Wissenschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Vandenhouten, R., Holland-Moritz, R. (2012): A software architecture for intelligent facility management based on complex event processing. Wissenschaftliche Beiträge 2012, Wildau, 63–69

#### AUTOREN

**Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
TH Wildau [FH]  
[ralf.vandenhouten@th-wildau.de](mailto:ralf.vandenhouten@th-wildau.de)

**Ralph Holland-Moritz, M. Eng.**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
TH Wildau [FH]  
[ralph.holland-moritz@th-wildau.de](mailto:ralph.holland-moritz@th-wildau.de)

# A METAMODEL-BASED ASN.1 EDITOR AND COMPILER FOR THE IMPLEMENTATION OF COMMUNICATION PROTOCOLS

Thomas Kistel, Ralf Vandenhousten

## Zusammenfassung

In der Software-Industrie sind viele metamodel-basierte Werkzeuge entwickelt worden, um die Erstellung von Programmiersprachen und insbesondere domänenspezifischen Sprachen (DSL) zu unterstützen. Ein Beispiel für diese Werkzeuge ist Eclipse Xtext, welches eine große Popularität im Bereich der modellgetriebenen Softwareentwicklung (MDSE) besitzt. In diesem Beitrag untersuchen wir, inwieweit Xtext und andere metamodel-basierte Ansätze zur Implementierung eines Editors und Compilers für die ASN.1 Spezifikation, welche von der ITU-T standardisiert wurde, verwendet werden können. Der metamodel-basierte Ansatz zur Implementierung der ASN.1 Spezifikation ermöglicht es, ASN.1-Dokumente softwaretechnisch wie ein Modell behandeln zu können, sodass dieses ASN.1-Modell mit anderen Softwaremodellen (z. B. Zustandsmaschinen) verknüpft werden kann. Unsere Ergebnisse zeigen, dass mit relativ geringem Aufwand eine Basisimplementierung von ASN.1 zu erreichen ist, die bereits eine gute Werkzeugunterstützung liefert. Bei einigen Details der Implementierung gerät man allerdings an die Grenze des Machbaren und diese sind daher sehr schwer zu realisieren. Dies betrifft insbesondere den Parser-Generator und das komplexe Metamodel.

## Abstract

In the software industry many metamodel-based tools and approaches have been developed to support the creation of programming and especially domain specific languages (DSL). An example of these tools is Eclipse Xtext, which has gained much popularity in the Model-Driven Software Engineering (MDSE) community. In this article we investigate whether Xtext and related metamodel-based approaches can also be used to implement the ASN.1 specification that was standardized by the ITU-T. The metamodel-based approach for the implementation of the ASN.1 specification allows to treat ASN.1 documents as software models, so that these ASN.1 models can be interrelated with other models (e.g. state machines). Our results show that relatively little efforts are required to create a basic implementation of this standard with good tool support. However, some details of the implementation are quite difficult to realize because they touch the limits of feasibility. This concerns in particular the parser generator and the complex metamodel.

## » I. INTRODUCTION

In software engineering small languages for different domains were gaining popularity during the last years. These small languages are also referred to as Domain Specific Languages (DSLs) and are promoted by the Model-Driven Software Engineering (MDSE) community. On the other hand the Unified Modeling Language (UML) (OMG, formal/2011-08-06, 2.4.1), (OMG, formal/2011-08-05, 2.4.1) was specified by the Object Management Group (OMG) to unify various graphical diagrams for the description of software systems. The development of UML has also led to the specification of the Meta Object Facility (MOF) (OMG, formal/2011-08-07, 2.4.1) by the OMG. The extensibility mechanism of UML, which is called UML profiles, can also be used to develop domain specific modeling languages (Selic

2007). Selic (Selic 2012) also remarked that an alternative for developing DSLs is MOF, which has, however, only a few implementations (Scheidgen 2006). The most popular implementation of MOF is the Eclipse Modeling Framework (EMF) (Steinberg et al. 2009). Many metamodel-based tools for EMF have been developed to support the creation of DSLs and the corresponding domain-specific workbench.

Eclipse Xtext (Xtext Project Website) and JetBrains MPS (Meta Programming System) (MPS (Meta Programming System) project website) are two mature metamodel-based technologies for the development of DSLs and surrounding tool support (Text editor, Parsers, Syntax highlighting, Code completion and generation, etc.). Andova (Andova et al. 2012) and Völter (Völter 2011) provide a good introduction into the

detailed concepts of Xtext and MPS as well as related tools and approaches. An advantage of Xtext is that it uses EMF as the basis for its metamodels. Therefore it can be easily integrated with other EMF-based tools.

Besides the growing popularity of DSLs, especially in the context of MDSE, there already exist many DSLs in different software domains, of which the database query language SQL is one popular example. The domain of protocol engineering, which is predestined for MDSE, also takes advantage of several DSLs. The most important is the Abstract Syntax Notation One (ASN.1) (ITU, X.680, 11/2008), a DSL for the description of data types and data structures together with their corresponding encoding rules. ASN.1 was standardized by the ITU-T. In protocol engineering, ASN.1 is used to describe

the messages that are exchanged between two communicating nodes.

In this article we investigate, how a metamodel-based editor for ASN.1 can be developed with the Eclipse Xtext framework. Furthermore, we analyze of how the created ASN.1 metamodel can be used for code generation. These steps mentioned have very much in common with traditional compiler construction. The research question of this article is whether the new MDSE tools around Eclipse Xtext can be used for the development of a compiler for a relatively complex language like ASN.1. The intention for the use of a metamodel-based approach for the implementation of the ASN.1 specification is that it allows to treat ASN.1 documents as regular software models. The advantage of this approach is that these ASN.1 models then can be interrelated with other software models - e.g. state machines (Kistel 2012).

The remainder of this article is structured as follows: In section 2 we discuss related approaches for the implementation of an ASN.1 compiler, in section 3 we present the result of our preliminary solution, in section 4 we conclude this paper.

## » II. RELATED WORK

The original developments of ASN.1 were already done in the 1980ies, where ASN.1 was used to describe data structures for most OSI application protocols (Bochmann et al. 2010). Therefore there already exist many ASN.1 compilers from open source or commercial vendors of which the most important ones are listed on the ASN.1 project site of the ITU (ITU ASN.1 Tools). To the very best knowledge of the authors there is currently no implementation of the ASN.1 specification with a metamodel-based approach that allows the integration with other existing MDSE tools. However, there is some related work, which addresses similar aspects compared to our implementation.

In the context of models and UML, Ek (Ek 24/11/2002) proposed an UML profile for ASN.1. UML profiles are a lightweight mechanism to refine or extend the UML language with specific notations. However, a UML profile for ASN.1 is basically a mapping to a UML class diagram, which allows modelers to specify ASN.1 descriptions with UML tools. The question is, how these text-based descriptions can be effectively created and maintained with existing UML tools or how UML profiles can be combined with declarative approaches to specify UML diagrams (Spinellis 2003, Torchiano et al. 2005). More importantly with UML profiles is that it is currently not easy to determine whether a particular specialization of a UML concept is semantically aligned with the base concept of UML, so that UML tools will treat it correctly (Selic 2012). This particularly applies to the evaluation of expressions of ASN.1 data types, which need to analyze their semantics.

Another issue, which has many influences on the compiler implementation, concerns the parser technology that is used to read an ASN.1 document and to create the syntax tree. As we will see in section 3.1 the parser technology of the Xtext framework is ANTLR (ANother Tool for Language Recognition) (ANTLR website). Different implementations of the ASN.1 specification with ANTLR can be found on the grammar list page of the project website of ANTLR (ANTLR website). All these implementations only target parts of the ASN.1 specification. Furthermore, these implementations only provide lexing and parsing capabilities for ASN.1 documents. They are not integrated into editors, metamodels or code generation tools.

An implementation of an ASN.1 compiler with the Xtext framework was already done in a master thesis (Wendlandt 2010) at Wildau University of Applied Sciences in 2010. This implementation is based on an older version of Xtext (0.7) and also uses the Xpand framework (Xpand project webiste) for code generation. The present work can be seen as a re-implementation of the work in the master thesis.

## » III. SOLUTION

### 3.1. Parsing and validation

The corner stone of implementing a language with the Xtext framework is to define an EBNF-like grammar file. Xtext uses this grammar file to generate Parser, Lexer, EMF Ecore meta model, Editor and other Eclipse workbench functions. The underlying parser/lexer technology of Xtext is ANTLR (ANTLR website; Parr op. 2007), which creates the concrete syntax of the language. The Xtext framework translates the Xtext grammar file, into a grammar description of ANTLR. Then the lexer and parser are generated from ANTLR grammar file. ANTLR is a two phase LL(\*) parser. This has many influences on the implementation of the grammar, because the LL(\*) parser does not allow left recursions and the ASN.1 specification (ITU, X.680, 11/2008) in contrast is highly left recursive. Therefore all left recursions have to be “left-factorized” to remove them. At the time of writing this article we have implemented a huge part of the ASN.1 specification, which allows for parsing many ASN.1 protocol specifications. The left refactoring of the ASN.1 rules guarantees that the implementation of the Xtext grammar does not need the use of the ANTLR syntactic predicates or backtracking options. However, the current implementation does not cover all parts of the `Tags`, `Constraints` and `Value Assignments` of ASN.1. Figure 1 shows the ASN.1 Editor that was created by the Xtext framework with our grammar implementation.

```

11073.20601.asn
244 -- Observed value for compound numerics
245 --
246 NuObsValueCmp ::= SEQUENCE OF NuObsValue
247 --
248 -- SaSpec describes the sample array.
249 --
250 SaSpec ::= SEQUENCE {
251   array-size INT-U16,          -- number of samples per metric update period
252   sample-type SampleType,
253   flags SaFlags
254 }
255 --
256 -- SampleType describes one sample in the observed value array.
257 --
258 SampleType ::= SEQUENCE {
259   sample-size INT-U8, --## (SIZE(8)), e.g., 8 for 8-bit samples, 16 for 16-bit samples,
260                        -- shall be divisible by 8
261   significant-bits INTEGER { -- defines significant bits in one sample
262     signed-samples(255) -- if value is 255, the samples
263   } (0..255) -- in Simple-Sa-Observed-Value and
264             -- lower-scaled-value and upper-scaled-value in
265             -- ScaleRangeSpec shall be interpreted as signed
266             -- integers in twos-complement form.
267 }

```

Fig. 1) ASN.1 editor with tool support

Besides lexing and parsing, i.e. the transformation of tokens into an abstract syntax tree (sentences), another important step in the frontend phase of a compiler is the semantic analysis of the language. In the Xtext framework this can be done by validation rules. We have implemented only some simple validation rules for the ASN.1 language (e.g. check of case sensitivity in type names). Moreover, we have integrated the ASN.1 Syntax Checker tool by OSS Nokalva Inc (<http://www.oss.com/asn1/products/asn1-syntax-checker/asn1-syntax-checker.html>). This allows validating the complete syntax of an ASN.1 document in the background and reporting syntax errors and warnings to the user. This solution allows for parsing and validation of almost any ASN.1 file.

### 3.2. ASN.1 metamodel

The Xtext framework not only generates a parser and lexer through ANTLR, it also generates an EMF metamodel, which describes the abstract syntax of the language. Xtext basically has two implementation strategies for the abstract syntax: 1) create the Xtext grammar file and generate the abstract syntax (i.e. EMF metamodel) from it; 2) create the abstract syntax (i.e. EMF metamodel) first and refer the model elements in the Xtext grammar file. In our implementation we have chosen the first strategy, because we are implementing an existing language that is specified in an ITU recommendation (ITU, X.680, 11/2008). In contrast to our strategy it could be useful to first define the abstract syntax and then the

concrete syntax through the grammar file, when one is implementing a new language. Nevertheless, in both strategies, there is always a one-to-one mapping between abstract and concrete syntax in Xtext. This means that every parser rule (except terminal and data type rules) of the concrete syntax is represented in the abstract syntax. The opposite, every element of the abstract syntax is represented in the concrete syntax, is not true.

Regarding our implementation, Figure 2 shows the model hierarchy of the `BuildinTypes` of the ASN.1 specification. In our compiler implementation we have introduced a distinction of `BuildinTypes`. The model element `SimpleType` was introduced for types that do not contain other types. In contrast, `ContainerType` was introduced for types that do contain other types (see Figure 3).

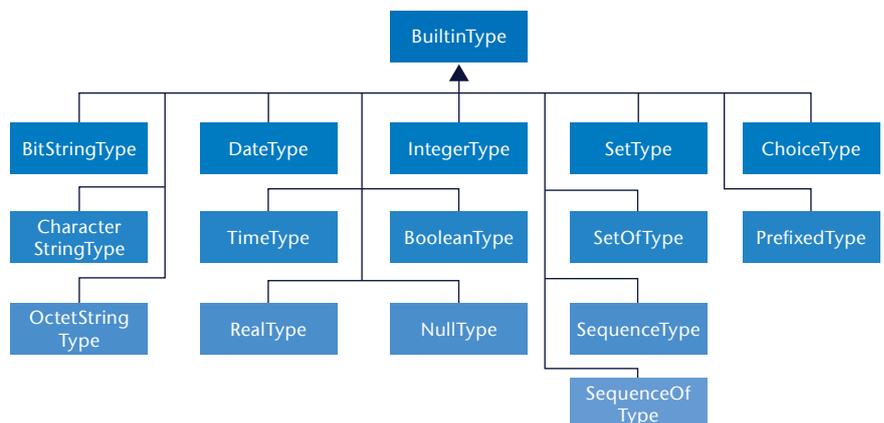


Fig. 2) Model hierarchy of ASN.1 BuildinTypes

The `PrefixedType` is an exception here and is a new type which is isomorphic with another type, but has additional tags or encoding instructions. `SimpleType` and `ContainerType` are represented in the abstract syntax (i.e. metamodel) but are not represented in the concrete syntax of our ASN.1 implementation.

In summary the direct mapping of the concrete syntax to the abstract syntax is not a problem for simple languages, but results in large metamodels for more complex languages. In our current implementation of the ASN.1 language, the metamodel contains 127 model elements, which is relatively complex. This issue also has some influences on the code generation, which we will describe in the next section.

### 3.3. Code generation

Code generation is part of the backend phase of a compiler, which usually creates machine or interpreter code. In our implementation the code generation phase creates a higher level programming language (e.g. an imperative, object oriented language like Java). In MDSE terms, code generation is also referred to as a model to text (M2T) transformation (Flores Beltran et al. 2007), because generally a M2T generator may not only create programming code, but also other artifacts like configurations, database or user-interface scripts.

In our implementation of the ASN.1 compiler we use the Xtext2 language (Xtext project website), which is now

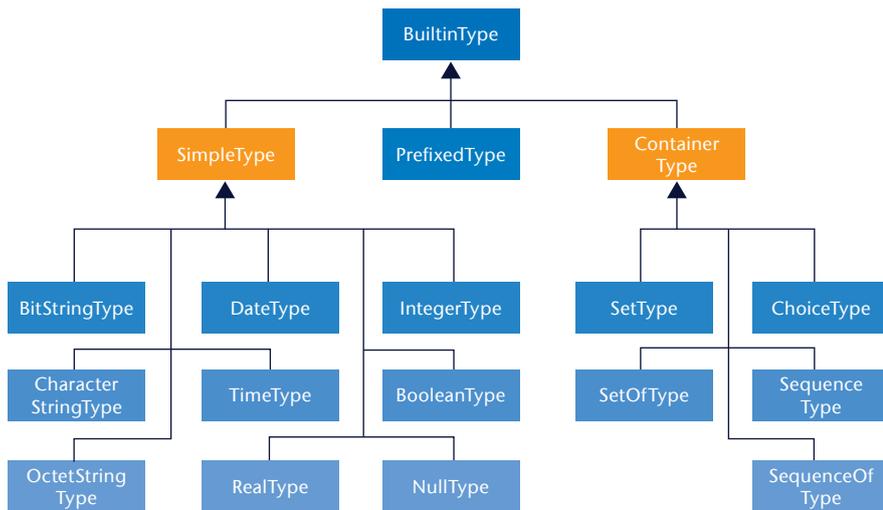


Fig. 3) Modified model hierarchy of ASN.1 BuiltInType

the default generator language of the recent version (2.3) of the Xtext framework. The source of our code generation is an EMF model instance, the target language is Java7 (The Java™ Language Specification 2012). Generally different implementation subjects for the code generation have to be distinguished. These subjects are 1) the internal behavior of the generator and 2) the output configuration of the generated code.

Figure 4 shows the two different strategies for the internal behavior of the generator. Strategy a) creates an intermediate model from the source model, which can contain some optimizations etc. of the source model and then generates the target model. This way code generation is done in Xbase, which is part of Xtext and allows for reuse of expressions in different DSLs.

During the code generation, the Xbase model is inferred to a JVM types model, from which Java code is generated.

It is also possible to create a different intermediate model than the JVM types model, where necessary. In our ASN.1 compiler implementation we have done a direct conversion of the EMF model to Java code. This is possible, because the ASN.1 syntax has a strict type and naming (typereference) convention. Each ASN.1 typereference is translated into a Java class or field name and each ASN.1 type is translated into a Java class or field type. A problematic issue in the code generation is the complex traverse of the model. A simpler model would be helpful for the code generation.

The other subject (2) concerns the output configuration. In traditional compiler implementations these are options that control the runtime behavior or memory usage of the generated code. These options are also valid for code generation. The generated programming code can also be optimized for performance issues or memory management. The latter one also implies whether the generated code depends on a runtime library the generated code depends on. Traditional implementations of ASN.1 compilers for Java always use a runtime library (jar-file) which defines Java classes for the standard ASN.1 types and their encoding rules. For those ASN.1 compilers the generated type classes inherit from the ASN.1 library classes. This approach has the advantage, that every generated ASN.1 type class is explicitly defined and has a strict semantics according to the super class or its interface definition. But this approach has also some drawbacks. The most important are 1) the library also defines classes and methods that may not be required or should not be used in the target environment and 2) the inheritance reduces the flexibility of the generated classes.

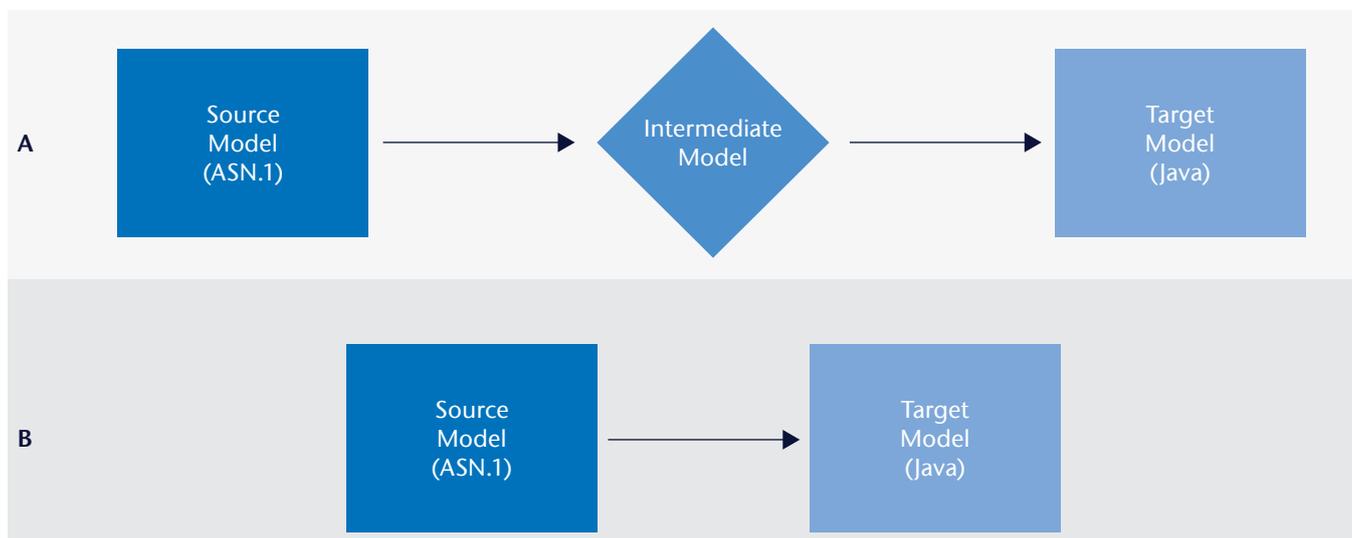


Fig. 4) Internal behavior strategies of a code generator

```

125 --
126 AbsoluteTime ::= SEQUENCE {
127   century      INTEGER (0..255),
128   year         INTEGER (0..255),
129   month        INTEGER (0..255),
130   day          INTEGER (0..255),
131   hour         INTEGER (0..255),
132   minute       INTEGER (0..255),
133   second       INTEGER (0..255),
134   sec-fractions INTEGER (0..255) -- 1/100 of a second if available
135 }
136
137

```



```

15 /**
16  * This is a generated data type class for the ASN.1 type AbsoluteTime
17  *
18  * @generated
19  */
20 public class AbsoluteTime {
21
22     @ValueRangeConstraint(min=0,max=255)
23     private INTU8 century;
24     @ValueRangeConstraint(min=0,max=255)
25     private INTU8 year;
26     // ...
27
28     public void setCentury(INTU8 value) {
29         checkRangeConstraint(getClass(), "century", value);
30         this.century = value;
31     }
32
33     public INTU8 getCentury() {
34         return century;
35     }

```

Fig. 5) Example of the code generation for an ASN.1 Sequence type

Our implementation of the ASN.1 code generator includes generation of Java classes for ASN.1 type assignments. Library classes and functions are copied into the target package as needed. This reduces the amount of the target code, because no runtime library is needed. Besides simple type assignments we also generate code for Constraints. Currently we generate size constraints and value ranges to Java Annotations that are attached to the corresponding Java field. These Annotations are then validated in their equivalent setter and read methods. Figure 5 shows this concept in a simple example for an ASN.1 Sequence type. The sequence type AbsoluteTime that is part of the ASN.1 protocol specification of (ISO/IEEE, 11073-20601, 2010) is generated into a Java class, the child elements of the sequence type become field members of this Java class.

the implementation provides a sophisticated IDE support, i.e. an editor with syntax highlighting, code completion, formatting and integration into the Eclipse workbench. A drawback of this approach is the strict coupling between Xtext and the LL(\*) parser generator ANTLR. This requires a complex rewriting of the grammar rules to be conforming to LL grammars. An optional replacement of the parser generator, like the possible replacement of the code generator Xtend2 through Xpand, Acceleo (both Eclipse projects on <http://www.eclipse.org/modeling/m2t>) or others, would be helpful for this issue.

In future we plan to extend the grammar implementation of the ASN.1 specification and to extend the code generator to support different encoding rules (e.g. MDER Schrenker, Todd 2001 and BER).

#### » IV. CONCLUSIONS

In this article we have discussed the different aspects on implementing an ASN.1 editor and compiler. To achieve this we have used the Eclipse projects Xtext and Xtend2. With these frameworks we have implemented a huge part of the ASN.1 specification. We have proved this implementation on the ASN.1 data type description of the IEEE 11073-20601 standard (ISO/IEEE, 11073-20601, 2010), which defines an exchange protocol for personal health device communication.

Our results show that the ITU recommendation ASN.1 can be implemented with the metamodel-based tools Xtext and Xtend2. With relatively little effort

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work is funded by the German ministry for education and research (BMBF) in the ongoing project MOSES – Modellgetriebene Software-Entwicklung von vernetzten Embedded Systems (FKZ 17075B10).

## BIBLIOGRAPHY

ANTLR website. Available online at <http://www.antlr.org>, checked on 7/09/2012.

Xpand project website. Available online at <http://wiki.eclipse.org/Xpand>, checked on 14/09/2012.

Xtend project website. Available online at <http://www.eclipse.org/xtend>, checked on 23/07/2012.

Andova, S., van den Brand, M., Engelen, L., Verhoeff, T. (2012): MDE Basics with a DSL Focus. In: Bernardo, M., Cortellessa, V., Pierantonio, A. (Eds.): Formal Methods for Model-Driven Engineering. 12th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication, and Software Systems, SFM 2012, Bertinoro, Italy, June 18-23, 2012. Advanced Lectures, vol. 7320. Berlin / Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science, 7320), 21–57.

Bochmann, G. v., Rayner, D., West, C. H. (2010): Some notes on the history of protocol engineering. In *Comput. Netw.* 54, 3197–3209. Available online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.019>.

Eclipse Foundation: Xtext Project Website. Available online at <http://www.eclipse.org/Xtext>, checked on 15/07/2012.

Ek, A. (2002): An ASN.1 Profile. Workshop on Language Advisory Board. Geneva, 24/11/2002. Available online at <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/laboard>, checked on 19/07/2012.

Flores Beltran, J. C., Holzer, B., Kamann, Th., Kloss, M., Mork, St., Niehues, Th., Thoms, K. (2007): Modellgetriebene Softwareentwicklung. MDA und MDSD in der Praxis. Edited by Jens Trompeter, Georg Pietrek. Frankfurt [Main]: Entwickler.press.

ISO/IEEE 11073-20601: 11073-20601: Health informatics – Personal health device communication – Application profile – Optimized exchange protocol.

International Telecommunication Union (ITU): ITU ASN.1 Tools. Available online at <http://www.itu.int/ITU-T/asn1/links/index.htm>, checked on 10/09/2012.

ITU X.680, 13/11/2008: Abstract Syntax Notation One (ASN.1) – Specification of basic notation.

JetBrains: MPS (Meta Programming System) project website. Available online at <http://www.jetbrains.com/mps>, checked on 3/09/2012.

Kistel, Th. (2012): On the extension of message syntax languages for the development of communication protocols. In: ACM/IEEE 15th International Conference on Model Driven Engineering Languages & Systems. Doctoral Symposium. MODELS. Innsbruck, 02.10.2012.

OMG formal/2011-08-07, August 2011: Meta Object Facility (MOF) Core.

OMG formal/2011-08-05, August 2011: Unified Modeling Language (UML) - Infrastructure.

OMG formal/2011-08-06, August 2011: Unified Modeling Language (UML) - Superstructure.

Oracle America Inc. (2012): The Java™ Language Specification. Java SE 7 Edition. With assistance of James Gosling, Bill Joy, Guy Steele, Gilad Bracha, Alex Buckley. Available online at <http://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se7/jls7.pdf>, checked on 11/09/2012.

Parr, T. (op. 2007): The Definitive ANTLR reference guide. Building domain-specific languages. Raleigh [ etc.]: The Pragmatic bookshelf.

Scheidgen, M. (2006): CMOF-model semantics and language mapping for MOF 2.0 implementations. In: Ricardo J. M. (Ed.): Fourth and Third International Workshop on Model-Based Development of Computer-Based Systems and Model-Based Methodologies for Pervasive and Embedded Software, 2006. MBD/MOMPES 2006; 30 March 2006, Potsdam, Germany. Computer Society; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); Workshop on Model-Based Development of Computer-Based Systems; International Workshop on Model-Based Methodologies for Pervasive and Embedded Software; MBD-MOMPES 2006. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society, pp. 10.

Schrenker, R., Todd, C. (2001): Building the Foundation for Medical Device Plug-and-Play Interoperability. In: Medical Electronics Manufacturing. Available online at <http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/building-foundation-medical-device-plug-and-play-interoperability>, checked on 20/07/2012.

Selic, B. (2007): A Systematic Approach to Domain-Specific Language Design Using UML. In: ISORC '07. 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing, 2007, 2–9.

Selic, B. (2012): The Less Well Known UML. A Short User Guide. In Bernardo, M., Cortellessa, V., Pierantonio, A. (Eds.): Formal Methods for Model-Driven Engineering. 12th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication, and Software Systems, SFM 2012, Bertinoro, Italy, June 18-23, 2012. Advanced Lectures, vol. 7320. Berlin / Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Computer Science, 7320), 1–20.

Spinellis, D. (2003): On the declarative specification of models. *Software, IEEE*. In *IEEE Software* 20 (2), 96–95.

Steinberg, D., Budinsky, F., Paternostro, M., Merks, E. (2009): EMF. Eclipse Modeling Framework. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.

Torchiano, M., Ricca, F., Tonella, P. (2005): A comparative study on the re-documentation of existing software: code annotations vs. drawing editors. In: International Symposium on Empirical Software Engineering 2005 (ISESE 2005). Noosa Heads, Queensland, Australia, 277–287.

Völter, M. (2011): Language and IDE Modularization, Extension and Composition with MPS. In: Lämmel, R., Saraiva, J., Visser, J. (Eds.): Generative and Transformational Techniques in Software Engineering IV. International Summer School, GTTSE 2011. Pre-proceeding, 395–431.

Wendlandt, O. (2010): Entwurf und Realisierung eines Konzeptes für modellgetriebene Softwareentwicklung von Geräteschnittstellen. Master Thesis. University of Applied Sciences Wildau, Wildau. Institute of Telematics

## AUTHORS

**Thomas Kistel, M. Eng**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
TH Wildau [FH]  
[thomas.kistel@th-wildau.de](mailto:thomas.kistel@th-wildau.de)

**Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhousten**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
TH Wildau [FH]  
[ralf.vandenhousten@th-wildau.de](mailto:ralf.vandenhousten@th-wildau.de)

# AN INDOOR LOCALIZATION SYSTEM USING ACTIVE RFID TECHNOLOGY

Tom-Ole Bolle, Christopher Rohrlack, Milosch Meriac, Janett Mohnke

## Zusammenfassung

Im Jahr 2009 wurde das „iCampus Wildau“ Projekt an der Technischen Hochschule Wildau [FH] initiiert, ein Projekt, das vorrangig durch die Mitarbeit von Studierenden des Studiengangs Telematik geprägt ist und der Leitung von Frau Prof. Dr. Mohnke unterliegt. Das große Ziel liegt in der Schaffung eines mobilen und multilingualen Campus-Informationssystems, das es Besuchern, Studierenden und Mitarbeitern der TH Wildau [FH] ermöglicht, einen schnellen und übersichtlichen Einblick in alle Domänen des Campus zu erhalten.

Neben Höhepunkten in der Softwareentwicklung, darunter die Programmierung von Smartphone- und „Rich Internet“-Applikationen, beschäftigen sich die Projektmitarbeiter auch mit der Entwicklung und Evaluation eines Indoor-Ortungssystems in der Hochschulbibliothek, das seitens der Hardware auf aktiver RFID-Technik, die im lizenzfreien 2,4Ghz ISM-Band arbeitet, aufbaut und seitens der Software auf einem Open-Source Projekt mit dem Namen „OpenBeacon“ basiert. iCampus' Ziel ist es, das System durch Anpassung der Firmware der OpenBeacon-RFID-Tags und (Weiter-)Entwicklung von Ortungsalgorithmen so zu stabilisieren, dass es auch in kritischen baulichen Gegebenheiten zuverlässige Ergebnisse liefert und universell einsetzbar wird.

iCampus Wildau (2012)

## Abstract

In 2009 the „iCampus Wildau“ project started at the Technical University of Applied Sciences in Wildau. It is a project mainly driven by students of the Telematics course under the guidance of Prof. Dr. Janett Mohnke. The main goal is to set up a mobile and multilingual on-campus-information system, providing visitors, students and employees a quick and clear overview of the facilities of the different university domains as well as information about special events.

Besides highlights in the field of software development such as programming smartphone and rich internet applications, the iCampus project team develops and evaluates an indoor localization system in the university's library that is based on active RFID technology, working in the 2.4GHz ISM-Band and OpenSource software, namely „OpenBeacon“. Reaching the main target, which is stabilization of localization results and universal usage in almost every critical constructional area, is achieved by the adaptation of the RFID tag's firmware and the further development of localization algorithms. Detailed descriptions from the hardware and software side as well as a discussion of the perspective of this technology will be made in this paper.

iCampus Wildau (2012)

## » I. INTRODUCTION

At the University of Applied Sciences in Wildau (Germany) students establish a multi-platform and multi-lingual on-campus-information system. With the help of simplified maps, professional audio tracks, and high resolution panorama pictures a user is guided across the campus and provided with current information about visible and invisible services and options.

A content management system allows adding any multimedia content, which will be useful for a visitor. In this way, the system can be used to deliver permanent information about the facilities of different university institutions as well as temporary information about or for certain events. The content can be provided in different languages,

which again is of great value to international students and visitors.

There are several possibilities to use iCampus Wildau: On mobile devices, like Apple's iPhone/iPod Touch or Android based smartphones and in any modern web browser. The application acts like a virtual guide for its users. Because of its modular and general approach, the guide has been used for several, quite different purposes. There is a multimedia guide introducing new users to available services of the university's library, there are two virtual campus explorations, one for new students and one for visitors of the university and there is a guide giving insights into the campus architecture. (iCampus Wildau (2012))

iCampus Wildau is an active-minded project where new ideas and approaches are investigated and tried out. One of these ideas involves the improvement of the guide's usability by involving the user's location, so a location based service can be provided in this virtual exploration. By automatically providing the "Here I am"-information, the system can be more convenient for the user.

As long as the guide is used outside, technology such as GPS can be used to automatically determine the position of the user, presuming that the user has a device supporting GPS. However, this approach does not work inside of buildings because of the high signal loss. Therefore we want to use the RFID technology built by the



Fig. 1) iCampus iPod Application

Bitmanufaktur GmbH (Bitmanufaktur GmbH (2012)) and the software provided by the OpenBeacon project (OpenBeacon (2012)).

OpenBeacon provides an active 2.4 GHz RFID system which is based on Open Source software and Open Source hardware. All components are available under the GPL license and can be programmed and adapted using the C language. In the following, we first want to introduce some special knowledge that you need to understand the rest of the paper. Then we will describe the system, how it works, what the results are and what kind of other use cases are imaginable. Our results are based on field tests inside the library of the University of Applied Sciences in Wildau.

## » II. COMMUNICATION METHODS

### 2.1. Radio frequency identification

Radio frequency identification (RFID) means the clear marking of objects through electronically saved data. The objects identification data is transmitted via radio, where the used frequency bands are low frequency (LF, 100-135 kHz), high frequency (HF, 13.56 MHz) and ultra-high frequency (UHF, 868 MHz and 2.45 GHz). An RFID system consists of different types of components that will be explained below. (Finkenzeller 2012: 15ff.)

The first part to mention is the so-called “tag” which is the carrier containing the identification data of the

object. These tags usually have a very small construction form as they include an integrated circuit for storing and processing data and a modulation component as well as an (in some cases noticeable huge) antenna for data transmissions. The energy for running a tag can be supplied actively by connecting a battery or passively through the usage of the physical phenomenon of induction. When using passive RFID tags, the energy will be passed by electromagnetic waves emitted by the so-called “readers”.

Readers are important to RFID tags because it is their task to write data to and read information from the tags via contactless transmission. Generally, readers have an interface to talk to a computer or network so that the received data can be processed. The distance between tag and reader can vary from about 1cm up to many meters. There are also bulk readers which have the ability to read the information of multiple tags in the surroundings very fast.

RFID technology already had its hype in the years after 2000 (Finkenzeller 2012: preface), but is still present in many industrial and especially logistical fields. There are many uses: The university’s library uses RFID to lend books and for security reasons so that nobody leaves the building with an unprocessed book. Warehouses put personal clip tags onto clothing to avoid thievery, logistic companies want to track the way the containers go and we want to use RFID to localize people and maybe later books in our university’s library, too.

### 2.2. (Wireless) Local area network

Almost everyone has heard of the terms “LAN”, “WLAN” or “Wi-Fi” and knows that it describes some kind of connection between computers and mobile devices. In detail, local area networks enable the connection between two or more devices so that they can communicate. WLAN is the further development of LAN and received its detailed description in IEEE 802.11, an international communication standard. It works in the license-free 2.4GHz ISM-Band and is restricted in its transmission power to a maximum of 100mW. Dependent on the in-built radio unit and the surroundings, communication distances can be up to 100m. In most cases of usage the data packet exchange happens via an access point which mostly has an integrated DHCP-Server, distributing the network settings (IP, DNS-Server and Gateway) to new devices. The transfer rates in WLANs are between 11Mbit/s and 600Mbit/s, while the wired LANs reach rates in the gigabit range.

The largest advantage of Wi-Fi is that it is extremely easy to install and allows its users a certain mobility and flexibility in choosing the right place for their computer and device, respectively, whereas LANs always need fixed installed network sockets to get access.

## » III. HARDWARE COMPONENTS

### 3.1. OpenBeacon tag

The OpenBeacon tag, internally also called “reference tag” or “sputnik tag”, is next to the other devices one of higher importance. The core features are a PIC16F688 microcontroller built by the Microchip Company, the NRF24L01 RFID chip made by Nordic Semiconductors and of course the ceramic antenna. On its baseplate you can also find a touch interface, consisting of golden rings, providing the possibility of simple user inputs.

The tag is pasted into a plastic case so that it is resistant to external influences and easier to install on shelves and lockers. The OpenBeacon tag is an active tag because its energy supplier is a 3.6V AA battery that has to be changed after 1-2 years, depending on the usage. Although the implemented

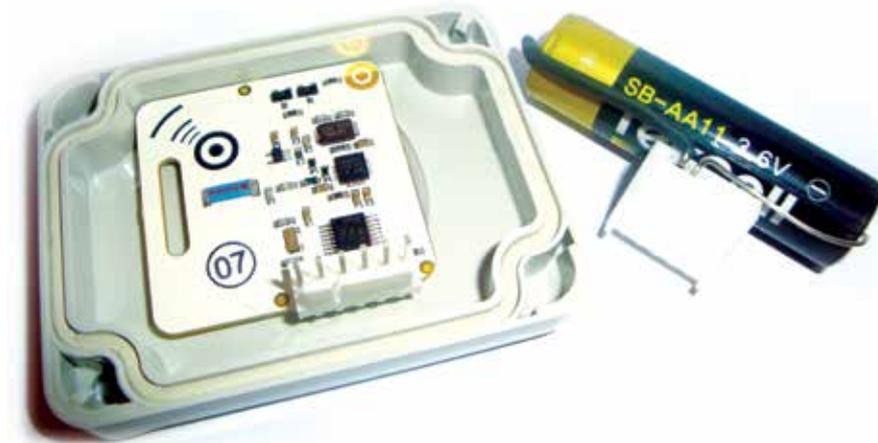


Fig. 2) An OpenBeacon tag pasted in a case

firmware supports many functions for saving energy, changing the battery always means a lot of work. That is why there are plans to support the energy delivery by installing solar cells on the tags case in the near future.

The interesting thing about the tag's firmware is that it standardly allows transmitting with 4 different signal strengths, providing signal ranges from 5m to 25m. By setting a special pin inside the code, the output current can be limited so that the maximum range is less than 5m. This is called proximity mode and allows us to effectively use 8 different strengths. The package rate, which means the number of packets that can be sent out by a tag within a certain amount of time, is up to 50 packets/sec with a cyclic transmission of every signal strength.

### 3.2. OpenBeacon USB1

This component is very interesting for testing functions of surrounded tags by providing a view of the content of

the transmitted packets. The OpenBeacon USB1 also has a NRF24L01 on its board which is supported by a larger antenna, allowing much better reception quality. The device gets its power by plugging it into a USB port of the computer, which is done for a supported debug or for using output functions on the computer screen. The USB1 is like a sniffer in our scenario, but can be used for many other purposes as well.

### 3.3. OpenBeacon USB2

OpenBeacon USB2 is a powerful active RFID tag, having an LPC1343 ARM Cortex M3 microcontroller at its heart that allows a clock up to 72MHz. In addition we find the PAN1321 Panasonic Bluetooth module, the NRF24L01 RFID chip, a triple-axis accelerometer and a 4MB external flash storage. A rechargeable battery, with a charge of 700mAh, supplies the power for all this.

Because of its micro USB port, the tag can easily be recharged and flashed by using the computer. In addition, the firmware allows a debug output on this interface, which makes error handling quite comfortable. By using the 3 key switches at the front you can reset the tag or boot it into the flashing mode. There are also plastic cases for this which can also be used as nameplates. The disadvantage with them is that they cause problems with the emitted and received signals, so that packets can get lost.

### 3.4. OpenBeacon AC WI-FI

As the name already tells us, this has to do with Wireless LAN. The OpenBeacon AC Wi-Fi station transforms RFID signals into WLAN signals. The box needs a 230V power socket which makes it quite inflexible in positioning. On its board you can find the NRF24L01 RFID chip, an ATMEL AT91SAM7SE512 microcontroller and a 2.4 GHz WLAN module, namely RN-131 GSX by Roving Networks. The AC Wi-Fi station is fitted with an internal antenna, but can also be provided by an external antenna. Its main task is to forward the RFID packets sent by the tags into a wireless network, in our case into the iCampus network. With a server connected to the network, you can receive the data and work with it.

### 3.5. OpenBeacon Ethernet ETHERNET EasyReader

The EasyReader can be seen as a further development of the AC Wi-Fi Station, whose power supply comes via Ethernet (PoE). In addition, it receives data with 2 antennas to avoid the loss of



Fig. 3) The OpenBeacon USB1

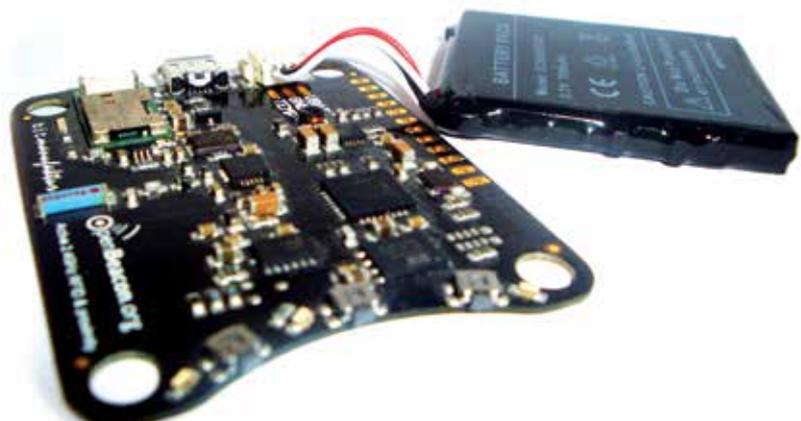


Fig. 4) OpenBeacon USB2 without case



Fig. 5) The OpenBeacon Easy Reader

packages due to local cancellations in the 2.4GHz band. Received RFID packages are forwarded across the Ethernet port of the EasyReader.

Next to these hardware features the reader is configurable and flashable via a mini USB port. Furthermore, it offers a statistic mode, where users can see package transfer rates and more. Using a filtering algorithm, the implemented firmware automatically handles the double-signal reception.

(OpenBeacon (2012))

#### » IV. LOCALIZATION SETUP

The OpenBeacon tags are distributed in the library in a way that from each point at least 2-3 tags are visible by a moving observer and continuously transmit packets into different transmission strengths. When placing the tags, position coordinates are stored together with the tag ID in the server application. Contents of the packages sent are the ID of the tag and the corresponding transmission intensity with which the packet was sent. Moving observers wear an OpenBeacon USB2 receiver on their chest. To achieve line of sight to the observers the tags are installed preferably at a height of 2-3 meters.

The OpenBeacon USB2 receivers aggregate statistics of tag IDs versus packets received on each power level. These raw statistics are sent to the network infrastructure consisting of OpenBeacon AC Wi-Fi's that are installed permanently in the library. It is their job to re-transmit the statistics to a centralized server via Wi-Fi network using a UDP-based network protocol. As an alternative to the AC Wi-Fi

readers, EasyReaders can be used for the re-transmission. The Tracking Server Application that runs on this server receives the packets from the wireless and calculates the position of the USB2. This position is stored in a JSON file in a freely readable directory on the server. From there, applications that want to evaluate the location can fetch it any time.

#### 4.1. The localization algorithm

Tags transmit packets containing their ID 20-40 times per second - cycling through 2-8 transmit power levels. The effective transmission range of these packets depends on the power level and spans from 0.3-1.2 meters and 5 to 25 meters for the eight available levels. The concept behind the localization algorithm is to maintain packet loss statistics for each individual power level.

To calculate the position of the observer, the packet loss statistics are fed into a mechanical rubber-band model of the observer position. Less packet loss means a shorter distance to a tag and thus a stronger force to the particular tag. The different distance dependent forces on the observer, as a result of the distance dependent packet loss, create a force vector on the observer model position and result in movement of the observer.

By changing the model "weight" of the observer in the algorithm the responsiveness of the position change can be influenced: A higher observer model weight results in slower response to movement of the observer and a higher precision. A lower observer model weight leads to quicker response to movement and a higher inaccuracy in the calculated observer position.

#### 4.1.1. Centralized tracking server application

Using the previously described localization algorithm the centralized server application collects incoming UDP packets, maintains packet statistics per power level and calculates observer positions based on the stored tag floor plan positions. The unit for distances can be freely chosen, but because of practical reasons, tag positions are stored in pixel positions of readers in the floor plan schematic bitmap. Choosing pixels as base units simplifies the setup phase where positions of distributed tags are determined and also simplifies web client programming as observer positions can be directly translated into pixel positions that fit displayed bitmaps for real-time update.

The updated list of observer positions, tag positions and tag state (button press etc.) is sent to a web server in JSON format (pre-compressed and plaintext) five times per second as simple files stored in a memory backed file system (tmpfs, ramdrive) for higher performance. As the supplied JSON files contain the full state of the system, the web client for visualization or other services can freely choose the frequency of polling for updates.

#### 4.2. Visualization via the Tracker Web Application

The Tracker Web Application visualizes the localization data and allows the setting of positions of the reference tags. After the reference tags are set by click, the created scenario can be saved and loaded again. The positions of the tags will be sent via AJAX to the tracking server on which the position calculation is done. When the server is running and enough packets are received, the results of the calculation can be seen live with the Tracker Web Application. Using AJAX and jQuery, the position is updated every 100ms from the position-JSON-file the server creates. It is also possible to let the application plot positions onto the map, so that the course of the calculation can be seen easily. This app is a really useful tool for logging experimental results.

## » V. EXPERIMENTAL RESULTS

Tests have shown that the range of the different signal strengths is highly dependent on water in the surroundings. That means that not just people between tags influence the position calculation, but also the weather, especially the humidity. When humidity is high, the ranges of all signals are generally limited. For example, the limited signal range caused by excessive humidity can be passed by parameters to the algorithm, so that the result is adapted. People disturb the detection much more, which makes it difficult to correct.

The tracking is in a stage of permanent development where it can already be used for some applications. It is not suited to track a motion in real time. There are still some pending actions in order to use the system in real-time mode. The main problem is the delay in getting the correct position of a moving observer. Therefore the current algorithm for determining the position is best suited for pinpointing. A real-time tracking using this algorithm is possible as well, but further improvements of the setting and the algorithm have to be done.

Figure 6 shows the map of the second floor of the library with a snapshot of tracking results and associated positions. In this picture, the top left corner of the box with the tag ID corresponds to the position calculated by the algorithm. The black dots represent the correct location of the USB2 tags. The measured values were recorded approximately 5 seconds after the tag has not changed its position.

## » VI. SUMMARY AND PERSPECTIVE

In this paper, we have introduced “OpenBeacon”, an active 2.4 GHz RFID system which is produced by Bitmanufaktur GmbH. Since the system is based on Open Source software and Open Source hardware it can be adapted to serve quite different application scenarios. Our special focus has been on its installation and adaption to the library of Technical University Wildau. Here we have created an indoor localization system for the library. This paper

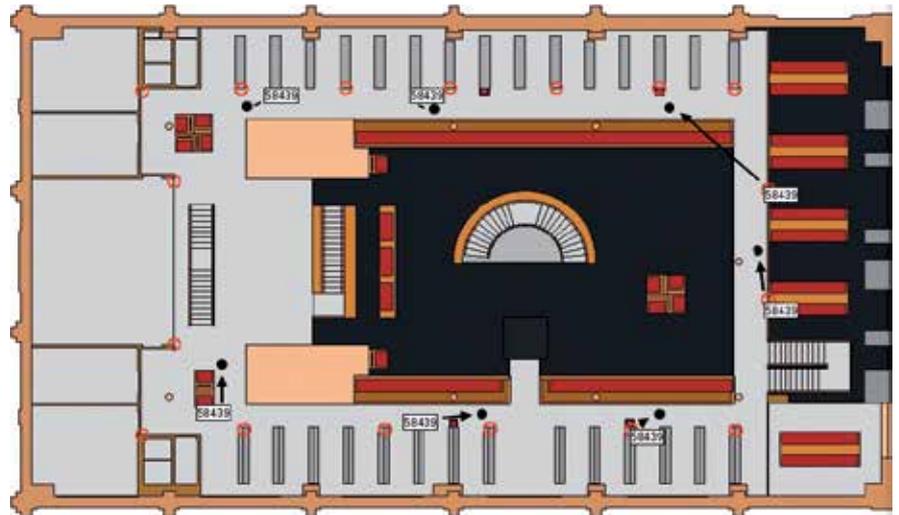


Fig. 6) Experimental results in the library

presents the current state of development of the system. It can be used for pinpointing the location of a non-moving observer with good results. So this is exactly where we are going to use it for in the near future. We have worked on applications that provide different location-based services for library users. Initially planned for the iCampus Wildau guide only, the system is mainly used for applications developed within a partner project of iCampus Wildau, called “iLibrary”, at the moment. The goal of the iLibrary project is the development of an interactive information system for the improvement of virtual library services within our library. To name a few ideas, the OpenBeacon location system will be used to develop a service that helps a library user to locate an expert helping him or her to solve a library related problem. Also, a service that guides a user through the library for collecting books along an optimal path has been implemented. Other ideas are under development. All services can be used on Android based smartphones so far. An application for Apple’s iPhone has been developed. With our growing knowledge about the system, its advantages and current disadvantages, we also focus on further improvements to be able to use the system for real-time-tracking applications as well.

### ACKNOWLEDGMENTS

The results presented in this paper would not have been possible without the pioneer work of several students studying Telematics at the University of Applied Sciences Wildau who did an internship with the iCampus Wildau project exploring the OpenBeacon-System and installing it in our university’s library. Our special thanks go to: Sascha Hillig, Ricardo Frommholz, Jonny Leuschner, Sebastian Mundry, Maren Schroeter, and Alexander Schrot. Also, we would like to thank Alfredo Azmitia and Martin Bradbeer for proofreading the paper.

### REFERENCES

- iCampus Wildau (2012): Project information. <http://www.th-wildau.de/index.php?id=5321> (04/30/2012).
- OpenBeacon(2012): OpenBeacon Active RFID Project. <http://www.openbeacon.org/> (04/30/2012).
- Bitmanufaktur GmbH (2012): Bitmanufaktur Open Source Projects. <http://www.bitmanufaktur.de/> (04/30/2012).
- Mohnke, J., Seeliger, F. (2012): iCampus goes library. Advantages of using a Multimedia Guide in a Library, Singapore.
- Finkenzeller, K. (2012): RFID Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. 6. Auflage, München.

### LIST OF FIGURES

- (1) iCampus iPod Application - by iCampus
- (2) An OpenBeacon tag pasted in a case - by iCampus
- (3) The OpenBeacon USB1 - by iCampus
- (4) OpenBeacon USB2 without case - by iCampus
- (5) The OpenBeacon EasyReader - by iCampus
- (6) Experimental results in the library - by iCampus

### AUTHORS

**Tom-Ole Bolle**  
Student Telematics – 5<sup>th</sup> Semester  
Technical University of Applied Sciences Wildau  
bolle@th-wildau.de

**Christopher Rohrlack**  
Student Telematics – 3<sup>rd</sup> Semester  
Technical University of Applied Sciences Wildau  
rohrlack@th-wildau.de

**Milosch Meriac**  
Chief Technical Officer  
Bitmanufaktur GmbH Berlin  
meriac@bitmanufaktur.de

**Prof. Dr. rer. nat. Janett Mohnke**  
TH Wildau [FH]  
janett.mohnke@th-wildau.de  
www.th-wildau.de/icampus

# AUTOMATISIERTE HANDHABUNG BIEGESCHLAFTER MATERIALIEN

## Wo setzt die Ingenieursaufgabe an?

Jörg Reiff-Stephan

### Zusammenfassung

Das Greifen von biegeschlaffen Materialien z. B. Gummi, Textil, Schaumstoff, FVK-Matten erfolgt industriell heute immer noch zu einem großen Teil manuell. Technische Schwierigkeiten werden durch die biegeschlaffen Materialeigenschaften selber sowie den erhöhten Flexibilitätsanforderungen aufgrund der Fertigung kleinster Losgrößen hervorgerufen. Automatisierungsbemühungen scheitern bisher an flexiblen Greifsystemen zum Handhaben derartiger Bauteile.

### Abstract

Mainly, the gripping of non-rigid sheet material (i.e. rubber, textiles, foams, crp-matting) is done manually in industrial processes. Technical difficulties are described by the non-linear material behavior itself as well as regarding to the enhancement of flexibility due to the manufacturing of small batches. Up to now, efforts in automation fail because of the loss of such flexible gripping systems. To enhance the competitiveness in countries with high labor costs, the handling is especially in need of automation. This paper presents an analysis of current design principles of grippers for transportation. The influences of different fabric properties on handling capability are discussed. Based on specific material behavior, gripper types are able to be chosen for best reliability in production process. The design of a hydro-adhesive gripper and its handling features are described as well.

Die automatisierte Bereitstellung wie auch das Greifen biegeschlaffer Werkstoffe in der industriellen Produktion stellt auch heute noch eine ingenieurmäßige Herausforderung dar. Überwiegend werden die zur Bereitstellung und Zuführung von biegeschlaffen Materialien durchgeführten Handhabungsprozesse auch heute noch manuell ausgeführt. Dies birgt ein enormes Potenzial zur Kostenreduzierung durch Automatisierung. Jedoch verhindern die Materialeigenschaften sowie die schwierigen Vorrichtungen weitgehend die Nutzung dieses Potenzials. Insbesondere bei ungewöhnlichen Handhabungsaufgaben wie dem Greifen von forminstabilen bzw. biegeschlaffen faserverstärkten Materialien ist der Anwender oft gezwungen, nach Alternativen zu den herkömmlichen mechanischen oder pneumatischen Greifsystemen zu suchen. Die Anwendung von Greiftechnik bleibt jedoch zumeist auf Großserien beschränkt. Es fehlen die notwendigen Erfahrungen in diesem Bereich, um eine schnelle Lösung zu erarbeiten.

Ziel ist, dass Greiferkomponenten von Handhabungssystemen für den biegeschlaffen Bereich flexibel auf sich schnell ändernde Produktionsbedingungen einstellbar gestaltet sein müssen. Dieser Aufsatz zeigt Einflusskriterien zur Greiferauswahl basierend auf der Handhabungsaufgabe und die möglichen greiftechnischen Werkzeuge auf. Es wird ein Überblick geschaffen und eine Basis zum Suchen der optimalen Lösung aufgezeigt.

### » I. EINFLUSSKRITERIEN

Bei der Auswahl eines Greifers für eine bestimmte Handhabungsaufgabe ist eine Vielzahl von Kriterien zu beachten. Diese Kriterien betreffen sowohl die zu handhabenden Gegenstände und das Handhabungsgerät als auch das Fertigungsmittel und dessen vor- und nachgeschalteten Bereich (Hesse und Malisa 2010), Abb. 1 (Szimmat 2007).

### » II. STAND DER TECHNIK

Seit Jahren wird an der Entwicklung flexibler Greifwerkzeuge zum automatisierten Handhaben biegeschlaffer Materialien weltweit geforscht. Einen industriellen Einsatz finden sie jedoch nur eingeschränkt beim Einzelteiltransport von großflächigen Bauteilen in der Automobilindustrie. Systeme zum automatisierten Greifen sind für die Konfektionsindustrie bisher nur prototypisch realisiert worden. Ausgehend von den in Abb. 2 dargestellten physikalischen Wirkprinzipien lassen sich mechanische Greifer, pneumatische Greifer sowie Adhäsionsgreifer zum Greifen von biegeschlaffen, textilen Bauteilen unterscheiden. Im Folgenden werden Greiferarten kurz vorgestellt und Ihre Einsatzgrenzen aufgezeigt.

### » III. MECHANISCHE GREIFER

Bei mechanischen Greifern werden die Haltekräfte durch Kraft- und/oder Formschluss aufgebracht. Bekannt sind hier Klettverschluss-, Nadel-, Klemmbacken-

	Magazin		Bunker
	geordnet	teilgeordnet	ungeordnet
Symbol			
Beispiel			
Weitere geordnete Speicherformen			

Abb. 1) Speicherformen von flächigen Bauteilen

und Kratzengreifer. Greifer, die nach dem Prinzip des Klettverschlusses arbeiten, besitzen auf der Kontaktfläche eine hohe Anzahl kleiner Häkchen, die sich beim Greifvorgang mit der textilen Oberfläche formschlüssig verhaken. Das Lösen der Verbindung von der Kontaktfläche des Greifers ist schwierig und mit großen Beschädigungen der Textilloberfläche verbunden.

Das Greifen mit Nadelgreifern beruht darauf, dass feine gerade oder gebogene Nadeln in gegenläufiger Richtung in das Material einstechen und so eine Spannkraft im Textil erzeugen. Wird die Einstechtiefe der Nadeln nicht genau justiert, so können die Nadeln beim Vereinzeln durch das Bauteil durchstechen und es werden mehrere Textillagen gegriffen. Somit sind die wesentlichen Nachteile dieser Greiferart die Beschädigungen aufgrund von Fadenverschiebungen oder Fadenbrüchen auf der Materialoberfläche sowie die zeitintensive Nadeljustierung bei wechselnden Materialdicken.

Kratzengreifer bestehen aus mehrschichtigen von U-förmigen Drähten durchstochenen Geweben mit einer

hohen Anzahl von Kratzenden. Zum Greifen werden zwei Greifwirkflächen gegeneinander verfahren. Damit wird eine Spannkraft durch Oberflächenverhakungen der Kratzenden mit den herausstehenden Fasern erzeugt. Gleich dem Nadelgreifer besteht der wesentliche Nachteil darin, dass diese Greifer die Fadensysteme verschieben und mit den scharfen Kratzenden die Oberflächen der Bauteile beschädigen.

#### » IV. PNEUMATISCHE GREIFER

Bei pneumatischen Greifern werden kraftschlüssige Haltekräfte durch Unterdruck erzeugt und das Bauteil an der Kontaktfläche festgesaugt. Sie können nur bei Materialien mit keiner oder geringer Luftdurchlässigkeit, wie beispielsweise bei Papier, Folien, Leder und beschichteten textilen Materialien, eingesetzt werden. Bei luftdurchlässigen Materialien wie Oberstoffen finden pneumatische Greifer bisher keine erfolgreiche Anwendung. Funktionsstörungen durch Herabsetzung der Haltekraft werden dabei durch starke

Strukturierungen der Materialoberfläche oder bei haarigen Textilien verursacht. Auch kann bei zu großem Volumenstrom eine Vereinzelnung nicht gewährleistet werden. Praktische Bedeutung erlangten Sauggreifer bisher nur in Kombinationen mit mechanischen Greifern.

#### » V. ADHÄSIVE GREIFER

Adhäsionsgreifer bilden eine Haltekraft, eine kraft- oder stoffschlüssige Verbindung durch Adhäsion mit dem textilen Material aus. Untersuchte Prinzipien sind elektrostatische Greifer, Adhäsionsfolien- und Gefriergreifer. Elektroadhäsive Greifer arbeiten mit elektrostatischen Feldern. Haltekräfte werden durch Polarisation erzeugt. Sie treten dabei nur auf der Oberseite des Bauteils auf, das sich in Kontakt mit dem Greiferdielektrikum befindet. Dieses Wirkprinzip ist daher gut für einen Vereinzelnungsvorgang geeignet. Nachteilig wirken sich die sehr geringen Haltekräfte aus, die einer praktischen Umsetzung bisher entgegenstehen. Aktuelle

		Bauformen		Wirkflächen
<b>Kraftschluss</b>	Reibkräfte	Klemmen		variabel
		Haftsauger		klein
	Unterdruckkräfte	Flächensauger		groß
		Bernoulli		klein
	Elektrostatische Kräfte	Elektroadhäsion		klein
<b>Stoffschluss</b>	Molekulare Kräfte	Adhäsionsfolien		punktuell
		Gefriergreifer		punktuell
<b>Formschluss</b>	Paaren von Formelementen	negatives Abbild		klein
		flexibler Formgreifer		klein
	Oberflächenverhakung	Nadeln		punktuell
		Kratzen		klein
		Klettverschluss		groß

Abb. 2) Physikalische Wirkprinzipien und Bauformen von Textilgreifern

Forschungsbemühungen setzen an diesem Umstand an und führten zu einer Lösung, deren Einsatz im Bereich der Handhabung faserverstärkter Kunststoffe geprüft wird (Brecher, Emonts und Ozolin 2012). Es sei geplant, den Greifermechanismus mit adaptiven Kinematiken zu kombinieren, um ein leistungsfähiges Gesamtkonzept für die Handhabungsaufgaben anbieten zu können.

Bei Adhäsionsfoliengreifern wird ein Klebeband über eine Walze oder einen Stempel auf das zu greifende Bauteil gedrückt. Zum Greifen wird die Adhäsionskraft zwischen Klebeband und Textil genutzt. Gleich dem elektroadhäsiven Wirkprinzip stellen sich nachteilig bei diesem Wirkprinzip die geringen

Haltekräfte dar. Dadurch muss die Größe der Wirkfläche immer in Relation zum Gewicht des Zuschnittteiles gewählt werden, was die Teileflexibilität stark einschränkt. Strukturierungen der Materialoberfläche verkleinern die Adhäsionsfläche und damit die Haltekräfte. Abstehende Faserenden an der Materialoberfläche können zusätzlich bewirken, dass keine ausreichende Wirkpaarung zwischen Greifer und Materialoberfläche entsteht. Beim Lösen können Faserenden durch das Adhäsionsmittel abgerissen werden bzw. Kleberückstände am Material verbleiben.

Ein weiteres adhäsives Wirkprinzip zum Greifen ist das hydroadhäsive Greifen – auch Gefriergreifen genannt (Abb. 4). Gefriergreifer bilden einen Stoffschluss



Abb. 3) Nadelgreifer



Abb. 4) Hydroadhäsionsgreifer

zwischen textilen Bauteile sowie der Kontaktfläche des Greifers durch Gefrieren eines Wirkmediums. Die entstehende hydroadhäsive Verbindung ermöglicht hohe Haltekräfte ohne zusätzliche Verspannungen im Textil zu bewirken. Gerade diese Eigenschaften werden in der Konfektionstechnik von Greifsystemen gefordert, da die Textilien mit ihrer großen Fläche bei kleiner Bauteildicke biegeschlaff sind und flächig gegriffen werden müssen.

Das hydroadhäsive Greifen erfolgt dabei derart, dass ein Wassernebel (ca. 0,1 ml) an der Greifstelle aufgesprüht und mit dem Textil an den Greifer angefroren wird. Das Aufsprühen erfolgt über die integrierte Düse, mit der die Wassermenge genau dosiert werden kann. Das anschließende Anfriern des Wassers erfolgt durch ein Kühlelement, welches eine Temperatur von ca.  $-14^{\circ}\text{C}$  erzeugt. Dies gewährleistet ein Durchfrieren der geringen Wassermenge innerhalb einer Sekunde. Das Kühlelement soll nicht nur das Wasser frieren, sondern stellt auch gleichzeitig die Greiffläche des Gefriergreifers dar.

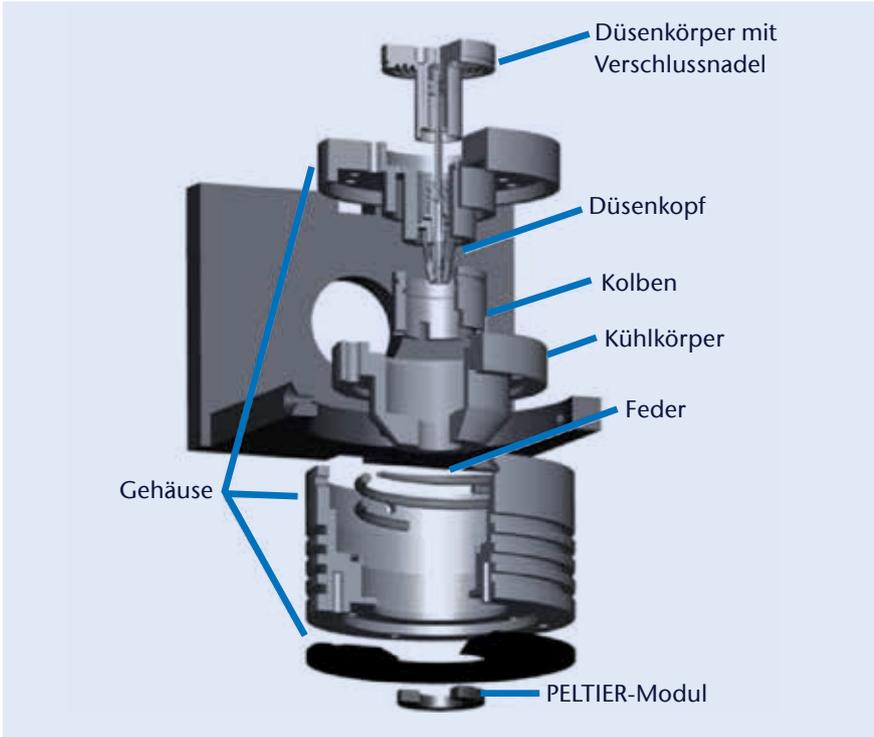


Abb. 5) Explosionsdarstellung eines Gefriergrifers

der Auslegung und vor Serieneinsatz erfolgen.

Bereitstell- und Zuführprozesse für Handhabungsaufgaben von biegeschlaffen Materialien stellen hohe Anforderungen an die verwendete Greiftechnik und an das Wissen um die Auslegung anhand der umwelttechnischen Einflüsse. Der Beitrag zielt darauf ab, das Vorgehen bzw. eine Leitlinie zur effektiven Auswahl von auf dem Markt verfügbaren Greifsystemen dem Anwender in die Hand zu geben. Es sind die verschiedenen Möglichkeiten aufgezeigt und innovative Ansätze vorgestellt worden.

» VI. AUSWAHL EINES GEEIGNETEN GREIFWERKZEUGES

Basierend auf den Erfahrungen der Einflusskriterienanalyse und dem Wissen um die möglichen Greifwirkprinzipien können durch experimentelle Untersuchungen Erfahrungen aufgebaut und in einer Wissensplattform gesammelt werden. Ein Auszug wird in Abb. 6 vorgestellt. Die dargestellten Parameter beschreiben nur eine Auswahl. Es ist ersichtlich, dass Saug- und mechanische Greifer einen flexiblen Einsatz nahezu garantieren können. In

den Spezialfällen textiler Werkstücke kommen sie jedoch aufgrund nachteiliger Eigenschaften wie beispielsweise der Beschädigung von Oberflächen nur eingeschränkt zum Einsatz. Mögliche Alternativen stellen dann die neuartigen hydroadhäsiven Greifmechanismen dar. Mit der Auswahl des Greifwerkzeuges, basierend auf den Bedingungen der Handhabungsaufgaben, sind die Schritte zur optimalen Prozessgestaltung konzeptionel abgeschlossen (Abb. 6). Für einen stabilen Prozess sollte eine Testphase zum Einsatz der Greifwerkzeuge unter Prozessbedingungen nachfolgend

	Gewebe	Maschinenwaren	Geflechte	Faserverbundstoffe	Vliesstoffe	Filze	Gewirke	Leder	Schaumstoffe	Metallschäume	Folien	Papier
Nadelgreifer	●	●	●	◐	●	●	●	◐	●	◐	◐	◐
Gefriergreifer	◐	◐	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Klebegreifer	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Vakuumgreifer	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	◐

Abb. 6) Werkstoffabhängige Greiferauswahl

## LITERATUR

- Rödel, H. (1996): Analyse des Standes der Konfektionstechnik in Praxis und Forschung sowie Beiträge zur Prozessmodellierung. Aachen: Shaker Verlag.
- Seliger, G., Szimmat, F., Niemeier, J., Stephan, J. (2003): Automated Handling of Non-Rigid Parts. In: CIRP Annals 2003 Manufacturing Technology, Montreal, Kanada, 24. – 30.08.2003, 21–24.
- Reiff-Stephan, J. (2009): Technical Design Packaging als Einheit von „Design & Technik“. In: Hentsch, N., Kranke, G., Wölfel, C., Krzywinski, J., Drechsel, F. (Hrsg.): Innovation durch Design: Technisches Design in Forschung, Lehre und Praxis. TUDPress, Dresden, 237–250.
- Hesse, S.; Malisa, V. (2010): Taschenbuch Robotik – Montage – Handhabung. Leipzig: Fachbuchverlag.
- Kordi, M. T. (2009): Entwicklung von Roboter-Endeffektoren zur automatisierten Herstellung textiler Preforms für Faserverbundbauteile. Aachen: Shaker Verlag.
- Stephan, J. (2001): Beitrag zum Greifen von Textilien. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Szimmat, F. (2007): Beitrag zum Vereinzeln flächiger biegeschlaffer Bauteile, Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin, Dissertation TU Berlin.
- Steinke, O., Stephan, J. (2001): Chancen und Risiken für das textile Greifen. In: ZWF 96 (2001) 4, 201–205.
- Brecher, C., Emonts, M., Ozolin, B. (2012): Elektrostatischer Greifer kann textile Halbzeuge handhaben. In: Maschinenmarkt – Das Industrieportal. [http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/automatisierung/montagetechnik\\_handhabungstechnik/articles/354748](http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/automatisierung/montagetechnik_handhabungstechnik/articles/354748) vom 27.02.2012.

## AUTORENANGABEN

**Prof. Hon.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Reiff-Stephan**  
Professur Automatisierungstechnik  
Studiengangssprecher Maschinenbau  
TH Wildau [FH]  
jrs@th-wildau.de

# MOLEKULARES DESIGN FÜR INNOVATIVE PU-SYSTEME

Vesela Stoycheva, Harald Goering, Uta Knoll

## Zusammenfassung

Da Polyurethane (PU) mithilfe einer Polyadditionsreaktion gebildet werden, ist diese Stoffklasse besonders geeignet, durch den Einsatz neuartiger Komponenten, Materialien mit innovativen Eigenschaftsspektren zu synthetisieren. So wird es möglich, für elektrische und elektronische Module, Verguss- und Einbettmassen mit den erforderlichen mechanischen Eigenschaften bei guter Verarbeitbarkeit herzustellen.

Durch neuartige Synthesewege werden hierzu besonders hydrophobe Polyole auf Basis von 2-Ethylhexan-1,3-diol und Terephthalsäure entwickelt, die einen großen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen in Form von nativem Öl enthalten. Für den praktischen Einsatz als 2-Komponenten-Vergussmasse muss jedoch aus verarbeitungstechnischen Gründen die Viskosität des entwickelten oligomeren Diols deutlich erniedrigt werden. Dazu dienen die eingesetzten pflanzlichen Öle wie Raps- oder Sojaöl. Da für die Eigenschaften nicht nur der chemische Aufbau der Molekülketten, sondern auch die Morphologie des PU Systems entscheidend sind, wird mithilfe thermoanalytischer Messmethoden und abbildender Verfahren die bei dem neuartigen Syntheseweg ausgebildete Phasenstruktur charakterisiert.

## Abstract

Polyurethanes (PU) are formed by an addition reaction, therefore they are suited for modifications by further components to synthesize materials with sophisticated properties. By this way it is possible to produce sealing compounds for electrotechnical and electronical applications with excellent mechanical and processing properties.

Especially hydrophobic polyols, based on 2-ethylhexane-1,3-diole and terephthalic acid were developed, which are able to enter a considerable amount of renewable resources in terms of plant oils. The use in two-component sealant systems demands a notable reduction of the viscosity of the developed oligomeric diol. For his purpose rapeseed and soybean oils are used. The properties of polyurethanes are determined by both the chemical structure of the molecular chains and the morphology of the polymeric system. Hence thermoanalytic and imaging methods were used to investigate the phase structures formed during the new developed synthesis route.

## » I. EINFÜHRUNG

Mit der hier dargestellten Entwicklung von neuen PU-Systemen wird auf niedrigviskose, katalysatorfreie Harzsysteme fokussiert, die aufgrund ihrer starken Hydrophobie als Vergussmassen in elektrotechnischen Anwendungen nachgefragt sind.

Durch die Synthese mikrophasenseparierter Multikomponentensysteme werden, auf einer Größenskala von Nanometern, Strukturen mit konträrem Verhalten miteinander vereint, um so Polyurethane (PU) mit besonderen Eigenschaften zu erhalten. Das gezielte molekulare Design setzt die detaillierte Kenntnis von relevanten Struktur-Eigenschaftsbeziehungen voraus. Diese werden an PU-Systemen eingehend untersucht, die im Rahmen des Gesamtvorhabens synthetisiert wurden. Dabei steht der Einfluss der ausgebildeten Morphologie der mithilfe der Zweikomponenten-Technik hergestellten,

schwach vernetzten PU-Systeme, auf deren elektrische Eigenschaften, besonders der elektrischen Durchschlagsfestigkeit, im Mittelpunkt des Interesses (Leppekes 2003).

Bei der Synthese der Polyurethan-Netzwerke mit den für eine Kabelvergussmasse geeigneten Eigenschaften wird die gegenseitige Beeinflussung von Polyadditionsreaktion und physikalischen Phasenseparationsprozessen zur Gestaltung der gewünschten Morphologie ausgenutzt (Stoycheva et al. 2010). Sowohl die Maschenweite des gebildeten Netzwerks als auch die Steifigkeit der Molekülsegmente sind für die Endeigenschaften maßgeblich.

Eine Größe zur Charakterisierung des Härtungszustands ist die Glasübergangstemperatur  $T_g$ . Je enger die Netzmaschen oder mit anderen Worten, je vollständiger die Reaktion der funktionellen Gruppen, umso höher liegt  $T_g$ . Übersteigt die Härtungstemperatur  $T_g$ , dann geht das Material vom „eingefrorenen“

starrten Zustand in den „gummielastischen“ flexiblen Zustand über. Die Härtungsreaktion kann weiterlaufen bis bei Erreichen der nun zu höheren Temperaturen verschobenen neuen Glasstemperatur die Reaktion wiederum „einfriert“. Die maximal erreichbare Glasstemperatur wird  $T_{g\infty}$  genannt. Das Überschreiten von  $T_{g\infty}$  bewirkt keine weitere Reaktion, da alle möglichen Verknüpfungen hergestellt sind.

Diese Effekte werden überlagert von der Aggregation einzelner Abschnitte der sich bildenden Makromoleküle. Die Zusammenlagerung von Kettensegmenten zu separaten Phasen wird vor allem durch besonders starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen verursacht (Oertel 1993). Die Ausbildung solcher Phasen erfolgt während der PU-Reaktion und hängt deshalb auch in starkem Maß von der Viskosität (Beweglichkeit) der einzelnen Reaktanten ab (Randall et al. 2002).

» II. EXPERIMENTELLES

Für die angestrebte deutliche Verlängerung der Verarbeitungszeit wurden neuartige Polyesteralkohole auf Basis von 2-Ethylhexan-1,3-diol (EHD) und Terephthalsäure (TPA) entwickelt (Stoycheva et al. 2008). Die Reaktion verläuft prinzipiell nach folgender Gleichung (Abb. 1):

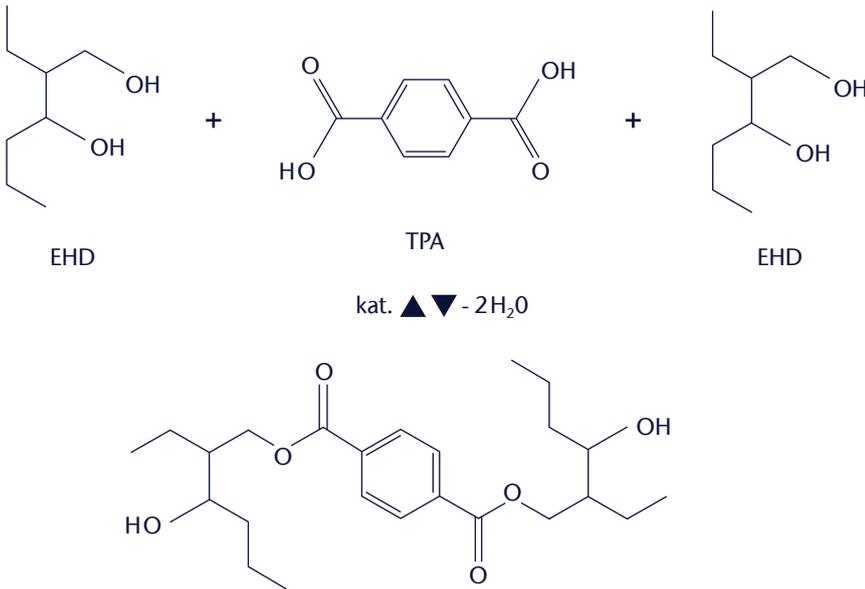


Abb. 1) Kondensation von Terephthalsäure und 2-Ethylhexan-1,3-diol

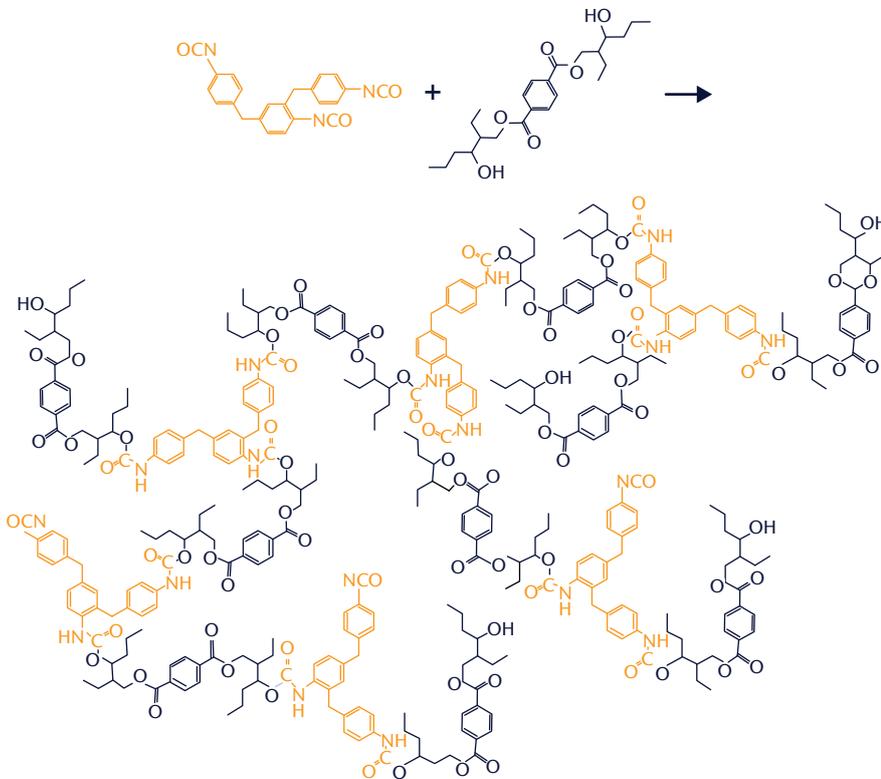


Abb. 2) Prinzipielle Reaktion der hergestellte Diöle mit p-MDI

Der synthetisierte Diester hat eine erwartete mittlere Molmasse von ca. 450 g/mol und eine OH-Zahl von 310 mg KOH/g (überwiegend freie sekundäre OH-Gruppen) (Ionescu 2005). Für den praktischen Einsatz als 2-Komponenten-Vergussmasse muss jedoch aus verarbeitungstechnischen Gründen die Viskosität des entwickelten oligomeren Diols deutlich erniedrigt werden. Dazu werden pflanzliche Öle wie Raps- oder Sojaöl verwendet. Diese lassen sich in weiten Grenzen mit den Diolen mischen und bilden stabile homogene Diol-Öl-Mischungen mit bis zu 40 wt.-% Raps- oder Sojaöl. Die Mischungen sind dauerhaft klar und homogen. Die Säure- und Hydroxylzahlen der Gemische sinken in den theoretisch zu erwartenden Bereich. Die Viskositäten der Diol-Öl-Gemische mit Raps- oder Sojaöl werden deutlich von ca. 10 Pas auf bis zu 1 Pas erniedrigt (Desroches et. al. 2012).

PU-Vergussmassen wurden aus den entwickelten Diolen bzw. Diol-Öl-Gemischen und polymerem Diphenylmethandiisocyanat (p-MDI, Lupranat M20S der BASF SE) hergestellt (Abb. 2). Die Synthese konnte ohne Katalysatoren und Hilfsstoffe realisiert werden. Die Synthese erfolgte bei 120°C über 3 h im Trockenschrank.

Zur Messung von T<sub>g</sub> gibt es eine Vielzahl von Messmethoden. Da diese Temperatur einen Übergangsbereich als physikalisches Phänomen beschreibt, muss zur Bewertung stets die Messmethode, einschließlich der jeweiligen Messparameter, angegeben werden. Eine der am häufigsten angewendeten experimentellen Methoden zur Bestimmung von T<sub>g</sub> ist die dynamische Differenzkalorimetrie (DSC). In einer DSC-Apparatur wird mit einem kleinen Ofen Wärme zur Probe und zu einer inerten Referenz übertragen. In unmittelbarem Kontakt zu Probe und Referenz sind Temperatursensoren (Thermoelemente) angebracht. Sie ermöglichen die Registrierung der Temperaturdifferenz zwischen Probe und Referenz während des zeitlinearen Aufheizens (Hatakeyma 1999). Dieses Signal dient als Maß für den Wärmefluss zwischen Probe und Referenz. Ein exothermer Prozess zeigt einen positiven Peak, während endotherme

Prozesse negative Peaks hervorrufen. Aus solchen Kurven kann die Enthalpie, d. h. die „Wärmetönung“ einer Umwandlung, berechnet werden (Höhne et al. 2003). Sie entspricht der integrierten Fläche des zur Umwandlung gehörigen Peaks. Die Glasumwandlung erscheint als Stufe in der Basislinie des registrierten DSC-Signals, da die Probe im Bereich der Glasumwandlung ihre Wärmekapazität ändert. Die Vernetzung von Kettenmolekülen während des Härtungsprozesses erzeugt als exothermer Vorgang einen positiven Peak in der DSC-Kurve. Abbildung 3 zeigt eine für einen Kunststoff typische DSC-Heizkurve.

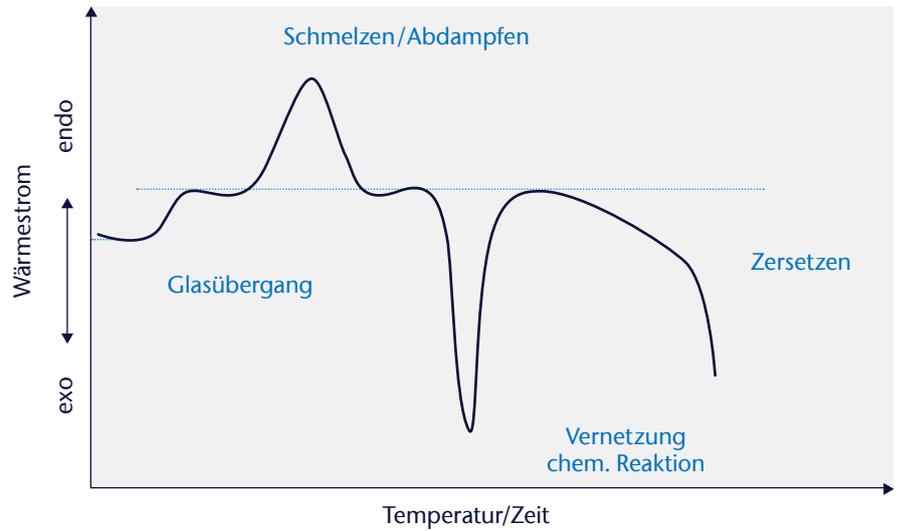


Abb. 3) DSC-Messkurve eines partiell kristallinen reaktiven Kunststoffs (schematisiert)

» III. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Allgemeinen werden bei der Auswertung von DSC-Messungen die 2. Heizkurven verwendet, um durch Aufschmelzen beim 1. Heizlauf einen guten Wärmekontakt der Probe zum Messtiegel zu erreichen. Allerdings geht dann die thermische Vorgeschichte, die sowohl Auswirkungen auf die Morphologie als auch den Härtungszustand hat, verloren. Als Beispiel wird in Abbildung 4 der 1. und 2. Heizlauf für eine Modellprobe gezeigt. Wie der 1. Heizkurve zu entnehmen ist, lässt sich  $T_g$  nur mit einer relativen Unsicherheit bestimmen. Die Schulter bei etwa  $70^\circ\text{C}$  entsteht durch die Überlagerung des Glasübergangs mit einem endothermen Peak (Verdampfen). Im 2. Heizlauf ist sie nicht mehr zu finden. Zum einem ist zu erkennen, dass die mit  $T_g$  (höhere molekulare Beweglichkeit) einsetzende Nachreaktion die Glastemperatur weiter zu höheren Temperaturen verschiebt. Bei noch höheren Temperaturen überwiegt dann zum anderen die auftretende Reaktionswärme den Glasumwandlungseffekt und es wird ein breiter exothermer Peak registriert. Beim 2. Heizlauf ist dieser deutlich schwächer ausgebildet. So kann in der 2. Heizkurve die  $T_g$ -Stufe besser quantifiziert werden.

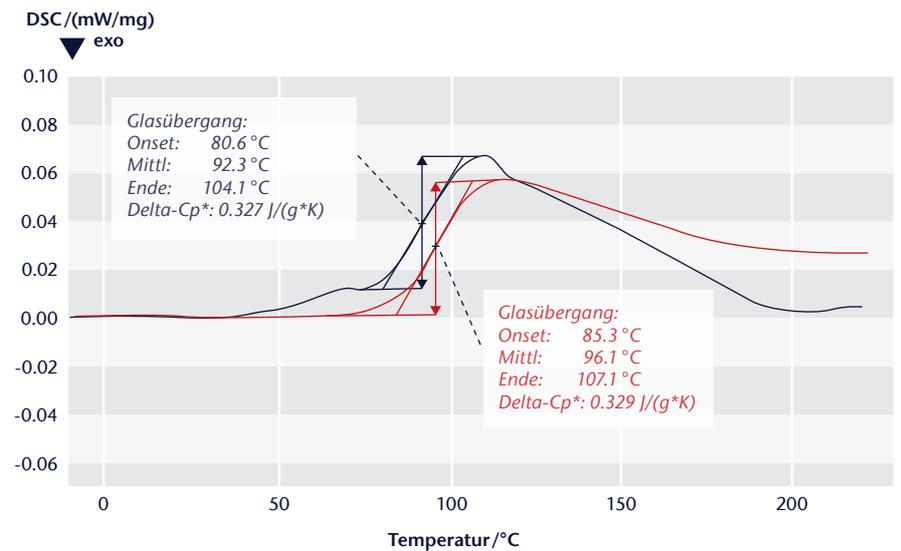


Abb. 4) DSC-Kurven eines Modell-PU, Schwarz – 1.Heizlauf, Rot – 2. Heizlauf

### 3.1 PU-Systeme mit Sojaöl

In Abbildung 5 sind die DSC-Kurven (1. Heizlauf) für die Proben, die mit unterschiedlichen Anteilen von Sojaöl synthetisiert wurden, zusammengestellt.

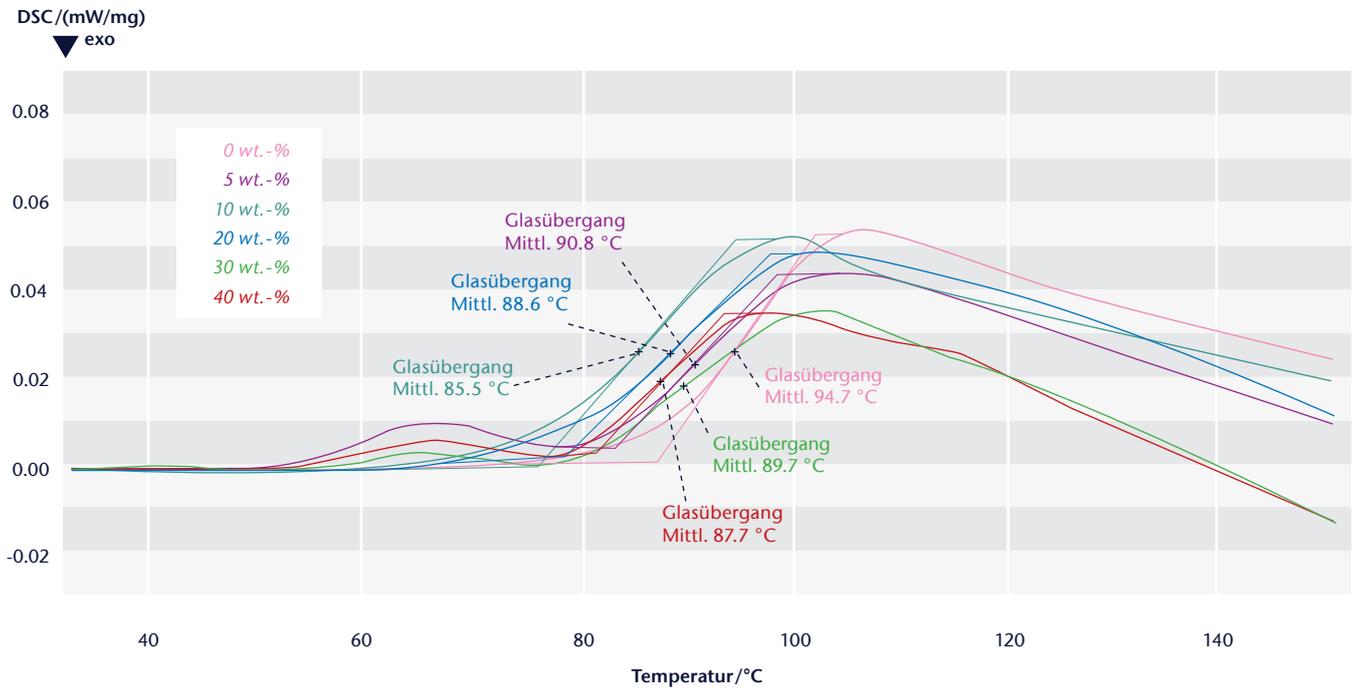


Abb. 5) DSC-Kurven der Proben mit 0, 5, 10, 20, 30 und 40 wt.-% Sojaöl – 1. Heizlauf

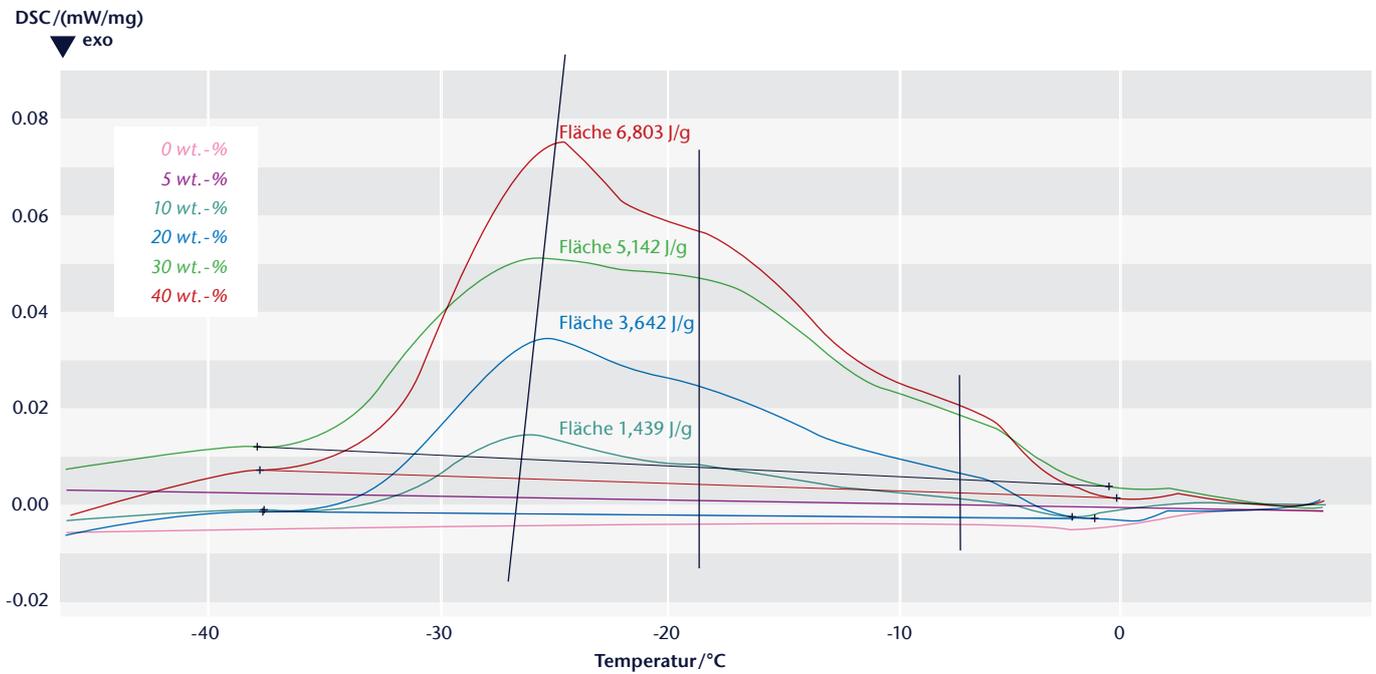


Abb. 6) DSC-Kurven der Proben mit 0, 5, 10, 20, 30 und 40 wt.-% Sojaöl – 1. Heizlauf

In Abbildung 6 ist der Ausschnitt der DSC-Kurven im Temperaturbereich von  $-45^{\circ}\text{C}$  bis etwa  $10^{\circ}\text{C}$  dargestellt. Hier sind die endothermen Effekte, die durch das Schmelzen einer kristallinen Phase entstehen, zu erkennen. Die Schmelzenthalpie  $\Delta H$  wird durch Integration des endothermen Peaks bestimmt (Höhne et al. 2003). Sie ist u. a. ein Maß für die Menge des kristallisationsfähigen Anteils in der Substanz. Wie der Abbildung 6 weiter zu entnehmen ist, besteht der Schmelzpeak aus der Überlagerung von mindestens drei Einzelprozessen. Diese sind durch drei Fraktionen unterschiedlicher Molmasse oder leicht variiertes Kettenstruktur zu erklären. Die Lage des Einzelpeaks bei Temperaturen um  $25^{\circ}\text{C}$  wird mit höherem kristallinen Anteil zu höheren Temperaturen verschoben (durch Perfektion und/oder Größe der kristallinen Bereiche). Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Sojaöl-Anteil und den gemessenen Werten für  $T_g$  und  $\Delta H$ . Wie der Abbildung 7 zu entnehmen ist, ergibt sich keine monotone Abhängigkeit von  $T_g$  vom Anteil an Sojaöl. Die Schmelzenthalpie  $\Delta H$  im Bereich von ca.  $-35^{\circ}\text{C}$  und  $0^{\circ}\text{C}$  zeigt in Abhängigkeit vom Anteil an Sojaöl in grober Näherung einen linearen Zusammenhang. Der Wert für

5 wt.-% Sojaöl bleibt etwa  $\Delta H = 0 \text{ J/g}$ , d. h. es ist noch kein Schmelzprozess zu beobachten. Ein geringer Anteil von weniger als 5 wt.-% Sojaöl zeigt keine Kristallisation in einer eigenen separaten Phase. Vielmehr wird dieser Anteil wahrscheinlich molekular gelöst. Höhere Anteile bilden dann eine separate Phase aus, die eine Kristallisation des Sojaöls im PU-System zulässt.

Diesen Schluss lässt auch der  $T_g$ -Verlauf in Abbildung 7 zu.  $T_g$  wird bis etwa 10 wt.-% Sojaöl durch dessen Weichmacherwirkung im molekular verteilten Zustand erniedrigt. Eine weitere Zugabe von Sojaöl bewirkt keine weitere Erniedrigung von  $T_g$ .  $T_g$  bleibt nahezu konstant, da weiteres Sojaöl nicht mehr gemischt werden kann und deshalb eine disperse Phase bildet.

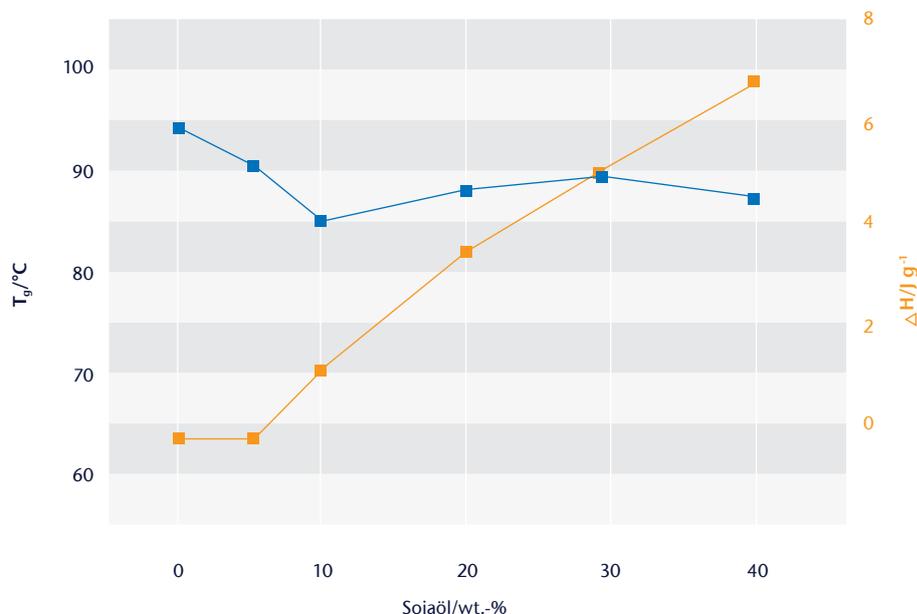


Abb. 7)  $T_g$  und  $\Delta H$  in Abhängigkeit vom Sojaölanteil, 1. Heizkurve

### 3.2 PU-Systeme mit Rapsöl

In Abbildung 8 ist der Ausschnitt der DSC-Kurven im Temperaturbereich von  $-50^{\circ}\text{C}$  bis etwa  $10^{\circ}\text{C}$  dargestellt. Auch hier sind endotherme Effekte, die durch das Schmelzen einer kristallinen Phase entstehen, zu erkennen.

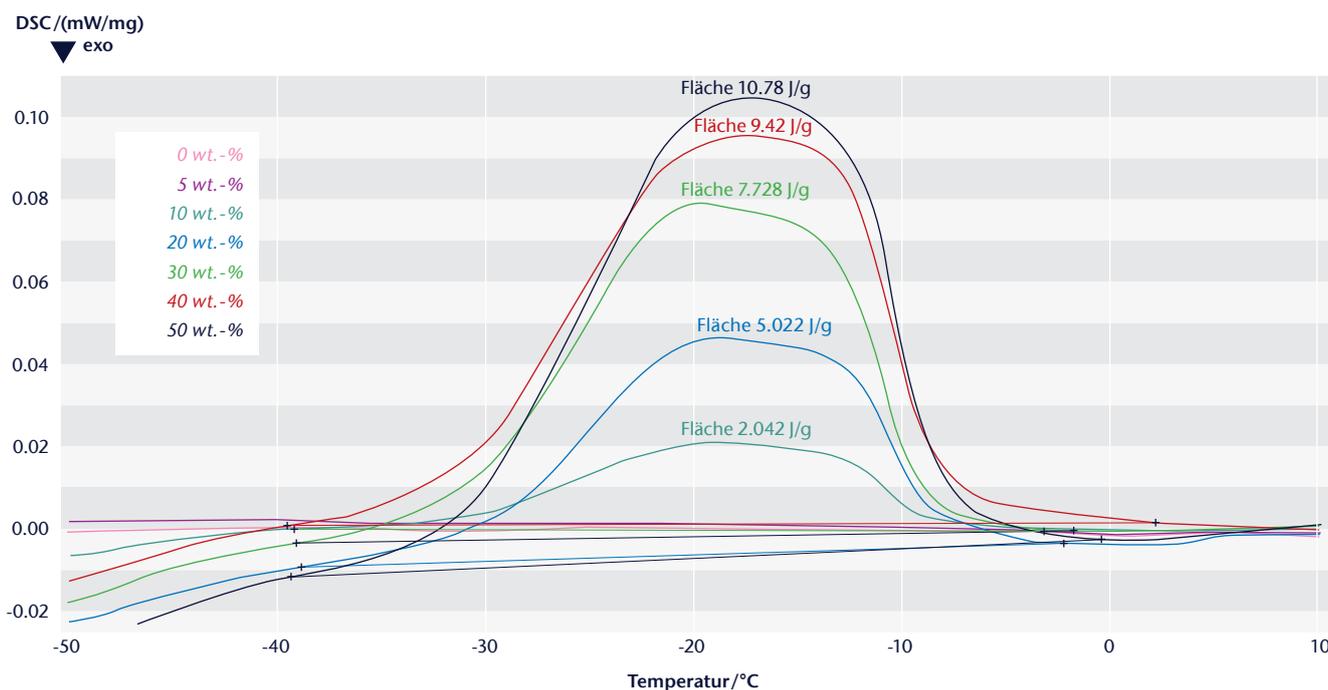


Abb. 8) DSC-Kurven der Proben mit 0, 5, 10, 20, 30, 40 und 50 wt.-% Rapsöl –1. Heizlauf

Der Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass der Schmelzpeak aus der Überlagerung von mindestens zwei Einzelprozessen besteht. Wahrscheinlich auch hier durch Fraktionen unterschiedlicher Molmasse oder leicht variiertes Kettenstruktur verursacht. Die Lage des Einzelpeaks bei Temperaturen um  $-20^{\circ}\text{C}$  wird mit höherem kristallinen Anteil um etwa 3 K zu höheren Temperaturen verschoben (durch Perfektion und/oder Größe der kristallinen Bereiche), während die Lage des Peaks um  $-14^{\circ}\text{C}$  in Abhängigkeit vom Rapsölanteil nahezu konstant bleibt.

Die den DSC-Kurven (1. Heizlauf) für die Proben, die mit unterschiedlichen Anteilen von Rapsöl synthetisiert wurden, entnommenen Werte für  $T_g$  sowie  $\Delta H$  sind in der Abbildung 9 zusammengestellt. Wie der Abbildung 9 zu entnehmen ist, ergibt sich für  $T_g$  sowie  $\Delta H$  keine monotone Abhängigkeit vom Anteil an Rapsöl. Die in Abbildung 9 aufgetragene Schmelzenthalpie  $\Delta H$  im Bereich von ca.  $35^{\circ}\text{C}$  und  $5^{\circ}\text{C}$  zeigt in Abhängigkeit vom Anteil an Rapsöl, dass erst bei einem Anteil von mehr als 5 wt.-% bis 10 wt.-% Rapsöl eine kristalline Phase gebildet wird. Bei höheren Konzentrationen an Rapsöl steigt dann die Kristallinität weniger als proportional mit dem Rapsölanteil. Dieses Verhalten von  $T_g$  und  $\Delta H$  hat die gleichen Ursachen, die bereits bei dem System mit Sojaöl diskutiert worden sind. Gemeinsam für beide PU-Systeme ist die Tatsache, dass bei mehr als 5 wt.-% Soja- bzw. Rapsöl eine disperse Öl-Phase gebildet wird.

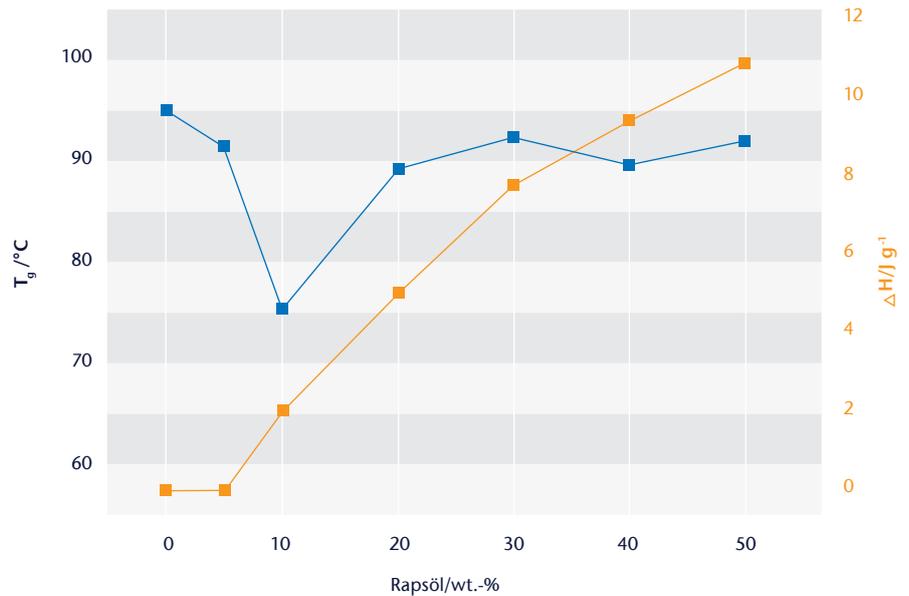


Abb. 9)  $T_g$  und  $\Delta H$  in Abhängigkeit vom Rapsölanteil, 1. Heizkurve

Für die detaillierte Strukturcharakterisierung muss eine Reihe zusätzlicher Informationen durch thermoanalytische und spektroskopische Messmethoden gewonnen werden. Neben diesen indirekten Methoden belegen abbildende Verfahren den direkten Nachweis für die diskutierte Phasenstruktur der PU-Öl-Systemen. Als Beispiel sind in Abbildung 10 die AFM Bilder des reinen PU-Systems und des mit 20 wt.-% Rapsöl (bezogen auf das Diol) modifizierte PU zu sehen. Sehr anschaulich ist die Phasenseparation des Pflanzenöls durch die dunklen „Löcher“ von ca.  $1\ \mu\text{m}$  in der Abbildung qualitativ zu erkennen. Die Löcher entstehen bei der Präparation der Messprobenoberfläche (Cryobruch).

#### » IV. FAZIT

Die beschriebenen neuartigen PU-Systeme auf der Basis neuartiger hydrophober Diole und einem hohen Anteil nachwachsender Rohstoffe in Form von pflanzlichen Ölen zeigen eine spezifisch ausgebildete Phasenstruktur, die mithilfe thermischer und mikroskopischer Methoden bewiesen wurde. Die entwickelten PU-Systeme eignen sich sowohl als Vergussmassen als auch zum Laminieren. Mit vorgefertigten Folien, wie auch mit Pulver, können in Zukunft langfaserverstärkte Komposite mit einem hohen Niveau der mechanischen Eigenschaften erreicht werden.

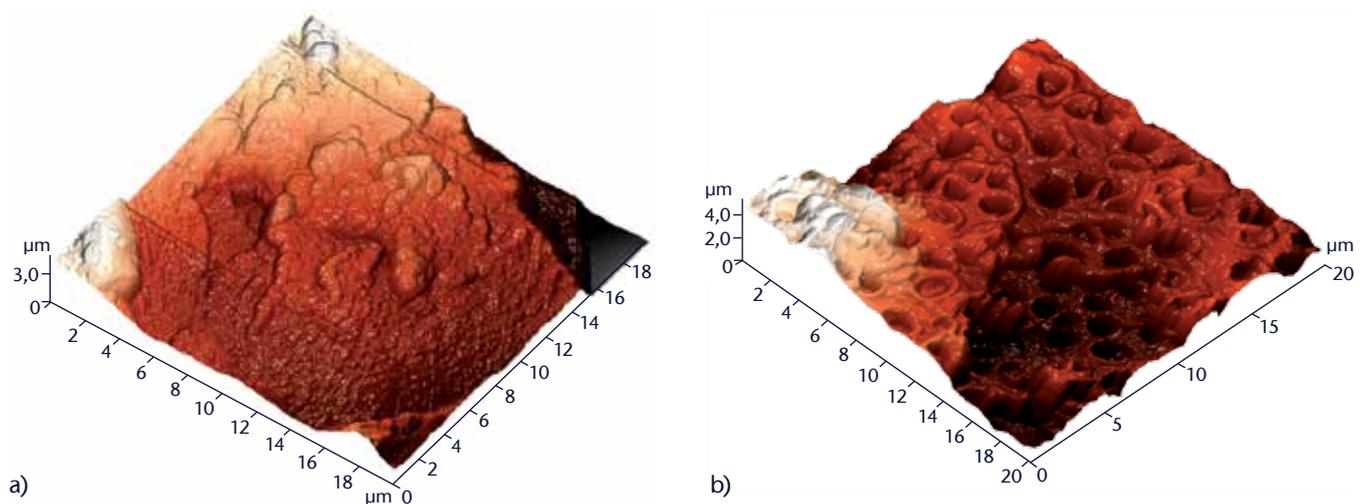


Abb. 10) AFM Visualisierung der Oberflächentopographie von PU-System ohne (a) und mit 20 wt.-% Rapsöl im Diol (b)

## LITERATUR

Desroches, M., Escouvois, M., Auvergne, R., Caillol, S., Boutevin, B. (2012): From Vegetable Oils to Polyurethanes: Synthetic Routes to Polyols and Main Industrial Products, Polymer Reviews 52.

Ehrenstein, G. W., Riedel, G., Trawiel P. (2003): Praxis der Thermischen Analyse von Kunststoffen, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag.

Hatakeyama, T. (1999): Fundamentals and Applications to Polymer Science, Second Edition, Wiley Verlag.

Höhne, G., Hemminger, W. F., Flammersheim, H.-J. (2003): Differential Scanning Calorimetry, Springer Verlag.

Ionescu, M. (2005): Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes, Rapra Technology Limited.

Leppekes, R. (2003): Polyurethane: Werkstoff mit vielen Gesichtern (Elastogran), Die Bibliothek der Technik, Bd. 91, 5., überarb. Auflage.

Menczel J.D., Prime R.B. (2009): Thermal analysis of polymers: Fundamentals and applications, John Wiley Verlag.

Oertel G. (1993): Polyurethane Handbook, 2nd ed.; Carl Hanser Verlag.

Randall, D., Lee, S. (2002): The Polyurethane Books, Huntsman International LLC.

Stoycheva, V., Paulmann, U. (2010): Neue Vergussmassen und deren Verwendung zur Herstellung von Elektroisierstoffen, EP 2 361 940 A1 19.02.2010.

Stoycheva, V., Langenstraßen, R., Boyadzhiev, M., Behrendt, G., Paulmann, U. (2008): Neue Polyurethan-Vergussmassen und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE 102008054940 A1, 18.12.2008.

## AUTOREN

**Dipl.-Ing. Vesela Stoycheva**  
University of Chemical Technology and Metallurgy  
8 Kl. Ohridski bul.  
1756 Sofia, Bulgaria  
Telefon: +359 (0) 26254 / 101  
vestoych@th-wildau.de

**Dr. Harald Goering**  
Fachbereich 3.4, Sicherheit von Lagerbehältern  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin  
Telefon: +49 (0) 30 / 81 04 33 09  
harald.goering@bam.de

**Dipl.-Chemikerin Uta Knoll**  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508 459  
uta.knoll@th-wildau.de

# OFFENE STANDARDS UND VERTEILTE ANWENDUNGEN ALS GRUNDLAGE „VERTEILTER WISSENSARBEIT“ (AUCH) IM OPEN GOVERNMENT

Maika Büschenfeldt, Margit Scholl

## Zusammenfassung

Im Beitrag wird die Frage behandelt, inwieweit und in welcher Form offene Standards und verteilte Anwendungen als Grundlage einer „verteilten Wissensarbeit“ wirksam werden. Verteilte Wissensarbeit wiederum wird als substantielle Grundlage zur Beherrschung komplexer Herausforderungen und Problemlagen sowie als Voraussetzung für Innovationen und zur Schaffung von Mehrwert gefasst. Wir entwickeln unsere grundsätzliche Position wissenschaftstheoretisch und reflektieren sie an den aktuellen Zielen, Prozessen und Beispielen von Open Government, ohne sie darauf zu begrenzen.

## Abstract

The article addresses the question of how far and how ‘open standards’ and distributed applications take effect as the basis of a “distributed knowledge work”. Distributed knowledge work itself is taken as a substantial basis for managing the complexity of current challenges and to create value. We develop our fundamental position epistemologically and reflect the current goals, processes and examples of open government, but without limiting it.

## » I. EINLEITUNG: OFFENE/VERTEILTE WISSENSARBEIT

Der soziologische Begriff der ‚Wissensgesellschaft‘<sup>1</sup> beschreibt die ökonomische Dimension des gesellschaftlichen Wandels von der industriellen Gesellschaft zur postindustriellen Gesellschaft. Als Indiz dieses Wandels wird die erhebliche Bedeutungszunahme des Wissens als wichtigste Ressource und als „Produktionsfaktor“ gedeutet. Wissen steht in Begriff, die klassischen Produktivkräfte – Land, Boden und Kapital in ihrer ökonomischen Bedeutung zu überflügeln (Willke 2001). Die Wissensgesellschaft ist zwar noch nicht erreicht, deutet sich aber bereits an: So zeichnet sich der Trend ab, dass der Markt zusehends von Produkten beherrscht wird, deren Wert auf der eingebauten Expertise beruht. Ein inzwischen historisches Beispiel ist der Intel 486 Mikroprozessor

dessen Produktionskosten 1990 rund 100 Dollar betragen, der aber für 500 Dollar verkauft wurde. Diese große Differenz zwischen Produktionskosten und Verkaufspreis lassen sich als Wissensabgabe deuten.<sup>2</sup>

Die wachsende Bedeutung der Ressource Wissen wirft die Frage auf, auf welche Art und Weise mit Wissen künftig umzugehen ist und wie die Verbreitung, Nutzung und Generierung von Wissen gesteuert werden kann. Es geht insbesondere um die Kontrolle des Wissens, d. h. um die Regelung des Zugriffs auf Wissen und der Entscheidung, ob Wissen als eine Ware und damit als Grundlage des geistigen Eigentums zu betrachten sei oder, ob Wissen notwendig als ein öffentliches Gut behandelt werden muss (Grassmuck 2004). In dieser Frage stehen sich zwei Interessen und Positionen gegenüber:

- Die erste Position rückt den Eigentumsschutz des Wissens als Urheber- und Investitionsschutz in den Mittelpunkt: Wissensschutz dient dazu, Wettbewerbsvorteile und Innovation zu sichern. Die nötigen Investitionen für Innovationen können in dieser Argumentation nur getätigt werden, wenn das gewonnene Wissen wirksam geschützt werden kann. Wissen kann durch die „falsche Verbreitung deutlich an Wert verlieren“ (Clases und Wehner 2002: 51).
- Die zweite Position betont das gesellschaftliche Interesse an der freien Verfügbarkeit des Wissens. Wissensfreiheit wird in dieser Argumentation als Garant für Innovation und Forschung gesehen. Innovation braucht immer auch ein gewisses Maß an Offenheit (z. B. bei Grassmuck 2004).

<sup>1</sup> Der Begriff ist nicht neu, sondern wurde bereits 1966 von dem Soziologen Robert E. Lane als „knowledgeable societies“ thematisiert.

<sup>2</sup> Das Beispiel stammt aus Willke 2001: 27.

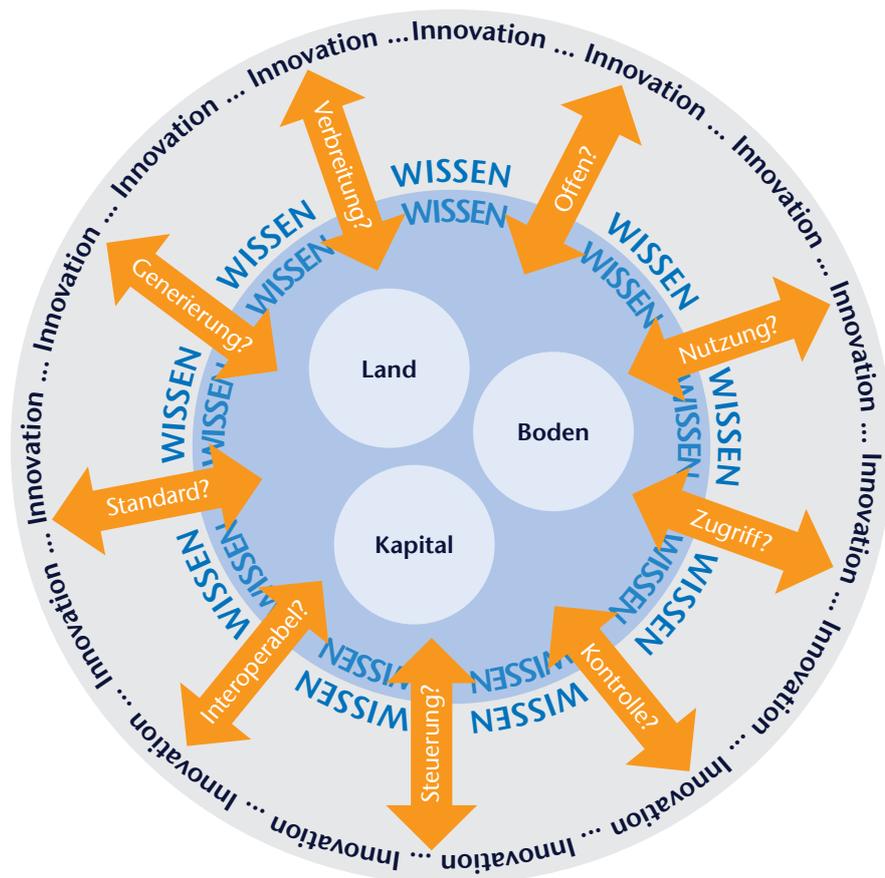


Abb. 1) Die Abbildung skizziert den Bedeutungszuwachs von Wissen für unsere Gesellschaft in Hinblick auf zukünftige Innovationen und die sich aktuell ergebenden Fragestellungen.

Der rechtliche und ökonomische Kampf um die Kontrolle über die Produktion und Distribution von Wissen wird bereits ausgefochten. Traditionell geschieht dies über das Recht, d. h. durch gewerbliche Schutzrechte rund um das geistige Eigentum. Eine große Rolle spielen aber auch die technologischen Möglichkeiten der dezentralen Verbreitung von Wissen und Informationen durch das Internet, die diesen Kampf anheizen und verstärken (Drossou et. al 2006: 1). Ausgangspunkt unseres Beitrags ist die Annahme, dass die Kommunikationsinfrastruktur des Internets die Auseinandersetzung um die Kontrolle über das Wissen nicht nur anheizt, sondern diese ähnlich wie das Recht aktiv steuert. Auf diesen Zusammenhang hat bereits der amerikanische Rechtsgelehrte Lawrence Lessig mit seiner The-

se vom Code als Recht (Code is law) verwiesen. Er meint damit, dass der Code als Regulationsinstanz wie Recht, Markt oder soziale Normen eine verhaltenssteuernde Wirkung entfaltet (Lessig 2002). Technische Maßnahmen werden damit zum Instrument vorsätzlicher und zielgerichteter Sozialintervention. Daraus lässt sich folgern, dass sich der „Code“ auch zum wirksamen Steuerungsinstrument im Umgang mit Wissen eignet. Lessig bezieht sich in seiner Argumentation insbesondere auf die Maßnahmen des Kopierschutzes, die bei Erscheinen seines Buches entgegen dem geltenden Recht eine private Kopie legal erworbener Werke verhindert haben. Die aktuell diskutierten Verfahren zur Kontrolle der Nutzung und Verbreitung digitaler Inhalte durch DRM<sup>3</sup>-Systeme sind ein

typisches Beispiel dafür, den Zugriff auf Wissen mittels technischer Maßnahmen zu begrenzen. Der Zugriff auf Wissen wird hier nicht durch Recht, sondern durch Technik reguliert.

Um den Umgang mit Wissen geht es auch im Ansatz des Open Government. Open Government bezeichnet als Sammelbegriff alle Maßnahmen der Regierungen und Verwaltungen, die dazu dienen, das Regierungs- und Verwaltungshandeln transparenter zu machen, die Bürger und Unternehmen stärker zu beteiligen und eine ebenenübergreifende Zusammenarbeit aller Akteure zu ermöglichen. Als wichtiger Schritt in diese Richtung wird ein wesentlich offenerer Umgang mit den Dokumenten und Datenbankinhalten des öffentlichen Sektors gesehen (Open Government Data).

Deutschland folgt dem weltweiten Trend und erklärt Open Government zu einem Ziel seiner IT-Strategie, auch wenn es derzeit unklar bleibt, wie weit die Verwaltungen z. B. mit der Veröffentlichung ihrer Daten gehen können, wollen oder sollen. Welche Daten unter welchen Bedingungen lizenzfrei oder lizenziert veröffentlicht werden und ob die bereitgestellten Daten auch als „offen“ bezeichnet werden können, hängt von verschiedenen Faktoren und Entscheidungen ab. In der vom Bundesinnenministerium (BMI) in Auftrag gegebene Studie „Open Government Data Deutschland“<sup>4</sup>, wurden bereits Geldleistungsmodelle für Open Government Data untersucht (Klessmann et al., 2012). Grundsätzlich gilt es zu klären, wie die elektronische Verfüg- und Auffindbarkeit von Open Government Data umzusetzen ist und wie die Nutzungskosten und rechtlichen Rahmenbedingungen zu gestalten sind.

Interoperabilität<sup>5</sup> und offene Standards gehören zu den Kernthemen der aktuellen Debatte um Open Government Data. Wir sehen in der Interoperabilität eine der Grundvoraussetzungen für neue Formen sozialer Kooperation, die

<sup>3</sup> Digital Rights Management versucht die Nutzung und Verbreitung digitaler Inhalte durch vergebene, unterschiedlich weit reichende Nutzungsrechte, technisch zu sichern.

<sup>4</sup> Presseerklärung des BMI am 1.8.2012: Die Studie wurde vom Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS erstellt, unterstützt durch das Lorenz-von-Stein-Institut für Verwaltungswissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und der ÖPP Deutschland AG [http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2012/mitMarginalspalte/07/opengovernment.html?jsessionid=B1255FC0E1A0E8C3CC8ABCCB4C21C73F2\\_cid239](http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2012/mitMarginalspalte/07/opengovernment.html?jsessionid=B1255FC0E1A0E8C3CC8ABCCB4C21C73F2_cid239), Zugriff: 16.9.2012.

<sup>5</sup> Fähigkeit verteilter Systeme, problemlos und effizient zusammenzuarbeiten und sich auszutauschen.

auf der technischen Ebene durch den freien Austausch und die Vernetzung von Daten ermöglicht wird. Wir möchten im Folgenden der Frage nachgehen, inwieweit und in welcher Form offene Standards und verteilte Anwendungen als technische Grundlage einer „verteilten Wissensarbeit“ wirksam werden. Der Begriff „verteilte Wissensarbeit“ lehnt sich an Helmut Willkes Begriff der „Organisierten Wissensarbeit“ an. „Wissensarbeit“ gilt hier als eine Tätigkeit, die Wissen voraussetzt und Wissen erzeugt und sich dadurch auszeichnet, dass es als permanent revisionsbedürftig erachtet und als Ressource betrachtet wird. „Organisierte Wissensarbeit“ nutzt den Prozess des Organisierens, um Wissen als Produktivkraft zu entfalten (Willke 2001). Der von uns verwendete Begriff „verteilte Wissensarbeit“ bezieht sich auf denselben Wissensbegriff, verlässt aber den Rahmen der abgrenzbaren Organisation und findet auf die kollaborative Arbeit jener Communities Anwendung, die sich ebenfalls der Wissensarbeit widmen.

Verteilte Wissensarbeit kann auch in der öffentlichen Verwaltung helfen, Komplexität zu beherrschen und scheint ideal für einen Ansatz der strategischen Öffnung im Open Government. Hier bietet sich Potenzial, die Verwaltungsorganisation mit ihren Prozessen und Wissensressourcen mit dem Wissen verwaltungsexterner Akteure zu verbinden. Wie auch in der BMI Studie ausgeführt, bildet „der Aspekt der Offenheit [...] einen Ansatz zur Strukturierung von Prozessen und zur Ausrichtung strategischer Entscheidungen“ (Klessmann et al. 2012: 7).

## » II. WEBSTANDARDS: OFFENHEIT ALS PRINZIP

Webstandards sind Spezifikationen des W3C<sup>6</sup> und dienen der Implementation von Webtechnologien und -anwendungen. Sie schaffen die gemeinsame Grundlage für die Sicherung der Konsistenz und der Interoperabilität des Internets. Sie sorgen somit dafür, dass

Informationen in heterogenen Soft- und Hardwarewelten ausgetauscht werden können und bilden die Grundlage, die das Internet als freie Kommunikationsinfrastruktur auszeichnet. Interessanterweise lassen sich Standards selbst als Wissen begreifen. Ebenso wie alle anderen Formen des Wissens können auch die Webstandards als Gemeingut frei verfügbar sein oder als „geistiges Eigentum“ dem Wissensschutz unterliegen.

Es spricht einiges dafür, dass die große Durchschlagskraft und der Erfolg des Internets in der Offenheit und in der freien Verfügbarkeit seiner Standards liegen und nicht in ihrem „Schutz“. Tim Berners-Lee, der Schöpfer des WWW und Begründer des W3C, beschreibt die Bedeutung „offener“ Standards am Beispiel von HTML:

*“It was the standardisation around HTML that allowed the web to take off. It was not only the fact that it is standard but the fact that it is open and royalty-free. If HTML had not been free, if it had been proprietary technology, then there would have been the business of actually selling HTML and the competing JTML, LTML, MTML products. Because we would not have had the open platform, we would have had competition for these various different browser platforms but we would not have had the web. We would not have had everything growing on top of it. So I think it very important that as we move on to new spaces [...] we must keep the same openness we had before. We must keep an open internet platform, keep the standards for the presentation languages common and royalty-free. So that means, yes, we need standards, because the money, the excitement is not competing over the technology at that level. The excitement is in the businesses and the applications that you built on top of the web platform.”*

Es gibt zwar keine allgemeingültige Definition offener Standards, aber eine Vielzahl von Vorschlägen, die gemeinsam haben, dass sie zwei Dinge postulieren:

1. Offene Standards müssen öffentlich und transparent unter Einbeziehung aller beteiligten Akteure entwickelt werden.
2. Offene Standards müssen uneingeschränkt zugänglich sein.

Offene Standards stehen somit selbst für Transparenz, Offenheit und Kontrollverzicht bzw. für eine Kontrolle, die durch alle beteiligten Akteure gesichert wird. Sie sind eine wichtige Basis für die freie Distribution von Wissen und der kollaborativen Wissensarbeit in Communities.

## » III. DIE TECHNISCHE EBENE: FREIHEIT UND OFFENHEIT ALS GRUNDLAGE FREIER WISSENSDISTRIBUTION

Offene Standards spielen eine bedeutende Rolle für die Interoperabilität von Daten und Anwendungen. Sie erschließen damit gleichzeitig neue Wege der Wissensdistribution und -generierung, die durch räumlich verteilte Anwendungen und leichtgewichtige Programmiermodelle geschaffen werden. Zu diesen Weiterentwicklungen des Internets gehört u. a. das Konzept des Webservice, das sich in den letzten Jahren zu einem Paradigma der Informatik entwickelt hat. Die Idee dahinter ist schlicht und sie ist einfach: Komplexe Anwendungen werden nicht zentralisiert auf einem Server ausgeführt, sondern setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, die über das Internet verteilt sein können. Die Kommunikation zwischen den Komponenten erfolgt über klar definierte Schnittstellen (API)<sup>8</sup>, die auf Abruf in eine Anwendung eingebunden werden können (Schwenk 2010: 216). Webservices lassen sich in diesem Sinne als vernetzte Maschine-zu-Maschine-Kommunikation begreifen, die in der Regel automatisiert ablaufen und deren gemeinsame Sprache auf offenen und herstellerunabhängigen Standards beruht (Zeppenfeld und Finger 2009: 38).

Als innovative Verknüpfung verschiedener Anwendungen setzten Webservices immer zweierlei voraus: einen Paradigmenwechsel im Verständnis der Rolle und Funktion von Software und einen Paradigmenwechsel im Umgang mit

<sup>6</sup> World Wide Web Consortium

<sup>7</sup> Standards and the Future of the Internet, Geneva 2008, <http://www.openforumEurope.org/library/geneva/declaration/manifisto-with-logos-final.pdf>, Zugriff: 10.01.2011).

<sup>8</sup> Application Programming Interface

Daten, Kontrolle und Zugriffsrechten. Der Webpionier Tim O'Reilly beschreibt dies in seinem Aufsatz „What is Web 2.0?“ wie folgt:

- An die Stelle von Software im Paket treten Services, die ihre Dienste im Internet bereitstellen. Der eigentliche Wert dieser Dienste liegt nicht in den Anwendungen, sondern in den Daten, die hinter den Anwendungen liegen. Die Entwicklung der Anwendungen folgt leichtgewichtigen Programmiermodellen, die lose gekoppelte, d. h. verteilte Systeme erlauben (O'Reilly 2005).
- Diese Daten werden anderen Anwendungen über offene Schnittstellen (APIs) verfügbar gemacht. Die Verteilung und der Austausch der Daten erfolgen über einfache Technologien, die Daten zwar bereitstellen, nicht aber deren Verwendung am anderen Ende der Leitung kontrollieren. Der Grundsatz lautet: „Kooperiere ohne zu koordinieren“ (O'Reilly 2005).

In diesem Paradigmenwechsel wird deutlich, dass im Konzept des Webservice gleichsam die Prinzipien der Freiheit und Offenheit wirksam werden. Sie unterscheiden sich damit grundlegend vom Paradigma der monolithischen Software-Architekturen, die alle funktionalen Elemente zu einem homogenen Gebilde zusammenfügen. Dass dieses Konzept den Grundsätzen der Offenheit und Freiheit entgegengesetzt ist, zeigt sich u. a. darin, dass diese Systeme häufig in enger Kopplung an Ressourcen wie Hardware, proprietäre Datenformate und Schnittstellen gebunden sind. Einen Gegensatz dazu bilden Client-Server-Architekturen oder ganz allgemein verteilte Systeme.<sup>9</sup> Vor diesem Hintergrund lässt sich sagen, dass Offenheit durch den Verzicht auf Kontrolle zu den zentralen Werten dieses Paradigmenwechsels zählt, der den freien Austausch von Daten und Funktionen technisch ermöglicht (Büschefeldt 2011: 135ff.). O'Reilly formuliert den dabei wirksam werdenden Kontrollverzicht in der Formel „Kooperiere ohne zu koordinieren“: In seiner Argumentation

stehen einfache Technologien wie RSS (Really Simple Syndication) oder REST (Representational State Transfer) für das einfache Verteilen und Austauschen von Daten, ohne dass dabei die Freigabe dieser Daten mit dem Anspruch verbunden ist, zu kontrollieren, was am anderen Ende der Leitung geschieht (O'Reilly 2005).

In dieser Art von Offenheit sieht O'Reilly die Voraussetzung für ein wesentliches Merkmal des Web 2.0, der Innovation durch Zusammenbau. Die lose Kopplung verteilter Daten und Funktionalitäten erschließt somit ganz neue Potenziale für Softwareinnovationen, die darauf beruhen, dass es möglich wird, relativ frei auf andere Dienste zuzugreifen und diese mit den eigenen zu vermengen. O'Reilly bezeichnet dieses als „The Right to Remix“. Unter der Bezeichnung „Mashup“ konnte auf diese Weise eine ganze Landschaft unterschiedlicher Anwendungen erblühen, die ihren Mehrwert überwiegend durch importierte Inhalte schaffen, dabei durch die Kombination vieler Dienste reicher werden und dennoch einfach bleiben (O'Reilly 2005, Koch und Richter 2009).

Bei den Anwendungen zeigt sich das innovative Potenzial der gleichrangigen, selbstorganisierten und vernetzten Koordination in den sogenannten Mashups. Der Begriff, der ursprünglich aus der Musikszene stammt, beschreibt die Collage aus verschiedenen Versatzstücken in einem Remix. Als Begriff des Internets stehen Mashups für Medieninhalte, die durch die Rekombination bereits existierender Inhalte gewonnen werden und für Anwendungen, die durch Zusammenbau entstehen. In Mashups verwirklicht sich Tim O'Reillys (2005) Gestaltungsgrundsatz „Gestalte mit Blick auf ‚Hackability‘ und ‚Remixability‘“. Innovationen entstehen durch die Offenheit für überraschende Weiterentwicklungen, die durch den Grundsatz „Kooperiere ohne zu kontrollieren“ verteilte Anwendungen über APIs und offene Standards ermöglichen, die vom ursprünglichen Erfinder gar nicht beabsichtigt oder eingeplant waren (O'Reilly 2005). Für die Innovation durch Zusammenbau stehen exemplarisch

hunderttausende Anwendungen, die mit den offenen Programmierschnittstellen von Google maps, twitter oder Facebook entwickelt wurden.

#### » IV. DIE ANWENDUNGSEBENE: VERTEILTE WISSENSARBEIT IM NETZ

Das Potenzial verteilter Funktionalität und Daten bringt genau jene Anwendungen und Vernetzungsoptionen hervor, auf der eine „verteilte Wissensarbeit“ in vernetzten Communities möglich wird. Interessant ist hierbei, dass die verteilte Wissensarbeit ohne den Rahmen einer klar abgrenzbaren Organisation auskommt und ihr Potenzial gerade darin liegt, dass sie die Grenzen der Organisation zu überschreiten vermag. Interessant ist ferner, dass sowohl die technische Basis als auch die Kooperationsformen auf der (sozialen) Anwendungsebene auf einem gemeinsamen Prinzip beruhen, das wir in Anlehnung an die Steuerungstheorie Helmut Willkes, als „demokratisches Prinzip“ (Büschefeldt 2011) bezeichnen. Dieses Prinzip entspricht der heterarischen Organisation und beruht auf dem Grundsatz der „gleichrangigen, selbstorganisierten und dezentralen Koordination“ (Willke 1998: 89f.).

Wenn der Austausch zwischen vernetzten Webanwendungen auch automatisiert abläuft, so finden sich im „offenen“ Umgang mit Daten und Programmfunktionen auch hier die Mechanismen der Gleichrangigkeit und Vernetzung wieder. Beides fließt gewissermaßen als Gestaltungsprinzip in technische Komponenten ein. Voraussetzung ist ein „offener“ Umgang mit Wissen und Daten. Das gilt – wie bereits erwähnt – für die „offenen“ technischen Standards, die für die Konsistenz und Interoperabilität im Netz sorgen, das gilt für die Bereitstellung von Daten und Funktionalität durch Webservices, das gilt aber auch vor allem für das Internet als Programmierplattform. Hier bildet der Grundsatz der Netzneutralität die technische Grundlage einer demokratischen Kommunikationsstruktur dezentraler Vernetzung, die auch als Many-to-many Struktur bezeichnet wird. Umgesetzt wird dieser Grundsatz in der End-to-End-Richtlinie, die vor allem dreierlei verkörpert (Saltzer et. al 1984; Sandwig 2003):

<sup>9</sup> Vgl. dazu IT-Wissen Online Lexikon: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Monolithische-Software-Architektur.html> (abgerufen am 20.01.2011).

- die Offenheit für alle Nutzer und Nutzungen,
- eine polyzentrische (Many-to-many-)Netzwerkarchitektur des Transportsystems
- und einen gleichberechtigten, diskriminierungsfreien Zugang für alle Nutzer und Nutzungen.

Das „demokratische Prinzip“ wird in dieser Argumentation zunächst auf der technischen Ebene wirksam und pflanzt sich über das Anwendungsmodell der Webanwendungen auf die Arbeitsweise der Communities fort. Auf der sozialen Ebene werden die Daten der Maschinen zum Wissen der Menschen und führen dort zu jenen Erscheinungen, die unter dem Begriff Social Media bzw. Web 2.0 gerühmt werden. Dazu zählen beispielsweise Phänomene wie die „Demokratisierung“ der Medieninhalte durch User-generated-content, die Entfaltung kollektiver Intelligenz oder des Crowdsourcing<sup>10</sup>. Dies wird erst deshalb möglich, weil innovative Webanwendungen ihren Nutzern genau jene Freiheiten einräumen, die notwendig sind,

um sich und ihr Wissen zu vernetzen. In dieser, auf Offenheit basierenden, Wissensvernetzung entsteht der Mehrwert offener Daten bzw. des frei verfügbaren Wissens.

Bei den Nutzern der Social Media Anwendungen zeigt sich die Kraft des „demokratischen Prinzips“ nicht nur in Freundschaftsnetzwerken oder im Austausch von Belanglosigkeiten, sondern auch in der ernsthaften und fruchtbaren Wissensarbeit. Jüngere Forschungsarbeiten wie beispielsweise die empirischen Untersuchungen des MIT-Forschers Eric van Hippel bestätigen dies. Seine Untersuchungen identifizieren ausgerechnet in der vermeintlich passiven Nutzergemeinschaft einen neuen Innovorentypus. Die sozialen Gebilde, die es möglich machen, dass die „Entwicklung, Verbreitung und zum Teil auch die Produktion von Innovationen durch Anwender, für Anwender“ erfolgen kann, bezeichnet van Hippel als Anwender-Innovationsnetzwerke. Sie schmälern die Bedeutung der Warenproduzenten, die bislang als Träger der Innovation galten, und machen diese, sofern es sich um Informationsprodukte

handelt, sogar entbehrlich (Hippel 2005). Besonderes Merkmal dieser Netzwerke ist ihre heterarchische Struktur, d. h. ihr horizontaler und vernetzter Aufbau<sup>11</sup>. Die Grenzen zwischen den beteiligten Akteursgruppen wie Hersteller und AnwenderInnen verwischen ebenso wie die Grenzen zwischen Entwicklung und Nutzung der entwickelten Produkte. Alle Beteiligten dieser Netzwerke sind „innovative Anwender“ bzw. Anwender als „Selbstersteller“, die in der Lage sind, Innovationen nicht nur zu konsumieren, sondern auch zu entwickeln, herzustellen und zu verbreiten (Hippel 2005: 453).

Ein geradezu ideales Beispiel, das ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen von van Hippel war, sind die Open Source Communities. So findet sich im Basar-Modell der Open-Source-Entwicklung (Raymond) ebenso wie in der Vision eines Web 2.0 (O'Reilly 2005) die Idee intelligenter, sozialer Vernetzung aktiver NutzerInnen, die in den Softwareentwicklungsprozess als MitentwicklerInnen und InnovatorInnen involviert sind (Raymond, 2000; O'Reilly 2005, Hippel 2005). Die Offenheit der Methoden und Praktiken des Basar-Modells bietet damit auch ein erhebliches Potenzial sozialer Innovation durch eine breitere Nutzerbeteiligung. Bezeichnenderweise ist die Entwicklung der bekanntesten Tools des Web 2.0 wie Weblogs und Wikis ebenfalls durch Pionieranwender bestimmt, deren Hauptmotivation ein persönliches Anliegen war und welche die Verstrickung der Anwender-Innovatoren in die Entwicklung ihrer Produkte offenbar werden lässt: sie entwickeln nicht nur, sondern sie nutzen diese auch.<sup>12</sup>

» V. RESÜMEE UND AUSBLICK:  
UMSETZUNGSOPTIONEN DES  
DEMOKRATISCHEN PRINZIPS  
OFFENER STANDARDS IM OPEN  
GOVERNMENT

Gleichrangigkeit, Offenheit und eine dialogische Kommunikationsstruktur werden insbesondere durch Technologien ermöglicht, die einen offenen

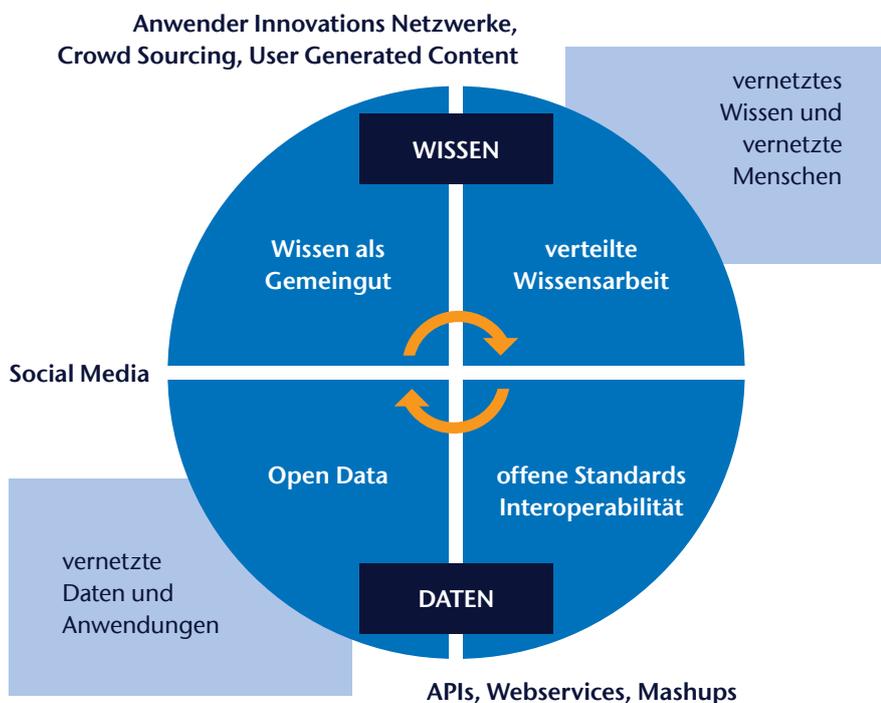


Abb. 2) Verteilte Wissensarbeit

<sup>10</sup> Motivierte Akteure erbringen kollaborativ Dienstleistungen bzw. Software-Entwicklungen via Internet.

<sup>11</sup> Grundsätzliche Ausführungen zu hierarchischen/heterarchischen Strukturen und einer möglichen „Grenzziehung“ über Kontextsteuerung für ein professionelles Projektmanagement in IT-Projekten insbesondere der öffentlichen Verwaltung sind Scholl u. a. (2011) zu entnehmen.

Datenaustausch über die Grenzen einer Anwendung hinweg in maschinenlesbarer Form ermöglichen. Die dazu genutzten Standards als auch die verteilten Inhalte müssen idealerweise frei sein (Büschefeldt 2011: 161), will man einen kreativen Umgang für innovative Anwender fördern und eine Beschneidung nicht vorhersehbarer Innovationen vermeiden. Die Kommission des European Interoperability Framework (EIF) teilt die Ansicht, dass die Verwaltungen offene Standards wegen ihres positiven Effekts auf Interoperabilität verwenden sollten.<sup>13</sup>

Eine Übertragung auf die Diskussion um Open Government Data liegt keineswegs fern, wenn auch gewisse Begrenzungen durch vielfältige, rechtliche Rahmenbedingungen existieren. So gilt „Informationsfreiheit [...] als Element moderner Staatlichkeit und als ein in

Zukunft zunehmend unverzichtbarer Bestandteil eines partizipativen demokratischen Rechtsstaats (Klessmann et al. 2012: 8). Informationsfreiheit bedeutet jedoch nicht nur, dass Bürger sich aus allgemein zugänglichen Quellen oder auf Antrag bei der Verwaltung informieren können, sondern dass „Informationen, Meinungsbildungs-, Abwägungs- und Entscheidungsprozesse“ aktiv offengelegt und die Daten der öffentlichen Hand für Dritte innerhalb und außerhalb öffentlicher Stellen verfügbar sind (Klessmann et al. 2012: 8).

Laut der BMI-Studie soll das Auffinden geeigneter Datensätze sowie die Verarbeitung durch Akteure aus Zivilgesellschaft, Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung auf höchstem Niveau und so effizient wie möglich gestaltet werden (Klessmann et al. 2012: 9). Dazu sei

einerseits das Datenangebot fortwährend auszubauen, andererseits sollen den Datenbereitstellern und -nutzern entsprechende Werkzeuge an die Hand gegeben werden – wie diese und damit die dahinterliegende Technologie prinzipiell aussehen werden, wird in naher Zukunft zu entscheiden sein. In der BMI-Studie werden hinsichtlich der bis 2013 angestrebten föderalen Open-Government-Data-Plattform Empfehlungen für die Metadaten- und Datenstandards ausgesprochen. Empfehlungen für Formate und Vorgehensweisen, die eine Vereinheitlichung befördern, sollten noch ausgearbeitet werden. Sicherheitsrelevante Aspekte werden zwar klassifiziert, aber noch ohne einschränkende Empfehlung aufgelistet. Für die Plattformtechnologie selbst wird das Portalsystem Liferay vorgeschlagen, das auf Java basiert und mit einer Reihe von Internet WWW Standards kompatibel ist, unter anderem: offene Standards für Webinhalte, Portlets, Webservices und Weboberflächen-Technologien.

Die BMI-Studie zeigt in ihrer Langfassung auch detaillierter auf, dass offene Verwaltungsdaten für die verschiedenen Zielgruppen unterschiedliche Chancen bieten und vor unterschiedliche Herausforderungen stellen. Die Offenlegung der Datenbestände und die Nutzung bzw. Weiterverarbeitung durch sogenannte Dritte könnte auch Effekte wie Qualitätssicherung und -steigerung mit sich bringen. Die öffentliche Verwaltung wird allerdings nicht den steigenden Qualitätsanforderungen ihrer mündigen Bürger gerecht werden und vom Wissen verwaltungsexterner Akteure profitieren können, wenn Kontrollen und eingeschränkte Zugriffe sich bei der Umsetzung von Open Government als Hindernisse erweisen. Darüber hinaus ist auch das Wissen der eigenen Mitarbeiter/innen eine Ressource, die persönlich entwickelt und eingesetzt werden kann oder eben nicht. Hier könnten Strukturveränderungen über Kontextsteuerung helfen, zu einer stärkeren und motivierenden Selbstorganisation zu gelangen (Scholl et al. 2011). Daher wird Open Government mit offenen Standards zu Veränderungen in der Wissensarbeit auch innerhalb der öffentlichen Verwaltungsstruktur führen müssen, um „verteilte Wissensarbeit“ mit verwaltungsexternen Akteuren zu



Abb. 3) Die Abbildung skizziert das G2x-Beziehungsgeflecht für soziale Kooperation unter dem Einfluss von Open Government. G = Government, C = Citizen, A = Agent, N = Non-Profit Organisation, B = Business.

<sup>12</sup> So zählten zu den ersten Bloggern eben auch Menschen wie David Winer, die maßgeblich an der Entwicklung der Weblogs und ihrer Vernetzungstechnologien mitgewirkt haben. Die erste Wiki-Software wurde von dem Programmierer Ward Cunningham geschrieben, der ein Tool für den Austausch von Code-Fragmenten mit anderen Programmierern suchte.

<sup>13</sup> Linux Magazin, EIF fordert quelloffene implementierbare Standards, <http://www.linux-magazin.de/NEWS/EIF-2-fordert-quelloffen-implementierbare-Standards>, Zugriff 20.10.2010.

fördern, so dass gleichrangige Partizipation und offene Transparenz in einer dialogischen Kommunikationsstruktur resultieren können.

#### LITERATUR

Büschfeldt, M. (2011): Die Zukunft elektronischer Demokratie: Die Bedeutung des demokratischen Prinzips in softwaretechnischen Konzepten und der elektronischen Demokratie als Anwendungsdomäne der Softwareentwicklung, E-Dissertation, Bremen.

Clases, Ch., Wehner, Th. (2002): Handlungsfelder im Wissensmanagement, in W. Lüthy, E. Voit & T. Wehner (Hrsg.), Wissensmanagement-Praxis-Einführung, Handlungsfelder und Fallbeispiele, vdf, Zürich.

Drossou, O., Krempl, St., Poltermann, A. (2006): Die wunderbare Wissensvermehrung – Wie Open Innovation unsere Welt revolutioniert, 1. Aufl., Heise, Hannover.

Grassmuck, V. (2004): Freie Software zwischen Privat- und Gemeineigentum; 2. Aufl. Bundeszentrale für politische Bildung; Bonn.

Hippel, E. van (2005): Anwender-Innovationsnetzwerke – Hersteller entbehrlich. In: Lutterbeck, B.; Gehring, R. A.; Bärwolff, M. (Hrsg.): Open Source Jahrbuch; Lehmanns Media; Berlin, 450–461.

Klessmann, J., Denker, Ph., Schieferdecker, I., Schulz, S.E. (2012): Open Government Data Deutschland – Kurzfassung der Studie zu Open Government in Deutschland im Auftrag des Bundesministeriums des Innern (BMI), Berlin, PDF.

Koch, M.; Richter, A. (2009): Enterprise 2.0 – Planung, Einführung und erfolgreicher Einsatz von Social Software in Unternehmen; 2. Aufl. Oldenbourg Wissenschaftsverlag; München.

O'Reilly, T. (2005): Was ist Web 2.0? Online-Publikation; [http://www.oreilly.de/artikel/web20\\_trans.html](http://www.oreilly.de/artikel/web20_trans.html) (abgerufen am 16.07.2008).

Saltzer, J., Reed, D., Clark, D. (1984): End-to-End Arguments in System Designs; ACM Trans. Comp. Sys; 2 (4), 277-288; <http://web.mit.edu/Saltzer/www/publications/endoend/endoend.pdf> (abgerufen am 10.08.2009).

Sandvig, C. (2003): Shaping Infrastructure and Innovation on the Internet: The End-to-End Network that isn't it. In: Guston, D., Sarewitz, D. (Hrsg.): Shaping Science and Technology Policy: The Next Generation of Research; University of Wisconsin Press.; Madison; draft version; [http://www.spcomm.uiuc.edu/csandvig/research/Communication\\_Infrastructure\\_and\\_Innovation.pdf](http://www.spcomm.uiuc.edu/csandvig/research/Communication_Infrastructure_and_Innovation.pdf); (abgerufen am: 25. 09.2006).

Scholl, M., Büschfeldt, M. (2011): From Planning Process to Self-Organisation – Can context control help ensure the success of IT projects in public administration? EGOV 2011, August/September 2011 in Delft, Niederlande. Joint Proceedings of Ongoing Research and Projects of IFIP EGOV and ePart, Trauner Verlag, 117–124.

Schwenk, J. (2010): Sicherheit und Kryptographie im Internet; Vieweg+Teubner; Wiesbaden; <http://www.springerlink.de/content/u259374530106m05/> (abgerufen am 05.01.2011).

Willke, H. (2001): Systemisches Wissensmanagement, 2. Aufl., Stuttgart.

Zeppenfeld, K., Finger, P. (2009): Serviceorientierte Architektur mit Webservice; in: SOA und Web-Services; Informatik im Fokus; Springer; Berlin Heidelberg, 69-86, [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-76991-0\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-76991-0_4).

#### AUTOREN

**Dr.-Ing. Maika Büschfeldt**  
Projektleiterin „Neue Wege, neue Chancen zum lebenslangen Lernen“ (gefördert aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Landes Brandenburg)  
FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht, TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-379  
[maika.bueschenfeldt@th-wildau.de](mailto:maika.bueschenfeldt@th-wildau.de)

**Prof. Dr. rer. nat. Margit Scholl**  
Verwaltungs- und Wirtschaftsinformatik  
FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-917  
[margit.scholl@th-wildau.de](mailto:margit.scholl@th-wildau.de)  
[www.th-wildau.de/scholl](http://www.th-wildau.de/scholl)

# MATHEMATICAL MODEL FOR THE INTEGRATED CALCULATION OF PRODUCTION, LOGISTICAL AND SERVICE CAPACITIES IN THE VALUE CHAIN

Igor Lopes Martínez, Ana Julia Acevedo Urquiaga, Yinef Pardillo Báez, José A. Acevedo Suárez, Martha I. Gómez Acosta

## Zusammenfassung

Die Entwicklung des SCM (Supply Chain Management) schließt insbesondere die Kapazitätsorganisation für die operative und auch die strategische Gestaltung der Planung einer Versorgungskette ein. Das Problem kann der Kategorie des Maschinenbelegungsproblem aus dem Operations Research zugeordnet werden. Eine zweite Generalisierung wird aufbauend auf einem vorhandenen Rechenverfahren für die Kalkulation der Produktions-, Logistik- und Servicekapazitäten vorgestellt. Mit der Generalisierung können die einzelnen Prozesse separat untersucht werden. Die Kapazitäten der SCM-Prozesse werden durch die Größe der finalen Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen gemessen und in monetären Einheiten des Ertrags oder der Verluste dargestellt. Ein Fallbeispiel aus dem Fertigungsbereich von Aluminiumblechen erläutert die Vorgehensweise.

## Key Words

Capacities, mathematical model, supply chain.

## Abstract

The development of supply chain management includes the capacities coordination among the processes that integrate it, so much in the operative plan as in the strategic one. This problem could be allocated to the classic job shop scheduling problems of the Operations Research. In such direction, a second generalization of the calculation algorithm of the production, logistics and service capacities is formulated starting from the one reached previously by the own authors. With this generalization it is facilitated to carry out the calculations of capacity at the supply chain level and of each one of the processes. The generality's application is flexible to processes of production, transport, storage, administration and for service. The capacities of each process of the supply chain are expressed in the magnitudes of the final demand of products and services in the consumer, considering the losses and returns along the supply chain. A study case is presented to demonstrate the possibility of use in one field, but it is explained the possibility to use in different fields, from the production of aluminum carpentry to services related to medical equipments.

## » I. INTRODUCTION

The authors summarize the prevalent insufficiency in the literature in the calculation of the capacities for multi-product and complex process network (Anaya 2007; Pérez 2010). Although it assumes the concept of APICS (APICS - The Association for Operations Management - American Production and Inventory Control Society) that the capacity is the "maximum rhythm of sustainable output that you can get with the normal specifications of the product, production mix, normal effort of manpower, plants and existent teams". It defines that when one gives a variety of products, the capacity can settle down in added terms by measure units to which it can reduce all the products (tons, cubic meters, etc.), recognizing that there are not always useful measurements. It outlines that in these cases the capacity is usually measured

in terms of input, that is to say, of the resources that are used, such as hour's machines, hour's man, tons of raw material and others.

For the coordination mechanisms of the supply chain, today is information sharing the capacity focus (Brikmann and Lang 2011). This coordination is effective when there has been a joint capacity measurement and planning of supply chain as strategic decision.

The objective of this article is to show the possibility of application of the proposed calculation method and the process associated with it in one of the different sectors applied, the one is the aluminum carpentry production in Cuba. One problem was that the decisions associated with the achievement of the customer demands in these sectors were made based on empiric studies and with the application of the

methodology it was possible to conclude about the relation between the demand and the actual capacity.

## » II. MATERIALS AND METHODS

The current development of the integrated management of the supply chains is a current trend in agriculture development (Briz et. al. 2010) and requires that one of the variables that should be coordinated in the network of processes is that of capacity. These nets not only include production processes, but also transport, storage, service, administration, agriculture and others. In turn the practice indicates that the restrictive processes of the capacity of the supply chain are not always the productive ones. For such a reason it is demanded that the procedure of calculation of the capacities is comprehensive to all process type.

In such sense, Kunkel (2003) defines the 8 elements of the management of the supply chains: planning, information and communications technologies, alliances, inventory management, service guided by the customer, production guided to the customer, nets formation and supply management. In the concept of collaborative planning, seen as the integration of the systems of planning and control of the chain's partners, just as Winkler (2005) mentions it, it requires settling down a dialogue among the participants in the net on equal reference bases to be able to carry out an effective coordination of their capacities.

In equal form, of the pronouncements of Chopra and Meindl (2004) it is deduced the importance and the necessity from not only calculating the capacity in the processes of production, but also in the other types of processes that integrate the supply chain when exposing that "the facilities (production, warehouse) and their corresponding capacities to carry out their functions are a key driver of the acting of the supply chain in terms of responsibility and efficiency".

In the capacities calculation, it relies on the unitary time of prosecution. However in certain processes times are not determined for each product unit. Such is the case of the transport and the storage in that what is controlled is the cycle of an operation to transport or to store a quantity of products in a combined way. On the other hand, the emergence of the management at level of supply chains generates that the calculation and analysis of capacities should be carried out in two levels:

- At process level, taking as unit the operations.
- At supply chain level, taking as unit the process, which has been weakly treated in the literature (Acevedo and Hernández et al. 2001).

It is required that the procedure of calculation of the capacities is flexible to work in the two signal levels, since they should be supplemented in the management, although the detail grade is different in each one.

Although the initial algorithm contemplates in the calculation of the production capacities the structure of the demand, in certain cases some marketing approach should be introduced in the sense of prioritizing some products mainly when there is deficit of capacity and it is not possible to satisfy the total demand of all the products. In such a sense it is required to consider in the algorithm the restriction of guaranteeing at least in some products a minimum quantity.

In Supply Chain Management is essential that inter-firm links are the result of the integration and exchange of resources (i.e. human resources, physical resources, and other) (García 2010). Human and physical resources are determinants of the supply chain capacity.

### » III. RESULTS AND DISCUSSION

In formulating the model HPPLAN (Günther and Tempelmaier 2005) it's structured a linear optimization model, but its starting point that the capacity of each process is known at each time interval. However, the magnitude of capacity depends on the mix of products or services offered on each coordinate process and this calculation is required throughout the value chain. Similarly pronounced Soret Los Santos to make balancing the

capabilities of a process chain, where is known the capacity of each process and a single product (Soret Los Santos 2010).

Other authors express the calculation of the capacity in units of time (Koether 2010), on this approach is required at each time to determine the workload that represents a particular demand, but it is difficult due to the dynamic variation of the structure of the demand, the consideration of losses and changes in the interrelationships between processes.

It therefore requires a method for calculating the capacity in the value chain focused on the final demand, considering a mixture of products and services, the diversity of processes (production, services, transportation, storage, agriculture, and others) that make up the value chain, the interrelationships between them and yield losses in each process.

Starting from the previous problem and studying different cases it is possible to arrive to the formulation of the system of equations that allows defining the second generalization of the calculation of the production capacities and services (Acevedo 2008). The transformations of the system of equations of the (1) to (5) they are defined from now on.

**The system of equations that was formulated for first widespread calculation (Acevedo and Hernández et al. 1987) is the following one:**

$b_j = \frac{F_j}{\sum_{i=1}^n T_{ij} * P_i}$	ww	(1)
(coefficient – quantity of times is possible to make the demand in relation with the base time available)		
$C_{ij} = b_j * P_i$	(Unit of measure of the process (UM))	(2)
$C'_i = \min(C_{ij})$	for all j	(3)
$C_i = C_{ij}$	for j = fundamental point	(4)
$Kper_i = \frac{C_i - C'_i}{C_i}$	(%)	(5)

where:

<p><i>i</i> product number (i=1, 2, 3, ..., n)</p> <p><i>j</i> operation number (j=1, 2, 3, ..., m)</p> <p><i>F<sub>j</sub></i> base time of the j operation in the analyzed period (year, month or week)</p> <p><i>T<sub>ij</sub></i> prosecution unitary time of the i final product in the j operation (time)</p> <p><i>P<sub>i</sub></i> demand volume of the final product in the analyzed period (UM)</p>	<p><i>C<sub>j</sub></i> production capacity of the i final product in the j operation in the analyzed period</p> <p><i>C<sub>i</sub></i> production capacity of the i final product (UM)</p> <p><i>C'<sub>i</sub></i> capacity in the restrictive point for the i product</p> <p><i>Kper<sub>i</sub></i> capacity loss coefficient of the i final product for existence of "bottle neck"</p> <p><i>b<sub>j</sub></i> capacity coefficient for the calculation in the j process</p>
---	--

In the generality of the cases it is possible to arrive to the unitary time of each operation or process starting from quantifying for observations or registrations the duration of the cycle of the operation or process when it is processed a quantity of products simultaneously, that is to say, a large size. Such it is the case of a process of transport in which the cycle is the sum of the time of location of the means of transport in the load point, the load, the movement of the load point to the destination point, the discharge in this and of the return if it is not that it is programmed

to carry out another load in the return. This cycle is executed to transport a load of certain quantity of physical units or tons as it is the case. Similar situation happens with the storage and agricultural processes, and even in some production processes. With this algorithm the program Capacidad11a.xls has been developed that it allows to work with a total of 100 products or groups of products and 40 processes or operations of the supply chain and it assures to calculate the capacities so much at process level as of the supply chain, embracing processes

of production, services, transport, agriculture, storage, administration, agriculture and others.

In the capacities management it is important to consider the costs associated to the same one with view to achieve alternative that propitiate a reduction of the same ones. In the signal program there are considered two elements of costs associated to the management of the capacities. They are:

- *Capacities underuse cost.* It is calculated starting from considering the fixed costs of each process (depreciation, wages, contribution to the social security, tax on use of the work force, administration expenses, financial expenses, and others) affected by the percentage of capacities sub utilization in each process.
- *Opportunity cost.* It is calculated starting from the unfulfilled demand by the capacities multiplied by the margin of contribution of each product and adjusted by a percentage that reflects the correlation between the losses of sales and the non readiness of the products for the clients that it should be determined experimentally in each case.

The total cost calculated as the previous sum of both is an indicator of the level of efficiency that contributes to the company or the supply chain the capacities management. In this way, the capacities management is integrated with the objectives of the logistics of improving the service to the client jointly with a reduction of the logistical costs.

$$T_{ij} = \frac{L_{ij}}{Q_{ij}} \quad \text{(time per lot or product)} \quad (6)$$

where:  
 $L_{ij}$  cycle of the operation or process j for the treatment of the product i with a lot size of  $Q_{ij}$  (time)

The equation (1) for the calculation of the  $b_j$  it transforms in this way:

$$b_j = \frac{F_j * N_j * A_j - \sum_{i=1}^n T_{ij} * PM_i * f_{ij}}{\sum_{i=1}^n T_{ij} * (P_i - PM_i) * f_{ij}} \quad \text{(coefficient)} \quad (7)$$

In the equation (7) the coefficient  $f_{ij}$  is the one which reveals the interrelations of the processes and operations of the material and productive flow that are given internally in a process and in the supply chain.

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{g_{ij}} \quad \text{(coefficient)} \quad (8)$$

where:

$N_j$	efficiency index of the operation or process j (%)	$f_{ij}$	flow index of the product i for the process or operation j (coefficient – quantity of product needed to make one final unit of product)
$A_j$	quality acceptance index in the operation or process j (%)	$r_{ij}$	proportion of the final product i that should assure the process j (coefficient)
$PM_i$	minimum production to assure of the final product or service I (UM)	$g_{ij}$	consumption index of the intermediate product that it obtains the process j for each unit of the final product i on the net. (coefficient)

The equation (2) transforms contemplating the minimum production that should take place, since the algorithm it reserves a part of the bottom of time of all the processes to assume the minimum defined production according to the equation (7), being in the following way:

$$C_{ij} = b_j * P_i + PM_i \quad \text{(Unit of measure of the process (UM))} \quad (9)$$

The equations (3), (4) and (5) stay the same. In this way it is possible to adjust the algorithm of calculation of the production and service capacities to the current problem described previously.

## » IV. APPLICATION CASE

### Case: Calculation of the capacity of the production sector of the carpentry of aluminum.

The calculation and analysis of capabilities proposed in this paper has shown its effectiveness when applied to independent entities and even the processes underlying supply chains, but often there is a need for strategic analysis for the development or reorganization of a particular productive sector to ensure consistent draw and sustainable land policies.

For the purposes of the application of the calculation procedure of capabilities it is necessary to supplement the procedure with a set of steps that allow to methodologically homogenize the information of the various entities that make up the productive sector under study as shown in the Figure 1 below.

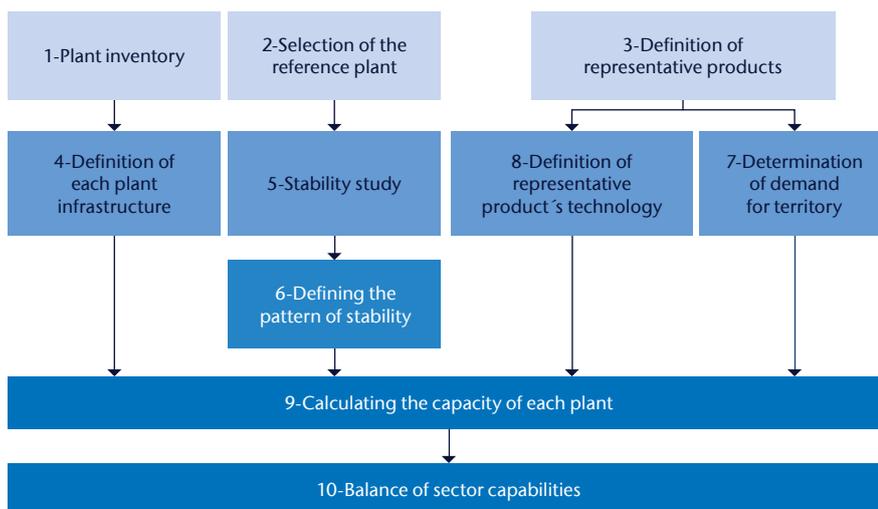


Fig. 1) Methodological framework for calculating the production capacity in a sector

### The steps of the procedure applied are the followed:

#### 1. Plant inventory

As a first step in calculating the capacity of a productive sector is required to perform the definition of all plants or facilities engaged in the production under consideration. Of each plant should be pointed the representative products it manufactures.

#### 2. Selection of the reference plant

Of all existing plants should be selected which is considered more effective and representative from the standpoint of

organization and technology to take it as a reference in the study, if any of the existing plants meet the desired efficiency features it must conform a model plant to the study.

#### 3. Definition of representative products

In a productive sector generally works with a wide variety of assortments, which can be produced by all plants or each plant can be committed to the production of certain assortment. It is then convenient to perform a process of definition of assortments representing the sector on the basis of which is homogenized the technological information that facilitates and standardizes the analysis and calculation of productive capacities in the sector.

Sometimes, it is not possible to define the representative product from the existing and is necessary to define an equivalent product through which it is

equipment and production areas available in each of the plants of the productive sector under study.

In the design of the information to obtain on the infrastructure available at each plant must be from a process of identifying the equipments and homogeneous groups of equipments participating or may participate in the production process and the level of equivalence between them.

#### 5. Stability study

In the factory selected as a representative must be studied the stability of the production process, from analysis of monthly data output (in value) over a representative period (not less than one year). This value of stability must be taken as reference to set the minimum level of stability to calculate the production capacity of each plant and consequently set the pattern of stability to be followed in the study.

#### 6. Defining the pattern of stability

With the results of the calculation of stability in the reference plant and the analysis of existing organizational level in the plants of the industry, the next step is to define the pattern of stability that determine the capacity of the productive sector under study or the level of stability which will aim to be achieved by each sector components plants.

#### 7. Determination of demand for territory

The demand is a basic parameter for the balance of capability of a process and therefore a productive sector in the latter case it is important to determine the demand for each territory of which make up the geographic area to study, because this is the basic point for the reorganization of production capacities and the restructuring and downsizing of the campus industrial.

#### 8. Definition of representative product's technology

For each Representative product is defined the set of operations or tasks to be performed to obtain the product and the procedure for implementing each one. The technology should be reflected in documents (technological letter, route sheet, flow chart) to facilitate the taking of information for the calculation of capacity. For each technological

possible to represent, according to the equivalences established, the parameters for analysis and calculation of capabilities.

For each representative assortment or product defined it is required to establish its name, the main raw materials used in production, product dimensions, price and weight.

#### 4. Definition of each plant infrastructure

As part of the procedure for the calculation, assessment and analysis of production capacities in enterprises (Gomez et al. 2007) it is required to define the

operation it will define the operating time per representative product unit and the type of equipment used. For each type of equipment will be defined the indicator that best reflects its technical ability (for example: power, speed), and the criteria for setting the operating times depending on the technical capacity indicator is defined for each one.

### 9. Calculating the capacity of each plant

Once you have the information on the preceding steps of the procedure is able to calculate the production capacity of each plant. From the data resulting from the above steps is necessary to implement the program Capacity 11a.xls to calculate the capacity of each plant, considering the structure and magnitude of demand.

The result of this step is the number of physical units of each type of product that can be made in each sector of plants.

### 10. Balance of sector capabilities

The balance of sector capabilities is to compare the actual demand with the sector capabilities to determine if these demands can be met, the balance must be conducted not only at the overall sector, but must be done at local level.

In Cuba one of the productions which currently have an administrative, geographic and technological dispersion is the aluminum carpentry for construction. As part of updating the Cuban economic model is necessary to reorganize the production of the aluminum and chart a national policy in this regard to ensure the demands of customers in an efficient, effective and competitive way. The basis of the reorganization of the productive sector took up the study of productive capacities developed under the procedure proposed in this article.

To calculate the capacity of the productive sector of the aluminum a list of all workshops dedicated to this production and their infrastructure was obtained. After analyzing all of them were fixed the efficiency conditions under which the sector must be reorganized, and the pattern of production stability to be worked.

With a view to standardize the results and ease of interpretation was defined a technology type and a group of representative products in terms of the basic raw material used in their manufacture, in this way was possible the calculation of the capacity in each plant to consolidate in a general result and geographical areas that allows the balance between demands and capacities in each geographic region.

As a result of the study in the area of the aluminum carpentry, after having made the calculation of the capabilities and the appropriate balance, it has been possible to conclude that the existing capacities exceed 40% over the demands of this type of production, which shows an oversized capacity.

Regarding the relationship between the stability of the plants and the use of their capacities both real and achievable (Figure 2) a conclusion was that, although the stability achieved is low (reflecting the organizational and technological level that perform the various plants), the utilization levels obtained are well below those achievable with these levels of stability. The underutilization of capacity is determined basically by a production plan and material supply not in line with the available capacity. This is also corroborated by determining the correlation between stability and the actual level of capacity utilization which shows a correlation coefficient of 0.167, which indicates that they do not correlate.

The results of the capacity study of the aluminum carpentry has identified the level of excess capacity at the country level, and perform the regional balance, allowing to rationally link the different territories that have skills deficits with those who have an excess.

The methodology proposed here is applicable in business practice and useful to determine the extent of the productive capacity of an economic sector and their utilization levels.

### » V. CONCLUSIONS

The algorithm developed for the production and service capacities calculation has been used in food production and distribution, retail, medical equipment support services and carpentry of aluminum production. It constitutes a second generalization of the algorithm outlined previously by the authors and it facilitates to extend its application to the diversity of processes (production, transport, storage, service, agriculture and others) that are integrated through of the supply chain management. The calculation of all process capacities are based on final demand in consumer and is a method of balancing capabilities in a network of processes of different nature and with a variety of products.

The reached model allows balancing the capacities of the integral processes of the supply chain in such way that it makes sure to satisfy the demands of the customers and to

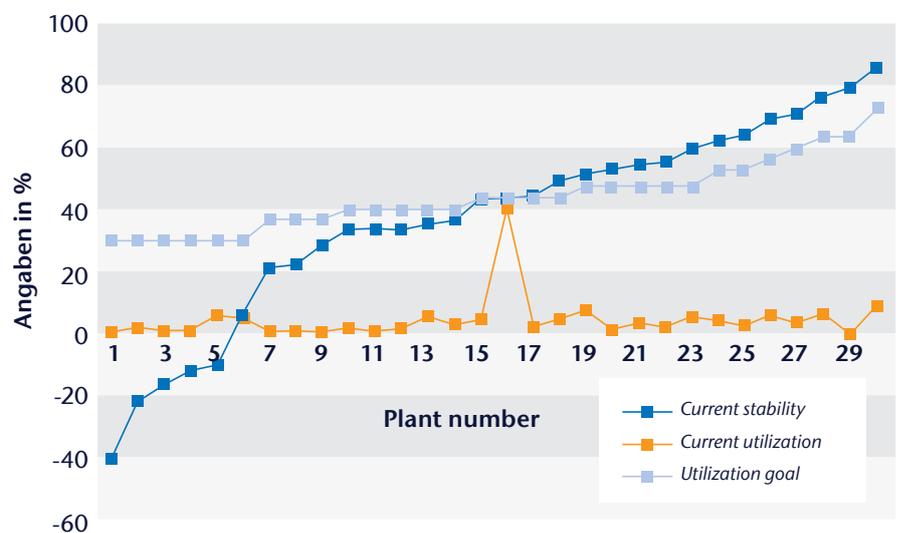


Fig. 2) Capacity utilization vs. stability

reduce the costs of capacities under utilization, which constitutes a factor that generates increment of the logistical costs.

Starting from the presented examples is demonstrated that the applying of the mathematical model proposed to the capacities analysis in supply chains can be used on varied nature processes. The form is also manifested in the improvement that can be reached in the capacities balance using the file *Capacidad11a.xls* like implementation of the system of equations outlined by the generalization.

The two case studies showed that the capacity can be calculated in different sectors using a comparable procedure and calculation methods and can help to analyze the real situation of a process to define if it is possible to achieve the customers demand and demonstrate that it is necessary the use of mathematical and process theory and practice to make conclusions not based on empirical analysis. One key point is a reliable definition of the processes, the demand and the relevant data.

Ulterior researches should influence the integration of this algorithm with approaches and models of optimization and simulation with orientation to the customer and the supply chain.

## REFERENCIAS

J. A. Acevedo Suárez, M. Hernández Torres, et al. (1987): Perfeccionamiento de los métodos de cálculo de las capacidades de producción. *Revista Ingeniería Industrial*, 1987, No.(2): 111-117.

J. A. Acevedo Suárez (2008): Modelos y estrategias de desarrollo de la Logística y las Redes de Valor en el entorno de Cuba y Latinoamérica.: Facultad de Ingeniería Industrial. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias, La Habana, Cuba, CUJAE.

J. A. Acevedo Suárez, M. Hernández Torres (2001): et al. Gestión de las capacidades en los sistemas logísticos. Bogotá (Colombia), Corporación John F. Kennedy.

J. J. Anaya Tejero (2007): Logística integral: la gestión operativa de la empresa. 3ra. edición, Madrid.

D. Brinkmann, J. Lang, et al. (2011): Towards a chain coordination model for quality management strategies to strengthen the competitiveness of European pork producers. In: *Journal on Chain and Network Science*. Volume 11, No. 2, 2011, 137-153

J. Briz, et al. (2010): La Cadena de valor agroalimentaria. Análisis internacional de casos. Ed. Agrícola, Madrid.

S. Chopra, P. Meindl (2010): Supply Chain Management. Strategy, Planning, and Operation. 4ta. New Jersey, EUA, Pearson Educatio.

M. Espinoza Mesa, M. Mesa Olivera (2010): Aplicación del Modelo de Capacidad y del Modelo de Flujo en la Cadena de suministro de aceite comestible en Cuba.: Ingeniería Industrial. Tesis de Diploma, La Habana (Cuba), CUJAE.

A. Kunkel (2003): Erprobtes Modell erleichtert die SCM-Einführung In: *Beschaffung Aktuell*, 2003, No.(2): 38-39.

Ana M. García Pérez (2010): Inter-firm resources and the role of partners as determinants in the configuration and performance of interorganisational relations. In: *Journal on Chain Network Science*. Volume 10, No. 3, 2010.

H.O. Günther, H. Tempelmaier (2005): *Produktion und Logistik*. Ed. Springer, 162-172.

R. Koether (2008): *Taschenbuch der Logistik*. Ed. Hanser, Leipzig.

E. Pérez Gorostegui (2010): *Curso de introducción a la economía de la empresa*. Ed. Ramón, Aricas, Madrid.

I. Soret Los Santos (2010): *Logística y operaciones en la empresa*. Ed. ESIC, Madrid, 75-79.

H. Winkler (2005) SCM- Implementierung auf Basis einer Virtuellen Supply Chain Organisation. In: *Supply Chain Management*, 2005, No.(11).

## NACHWORT

Die Arbeiten zu diesem mathematischen Modell wurden zu einem guten Teil während des Aufenthalts der Doktoranden Igor Lopes Martínez, Ana Julia Acevedo Urquiaga, Yinef Pardillo Báez an der TH Wildau [FH] im Frühjahr 2012 geleistet. Die Kollegen Prof. José A. Acevedo Suárez und Prof. Martha I. Gómez Acosta von der Technischen Universität Cujae in Havana Cuba haben gemeinsam mit mir die Duchsicht und Überarbeitung der Inhalte vorgenommen.

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag  
Leiter Verkehrslogistik TH Wildau [FH]

## AUTOREN

**Igor Lopes Martínez**  
ilopes@ind.cujae.edu.cu

**Yinef Pardillo Báez**  
yinef@ind.cujae.edu.cu

**Ana Julia Acevedo Urquiaga**  
anajulia@economia.cujae.edu.cu

**Martha I. Gómez Acosta**  
marthagom@tesla.cujae.edu.cu

**José A. Acevedo Suárez**  
acevedo@tesla.cujae.edu.cu

## ANSCHRIFT

Grupo Logespro  
Facultad den Ingeniera Industrial  
Technical University CUJAE, Havana, Cuba

# AKTIVIERENDE METHODIK IM FREMDSPRACHENUNTERRICHT – Nutzen, Wirkung, praktische Beispiele

Daniela Schultz, Martin Bradbeer, Virginie Bimont, Greg Bond, Adrian Stiglbauer

## Zusammenfassung

„Spielen im Unterricht macht Spaß, aber dafür fehlt uns die Zeit, wir haben in einem Semester so viel Stoff zu bewältigen, dass wir kaum Zeit für Spiele haben, außerdem finden die Studierenden das eher kindisch.“ Im Folgenden zeigen wir anhand theoretischer Überlegungen und praktischer Beispiele, dass man gerade bei spielerischen, aktivierenden Methoden lernt. Im ersten Teil dieses Beitrags werden theoretische Grundlagen für das aktivierende, spielerische Lernen vorgestellt. Im zweiten Teil werden methodische Grundsätze präsentiert, und im dritten und letzten Teil berichten wir von praktischen Beispielen aus unserem Unterricht.

Die Tatsache, dass die Beispiele dem Fremdsprachenunterricht entnommen sind, bedeutet jedoch nicht, dass aktivierende Methodik nur dort sinnvoll eingesetzt werden kann. Vielmehr hat sie einen allgemeinen Nutzen für die Hochschuldidaktik in allen Fachgebieten. Gerade heute, wo Lernziele an Hochschulen zunehmend nicht nur über den „Stoff“ definiert werden, sondern kompetenzorientiert sein und die Autonomie der Lernenden fördern sollen, können aktivierende Methoden in jedem Fachgebiet und in jeder Art von Lehrveranstaltung bedeutsam sein.

## Abstract

This article looks at contemporary methods for language teaching at university level, and for all languages at all levels from beginners to advanced. The article aims to show that activating, playful methods with an emotional and practical point of reference are most effective in today's language teaching. Moreover, we claim that problem-solving and participative methods are not only relevant for language teaching, but for all teaching, and especially at university level, where the relevance of materials and methods for students must be highly evident, and students need to discover effective paths and ways through a large amount of material.

The first part looks at the theoretical background to participatory teaching and learning, considering learning styles and offering explanations as to what is meant by playful teaching methods and why they are effective. Memorability, sensuality and experiential learning are key ideas here. The second part of this essay looks at some of the methods in teaching that are appropriate to experiential learning. In the final part of this article we present concrete examples of playful and participatory learning from our own teaching experience.

## » I. EINLEITUNG: THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN

### 1. Voraussetzungen für gelingendes Lernen

Was bedeutet es, etwas zu lernen? Lernen bedeutet sicher nicht, einen Vortrag anzuhören, Wissen zu rezipieren. Lernen bedeutet auch nicht, etwas zu verstehen. Lernen bedeutet, Wissen aufzunehmen und aktiv zu verarbeiten, so dass man langfristig mit dem Erlernten umgehen kann. Lernen bedeutet somit eine Veränderung des Erlebens und Verhaltens aufgrund von individuellen Erfahrungen mit und in der Umwelt.

„Lernen“, sagte der Hirnforscher Gerald Hüther im Februar 2012 auf der weltweit größten Bildungsmesse „Didacta“ in Hannover, können die Lehrenden „nicht machen, nicht erzwingen, sie können nur den Rahmen dafür schaffen, damit Lernen gelingt – einen Raum gestalten, in dem sich das Gewünschte ereignet“ (Tagesspiegel

16.2.2012, 29). Wenn wir wollen, dass etwas gelernt wird, müssen wir den Lernenden die Möglichkeit geben, das neue Wissen in das vorhandene Weltbild zu integrieren bzw. es neu zu konstruieren und das eigene Erleben und Verhalten darauf neu auszurichten.

Daraus ergeben sich einige Schwierigkeiten für Lehrende: Erstens ist jeder Mensch anders, „keiner ist wie der andere“ (Asendorpf 1988: 203). So banal diese Einsicht ist, so bedeutsam ist sie für den Unterricht. Es gibt nicht nur verschiedene Lerntypen (vereinfachend werden oft visuelle, verbal-abstrakte, auditiv-kommunikative und haptische Lerntypen unterschieden), sondern Lernende sind alle Individuen mit individuellen Denkstrukturen und unterschiedlicher Herkunft, die für unterschiedliche Inhalte unterschiedliche Verarbeitungsmöglichkeiten bevorzugen. Wird der zu lernende Stoff mit den bereits vorhandenen Erfahrungen verknüpft und ist dort langfristig verfügbar, können wir behaupten,

dass er gelernt wurde.

### 2. Die Speicherung des Erlernten

Es gibt verschiedene Erklärungsansätze in der Gedächtnisforschung; die meisten Theorien gehen von einem Modell mit drei unterscheidbaren Stadien im menschlichen Gedächtnis aus (Roche 2008: 18). Demnach verfügen wir über einen sensorischen Speicher (das Ultrakurzzeit-Gedächtnis), ein Kurzzeit-Gedächtnis und ein Langzeit-Gedächtnis.

Der sensorische Speicher registriert schnelle Reize, die Dauer der Speicherung beträgt Zehntelsekunden bis einige Sekunden. Das Kurzzeit-Gedächtnis funktioniert wie eine Art Arbeitsspeicher, hier wird „geistige Arbeit“ verrichtet und hier werden Informationen nach dem Grad ihrer Bedeutsamkeit selektiert (Lehner und Ziep 1997: 127–133).

Die Kunst des Lehrenden besteht laut Hüther darin, etwas für Lernende „bedeutsam zu machen, was ihnen

auf Deutsch gesagt, am Arsch vorbei geht“ (Tagesspiegel 16.2.2012, 29). Ist die Information dann so bedeutsam geworden, dass sie langfristig abrufbar sein soll, so befindet sie sich in der „Wiederholungsschleife“ und wenn sie häufig genug wiederholt wurde, gelangt die Information in das Langzeit-Gedächtnis. Dort ist sie dann dauerhaft verfügbar. Vergessen bedeutet für das Langzeit-Gedächtnis nur, dass die Information nicht auffindbar ist. Das Schwierigste beim Erinnern ist also der Zugriff, der Zugang zur gesuchten Information.

Was bedeutet das nun für die Lehre?

1. Damit der Lernstoff den „Filter“, das sensorische oder Ultrakurzzeit-Gedächtnis passiert, muss er für die Lernenden ein hohes Maß an Bedeutsamkeit aufweisen.

2. Dafür, dass die Informationen, die ins Kurzzeit-Gedächtnis gelangt sind, nicht wieder verloren gehen, ist es wichtig, den Stoff zu wiederholen. Dies sollte auf möglichst vielfältige Art geschehen, so dass möglichst viele verschiedene Eingangskanäle aktiviert werden.

3. Um die Informationen aus dem Langzeit-Gedächtnis problemlos abrufen zu können, ist es notwendig, dass sie bereits bei der Informationsaufnahme in organisierten, geordneten Strukturen vorliegen und in bereits vorhandenen Kontexten aufgenommen werden (Lehner und Ziep 1997: 132).

### 3. Emotionen und Lernerfolg

Der enge Zusammenhang von Lernvorgängen und Emotionen wird besonders deutlich, wenn wir uns selbst an Dinge erinnern, die von hohem persönlichem Wert sind. An Sachverhalte, die nicht nur auf kognitiver, sondern auch auf emotionaler Ebene verarbeitet werden, können wir uns besonders gut erinnern.

Für ein vollständiges Spracherwerbsangebot ist daher zu berücksichtigen, dass bei den folgenden Aspekten eine emotional positive Haltung zum Unterrichtsgeschehen von herausragender Relevanz für den nachhaltigen Lernerfolg ist.

- Vielfalt des Lernangebots: inhaltsorientierte und sprachformorientierte Verarbeitung, Sprachproduktion und Angebot von Kompensationsstrategien, das sind Strategien, die den Studierenden helfen, sprachliche Defizite auszugleichen

- Multisensorische Informationsdarbietung (verschiedene Lernkanäle)

- Verbindung von logisch-analytischen und intuitiv-kreativen Prozessen

- Schaffung eines positiven Lernklimas (siehe auch Lehner und Ziep 1997: 143), was nur erreicht werden kann, wenn wir die Lernenden als Partner respektieren und ernst nehmen, ihre Fragen, Bedürfnisse und Interessen berücksichtigen und so einen respektvollen Umgang miteinander etablieren

## » II. METHODISCHE GRUNDSÄTZE DES AKTIVIERENDEN LERNENS

### 1. Das Lernsandwich

Lehrende sollten mit den Lernenden zusammen einen Raum schaffen, in dem die Lernenden ihr neu erworbenes Wissen in individuell verändertes Erleben und Verhalten umsetzen können. Um den Studierenden dazu Gelegenheit zu geben, bedeutet das konkret, dass wir präsentierende Unterrichtsphasen stets in aktive Phasen einbetten müssen.

Schon der Begriff „Lernsandwich“ macht deutlich, dass gute Lehrende den Studierenden appetitlich zubereitete Häppchen servieren sollten und zwar aus den Zutaten, die von oder in Abstimmung mit ihnen ausgewählt wurden. Außerdem bedeutet Sandwich, dass leckere Zutaten in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet werden sollten:

- Einstieg/Einführung

- Informationsaufnahme  
- rezeptives Lernen

- Informationsverarbeitung  
- aktives Lernen

- Informationsaufnahme  
- rezeptives Lernen

- Zusammenfassung/Ausstieg  
(nach Lehner und Ziep 1997: 18)

Diethelm Wahl konstruiert eine etwas komplexere Variante eines Lernsandwichs, bei dem auch die Schnittstellen oder Übergangsstellen zwischen rezeptivem Lernen, das er die „Phase der kollektiven Vermittlung“ nennt, und aktivem Lernen, das bei ihm „Phase der subjektiven Auseinandersetzung“ heißt, betrachtet werden. Diese Stellen, er nennt sie „Gelenkstellen“, dienen der Transparenz und appellieren an die Autonomiefähigkeit der Lernenden. Besonders an der ersten Gelenkstelle, die oben als Einstieg/Einführung bezeichnet wurde, aber auch an den anderen Gelenkstellen, soll ein Austausch über den Ablauf der Lehrveranstaltung stattfinden, Redeschwellen sollen so überwunden werden, Interessen und Vorkenntnisse sollen erfasst werden. So kann das Lernen an den Voraussetzungen der Lernenden ausgerichtet und zu einem aktiven, selbst gesteuerten Prozess werden (Wahl 2006: 96–104; siehe auch die hierzu gut passende Methode des „task-based language teaching“ (vorgestellt von O’Donoghue 2012).

### 2. Stoffreduktion

Nur wenn alle Inhalte vollständig präsentiert werden, z. B. möglichst viele Folien gezeigt, oder jede Lehrbuchseite bearbeitet wird, können sich Studierende das notwendige Wissen aneignen – so eine verbreitete Haltung in der Hochschule. Der Stoff muss geschafft werden. In Anbetracht der knappen Ressource Zeit und einer großen Lehrstofffülle sollten die Inhalte eher so reduziert werden, dass sie exemplarischen und prototypischen Charakter haben, so dass die Studierenden auch mithilfe erlernter Kompensationsstrategien das Erlernte rekonstruieren, wiedergeben, anwenden und umsetzen können. Gute Lehrende sind „gute Fachmänner“ auf ihren Gebieten, nicht nur weil sie über umfangreiches Wissen verfügen, sondern vor allem, weil sie wissen, was wirklich wichtig und wesentlich ist und in eine assoziative Struktur eingefügt werden kann, d. h. an schon Bekanntes angeknüpft

werden kann (Lehner und Ziep 1997: 28–31).

### 3. Spiele als Simulationen authentischer Kommunikationssituationen

Dass sich für das im Lernsandwich aufgeführte Lernen aktivierende und spielerische Methoden besonders gut eignen, möchte ich hier zeigen.

Die Begriffe „aktivierende Methodik“, „spielerische Methoden“ und „Spiele“ werden häufig nebeneinander verwendet, weil die Grenzen fließend sind. Es geht um Methoden, die Lernende dazu zu bewegen, aktiv zu handeln und zu kommunizieren. Die kognitionspsychologische Forschung stellt fest, dass wir den Lernstoff desto länger behalten, je lebendiger er gestaltet wird (Lehner und Ziep 1997: 15–19). Aktivierende, spielerische, lebendige Methoden dienen nicht nur der Auflockerung der Unterrichtsatmosphäre, sondern sie sind authentische Kommunikation, weil Spiele immer ein Ziel haben, das nicht die Sprache oder der zu lernende „Stoff“ selbst ist. Die Studierenden beteiligen sich nach vorgegebenen Regeln am Spiel- bzw. Unterrichtsgeschehen und setzen dafür die erlernte Sprache oder den erlernten Stoff ein. Damit ist eine reale Situation gegeben, in der die Studierenden keine Übung absolvieren, sondern die zu lernenden Mittel einsetzen, um etwas zu erreichen.

Im besten Fall wird dabei gelernt, ohne dass die Teilnehmenden es merken. Auch die bei dieser Methode häufig zu findende hohe Emotionalität und an persönliche Erlebnisse geknüpfte Lernerfahrung sind gute Voraussetzungen für den Lernerfolg. Vorteilhaft ist auch die hohe Partizipation, die ganze Gruppe muss aktiv sein: Nach einer bestimmten Reihenfolge kommen alle, auch eher zurückhaltende Studierende, an die Reihe und haben die Möglichkeit, sich zu beteiligen.

### 4. Partizipation der Lernenden fordern

Es ist keine neue Erkenntnis, dass Frontalunterricht, bei dem die Lehrenden dozieren und die Studierenden zuhören und sich evtl. Notizen machen, häufig nicht den gewünschten Lernerfolg erzielt. Heutzutage weiß man oft nicht, was die Lernenden während der

Vorlesung mit ihren aufgeklappten Notebooks veranstalten – aber man kann sicher sein, dass sie nicht mit voller Aufmerksamkeit beim Thema der Vorlesung sind.

Bei der aktivierenden Methodik kann auf diese Situation weitestgehend verzichtet werden. Die Studierenden werden von Anfang an eingeladen, den Lernprozess selbst aktiv zu gestalten. Über die aktive Mitarbeit hinaus dürfen die Studierenden in den Unterrichtsablauf eingreifen und ihre Vorschläge zum Verfahren einbringen. Phasen der kollektiven Vermittlung können von Studierenden selbst gestaltet werden, in Form einer Präsentation, einer Demonstration oder einer von Studierenden eingebrachten spielerischen Übung. Von kollektiver Vermittlung wird hier gesprochen, weil im Gegensatz zur Phase der aktiven, subjektiven Auseinandersetzung hier alle Lernenden hinsichtlich Form und zeitlichem Verlauf das Gleiche tun (Wahl 2006: 105). Die Lernenden verfallen nicht in eine Konsumhaltung, in der sie meinen, „nur“ zum Unterricht kommen zu müssen, während der Lehrende oder das Lehrwerk das Lernen für sie „übernehmen“.

In regelmäßigen Abständen wird reflektiert, welche Unterrichtsaktivitäten, Übungen, Spiele, Themen usw. erfolgreich waren und welche wiederholt werden können. Das heißt, dass die Studierenden immer wieder selbst ihre Lernziele formulieren können und auch den Weg dahin besprechen sollten.

### 5. Sinnlichkeit und Bewegung

Langes Sitzen am Tisch und Zuhören ist schnell ermüdend. Durch den Einsatz von spielerischen Methoden und die Berücksichtigung aller Sinne beim Lernen entsteht Bewegung im Seminarraum, es wird etwas gemacht. Schon kleine Bewegungen, beispielsweise das kurze Aufstehen und Wechseln des Platzes für eine Partner- oder Gruppenübung, fördern die Konzentration und aktivieren neue Energien. Vom Lehrenden erfordert manch aktivierende Methodik zunächst Mut, neue Lehrsituationen zu initiieren, denn wenn man vom herkömmlichen, bekannten Weg abweicht, stößt man mitunter auf Widerstände der Studierenden. Allerdings handelt es sich hier

um Unsicherheit, die sich schnell legt, wenn die Studierenden erkennen, dass sie nun aktiv, praxisorientiert und vor allem mit hoher Relevanz arbeiten.

Der hier postulierte positive Effekt aktivierender Methodik auf den Lernerfolg soll im folgenden praktischen Teil exemplarisch mittels Beispielen illustriert werden. Aktivierende Methoden, Spiele etc. wurden hierbei hinsichtlich verschiedener Zielgruppen und unterschiedlicher Lernziele eingesetzt.

## » III. PRAKTISCHE BEISPIELE AUS DEM FREMDSPRACHENUNTERRICHT

### Die Schaffung einer effektiven und aktivierenden Lernatmosphäre im Unterricht

#### 1. Zielgruppe:

alle Studierenden, die an einem Sprachkurs teilnehmen

#### 2. Lernziel:

Jeder hat seine eigene Art des Lernens, und es ist sehr wichtig für Studierende, gleich zu Beginn eines Kurses zu diskutieren, zu hinterfragen und herauszufinden, welcher Lernertyp sie sind und was sie individuell im Unterricht tun können, um ihre Lernerfahrungen zu verbessern.

#### 3. Methode:

Normalerweise werden sich die Studierenden und die Lehrenden in der ersten Unterrichtsstunde vorstellen und über den Kurs sprechen. Die erste Unterrichtsstunde sollte auch dazu dienen, Methoden vorzustellen, wie man am besten während des Unterrichts lernt. Die Methode, um über die Vielfalt der Wege, wie Menschen lernen, zu reflektieren, ist eine Mischung aus Selbstreflexion, Partnerarbeit, Gruppenarbeit, Brainstorming und Diskussion.

Um die Studierenden zu aktivieren, können die Lehrenden zuerst die Lernenden in Paaren oder kleinen Gruppen fragen, wie sie lernen möchten, ob sie sich Notizen machen, ob sie den Unterricht z. B. mit ihren Handys aufzeichnen, wie sie sich für eine Prüfung vorbereiten, was sie gerne in einem Sprachkurs tun. Sie sollten auch darüber diskutieren, was sie nicht mögen! Die Lehrenden sollten dann Beispiele herausgreifen und an die Tafel (Karten und eine Pinnwand können auch verwendet werden) die folgenden

drei Überschriften schreiben: visuell, auditiv und taktil. Die Studierenden sollen dann entscheiden, welche Strategie/Übung/Tätigkeit/Spiele welchem Lernstil entsprechen. Diese Aktivität wird nicht nur die Studierenden motivieren zu überlegen, welcher Lerntyp sie sind, sondern auch die Diskussion über Lernstrategien fördern. Sobald dies geschehen ist, sollten die Lehrenden die Studierenden fragen, was sie individuell im Klassenzimmer tun können, um ihre Lernerfahrung zu optimieren. Im Folgenden werden einige nützliche aktivierende Strategien aufgeführt, die in der ersten Unterrichtsstunde festgelegt und eingesetzt werden können, um die Sprachkenntnis zu verbessern:

1. Viele Studierende sind besorgt, dass sie die Fehler von ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen übernehmen. Aber auch das Gegenteil ist der Fall: Studierende können eine Menge von den anderen Studierenden lernen: Jede Studentin und jeder Student wird in das Klassenzimmer mit einer ganz eigenen Kenntnis der Sprache kommen. Die Lernenden sollten ermutigt werden, zu hinterfragen, was ihre Mitstudierenden sagen und die Lehrenden fragen, ob es richtig ist. Das fördert auch die Diskussion in der Klasse und das Lernen.

2. Die Studierenden sollten Fragen an die anderen Studierenden in ihren Köpfen beantworten. Wenn sie das Gleiche sagen würden und es richtig ist, dann ist alles in Ordnung. Wenn sich ihre Antwort unterscheidet, sollten sie mit den Lehrenden überprüfen, ob ihre Version richtig ist.

3. Wenn die Studierenden neue Worte oder eine neue Phrase lernen, sollten sie diese laut sagen (aber auch nicht zu laut!).

4. Die Studierenden sollten Notizen in der neuen Sprache aufschreiben und Beispielsätze machen, um die Sprache im Kontext zu lernen, sie sollten Definitionen usw. notieren, aber sie sollten versuchen, sie nicht in ihre Muttersprache zu übersetzen.

5. Die Studierenden und Lehrenden sollten sich auf eine bestimmte Art der Korrektur im Klassenzimmer einigen. Weil Lernen ein Prozess ist, sollte der

Umgang mit Fehlern auch ein Prozess sein. Die Studierenden sollten zuerst versuchen, die Fehler selbst zu korrigieren, wenn dies nicht möglich ist, sollten andere Studierende, Peers, versuchen zu korrigieren, die Lehrenden sind die letzte Option.

6. Schließlich sollten die Studierenden aufgefordert werden, sich keine Sorgen über Fehler zu machen. Sie sind in einer Lernatmosphäre, in der sie keine Angst haben müssen, Fehler zu machen! Jeder lernt aus Fehlern und wenn die Studierenden keine Fehler machen, sprechen sie entweder nicht oder die Aufgaben sind viel zu einfach!

#### 4. Zusammenfassung:

Bis zum Ende des Unterrichts sollten die Lehrenden und Studierenden diese Lernstrategien und die Wichtigkeit, sie während des Unterrichts zu verwenden, im Detail diskutiert haben. Dieser ganze Prozess ist äußerst nützlich beim Aufbau einer motivierenden und Erfolg versprechende Lernatmosphäre und bei der Schaffung einer positiven Dynamik innerhalb der Klasse. Der Unterricht wird von nun an Spaß machen, aktivierend, effektiv und lernerzentriert sein!

### Spielerische und kreative Erlebnisse als aktivierende Methode im Sprachunterricht

#### 1. Zielgruppe:

Studierende jeden Alters, Anfänger, die Gruppe umfasst 3 bis 16 Studierende

#### 2. Lernziele:

- die Studierenden haben eine positive Erfahrung mit der Fremdsprache
- Entspannung beim Lernen – gute Lernatmosphäre – die Fremdsprache ist das Mittel, um etwas zu erreichen, was nicht nur das Erlernen der Sprache selbst ist – alle fünf Sinne und alle Fähigkeiten werden eingesetzt – die anderen Studierenden kennenzulernen und mit ihnen zu agieren und auf sie zu reagieren – neues Vokabular zu lernen und die Syntax zu ordnen, zu wiederholen und zu lernen

#### 3. Methode:

Die Lehrenden präsentieren in der Fremdsprache das Material, mit dem später gespielt wird, sie erklären die Regeln mit vielen Beispielen, sie agieren

zuerst selbst gleichzeitig mit Sprache und Bewegung. In einer zweiten Phase werden die Studierenden aktiv, sie werden zu Schauspielern. Die Lehrenden unterstützen die Studierenden: sie loben, helfen, korrigieren und verbinden dabei immer die Sprache mit der Bewegung oder Aktion. In einer dritten und letzten Phase sind die Lehrenden nicht mehr aktiv, sie beobachten die Studierenden, die zusammen kommunizieren.

#### Sieben Familien: ein Kartenspiel

Dieses Kartenspiel wird mit „sieben Familien“ a sechs Karten gespielt. Die Karten werden zuerst von den Lehrenden und später von den Studierenden hergestellt bzw. mitgebracht. Es wird geschrieben, gezeichnet, geschnitten, gebastelt usw. Das Material und die Aktionen werden in der Fremdsprache benannt, auch wenn die Lexik komplizierter und die Syntax der Anweisungen komplexer wird. Die Karten werden gemischt, ein Stapel steht in der Mitte, und alle Mitspielenden bekommen fünf Karten. Das Ziel: So schnell wie möglich so viele Familien wie möglich zu sammeln. Ablauf: Man muss einen Spielenden nach einer Karte fragen, wenn sie/er diese Karte hat, bekommt man diese Karte und darf weiterspielen, wenn nicht, nimmt sie/er eine Karte von dem Mittelstapel und die/der nächste ist an der Reihe. Man darf nur nach Familien fragen, von denen man schon mindestens eine Karte hat.

Zum Beispiel: „eine sportliche Familie“ (der Vater spielt Fußball, die Mutter schwimmt...), „hast du den Vater, der Fußball spielt?“ – „sieben Familien“ mit Verben (7 verschiedene Verben werden konjugiert, man erhält 6 Karten mit den verschiedenen Personalpronomen und Endungen), „Hast du „wir gehen“?“

Mit diesen Karten können die Studierenden viele verschiedene Themen- und Grammatikbereiche üben, sie sprechen über Themen wie Freizeit, Familie, Länder, Berufe usw. und üben Verbkonjugation, Tempus, Adjektive und Satzbau usw. Sie lernen Fragen zu stellen und zu beantworten und Vokabular zu klassifizieren.

#### 4. Kritisches Resumée:

Das Spiel eignet sich bestens, um eine Sprache zu lernen. Es kommt zu emotionaler Stimulierung und zu spannenden Erlebnissen, zu automatischer

Wiederholung, es werden verschiedene Materialien genutzt, Selbstvertrauen wird entwickelt, Autonomie und Selbstständigkeit wird durch Kreativität verwirklicht. Bei dem Spiel kann der Progression der Lernenden gefolgt werden, es kann auf immer höherem Sprachniveau eingesetzt werden. Es bietet die Möglichkeit, eine Palette unterschiedlicher Lexik und Situationen zu üben und zu beherrschen.

### Teaching International Commercial Legal English to Students of Business Law

#### 1. Zielgruppe:

Masterstudierende des Studiengangs Wirtschaftsrecht mit der Spezialisierung Internationales Recht, welche gleichzeitig einen Fachkurs in „International Commercial Transactions“ belegen. Eine kleine Gruppe von bis zu 15 Studierenden, Niveaustufe Englisch B2–C1, jedoch ohne Kenntnisse der Fachsprache in diesem Lehrgebiet.

#### 2. Lernziele:

Die Studierenden sind nach dem Kurs in der Lage, ein komplexes internationales Geschäft mit der dazugehörigen Dokumentation (Korrespondenz zwischen den beteiligten Unternehmen, einschlägige Dokumente – Kaufvertrag, AGB, Akkreditiv, Frachtbrief, usw.) in englischer Sprache nachzuvollziehen und in ihrer zukünftigen Berufspraxis mit ein wenig professioneller Hilfe selbst zu gestalten.

#### 3. Methode:

Der Kurs wird in drei zeitliche Abschnitte geteilt. Einige Wochen lang beschäftigen wir uns im Seminarraum mit den Rahmenbedingungen und Dokumenten eines internationalen Import-Export-Geschäfts – aus inhaltlicher und sprachlicher Sicht. Es entstehen Synergien zu dem parallelen Fachkurs in „International Commercial Transactions“.

Nach einem guten Drittel des Semesters bilden die Studierenden Projektgruppen. Sie gründen fiktive Unternehmen, verhandeln ein Geschäft miteinander und führen es durch. Wo die Studierenden dies miteinander tun, ist ihnen freigestellt. Der Lehrende agiert als Coach, berät die Gruppen über inhaltliche und sprachliche Fragen – im Seminarraum, nach Terminvereinbarung, und per

E-Mail. Die Studierenden stellen eigene Forschungen an, um ein realistisches Geschäft miteinander abzuwickeln und geeignete Dokumente zu erstellen. Sie schicken ihre Dokumentation an den Trainer, der diese kommentiert und korrigiert und die Studierenden dabei durch Hinweise ermutigt, an der Korrektur ihrer „Fehler“ selbst mitzuwirken.

In der letzten Phase des Semesters präsentieren die Projektgruppen ihre Ergebnisse in Form einer Präsentation und eines Portfolios mit den Dokumenten und einer Selbsteinschätzung des eigenen Lernerfolgs.

#### 4. Kritisches Resumée:

Diese semesterumfassende Projektarbeit ist aktivierend und spielerisch zugleich: Studierende spielen (simulieren) ein wirkliches Geschäft mit komplexen Abläufen und sie tun dies, indem sie (Geschäfts-)Beziehungen miteinander eingehen. Viele Studierende blühen dabei auf, übernehmen Verantwortung für den Prozess und damit für eigenes Lernen. Dass der Lehrende als Coach fungiert, ist mit Sicherheit ein guter Ansatz, doch hier müssen Studierende ermutigt werden, diese Dienstleistung in vollem Maße in Anspruch zu nehmen. Ein Projekt dieser Komplexität eignet sich für höhere Semester und insbesondere für kulturell gemischte Gruppen, da dann ein zusätzlicher Realismus entsteht: Menschen aus verschiedenen Nationen verwenden die englische Sprache, um miteinander zu arbeiten. Lernen darf nicht ausschließlich im Klassenzimmer erfolgen.

### Die Lektüre von Theaterstücken als aktivierende Methode im DaF-Unterricht

#### 1. Zielgruppe:

Studierende aller Bachelor- und Masterstudiengänge, die den DaF-Oberstufenkurs (B2–C1) besuchen, aber eventuell auch schon Teilnehmende des DaF-Mittelstufenkurses (A2–B1). Die Gruppe sollte etwa 6–16 Studierende umfassen.

#### 2. Lernziele:

Einerseits soll ein Anreiz geboten werden, sich über den Fremdsprachenkurs hinaus weiter eigenständig mit deutscher Literatur und Kultur zu beschäftigen. Andererseits bietet die sprachliche Form dramatischer Texte, der Dialog,

und seine Umsetzung im darstellenden Spiel die Chance, die Scheu vor der Fremdsprache zu verlieren. Die Hemmschwelle, im Alltagsbereich in der Fremdsprache zu kommunizieren, kann auf diese Weise gesenkt werden. Schließlich werden die Studierenden bereits auf Rollenspiele wie etwa in den betriebswirtschaftlichen Fachsprachkursen vorbereitet, in denen die Studierenden in Gruppen z. B. die Gründung einer Firma simulieren sollen.

#### 3. Methode:

Der Textkorpus eines Dramas ist reduziert, die sprachliche Form, der Dialog, und die Möglichkeit der Bewältigung auf der Bühne haben zur Folge, dass die Texte syntaktisch einfacher gestaltet sind als in den erzählenden Gattungen und semantisch weniger opak sind als in der Lyrik. Dies sind gute Gründe dafür, ein Theaterstück als Einstieg in die Lektüre fremdsprachlicher Literatur zu wählen.

Tatsache ist aber auch, dass ein dramatischer Text ein aktiver, aktivierender Text ist, der eine performative Realisierung verlangt. Bei geeigneten Szenen des Stückes (geeignet, weil die Anzahl der auftretenden Personen beschränkt ist, es sich um Schlüsselszenen innerhalb des Dramas handelt, weil die Dialoge dem Sprechniveau der Studierenden am besten entsprechen etc.) kann der Kurs, nachdem das reine Textverständnis geklärt wurde und ohne dass die Studierenden über den weiteren Verlauf des Theaterstückes Bescheid wissen, in Gruppen geteilt werden, innerhalb der Gruppe entscheidet das Los über den ‚Regisseur‘. Der ‚Regisseur‘ verteilt unter den Gruppenmitgliedern die Rollen und beginnt dann mit den Proben zu seiner Inszenierung der ausgewählten Theaterszene. Die Gruppen kommen schließlich wieder zusammen und präsentieren einander ihre Inszenierungen. Die Studierenden werden feststellen, dass Schwerpunkte, vielleicht aber auch nur Nuancen unterschiedlich gesetzt werden, sich ihre Interpretationen der Szene ähneln oder deutlich unterscheiden. Abschließend wird zusammen die folgende Szene gelesen und darüber debattiert, welche der Inszenierungen nach dem aktualisierten Kenntnisstand über den weiteren Handlungsverlauf am treffendsten erscheint.

Eine weitere Möglichkeit, in Gruppen an einem dramatischen Text zu arbeiten, ist es, den Studierenden eine neue Szene auszuhändigen, nicht jedoch den Beginn der Szene. Innerhalb der Gruppe müssen sich nun die Studierenden zunächst mit dem Inhalt der neuen Szene auseinandersetzen, und sollen dann, unter Rückgriff auf den Kenntnisstand des bisherigen Handlungsverlaufs, den fehlenden Anfang selbst verfassen. Die Gruppen stellen anschließend ihre Szenenanfänge vor und begründen ihre Vorschläge, bevor alle Studierenden den Originalszenenbeginn erhalten und mit ihren eigenen Textideen vergleichen können. Dieses Prozedere ähnelt Übungen im Bereich der technischen Studiengänge und der Logistik, in denen Studierende im Team Ursachenforschung betreiben und Lösungsstrategien für gegebene Problemstellungen entwickeln sollen.

#### 4. Kritisches Resümee:

Literarische Texte sind selbstverständlich komplexer als jeder Lehrbuchtext. Während der Lehrende in den Oberstufenkursen eher die Rolle des Coach annehmen kann, der die Lektüre und das darstellende Spiel begleitet und nur in Ausnahmefällen interveniert, etwa um eine weiterführende Diskussion anzuregen, muss er in der Mittelstufe massiver erklärend eingreifen, schon um das bloße Textverständnis sicher zu stellen.

#### LITERATUR

Asendorpf, J. (1988): Keiner wie der andere – Wie Persönlichkeitsunterschiede entstehen, München.

Bruns, A. (2003): Partizipatorische Ansätze im Unterricht für Deutsch als Fremdsprache, <http://www.freire.de/node/70> (abgerufen am 8.9.2012).

O'Donoghue, J. (2012): Task-Based Language Teaching. A New Methodological Approach to Second Language Acquisition Opportunities and Challenges. In: Wissenschaftliche Beiträge, Heft 2012, TH Wildau [FH], 153–159.

Lehner, M., Ziep, K.-D. (1997): Phantastische Lernwelt, Vom „Wissensvermittler“ zum „Lernhelfer“, Weinheim.

Nolte, D. (2012): Auf den Lehrer kommt es an, Tagesspiegel 16.2.2012, 29.

Roche, J. (2008): Fremdspracherwerb und Fremdsprachendidaktik, Tübingen.

Wahl, D. (2006): Lernumgebungen erfolgreich gestalten, vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln, Bad Heilbrunn.

#### AUTOREN

**Daniela Schultz, M. A.**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-262  
[daniela.schultz@th-wildau.de](mailto:daniela.schultz@th-wildau.de)

**Martin Bradbeer, MBA**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-401  
[bradbeer@th-wildau.de](mailto:bradbeer@th-wildau.de)

**Greg Bond, Dr.**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-366  
[bond@th-wildau.de](mailto:bond@th-wildau.de)

**Virginie Bimont, M. A.**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-427  
[virginie.bimont@th-wildau.de](mailto:virginie.bimont@th-wildau.de)

**Adrian Stiglbauer, M. A.**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-20015  
[stiglbauer@th-wildau.de](mailto:stiglbauer@th-wildau.de)

# WIRTSCHAFTLICHKEITSPROGNOSEN FÜR AUTOMATENSTANDORTE

Chantal Wentler, Tilo Wendler, Bertil Haack

## Zusammenfassung

Die Leistung und Wirtschaftlichkeit eines Automaten sind nicht nur für ein großes Unternehmen wie die Deutsche Bahn AG zwei wichtige Kriterien bei der Suche nach einem guten Standort für ihre Ticketautomaten. Mindestens ebenso wichtig sind die Akzeptanz und Zufriedenheit der Kunden, denn deren Bedürfnisse sind wichtige Indikatoren für die Betreiber der Automaten. Im vorliegenden Beitrag sollen die Grundzüge eines Prognosemodells für die wirtschaftliche Bewertung von Automatenstandorten vorgestellt werden (Kapitel 2). Das Prognosemodell wird auf dessen Anwendbarkeit an konkreten Einzelfällen geprüft (Kapitel 3) und daraus werden anschließend Anforderungen an ein verfeinertes Prognosewerkzeug abgeleitet (Kapitel 4).

## Abstract

The performance and economic efficiency of a machine are not only for a big enterprise like Deutsche Bahn AG two important criteria with the search for a good location for a ticket machine. The acceptance and satisfaction of the customers is at least as important, because their requirements are important indicators for the operators of the machine. In the present article the main features of a forecast model should be introduced for the economic assessment by machine locations (chapter 2). The forecast model is checked for his applicability in concrete isolated cases afterwards (chapters 3) and from it demands for refined forecast tools are derived (chapter 4).

## » I. EINLEITUNG:

Ein Blick in Einkaufszentren, Flughäfen, Bahnhöfe oder Geschäftsstraßen zeigt, dass unser tägliches Leben durch eine Vielzahl von Automaten geprägt ist. Wir können mit ihrer Hilfe Getränke, Zigaretten, Süßigkeiten und andere Waren des täglichen Bedarfs kaufen, Streckenauskünfte erhalten und Fahrkarten erwerben, Geld abheben und einzahlen, Kontostände anzeigen lassen und Daueraufträge einrichten und vieles mehr.

Automaten sind nicht aus unserem Leben wegzudenken und haben etwas derart Selbstverständliches an sich, dass wir uns eher selten tiefergehende Gedanken über sie machen: Wie wird eigentlich der im Idealfall reibungsfreie Betrieb der Automaten sichergestellt? Wie viel kostet der Betrieb den Anbieter? Warum gibt es genau an dieser Stelle einen Geldautomaten oder einen Kontoauszugsdrucker? Warum hat der Automat genau diese Funktionalität – etwa bargeldloser und bargeldhafter Verkauf von Bahntickets – und keine weitere? Wie kann die Sicherheit von Automaten beispielsweise gegen Einbruch und Diebstahl gewährleistet werden?

Unabhängig davon, wie die Antworten im Einzelfall lauten, ist es naheliegend, dass sie überaus eng mit der

Frage nach der Wirtschaftlichkeit des jeweiligen Automaten verknüpft sind. Von strategisch geprägten Ausnahmen abgesehen – z. B. „Wir müssen an diesem Standort einen Geldautomaten aufstellen, weil auch die Bank A als unser Wettbewerber dort mit einem Automaten vertreten ist.“ – muss der Automat rentabel sein. D. h., die mit dem Betrieb des Automaten verbundenen Einnahmen müssen die entsprechenden Ausgaben übertreffen.

Wie kann ein derartiger Automatenstandort gefunden werden, ohne dass zu sehr auf „Versuch und Irrtum“ abgestellt wird und die damit häufig verbundenen Risiken (sprich: erhebliche Kosten) die Oberhand gewinnen? Die Suche nach Automatenstandorten wird derzeit im Wesentlichen mittels dreier Verfahren betrieben:

### 1. Erfahrungsgestützte Entscheidungen von Experten

Auf Basis jahrelanger Erfahrung ist es möglich, die Qualität von Standorten zu bewerten. Dabei werden verschiedene Kriterien mehr oder weniger unbewusst und unstrukturiert in die Überlegung einbezogen.

### 2. Computergestützte Bewertung

Automatenhersteller bieten interessierten Kunden in der Regel umfangreiche

Softwarewerkzeuge zur Bewertung potenzieller Standorte an. Die Systeme sind sehr komplex und beruhen meist auf umfangreichen Annahmen zur Anzahl von Ein- und Auszahlungsvorgängen.

### 3. Geschäftspolitisch vorgeprägte Entscheidungen

Aufgrund spezifischer Wettbewerbskonstellationen vor Ort sind beispielsweise Kreditinstitute gezwungen, an bestimmten Orten Automaten zu installieren. Diese Entscheidungen beruhen in der Regel nicht auf betriebswirtschaftlichen Überlegungen, die den jeweiligen konkreten Automaten betreffen. Oftmals dienen sie der Abschottung des eigenen lokalen Marktes. Das kann so weit gehen, dass Kreditinstitute aus geschäftspolitischer Sicht und im Zuge politischer Einflüsse – wie sie zum Beispiel aus dem Bereich der Öffentlichen Banken oder der Genossenschaftsbanken bekannt sind – gezwungen sind, an unrentablen Orten Automaten zu installieren. Oft trifft dies Standorte, an denen sie aufgrund der Schließung von Filialen keinen persönlichen Service mehr anbieten.

Während der dritte und letzte Fall keinem betriebswirtschaftlichen Argument zugänglich ist, können die ersten beiden Ansätze als Maßstab für eine

neu zu entwickelnde Methodik genutzt werden.

Fall 2, die computergestützte Bewertung einzelner Standorte, ist arbeits- und kostenintensiv. Entscheidungen auf Basis von Expertenwissen können genutzt werden, um ein alternatives Vorgehensmodell zu entwerfen (vgl. Moro 2004: 157).

Dieses ist insbesondere dann von Interesse, wenn der zu installierende Automat neue, bisher nicht verfügbare oder verbreitete Funktionalitäten anbietet – z. B. Verkauf von Kinokarten am ÖPNV-Fahrkartenautomaten. Ziel ist es, vor der Aufstellung eines Automaten mit einer gewissen Sicherheit (Wahrscheinlichkeit) prognostizieren zu können, ob es wirtschaftlich lohnenswert ist, die geplanten Selbstbedienungsfunktionen am vorgesehenen Standort anzubieten (vgl. Becker et al. 2010: 144 ff.).

## » II. IDENTIFIKATION WIRTSCHAFTLICHER AUTOMATENSTANDORTE

### Grundüberlegungen

Ausgangssituation für die Entwicklung des nachfolgend beschriebenen Prognosemodells war die Zusammenarbeit der Autoren mit Mitarbeitern der Kooperationspartner SHC Stolle und Heinz Consultants (SHC) und Deutsche Bahn Kommunikationstechnik (DB KT) der TH Wildau hinsichtlich der Optimierung von Geldkreisläufen auf Bahnhöfen.

Dabei standen die Ticketautomaten der Deutschen Bahn (DB) im Zentrum der Überlegungen: Während Techniker die Automaten durchschnittlich alle 30 Tage warten, müssen stark frequentierte Geräte zudem alle ein bis zwei Tage von einem Werttransportunternehmen (WTU) bedient werden, um das durch die Ticketverkäufe vereinbarte und in einer Kassette im Automaten gesammelte Bargeld zu entnehmen und sicher zu einer Bank zu transportieren.

Im Sinne der Wirtschaftlichkeit der Automaten wäre es von erheblichem Vorteil, insbesondere die Anzahl der kostenintensiven WTU-Fahrten deutlich zu reduzieren. Dazu ist eine geeignete Steuerung der Bargeldmenge im

Automaten erforderlich. Im Idealfall sollte sich diese in einer Art Gleichgewichtszustand bzw. auf gleichbleibendem Niveau befinden. Sowohl zu viel Bargeld aus Einzahlvorgängen als auch fehlendes Bargeld als Wechselgeld führen zur automatischen Außerbetriebnahme des Automaten. Ideal wäre es, wenn sich Einzahlungen und Auszahlungen im Mittel die Waage hielten, so dass der Bargeldbestand im Automaten im Durchschnitt einem Betrag X entspräche, der deutlich unter dem Bestand für „zu viel Bargeld“ und klar über der Geldmenge für „zu wenig Bargeld“ läge.

Derzeit kann ein derartiges Gleichgewicht der Automaten nicht erreicht werden, da in der Regel immer mehr Bargeld durch Ticketverkäufe eingenommen als in Form von Wechselgeld wieder herausgegeben wird (Statista 2012).

Das Geldniveau im Automaten kann deutlich länger im betriebsfähigen Zustand gehalten werden, indem die Ticketautomaten durch eine so genannte Cash Recycling-Funktion (vgl. etwa <http://www.stolleundheinz.com>) ergänzt werden. Hierbei wird das jeweilige Gerät um eine technische Komponente erweitert, die es Ticketkäufern – ähnlich wie im Supermarkt REWE – ermöglicht, Bargeld bis zu einer Höhe von EUR 200,00 kostenfrei auszus zahlen (Rönisch 2008: 14).

Abgesehen von der Klärung rechtlicher Fragen, die hier nicht betrachtet werden (Wentler 2011), erfordert die Ausstattung eines Ticketautomaten mit der beschriebenen Cash Recycling-Funktion nach Auskunft von DB-Spezialisten ein Investment von etwa EUR 8.000. Solche Investitionen sind zuvor detailliert zu prüfen. Denn bereits ein gedanklicher Vergleich der Automatenstandorte Hauptbahnhof Berlin und Bahnhof Königs Wusterhausen lässt vermuten, dass sich diese Ausgaben nicht an jedem Standort amortisieren wird.

Dies führt zu dem eingangs adressierten Thema des Bewertungsmodells am Beispiel der Ticketautomaten. Die zu klärende Frage „Für welche Ticketautomaten erscheint die Erweiterung

um eine Cash Recycling-Funktionalität wirtschaftlich sinnvoll?“ muss bundesweit untersucht werden. Da sich die bisherigen Verfahren zur Bewertung von Automatenstandorten derartigen Szenarien verschließen, ist die Entwicklung neuer Ansätze erforderlich.

Antworten müssen in die Richtung zielen, das bekannte Investment in den jeweiligen Automaten (s. o.) den zu erwartenden Kosteneinsparungen aufgrund der möglichen Reduktion von WTU-Fahrten sowie den denkbaren Mehreinnahmen aufgrund der insgesamt längeren Verfügbarkeit des Automaten durch längerfristige Verhinderung des Zustandes „Außer Betrieb“ aufgrund von zu wenig oder zu viel Bargeld gegenüber zu stellen.

Mit Blick auf die eingangs formulierten Überlegungen bedeutet das, die Wahrscheinlichkeit von Kosteneinsparungen und etwaigen Mehreinnahmen je Ticketautomat zu prognostizieren. Anders formuliert geht es darum, vorherzusagen, wie wahrscheinlich es ist, dass die besagte Automatenfunktionalität an einem Automatenstandort von den Kunden angenommen wird.

### Zwei Schritte zur Prognose

Die Prognose wird hier zunächst in generalisierter Form betrachtet. Grundlage ist ein beliebiger Automat mit einer beliebigen Selbstbedienungsfunktionalität. Dann sind folgende zwei Aspekte aus qualitativer Sicht vorrangig:

1. Rahmenbedingungen, Vorgaben, Fakten o. ä., die eine Vorentscheidung für oder gegen den Automateinsatz ermöglichen und
2. die detaillierte Feststellung der Eignung vorausgewählter Umgebungen für den jeweiligen Automatenbetrieb.

Der erste Schritt gestattet, nicht-profitabel erscheinende Standorte relativ schnell und mit wenig Aufwand auszuschließen. Der zweite, aufwändigere Schritt der Detailprüfung wird damit nur für aussichtsreiche Standorte durchgeführt.

Wichtig ist, dass sich das Prognosemodell als valide und reliabel erweist. Es muss tatsächlich Prognosen für Wirtschaftlichkeit der betrachteten Automaten liefern und diese müssen möglichst gut reproduzierbar und damit

möglichst weitgehend unabhängig von subjektiven Einschätzungen sein.

Diesen Forderungen wird zunächst dadurch Rechnung getragen, dass der erste Schritt auf Regeln aufsetzt, die vor Beginn der Prognose mit Fachleuten festgelegt werden. Im zweiten Schritt wird dann darauf geachtet, dass die notenmäßige Bewertung eines Automatenstandortes einerseits anhand möglichst formaler Kriterien erfolgt und dass andererseits die jeweiligen Noten eindeutig auf Basis nachprüfbarer Ausprägungen der Kriterien vergeben werden. Diese Kriterien wie beispielsweise „Entfernung des Automaten vom nächstgelegenen Geldautomaten“ und die Benotungen wie etwa „sehr gut“ bei „Entfernung von mehr als 200 m“ sind bereits im Modell mit Fachleuten festgelegt worden.

Auf Basis des Modells sind diejenigen Bahnhöfe zu identifizieren, die für einen rentablen Betrieb sprechen. Nach der Identifikation der entsprechenden Bahnhöfe erfolgt die Betrachtung der auf den Bahnhöfen bereits installierten Ticketautomaten. Wird in der ersten Untersuchung zum Beispiel München Hauptbahnhof als Bahnhof mit einem rentablen Betrieb identifiziert, so muss anschließend entschieden werden, welche der dortigen Ticketautomaten für eine potenzielle Umrüstung in Frage kommen. Hierzu wurden u. a. die nachfolgenden DB-spezifischen Informationen je Ticketautomat zu Rate gezogen:

- Anzahl der Ticketverkäufe gesamt,
- Verhältnis der bar- und unbaren Zahlungen,
- Servicekosten für das Werttransportunternehmen sowie
- sonstige Kosten für den Ticketautomaten.

**Diskussion der Modellbestandteile**

Grundsatz der Modellerstellung war, dass jedes der Kriterien objektiv auf ein und derselben Skala bewertet werden kann. Einige der im Modell eingesetzten Kriterien sind aus Tabelle 1 ersichtlich. In der Modellvalidierung hat sich bestätigt, dass eine Vorgabe der Bewertungskriterien nicht davon befreit, die Skalenwerte (Noten) selbst deziert vorzugeben. Aufgrund der sonst vorhandenen subjektiven Bewertungsmaßstäbe würden unterschiedliche Gutachter bei gleichen Standorten zu unterschiedlichen Resultaten gelangen (Subjektivität). Am Beispiel des schwer zu evaluierenden Kriteriums „Standort des Automaten DIREKT IM Kundenstrom“ sei der Ansatz verdeutlicht. Die hier zugrunde gelegten Skalenwerte (Ausprägungen des Kriteriums) sind:

1. Automat ist sehr gut sichtbar, steht jedoch nicht direkt im Kundenstrom,
2. Automat steht ETWAS abseits vom Kundenstrom, Kunde könnte sich jedoch zeitweilig bedrängt fühlen,

3. Automat steht direkt im Kundenstrom, Kunde fühlt sich oft bedrängt. Die an einem Automatenstandort zu treffende Ausprägung des Kriteriums lässt sich unabhängig von der Person, die die Bewertung des Standortes vornimmt, ermitteln.

Mit einer Vielzahl derartiger Kriterien soll die Wahrscheinlichkeit abgeschätzt werden, dass der Kunde am betreffenden Automaten eine Transaktion mit Bargeldtransfer durchführt.

» III. ANWENDUNG DES MODELLS

Mit dem Bewertungsmodell wurden bisher Ticketautomaten an verschiedenen Bahnhöfen untersucht. Darunter u. a.:

- Berlin Hauptbahnhof
- Berlin Alexanderplatz
- Berlin Gesundbrunnen
- Berlin Südkreuz
- Königs Wusterhausen

Beispielhaft sei die Analyse des Bahnhofs Alexanderplatz betrachtet, bei der u. a. diejenigen Automaten analysiert wurden, die direkt vor dem Reisezentrum der Deutschen Bahn AG aufgestellt sind (am Bahnhof Berlin Alexanderplatz befindet sich zurzeit nur ein Reisezentrum der Deutschen Bahn AG; neben dessen Eingang stehen insgesamt vier Ticketautomaten; hiervon wurde einer ausgewählt).

Die Analyse des oben abgebildeten Automaten mittels unseres Bewertungsmodells hat hinsichtlich des Kriteriums Qualität der Verkehrsanbindung sowohl in der Kategorie ÖPNV als auch in der Kategorie Pendelverkehr zu einem Flughafen eine positive Einschätzung geliefert. Konkret liegen beim ÖPNV vier Anbindungsmöglichkeiten an S-Bahnlinien und drei Anbindungsmöglichkeiten an U-Bahnlinien vor (Deutsche Bahn 2012). Diese stellen unter anderem sicher, dass der Kunde vom Bahnhof Alexanderplatz jeden der beiden jetzigen Berliner Flughäfen

<p><b>Qualität der Verkehrsanbindung des Standortes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pendelverkehr zu einem Flughafen</li> <li>- Geschäfte für täglichen Bedarf, Dienstleistungen</li> <li>- ...</li> </ul>	<p><b>Sicherheitsaspekte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manipulationsrisiko der für Geldgeschäfte notwendigen PIN-Eingabe</li> <li>- Überfallrisiko</li> <li>- ...</li> </ul>
<p><b>Eignung der Umgebung für den Automatenbetrieb</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Standort des Automaten DIREKT IM Kundenstrom</li> <li>- Entfernung des zu bewertenden Automaten von einem Geldautomaten (FremdGAA) einer anderen bekannten Institutsgruppe.</li> <li>- ...</li> </ul>	<p><b>Objekteigenschaften (Hardfacts)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Möglichkeit der direkten Kameraüberwachung des Automatenstandortes</li> <li>- Beleuchtung/Sicherheitsgefühl</li> <li>- Zugang zu Fahrstuhl oder Rolltreppe</li> <li>...</li> </ul>

Tab. 1) Grundzüge des Bewertungsmodells

## Bewertungsmodell für Evaluation eines existierenden Automaten (AT) zur Umrüstung auf Cash Recycling

Ebenen						
1	2	3		1	2	3
<b>Standort</b>						
	Name der Lokation des Automaten					
	Nummer des Fahrkartenautomaten					
	Gebäude/Etage					
	Verbale Beschreibung des Standortes (z. B. Eingangshalle links, ...)					
	Herstellernamen:					
	Typenbezeichnung:					
<b>Qualitative Bewertungsaspekte</b>						
1	<b>Qualität der Verkehrsanbindung des Standortes</b>					
1		ÖPNV	</=3 Anbindungsmöglichkeiten	2 Anbindungsmöglichkeiten		mind. eine Anbindungsmöglichkeit
2		Pendelverkehr zu einem Flughafen	Es besteht direkter Anschluss an Pendelverkehr, mind. 1 Möglichkeit (Bus, S-Bahn)	Indirekte Verbindung, 1x umsteigen		Indirekte Verbindung, ab 2x umsteigen
3		Geschäfte für täglichen Bedarf, Dienstleistungen	AT ist gut sichtbar bzw. gut ausgeschildert	AT steht etwas abseits, jedoch noch ausgeschildert		AT steht abseits und ist nicht ausgeschildert

Abb. 1) Teilausschnitt aus dem entwickelten Bewertungsmodell (eigene Abbildung)

Tegel und Schönefeld durch regelmäßigen Pendelverkehr erreichen kann.

Innerhalb des Bahnhofes hat der Kunde nicht nur die Möglichkeit, sich ein Ticket zu kaufen, sondern auch, Einkäufe zu tätigen. Diese Möglichkeit kann die Entscheidung unterstützen, ob die Integration einer Cash Recycling-Funktion in den Ticketautomaten erfolgen soll.

Bei der weiteren Bewertung des Ticketautomaten sind die Sicherheitsaspekte nicht zu unterschätzen. Dieses Kriterium wird im vorliegenden Modell als Überfallrisiko und Manipulationsrisiko der für Geldgeschäfte notwendigen PIN-Eingabe bezeichnet. Die Untersuchung des Automaten hat gezeigt, dass das Überfallrisiko von Ticketautomaten oft als gering einzuschätzen ist. Eine bereits vorhandene Kennzeichnung am Automaten, die auf die versteckte Kameraüberwachung am Standort hinweist, schränkt die Möglichkeit eines potenziellen Überfalls zusätzlich ein. Des Weiteren deckt ein angrenzendes Reisezentrum mit den Öffnungszeiten den größten Teil der Tageszeit ab und



Abb. 2) Ticketautomat Berlin-Alexanderplatz

verringert die Gefahr eines Überfalls während der Öffnungszeiten.

Das Manipulationsrisiko an dem für die Geldgeschäfte notwendigen PIN-Pad kann nie vollständig ausgeschlossen werden. Bei den untersuchten Ticketautomaten kann das Anbringen von fremden Zusatzbauteilen am Kartenschlitz oder am PIN-Pad sowie von Zusatzkameras zur Überwachung des Eingabefeldes aufgrund der Bauart des Automaten nicht ausgeschlossen werden. Befindet sich der Kunde direkt vor dem Ticketautomaten und wird aufgefordert seine PIN über das PIN-Pad einzugeben, verdeckt er mit seinem Körper den Blick auf das PIN-Pad nicht vollständig. Die Einstufung des Manipulationsrisikos erfolgt auf mittlerer Stufe.

Das Bewertungsmodell gibt abschließend Auskunft über die Objekteigenschaften, die so genannten Hardfacts. Hierunter fallen zum Beispiel die Architektur und die Bauweise des Bahnhofs. Bei der Untersuchung am Bahnhof Alexanderplatz ergibt sich für das Kriterium Beleuchtung/Sicherheitsgefühl eine Einteilung im mittleren Bereich. Der Ticketautomat wird nicht vollständig beleuchtet und erfüllt die Anforderung der Beleuchtung auf Tageslichtniveau nicht vollständig.

Mit den durchgeführten Untersuchungen und dem validierten Modell wird eine Entscheidungshilfe für die Ausrüstung von Ticketautomaten mit erweiterten Funktionen geboten. Ein untersuchter Automat kann anhand aller empirisch gewonnenen Daten als Kandidat für eine mögliche Umrüstung sehr gut identifiziert oder ausgeschlossen werden.

#### » IV. ANFORDERUNGEN AN EIN VERFEINERTES PROGNOSEWERKZEUG

Die Anwendung des dargestellten Bewertungsmodells erlaubt es, subjektive Einschätzungen durch objektive Bewertungen zu ersetzen und gibt so deutlich mehr Sicherheit bei der Bewertung von Automatenstandorten

als die eingangs erwähnten derzeit üblichen drei Methoden.

Allerdings ist es notwendig, das Modell um einen Schritt zu erweitern, um auch quantitative Aspekte in der Untersuchung zu berücksichtigen: Die ausschließliche Betrachtung qualitativer Aspekte kann zu Fehleinschätzungen führen. Um die Frage, ob ein Automat rentabel ist und damit am Ende höhere Einnahmen als Ausgaben entstanden sind, möglichst genau beantworten zu können, müssen die Wahrscheinlichkeitsannahmen zusätzlich um eine Kostenbetrachtung ergänzt werden.

Anhand eines Beispiels soll dieser noch notwendige dritte Schritt verdeutlicht werden. Betrachtet wird ein DB-Ticketautomat, der am Bahnhof in Garmisch-Partenkirchen aufgestellt ist. Dieser Automat weist „passable“ Ticketverkäufe aus, so dass er durchschnittlich nur einmal pro Woche von einem WTU angefahren werden muss. Im Vergleich mit den Automaten auf dem Berliner Hauptbahnhof, die alle ein bis zwei Tage von einem WTU geleert werden müssen, könnte die Einschätzung „keine Cash Recycling-Funktion erforderlich“ lauten. Tatsächlich kommt aber das beauftragte Werttransportunternehmen für die Leerung des Ticketautomaten aus München und fährt nach Beendigung der Leerung wieder dort hin zurück.

Eine Hochrechnung inkl. der Fahrtkosten für etwa 90 km pro Richtung zeigt auf quantitativer Basis eine sinnvolle Umrechnung an (Google Maps 2012).

Die Attraktivität einer Cash Recycling-Funktion am Standort Garmisch Partenkirchen ist damit deutlich gestiegen. Sie wächst außerdem, wenn zusätzlich die WTU-Gebühr für die Dienstleistung in Betracht gezogen und berücksichtigt wird, dass die Ausrüstung eines Fahrscheinautomaten mit Cash Recycling-Funktionalität laut Experten der DB eine hardwareseitige Investition von ca. EUR 8.000 erfordert.

Mit dem dreistufigen Modell ist es sehr gut möglich, diejenigen Ticketautomaten für eine Umstellung auf Cash Recycling zu identifizieren, deren Amortisation wahrscheinlich ist.

Die eingehende Fragestellung „Ist die Integration einer Cash Recycling-Funktion in den Ticketautomaten rentabel für die Deutsche Bahn AG?“ kann in Zukunft auch in Zusammenhang mit anderen möglichen Interessenten gestellt werden. Das dreistufige Modell kann generell nicht nur bei der Entscheidung über die Umrüstung von Ticketautomaten helfen, sondern zum Beispiel auch für die Umrüstung von Geldautomaten oder Warenautomaten genutzt werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

Becker, J. et al. (2010): Preisfindung für hybride Leistungsbündel – Modellbasierte Integration von Ansätzen zur Entscheidungsunterstützung aus „Dienstleistungsmodellierung 2010“, 144–166, Springer.

Deggendorfer Forum zur digitalen Datenanalyse e. V. (2009): Digitale Datenanalyse, Interne Revision und Wirtschaftsprüfung: Synergien nutzen - Prüfungen optimieren, Erich Schmidt Verlag.

Deutsche Bahn AG (2012): [http://www.bahn.de/p/view/mbd/pv/planen\\_buchen/liniennetzkarten/2011/MDB85587-liniennetz\\_bb\\_2011.pdf](http://www.bahn.de/p/view/mbd/pv/planen_buchen/liniennetzkarten/2011/MDB85587-liniennetz_bb_2011.pdf), Zugriff am 04.09.2012.

Google Maps (2012): <http://maps.google.de/maps?hl=en&tab=w>, Zugriff am 04.09.2012.

Moro, M. (2004): Modellbasierte Qualitätsbewertung von Softwaresystemen: Bewertung von Softwarearchitekturen in Bezug auf ihren Erfüllungsgrad der Qualitätsanforderungen, Books on Demand GmbH.

Rönisch, P. (2008): Direktbanken in Deutschland – Stand und Perspektiven, GRIN Verlag.

Stolle und Heinz Consulting 2012: <http://www.stolleundheinz.com/>, Zugriff am 05.09.2012.

Statista (2012): <http://de.statista.com/themen/747/bargeldlose-zahlungen/>, Zugriff am 05.09.2012.

Wentler, C. (2011): Belegarbeit im Studienfach Empirische Methoden mit dem Titel: „Bewertungsmodell für Evaluation eines Ticketautomaten zur Umrüstung auf Cash Recycling bei der Deutschen Bahn AG“, TH Wildau.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:  
Teilausschnitt aus dem entwickelten Bewertungsmodell

Abbildung 2:  
Ticketautomat Berlin-Alexanderplatz

## AUTOREN

**Chantal Wentler**  
Studierende im Bachelor-Studiengang  
"Europäisches Management"  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
[chantal.wentler@th-wildau.de](mailto:chantal.wentler@th-wildau.de)

**Prof. Dr. Tilo Wendler**  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
[tilo.wendler@th-wildau.de](mailto:tilo.wendler@th-wildau.de)

**Prof. Dr. Bertil Haack**  
Dekan  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
[bertil.haack@tfh-wildau.de](mailto:bertil.haack@tfh-wildau.de)

# TEACHING THE TEACHERS – A report on key events and activities run by the UAS Wildau Centre of Competence for Teaching in English

Martin Bradbeer

## Zusammenfassung

Ziel dieses Berichts ist es, die Ergebnisse der wichtigsten Aktivitäten des Kompetenzzentrums Lehrsprache Englisch der Technischen Hochschule Wildau [FH] zu präsentieren, um zu illustrieren, wie wichtig es ist, das Lehrpersonal im tertiären Bildungsbereich im Umgang mit der englischen Sprache zu unterstützen.

### Der Artikel wird sich auf vier Hauptthemen konzentrieren:

- Gründe für den Aufbau des Kompetenzzentrums Lehrsprache Englisch
- Die Rolle und Position des Zentrums auf lokaler, nationaler und europaweiter Ebene
- Schlüsselthemen in Bezug auf Englisch als Lehrsprache im tertiären Bildungsbereich
- Zukünftige Aktivitäten

Im Bericht wird dargelegt, dass die Unterstützung für die Lehrenden notwendig ist, nicht nur um den Anforderungen der Internationalisierung der Hochschulen gerecht zu werden, sondern auch den Anforderungen der Studierenden, die in englischer Sprache studieren wollen. Ohne ein nachhaltiges Sprachprogramm und ohne Unterstützung für die Lehrenden besteht die Gefahr, dass einige Universitäten nicht in der Lage sind, vom Wunsch der ausländischen Studierenden in Deutschland zu studieren, zu profitieren.

## Abstract

The aim of this report is to present the results of activities recently undertaken by the UAS Wildau Centre of Competence for Teaching in English in order to illustrate the importance of the provision of English language support to the teaching staff in tertiary education.

### The article will focus on four main subjects:

- Reasons for setting up the Centre of Competence for Teaching In English
- The role and position of the Centre, locally, nationally and Europe-wide
- Key issues concerning teaching in English at tertiary level
- Future activities

The report will argue that support for teachers is needed in order to not only meet the demands of universities for internationalization but also the demands of students who want to study in English. English language support for the teaching staff is therefore an issue that should take a high priority at universities where the traditional focus has been on the students' language needs and not on the teachers' language needs. Without a sustainable language programme and support for teachers there is a danger that some universities will not be able to benefit properly from the desire of foreign students to come to Germany to study.

## » I. SETTING UP THE CENTRE OF COMPETENCE FOR TEACHING IN ENGLISH

The University of Applied Sciences Wildau showed great foresight and initiative in establishing the Centre, which was set up through a target agreement (Zielvereinbarung) by Professor Haack and Dr Bond from the Faculty of Business, Administration and Law in 2010. A key driver of this initiative was to address the issues of internationalization; not only locally in Wildau, but also regionally in Brandenburg and over time, Germany.

Internationalization is a buzzword in tertiary education at the moment, and

indeed, this focus has been around really since the signing of the Bologna Declaration in 1999. According to Dr Herbert Grieshop, the Managing Director of the Centre of International Cooperation at Freie Universität Berlin, in his keynote speech at a language conference in Wildau on 5th May 2012 (Grieshop 2012), there are many reasons why internationalisation is so important for higher education institutions. Amongst them he named, in no particular order: the global labour market, teaching quality, international standards, student development, support for developing countries, rankings, profile, financial incentives, "war for talents", visibility, branding, and lastly because everyone is doing it. As can be seen, there are

plenty of reasons why internationalization is a buzzword and why our university has taken and is taking positive action in promoting the international services it offers. The main thinking behind the initiative was to be able to offer more courses taught in English in Wildau. This has the dual effect of attracting students from abroad who want to study in Germany but not in German as well as providing the German-speaking students the opportunity to study courses in English so that they have much better options of studying and/or working abroad for a semester and finding a job with international prospects.

Therefore, the Centre's main purpose is primarily to provide our teachers

with English language support so that they can teach their modules in English confidently and effectively. The main services provided by the project cover:

- Needs analysis and support for professors and teaching staff who teach in English
- One-to-one coaching
- Group coaching
- Support in the development of material in English
- Language and pedagogical training for teaching in English
- Class observations and team-teaching
- Support in assessing students' oral abilities

Another key purpose of the Centre is to network with other tertiary institutions in Brandenburg and Germany in general. This again is part of the internationalization process; working with our local partners and institutions Germany-wide to help promote Germany as a place to study for foreign students.

## » II. THE ROLE AND POSITION OF THE CENTRE, LOCALLY, NATIONALLY AND EUROPE-WIDE

In order to establish contact, co-operation and mutual support with other universities it was important to find out exactly where the Centre stood in regard to other initiatives in Germany. To do this, I (the Head of the Centre of Competence for Teaching in English), joined the *Arbeitskreis der Sprachenzentren, Sprachlehrinstitute und Fremdspracheninstitute* ([www.aks-web.de](http://www.aks-web.de)), making Wildau one of the 132 institutes registered as members. In February 2011, I then sent a questionnaire via email to all member institutes concerning what language support they provided to their teaching staff. Unfortunately, only ten replied. I therefore followed the questionnaire up with phone calls, emails and talks at various language events around Europe and found out that many people had not replied as the questionnaire

did not apply to them as they do not provide much English language support to academic staff.

From the replies that did come and from subsequent interviews, the main points that came up regarding the provision of language support to teaching staff were:

- few institutions offer dedicated language support for professors due to either lack of money or time or both
- When this was offered, there was consistent positive feedback from the teaching staff who greatly valued this service.
- Few of the universities that offered help had any contact with other universities that did the same; they were working independently.
- There were reports of resistance from professors themselves regarding language support. This took the form of professors resenting having their English language abilities questioned.
- Many universities do offer a wide variety and large number of courses in English at Bachelor's and Master's level, though more so at Master's level.
- There are issues of balance between language and content knowledge. That is, how much of an expert should the teacher be in language and indeed, vice versa, what qualifications, skills and knowledge English language experts need to be able to teach academic courses?
- It was also noted that there is very little, if any, specific material on the market for teaching English to teachers in higher education.

It became quite clear that this was an area in which there was little activity, and when so, relatively isolated. There were and are some institutions that have active teacher programmes that are set up to provide the teaching staff with English language support. The Copenhagen University Centre for Internationalisation and Parallel Language

Use (<http://cip.ku.dk/english>), set up in 2008, runs five week courses to professors that consist of one meeting a week, at the end of which the professors receive an own certificate showing they have done the course. This is quite formalized and different to what the Centre at Wildau offers. Also the Lucerne University of Applied Sciences and Arts-School of Engineering and Architecture, ran a course on CLIL (Content and Language Integrated Learning) on the initiative of the university president for lecturers teaching on the Business Engineering degree programme. But, as said, such services seemed few and far between.

An important association for English language teachers world-wide is IATEFL, the International Association of Teachers of English as a Foreign Language (<http://www.iatefl.org/>) which contains several special interest groups, one of the most prolific and active being BESIG, the Business English Special Interest Group (<http://www.besig.org/>). A considerable proportion of the participants in their annual conferences teach in higher education, and it is of significance that these teachers use the business English special interest group to network. Talking to people at these conferences I became aware that there was a genuine need for academic teachers to have their own platform to network and share information etc. and that there was little opportunity for interaction at this level Europe-wide.

In a workshop held at the BESIG conference in Dubrovnik in 2011 (Bradbeer 2011), I presented the work done by the Centre of Competence for Teaching in English and found there to be a great interest from all those present in setting such a centre up at their institutions. This confirmed my findings from the questionnaire and informal and formal interviews that the situation in Wildau was quite unique and ground-breaking and that there was a need to encourage others to establish language support at their universities for teaching staff.

## » III. KEY ISSUES CONCERNING TEACHING IN ENGLISH AT TERTIARY LEVEL

The signing of the Bologna Process by the original 29 countries (now numbering

47) in 1999 firmly put the focus of universities on internationalization. The Bologna Process (<http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/>) aims to set up a European Higher Education Area (EHEA) that is attractive not only to European students and teachers but also to students and staff from around the world. One of the key goals of the declaration is to standardize university courses and qualifications, making them transferable and comparable across Europe and so encouraging mobility within Europe in terms of studying and working, therefore closely following the aims of the European Union. The main language of communication, the lingua franca, is English. This has subsequently led to a need for more and more subject courses in English, which have also led to more demands being put on teachers to offer their courses in English. However, although these demands are an obvious consequence, very little has been done in the way of supporting the teachers in their language needs, until now.

During my time at Wildau working with the teaching staff, I have seen different categories of needs and competence levels amongst the teaching staff and responded with differing forms of support:

- There are those who have excellent language skills and do not need any support at all.
- There are those whose English is quite advanced but who still make mistakes and perhaps lack confidence in their language abilities. The mistakes they make will generally not lead to communication breakdown but may cause confusion and disturb the learning process. Support provided in these cases usually takes the form of sitting in during seminars and providing on-the-spot feedback followed by feedback at the end of the seminar.

- Other teachers are on the verge of being able to teach their courses in English but need support in terms of confidence building, fluency and accuracy and pronunciation. General vocabulary can also be a problem, though the course-specific vocabulary is normally known by the teacher. These teaching staff can greatly benefit from teaching abroad at partner universities on intensive courses. They can 'practise' their language away from their peers while still providing a valuable service to partner universities.

- Some teachers are still quite a far way from being able to run courses in English and need intensive support, regular lessons and input, time spent in English speaking environments and a lot of practice. These teachers need to be highly motivated to improve their language skills.

- There are other teachers who feel that their language abilities are good enough to run courses in English although they are reluctant to have this checked. This also came out of the survey as mentioned above. It would be beneficial for all concerned if these teachers overcome this reluctance and take advantage of the support offered if needed. They would then have expert input into their language needs and competences. If their language skill is competent this input will be reassuring. If, however, they do see they need support, then work can start on their English to improve the learning situation in class and boost their confidence in being able to deliver courses in a foreign language effectively knowing they have this language support.

There are, of course, many cases where teachers do not need to teach their subject in English as it makes no sense from a subject point of view. For example German Law is taught in German as this will be the language used when dealing with this subject in professional life.

In order to assess the English language courses and the courses taught in English from the students' point of view, I ran a questionnaire with the invaluable help of Prof Wendler in the first half

of 2012. The idea for running such a questionnaire came about in May 2011, when I attended a conference entitled Professional Development Day for Business English Teachers at the Cooperative State University Baden-Württemberg in Villingen-Schwenningen organized by Stephanie Ashford (<http://www.dhbw-vs.de/events/professional-development-day-for-business-english-teachers.html>). During the conference students presented the results of a language questionnaire they had run, with very interesting consequences. I decided that a similar questionnaire at Wildau would be useful to see if similar results would come out. And to a large extent, this is what happened.

The questionnaire was sent out to European Management Master's and Bachelor's students and Business and Law Master's students as their courses contain several modules taught entirely in English. In total there were 72 respondents. There were 15 questions on English lessons and lessons taught in English and some questions regarding the respondents' personal details (degree course attending, gender, self evaluation of level of English etc.). Two separate but related areas were addressed. Firstly, English courses in which the focus is on learning English for specific subjects like law, marketing, general business etc., which will help them follow and perform in the other subject modules. This is the second area, courses taught in English where English is used as a medium of instruction (EMI), for example the Marketing module for the EM Bachelor course.

**The main results of the questionnaire are:**

- 87.5% think that English courses are either very important or important
- 91.7% think courses run in English important or very important
- 97.2% consider the language level of the lecturer to be important or very important
- 59% think the lecturers' vocabulary knowledge and pronunciation to be important

- 33% consider the above to be very important
- 14% are not satisfied with their lecturers' English
- 74% are satisfied with their lecturers' English
- 12% are very satisfied with their lecturers' English
- 56.9% are not concerned when a lecturer makes a language mistake
- 41.7% are not concerned when they perceive their English as better than the lecturers' English
- 86.1% would help a lecturer if they are stuck for a word

**The main conclusions from these results are the following:**

- Students welcome the chance of having English as a medium of instruction
- Students are fairly tolerant when it comes to lecturers' English
- Students would help out lecturers with their English
- Students place high importance on lecturers' language competence
- There is demand on the lecturers to provide courses in English and deliver them competently, but who can also depend on the tolerance and support of their students

These results closely reflect the results from Villingen-Schwenningen. Of great importance and indeed comfort to the teachers is that, for students, having the chance to take EMI courses is more important than having lecturers who speak perfect English.

» IV. **FUTURE ACTIVITIES**

Encouraged by the results of the questionnaire, I will run a further questionnaire in partnership with Stephanie Ashford from Villingen-Schwenningen that will be Germany-wide as well as including universities in Italy. Italy is being included as there is a move at Italian universities to offer degree courses only in English. The questionnaire will aim to take a snapshot of the situation of English-language courses and courses run in English from the students' perspective and propose what action can be taken to address any issues that arise.

On May 5<sup>th</sup> 2012, the Centre of Competence for Teaching in English ran an English for Academic Purposes and Business Studies Conference with a focus on internationalisation. There were 90 participants and speakers from Germany plus Italy, Switzerland, the UK, Finland and Russia. The conference was held in partnership with Oxford University Press, with the British Council and Business Spotlight magazine being the other sponsors. The keynote speech on internationalization was held by Dr Herbert Grieshop, the Managing Director for International cooperation at the Freie Universität Berlin and was very informative and provoked much discussion. The conference included workshops on:

- English for Academic Purposes (EAP)
- New issues in English as a Lingua Franca
- English for Business Studies
- Getting the most out of the new material from Business Result (OUP)
- Introducing lexis in the classroom to students
- Corpora work with language learners
- IELTS exams and studying in the UK
- Motivating students through games
- The importance of generic business communication skills
- Integrating content, language and skills through business simulations

There was also a panel discussion on the issues of internationalization and the implications of this including:

- The role of English as a medium of learning
- The need to attract more foreign students and how to deal with this to make it sustainable
- How best to market your university in order to attract the foreign students
- The issue of the growing need to support lecturers in teaching in English
- How teachers deal with teaching international students
- Integrating international students into the university

There was great interest and motivation for EAP events with the opportunity of having an exchange of information, views, material, and a forum to discuss and network. Such was the interest that a group of people, made up of myself and others involved in the conference, have formed an organizing committee, after having decided to make this an annual event and are now planning the next conference on May 4<sup>th</sup> which will be held at the Humboldt University with the idea of having different hosts for the conference each year.

More or less at the same time as the conference, teaching staff at Wildau, led by Anne Hodgson, also set up a ning to provide support for tertiary education teachers called the European Lecturers of English for Academic Purposes EULEAP (<http://euleap.ning.com/>). The idea of the ning is to provide a forum for academic staff to network, exchange ideas, information and material and plan and promote events. The idea in the future is to expand the ning and make it the place for academic teachers to go to for information, support etc.

The German/Italian questionnaire, the annual conference and the ning will greatly help the tertiary sector teaching community in providing English language support to those teachers who already teach or who want to or need to teach in English, not only in Germany but also Europe-wide.

## » V. CONCLUSION

According to a recent study by the British Council, Global Gauge, Germany tops the list of most favourite places to study in the world (Times Higher Education 2011). The report states “The British Council said German universities had attracted more foreign students by teaching a larger number of courses in English”. In order to attract high quality students on a sustainable basis it is therefore vital for universities to offer high quality courses in English. Many universities are in a position to do this however it is still of great importance for universities, local regions and governments to invest in providing language support to their teaching staff.

Wildau is in the fortunate position of already having a position set up to provide English language support to its teaching staff and through the questionnaires, the annual conference, networking activities and the teaching community, Wildau will continue its work in supporting teaching staff not just locally but also on a wider European basis.

### About the Author

Martin Bradbeer has been the Head of the Centre of Competence for Teaching in English since August 2010. He has been in Berlin since 1992 and worked for several years at the British Council before moving onto work for the Cornelsen Verlag and Oxford University Press. He is the author of a Langenscheidt self-study business English book and the co-author of the recently published Langenscheidt book IQ.

### REFERENCES AND SOURCES:

Grieshop, H. (2012): <http://www.th-wildau.de/im-studium/fachbereiche/wvr/eap-conference.html>.

Bradbeer, M. (2011): Coaching Professors: providing language support for lecturers at universities, 2011 IATEFL BESIG Conference, Dubrovnik, Coratia, <http://www.besig.org/events/conferences/annual/2011.aspx>.

<http://www.dhbw-vs.de/events/professional-development-day-for-business-english-teachers.html>.

Times Higher Education (2011): Germany tops British Council's 'global gauge', March 9<sup>th</sup> 2011, <http://www.timeshighereducation.co.uk/story.asp?storycode=415465>.

### AUTHOR

**Martin Bradbeer**  
TH Wildau [FH]  
[martin.bradbeer@th-wildau.de](mailto:martin.bradbeer@th-wildau.de)

# GLEICHSTELLUNGSPOLITIK IM WISSENSCHAFTSBEREICH – Der „brandenburgische Weg“ zur Förderung der Chancengleichheit von Frauen und Männern an Hochschulen

Michael Frey

## Zusammenfassung

Die Gleichstellungspolitik an Hochschulen durchläuft einen doppelten Paradigmenwechsel, der zum einen inhaltlich-konzeptionell, zum anderen steuerungspolitisch bedingt ist. Für die Hochschulen und ihre Leitungsorgane verknüpfen sich damit neue Herausforderungen. Am Beispiel der brandenburgischen Hochschulen wird eine Strategie gezeigt, diesen Herausforderungen zu begegnen. Dabei zeigt sich, dass einfache Gegenüberstellungen wie Chancengleichheit vs. Frauenförderung oder staatliche Steuerung vs. Hochschulautonomie zu kurz greifen, um der Komplexität der mit Gleichstellungspolitik verbundenen Aufgaben gerecht zu werden.

## Abstract

Gender equality policies in higher education undergoes a double change of paradigm which is conceptually and politically conditioned. For universities and their governing bodies this implies new challenges. Using the example of the Brandenburg universities, a strategy is shown to meet these challenges. It shows that the simple contrast between equal opportunities vs. affirmative action or government control vs. universities' autonomy falls short and the complexity of the tasks associated with gender equality cannot be met.

Die Gleichstellungspolitik an deutschen Hochschulen durchläuft gegenwärtig einen zweifachen Paradigmenwechsel: Zum einen verbindet sich mit dem Leitbegriff der „Chancengleichheit“ eine bewusste Abkehr von der lange Zeit üblichen Praxis der Frauenförderung. Für diese Abkehr steht vor allem der Ansatz des Gender Mainstreaming. Anders als die Praxis der Frauenförderung setzt Gender Mainstreaming nicht auf individueller Ebene an (etwa indem Frauen – im Vergleich zu Männern – als defizitäre Wesen wahrgenommen werden, die es zu fördern gelte), sondern auf struktureller Ebene, indem die gesamten Prozesse und Regeln einer Organisation unter dem Aspekt der Auswirkungen auf die Chancengleichheit von Frauen und Männern betrachtet werden (vgl. Stiegler 2000; Krell et al. 2001). Zum anderen wird durch die politisch gestärkte Autonomie der Hochschulen die Initiierung von Maßnahmen zur Chancengleichheit in zunehmendem Maße auf die Ebene der einzelnen Hochschulorganisation verlagert.

Das gemeinsame Element dieses doppelten Paradigmenwechsels besteht in einer neuen Rolle der Hochschulleitung: Sowohl die Hinwendung zur Chancengleichheit als auch das Prinzip der erweiterten Hochschulautonomie

adressieren die Hochschulleitung als maßgeblichen Akteur der Gestaltung. Für die Leitungsorgane der Hochschulen ist dies mit neuen Herausforderungen verbunden, die nur schwer durch Rückgriff auf bewährte Rezepte zu bewältigen sind. Im Folgenden wird deshalb exemplarisch die Strategie zur Chancengleichheit von Frauen und Männern an den staatlichen Hochschulen des Landes Brandenburg vorgestellt. Dazu erfolgt zunächst eine Skizze der Geschlechterungleichheit im deutschen Hochschulsystem (1.). Sodann wird dargestellt, mit welchen Empfehlungen der Wissenschaftsrat als bedeutende Spitzenorganisation der deutschen Wissenschaft auf diese Situation reagiert (2.). Daraufhin wird die Strategie zur Chancengleichheit an den brandenburgischen Hochschulen skizziert (3.). Abschließend erfolgt ein Fazit (4.).

### » I. LEAKING PIPELINE Zur Geschlechterungleichheit an deutschen Hochschulen

Obleich nahezu kein Unterschied zwischen Frauen und Männern bei der Zahl der Studienanfängerinnen und -anfänger besteht, zeigen sich im weiteren Verlauf der akademischen

Qualifizierung große Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Während die Zahl der Absolventinnen 2010 mit fast 52% noch leicht über der Zahl der Absolventen (ca. 48%) liegt, kehrt sich dieses Verhältnis auf der nächsten Stufe der akademischen Qualifizierung (Promotion) um. Nur noch 44% aller Promotionen werden 2010 von Frauen abgelegt, während der Männeranteil bei 56% liegt. Diese gegenläufige Entwicklung der Frauen- und Männeranteile setzt sich auf den höheren Qualifizierungsstufen verstärkt fort: Bei den Habilitationen beträgt der Frauenanteil 2010 nur noch knapp 25%, bei den C4/W3-Professuren schließlich keine 15% mehr (vgl. Abb. 1).

Die Gegenüberstellung weiblicher und männlicher Qualifikationsverläufe verdeutlicht, dass sich nach Studienabschluss eine Schere zwischen Frauen- und Männeranteilen öffnet, deren Öffnung entlang der akademischen Karrierestufen immer größer wird (vgl. WR 2012: 13). Im Zeitraum zwischen den beiden Betrachtungsjahren 2000 und 2010 hat sich die Kluft zwischen Frauen- und Männeranteilen zwar verringert, z. B. steigerte sich der Frauenanteil bei den Promotionen um knapp 10 Prozentpunkte – von ca. 34% in 2000 auf ca. 44% in 2010, aber nach

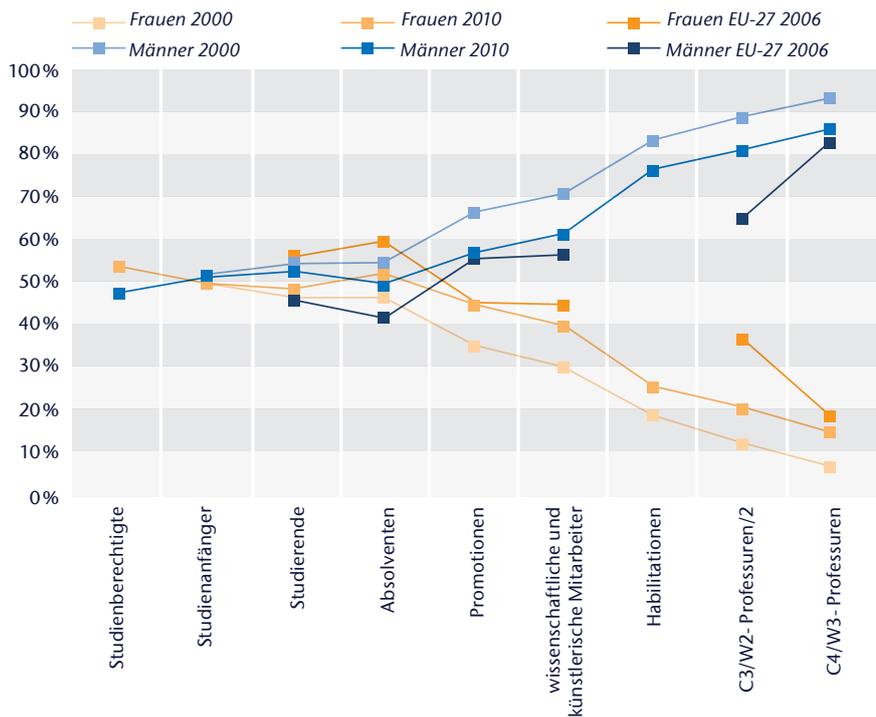


Abb. 1) Frauen- und Männeranteile in verschiedenen Stadien einer akademischen Laufbahn im Vergleich 2000 und 2010 sowie EU-27 2006

\* Die Angaben zu den Studienanfängerinnen und -anfängern beziehen sich auf das Studienjahr, die zu den Studierenden auf das Wintersemester.  
Quelle: Wissenschaftsrat 2012: 12 (auf Basis der Daten von BLK/GWK, Statistisches Bundesamt, CEWS und EU-Kommission)

wie vor ist der Abstand vor allem auf den höheren akademischen Qualifikationsstufen (Habilitation) und Positionen (W2- und W3-Professur) beträchtlich (vgl. Abb. 1).

Das sich bei einer Querschnittsbeobachtung ergebende Bild der sich öffnenden Schere zwischen Frauen- und Männeranteilen zeigt sich bei einer retrospektiven Verlaufsanalyse auch im Längsschnitt (vgl. Abb. 2).

Das Phänomen, das sich der relativ hohe Frauenanteil bei den Studierenden und bei den Absolvent/innen nicht gleichermaßen auch bei den nach dem Studienabschluss liegenden akademischen Qualifikationsstufen zeigt, sondern statt dessen von Stufe zu Stufe abnimmt, wird in der bildungssoziologischen Diskussion als *leaking pipeline* bezeichnet (vgl. Solga und Pfahl 2009: 5).

Der Schwund des Frauenanteils im akademischen Qualifikationsverlauf wird vor allem aus drei Gründen als problematisch empfunden:

- Der sinkende Frauenanteil verweist auf ungleiche Chancen, an den höheren Positionen des Wissenschafts-systems teilhaben zu können. Nach Geschlecht ungleiche Teilhabe- und Verwirklichungschancen verstoßen in *normativer* Hinsicht gegen das grundsätzliche Gebot der Gleichberechtigung, wie es in Art. 3 Abs. 2 des Grundgesetzes verfassungsrechtlich verankert ist.
- Der abnehmende Frauenanteil zeugt von einem verlorenen Kreativitäts- und Innovationspotenzial der Gesellschaft zur Lösung gegenwärtiger und künftiger Probleme. Dies gilt nicht zuletzt auch in *ökonomischer* Hinsicht.

Der schwindende Frauenanteil führt zu einem Qualitätsverlust in der Wissenschaft. Der stärkere Einbezug von Wissenschaftlerinnen und ihren Motivations- und Interessenlagen erweitert die Perspektiven-Vielfalt und damit die Erkenntnismöglichkeiten der Wissenschaft. Zudem verändert er die bislang männlich geprägte Arbeitskulturbildung in der Wissenschaft. Die Förderung von Chancengleichheit in der Wissenschaft kann insofern auch mit einer „Qualitätsoffensive“ gleichgesetzt werden (WR 2007: 19).<sup>1</sup>

Entgegen diesen normativen, ökonomischen und qualitätsbezogenen Gründen für eine stärkere Partizipation von Frauen auf allen akademischen Karrierestufen steigen immer noch viele Frauen frühzeitig aus der Wissenschaft aus. Die Ursachen dafür sind vielfältig und komplex. Standen zunächst vor allem individuelle Faktoren im Vordergrund, richtet sich die Aufmerksamkeit in den letzten Jahren verstärkt auf strukturelle Faktoren, was nicht zuletzt aufgrund der zwischenzeitlich erzielten Bildungserfolge von Frauen geschehen ist. Mittlerweile besteht Konsens dahingehend, dass individuelle und strukturelle Faktoren zusammenspielen und in enger Wechselwirkung miteinander stehen (Harde und Streblov 2008; Macha et al. 2008; Metz-Göckel et al. 2009; Metz-Göckel und Lind 2012). Vor diesem Hintergrund werden im nächsten Abschnitt die Empfehlungen des Wissenschaftsrats zur Chancengleichheit von Frauen und Männern skizziert.

<sup>1</sup> Der Wissenschaftsrat macht diese Perspektive stark und begründet sie damit, dass eine Wissenschaft, die durch einen tradierten gender bias gekennzeichnet ist, unter ihrer Qualität leide. Dies gelte nicht nur für ihr Personal, sondern auch für ihre Inhalte (vgl. WR 2007: 20).

## » II. DIE EMPFEHLUNGEN DES WISSENSCHAFTSRATS ZUR CHANCENGLEICHHEIT VON FRAUEN UND MÄNNERN

Der Wissenschaftsrat ist die Spitzenorganisation im deutschen Wissenschaftssystem, dessen ausdrückliche Funktion die wissenschaftsbezogene Politikberatung ist (vgl. Stucke 2006; Bartz 2007: 250ff.)<sup>2</sup>. Darin unterscheidet er sich von anderen Spitzenorganisationen der Wissenschaft, die entweder wissenschaftsimmanente Funktionen haben (wie z. B. die Deutsche Forschungsgemeinschaft) oder der eigenen Interessenrepräsentation dienen (wie z. B. die Hochschulrektorenkonferenz). Die explizite Beratungsfunktion rechtfertigt es, sich bei Betrachtung der jüngeren Entwicklung der Gleichstellungspolitik an Hochschulen auf den Wissenschaftsrat zu konzentrieren.

### Die „Empfehlungen zur Chancengleichheit von Frauen in Wissenschaft und Forschung“ von 1998

Im Januar 1996 setzte der Wissenschaftsrat eine Arbeitsgruppe ein, die sich mit den Ursachen der Unterrepräsentanz von Frauen im Wissenschaftssystem befassen sollte. Die Arbeitsgruppe wurde von der damaligen Vorsitzenden des Wissenschaftsrats, Dagmar Schipanski, geleitet und legte eine umfassende Bestandsaufnahme zur Situation von Frauen in der Wissenschaft vor. Dabei wurden zahlreiche Expertinnen und Experten aus dem In- und Ausland einbezogen. Die Arbeit der Gruppe mündete in die „Empfehlungen zur Chancengleichheit von Frauen in Wissenschaft und Forschung“, die 1998 vom Wissenschaftsrat verabschiedet und veröffentlicht wurden (vgl. WR 1998).

In den „Empfehlungen“ von 1998 verwendete der Wissenschaftsrat zum ersten Mal den Terminus Chancengleichheit und intendierte damit die Abkehr von dem implizit defizitorientierten Begriff der „Frauenförderung“. Er verband dies mit drei Konsequenzen für die Konzeption von Gleichstellungspolitik an Hochschulen:

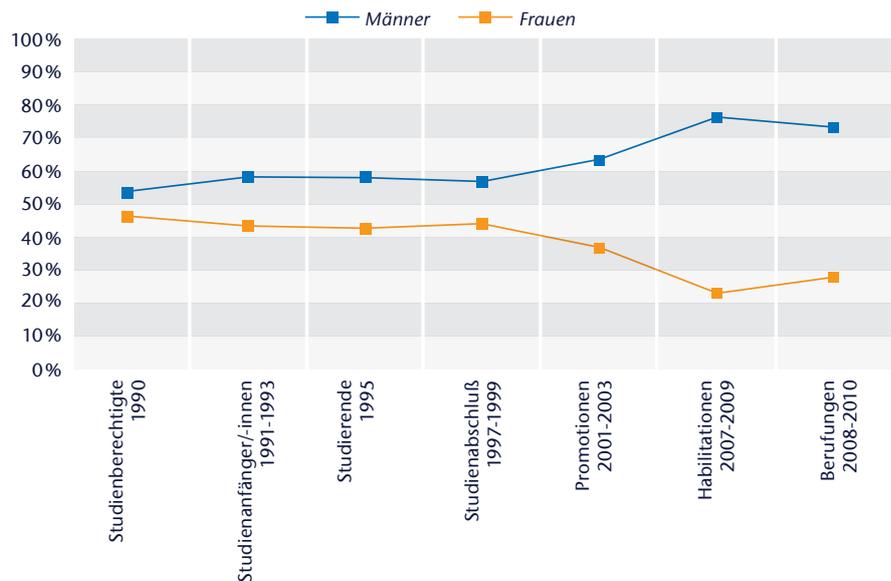


Abb. 2) Retrospektive Verlaufsanalyse über alle Fächer 1990 bis 2010  
Quelle: Wissenschaftsrat 2012: 14 (nach Berechnungen des CEWS)

- Chancengleichheit zwischen Frauen und Männern wird als *strategische Aufgabe der Hochschulleitungen* verstanden.
- Ungleiche Partizipations- und Karrierechancen von Frauen werden in erster Linie mit *strukturellen Faktoren* des Wissenschaftssystems verbunden. In den Fokus rücken damit die Zugangs-, Verbleibe- und Aufstiegsbedingungen sowie die informellen männlichen Netzwerkstrukturen in der Wissenschaft (vgl. Auspurg und Hinz 2008).
- Chancengleichheit in der Wissenschaft zielt auch auf eine Veränderung der Situation von *Männern*. Stichworte hierfür sind vor allem die egalitäre Teilung der Haus- und Sorgearbeit sowie die Verwirklichung von Männern in der Familie.

Aus dieser Perspektive fordert der Wissenschaftsrat konkrete Zielvereinbarungen für die Erhöhung der Frauenanteile auf den einzelnen Qualifizierungs- und Karrierestufen. Als Bezugsgröße dafür soll jeweils mindestens der Anteil von Frauen auf der direkt vorhergehenden Qualifikationsstufe dienen. So soll sich beispielsweise der Frauenanteil bei den Professuren am Frauenanteil der Promotionen

orientieren. Damit wird bereits in den Empfehlungen von 1998 die rund zehn Jahre später unter der Bezeichnung Kaskadenmodell kontrovers diskutierte Einführung einer flexiblen Quotenregelung vorweg genommen (vgl. Battis 2008; Forschung & Lehre 2008: 368–370).

Trotz kritischer Haltung hält der Wissenschaftsrat kurzfristig auch Maßnahmen zur spezifischen Frauenförderung für notwendig. Damit sollen strukturell verfestigte Nachteile von Frauen in der Wissenschaft ausgeglichen werden. Für eine gewisse Übergangszeit plädiert der Wissenschaftsrat somit für eine Doppelstrategie aus strukturorientierter Chancengleichheitspolitik und personenorientierter Frauenförderungs politik.

### Die „Empfehlungen zur Chancengleichheit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern“ von 2007

Fast zehn Jahre nach seinen Empfehlungen von 1998 greift der Wissenschaftsrat das Thema Chancengleichheit erneut auf. Anlass ist die zunehmende Differenzierung und Profilbildung im deutschen Wissenschaftssystem und die dadurch gestiegene Bedeutung von Flexibilität, Autonomie und Wettbewerb (WR 2007: 5). Im Mittelpunkt steht die Frage nach den Konsequenzen

<sup>2</sup> Sie richtet sich vor allem an die politischen Entscheidungsträgerinnen und -träger in Bund und Ländern, aber auch an die Gesamtheit der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

dieser neuen Rahmenbedingungen für die Gleichstellungspolitik an Hochschulen. Dabei konzentriert sich der Wissenschaftsrat auf die strukturellen Barrieren für Chancengleichheit.

Angesichts der zunehmenden Wettbewerbsorientierung im deutschen Hochschulsystem plädiert der Wissenschaftsrat auch für die Beseitigung struktureller Chancengleichheitsbarrieren für die Nutzung wettbewerblicher Instrumente. Sie zielen in erster Linie auf die Profilierung von Hochschulen durch Chancengleichheit, um dadurch im Wettbewerb um Talente bestehen zu können. Dabei setzt der Wissenschaftsrat vor allem auf neue Steuerungsformen wie z. B. eine leistungsorientierte Mittelvergabe oder interne Zielvereinbarungen. Gleichwohl wird eine Quotenregelung zur Förderung der Chancengleichheit nicht per se abgelehnt. Vermieden werden soll lediglich eine pauschale Quote, die den jeweiligen Gegebenheiten der einzelnen Hochschule bzw. Struktureinheit nicht gerecht werden würde.<sup>3</sup> Stattdessen verbindet der Wissenschaftsrat das direktive Element der Quote mit dem kompetitiven Element der Profilierung. Vermittelt werden sollen die beiden konträren Elemente durch die freiwillige Selbstverpflichtung der Hochschulen. Durch Einsicht in die Erfordernisse der veränderten Rahmenbedingungen infolge von Globalisierung und demografischer Entwicklung sollen die Hochschulen zur Selbstverpflichtung gebracht werden. Dies zu befördern, ist nach Ansicht des Wissenschaftsrates vor allem eine Aufgabe der Hochschulleitungen. Am Beispiel der Hochschulen im Land Brandenburg wird im nächsten Abschnitt gezeigt, dass die Akzente in puncto gleichstellungspolitischer Strategie auch anders als allein wettbewerblich gesetzt werden können.

### » III. DER „BRANDENBURGISCHE WEG“ ZUR CHANCENGLEICHHEIT VON FRAUEN UND MÄNNERN AN DEN HOCHSCHULEN DES LANDES<sup>4</sup>

Im Rahmen des gemeinsam von Bund und Ländern getragenen „Hochschul- und Wissenschaftsprogramms“ (HWP) standen den staatlichen Hochschulen im Land Brandenburg zwischen 2001 und 2006 jährlich 800.000€ für gleichstellungspolitische Maßnahmen und Projekte zur Verfügung (vgl. CEWS 2003).<sup>5</sup> Nach Auslaufen des Programms waren das Aufspüren neuer Finanzierungsmöglichkeiten und die Bündelung von Ressourcen notwendige Bedingungen für die erfolgreiche (Weiter-)Entwicklung eines eigenständigen „brandenburgischen Weges“ in der Gleichstellungspolitik der Hochschulen. Dies wird im Folgenden dargestellt.

#### Das Qualitätsversprechen „Kinder und Karriere“

Trotz vorhandener Sparzwänge übernahm das Land Brandenburg die Finanzierung des bisherigen HWP-Bundesanteils, um den Hochschulen die Möglichkeit zu geben, die gleichstellungspolitischen Maßnahmen weiterzuentwickeln. Dazu wurden auch Mittel des Europäischen Sozialfonds (ESF) in Anspruch genommen, dessen neue Förderperiode 2007 begann. Dies war bis dato nicht direkt über das Landes wissenschaftsministeriums (MWFK) möglich. Grundlage dafür war eine eigenständige Richtlinie des MWFK mit drei Förderschwerpunkten für Wissenschaft und Forschung, in denen die gleichstellungsbezogenen Förderlinien aus dem ausgelaufenen HWP verankert wurden. Zudem vergab das MWFK einen Beratungsauftrag an die CHE Consult GmbH mit dem Ziel, „das

Wissenschafts- und Hochschulland Brandenburg als in besonderer Weise (und faktisch begründet) frauenfördernd und familienorientiert zu positionieren“ (Langer et al. 2008: 4).<sup>6</sup> Den brandenburgischen Hochschulen sollte damit neben einer größeren Potenzialausschöpfung im eigenen Land auch ein „Vorsprung im Wettbewerb um die besten Köpfe“ (ebd.) verschafft werden.

Das Ergebnis war das Projekt „Kinder und Karriere“.<sup>7</sup> Es formulierte Anforderungen an ein frauenförderndes und familienorientiertes Wissenschaftssystem im Land Brandenburg und entwickelte dafür als Strategie ein „Qualitätsversprechen“ der Hochschulen, mit dem die diesbezüglichen Ziele formuliert und entsprechende Maßnahmen garantiert werden. Flankiert wurde dies durch eine übergreifende *Kommunikationskampagne*, die unter der Bezeichnung „frauenförderndes und familienorientiertes Brandenburg“ durchgeführt werden sollte (Langer et al. 2008: 5).

Daraus entstand nach gemeinsamer Abstimmung zwischen den Hochschulen und der Fachebene des Wissenschaftsministeriums das *Qualitätsversprechen „Kinder und Karriere“*. Es wurde im August 2008 von der damaligen Wissenschaftsministerin und dem Vorsitzenden der Brandenburgischen Landesrektorenkonferenz (BLRK) unterzeichnet. Darin wird der gemeinsame Anspruch formuliert, dass Brandenburg zum Bundesland mit den familienfreundlichsten Hochschulen werden will.

An der Entstehung des Qualitätsversprechens hatten die Gleichstellungsbeauftragten der brandenburgischen Hochschulen einen großen Anteil. In

<sup>3</sup> So würde es z. B. wenig sinnvoll sein, für eine technisch-naturwissenschaftliche Fakultät dieselbe Frauenquote wie für eine geisteswissenschaftliche Fakultät festzulegen.

<sup>4</sup> Die folgenden Ausführungen gehen zurück auf die gemeinsame Ausarbeitung einer Arbeitsgruppe aus Gleichstellungs- und Familienbeauftragten an den staatlichen Hochschulen des Landes Brandenburg. Der Arbeitsgruppe gehörten folgende Mitglieder an: Heike Bartholomäus (BTU Cottbus), Michael Frey (TH Wildau), Ehrengard Heinzig (BTU Cottbus), Judith Malkowski (FH Potsdam), Olga Rösch (TH Wildau) und Barbara Schrul (Universität Potsdam).

<sup>5</sup> Das HWP setzte sich aus sechs Fachprogrammen mit einem Mittelvolumen von insgesamt rund 1 Mrd. € zusammen. Eines davon war das Fachprogramm „Chancengleichheit für Frauen in Forschung und Lehre“, für das Mittel von über 30 Mio. € jährlich zur Verfügung standen. Die Maßnahmen und Projekte erfolgten in drei Programmschwerpunkten: „Qualifizierung für eine Professur“, „Frauen- und Genderforschung“ sowie „Erhöhung des Frauenanteils in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen“.

<sup>6</sup> Die CHE Consult GmbH ist eine Ausgründung des CHE Gemeinnütziges Centrum für Hochschulentwicklung GmbH. Sie agiert seit 2001 als Beratungsgesellschaft für Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Wissenschaftsbehörden zu strategischen, organisatorischen sowie personal- und finanzpolitischen Fragen.

<sup>7</sup> Der vollständige Titel lautete: „Kinder und Karriere“. Frauenförderung und Familienorientierung als Wettbewerbsvorteil für Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Brandenburg. Empfehlungen für ein Qualitätsversprechen und erste Maßnahmen in 2008.“ Die Projektergebnisse liegen als unveröffentlichtes Manuskript vor. Empirische Grundlage waren u. a. Interviews mit Angehörigen der einzelnen Hochschulstatusgruppen, den Hochschulleitungen sowie ausgewählten Expertinnen und Experten.

einem sachlich-konstruktiven Diskussionsprozess auf Arbeitsebene wurden gemeinsam mit der ministeriellen Fachabteilung Mindeststandards formuliert, denen sich alle Hochschulen des Landes verpflichtet fühlen (siehe Textdokumentation).

Das Qualitätsversprechen richtet sich an Studierende sowie an das administrative, technische und akademische Personal. Zur Erfassung der realisierten Maßnahmen wurde ein detaillierter Fragebogen entwickelt, mit dem die Hochschulen jährlich Rechenschaft über ihre Anstrengungen und Erfolge in puncto Familiengerechtigkeit ablegen.

Im Ergebnis des Qualitätsversprechens wurden u. a. an jeder Hochschule zentrale Familienbeauftragte installiert. Sie sind größtenteils hauptamtlich tätig, was auch durch eine entsprechende Förderung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg ermöglicht wird. Ihre Aufgabe besteht im Kern darin, die Maßnahmen, die zur Realisierung der formulierten familienpolitischen Ziele an den einzelnen Hochschulen erforderlich sind, anzustoßen und zu koordinieren. Zudem führen sie Informations- und Beratungsaufgaben aus und arbeiten eng mit den Gleichstellungsbeauftragten zusammen.

#### Die Weiterentwicklung zu „Qualitätsstandards zur Chancengleichheit von Frauen und Männern“

Anhand der jährlichen Rechenschaftsberichte wurde deutlich, dass die im Qualitätsversprechen angekündigten Maßnahmen zur Familienorientierung größtenteils umgesetzt wurden und seit 2010 mehr oder weniger zum Standard der Hochschulen gehören. Die Gleichstellungs- und Familienbeauftragten sowie die Fachvertreterinnen des MWFK verständigten sich deshalb auf eine akzentuierte Weiterentwicklung der erzielten Erfolge unter verstärkter Berücksichtigung von Maßnahmen zur Förderung der Chancengleichheit von Frauen und Männern in der Wissenschaft. Dies war der einvernehmlichen Erkenntnis geschuldet, dass trotz umfassender Familienförderung an den Hochschulen auch weiterhin eine eigenständige Frauen- und Gleichstellungsförderung notwendig bleibt.

Die im November 2010 durch die damalige Wissenschaftsministerin und den Vorsitzenden der brandenburgischen Landesrektorenkonferenz unterzeichneten *Qualitätsstandards zur Chancengleichheit von Frauen und Männern an den brandenburgischen Hochschulen* beinhalten daher auch

Standards, die für die Förderung von Frauen und der Geschlechtergleichstellung an Hochschulen unerlässlich sind (siehe Textdokumentation).

### QUALITÄTSSTANDARDS ZUR CHANCENGLEICHHEIT VON FRAUEN UND MÄNNERN AN DEN BRANDENBURGISCHEN HOCHSCHULEN

Die Chancengleichheit von Männern und Frauen ist eine notwendige und nachhaltige Voraussetzung für Exzellenz und Innovation an den Hochschulen. Die Gestaltung entsprechender Rahmenbedingungen ist eine wichtige Zielsetzung der Hochschulpolitik im Land Brandenburg.

Die Hochschulen und das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg haben sich mit dem Qualitätsversprechen „Kind und Karriere“ im Jahr 2008 verpflichtet, bestmögliche Bedingungen für die Vereinbarkeit von Familie, Studium und Beruf zu schaffen. Diese Selbstverpflichtung wurde nun eingelöst. Die im Qualitätsversprechen angekündigten Angebote gehören inzwischen zum Standard an allen Hochschulen:

- An allen Hochschulen gibt es flexible Betreuungsangebote und -zeiten für Kinder von Studierenden, akademischem und Verwaltungspersonal
- Kindgerechte Ausstattungen und eine familienfreundliche Infrastruktur gehören an allen Hochschulen zum Angebot für Studierende, akademisches und Verwaltungspersonal mit Kindern. Es werden flexible Arbeitsformen ermöglicht, soweit diese mit den dienstlichen Belangen vereinbar sind.
- Im Studium werden die Belange von werdenden Müttern sowie Studierenden mit Familienaufgaben (z. B. auch pflegende Angehörige) berücksichtigt. Ebenso gibt es die Möglichkeit zur abgestimmten individuellen Studiengestaltung für Studierende mit Familienaufgaben.

- An den Hochschulstandorten gibt es – in der Regel in Kooperation mit dem Studentenwerken – Wohnungsangebote für Studierende mit Kindern.

- Alle Hochschulen haben spezielle Anlaufstellen zur Beratung und Information für Studierende und Beschäftigte mit Familienaufgaben und unterstützen Elterninitiativen und -netzwerke.

- Alle Hochschulen beteiligen sich am gemeinsamen „Netzwerk Familienfreundlichkeit an brandenburgischen Hochschulen“.

Das erreichte Niveau für Vereinbarkeit von Familie, Studium und Beruf an den Hochschulen hat Maßstäbe für die nächsten Jahre gesetzt. Diesen Standard wollen wir halten und weiter ausbauen.

Frauen stellen im Wissenschaftsbereich ein bedeutendes Potenzial der Gesellschaft dar, das auch in Brandenburg noch nicht voll ausgeschöpft ist. Daher unternehmen die Hochschulen und das MWFK alles, um die Chancengleichheit von Frauen weiter zu fördern. Das Land Brandenburg hat in seinem Hochschulgesetz in verbindlicher Form Regelungen zur Förderung der Gleichstellung von Frauen und Männern getroffen. Für eine nachhaltige Umsetzung verpflichten sich das MWFK und die Hochschulen auf folgende Standards:

- Alle Hochschulen entwickeln Konzepte zur Gleichstellung von Frauen und Männern an ihrer Hochschule und schreiben diese fort.

- Die Hochschulen setzen sich dafür ein, den Anteil der Frauen in den Bereichen, in denen sie unterrepräsentiert sind, bis hin zu Spitzenpositionen, zu erhöhen.
- Die Hochschulen fördern sowohl Frauen, die eine akademische Laufbahn erwägen, als auch die, die bereits eine solche eingeschlagen haben, sowie Wiedereinsteigerinnen in den Wissenschaftsbetrieb.
- Die Hochschulen beteiligen sich an Förderprogrammen für Studentinnen und Wissenschaftlerinnen, um die Teilnehmerinnen in der Wahl ihres Karriereweges und beim Zugang zu Fach- und Führungspositionen zu unterstützen.
- Alle Hochschulen entwickeln Angebote, um qualifizierte Frauen mit Familie für den Wissenschaftsbereich zu gewinnen und zu halten.
- Die Hochschulen berücksichtigen in ihren internen Zielvereinbarungen, Mittelvergabemodellen oder speziellen Gleichstellungsbudgets die Förderung der Gleichstellung von Frauen und Männern.

Das bereits mit dem Qualitätsversprechen „Kind und Karriere“ eingeführte, jährliche Berichtswesen der Hochschulen wurde beibehalten.

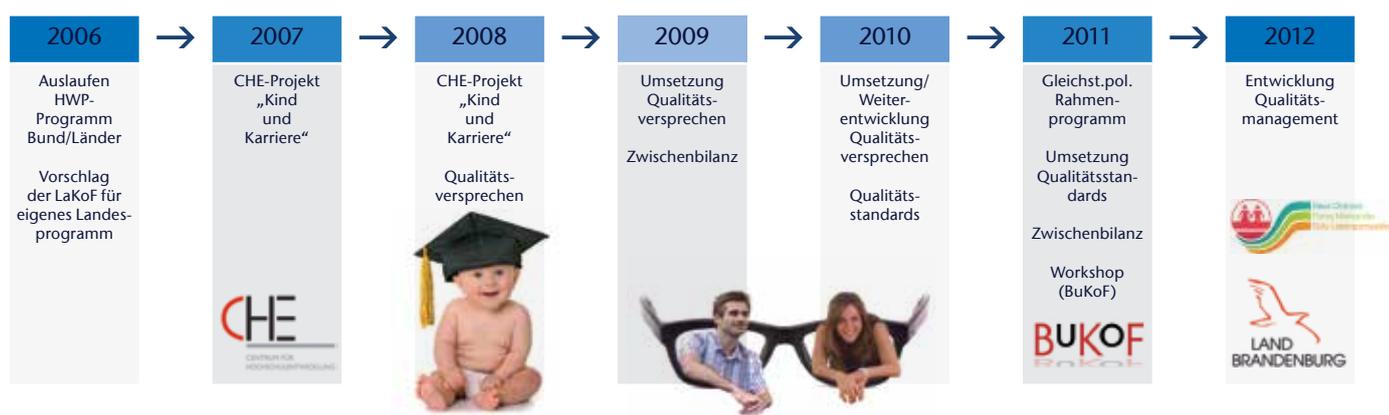
Abbildung 3 stellt die beschriebene Entwicklung vom HWP zu den „Qualitätsstandards zur Chancengleichheit von Frauen und Männern an den brandenburgischen Hochschulen“ grafisch dar. Aus gleichstellungspolitischer Sicht ist dabei auch relevant, dass im Jahr 2011 von der Landesregierung ein *Gleichstellungspolitisches Rahmenprogramm für das Land Brandenburg 2011-2014* verabschiedet wurde (MASF 2011). Das Programm soll die Geschlechtergerechtigkeit in allen gesellschaftlichen Bereichen und Politikfeldern voranbringen und helfen, strukturelle geschlechtsspezifische Benachteiligungen abzubauen. Die hochschulbezogenen *Qualitätsstandards zur Chancengleichheit von Frauen und Männern* wurden in das gleichstellungspolitische Rahmenprogramm der Landesregierung integriert. Damit ist nicht nur auf hochschulpolitischer, sondern auch auf allgemeiner politischer Ebene des Landes eine Verankerung der „Qualitätsstandards zur Chancengleichheit“ gewährleistet.

#### » IV. FAZIT – CHANCENGLEICHHEIT ALS GEMEINSAMER WETTBEWERBSVORTEIL

Ein wichtiges Ergebnis der beschriebenen Entwicklung ist die gemeinsame Verständigung der brandenburgischen Hochschulen auf übergreifende und einheitliche *Mindeststandards* in Sachen Geschlechtergleichstellung und Familienorientierung. Der dazu führende Diskussions- und Abstimmungsprozess wurde von der zuständigen Fachebene im Wissenschaftsministerium moderiert und koordiniert. Dadurch war die politisch-administrative Ebene in den Verständigungsprozess eingebunden und übernahm zugleich die Rolle eines Impulsgebers.

Vor dem Hintergrund der Diskussion um neue Steuerungsmodelle an Hochschulen (vgl. Winkel 2006; Bogumil und Heinze 2009; Schimank 2009) verdeutlicht das ebenbürtige Zusammenspiel zwischen Hochschulen und Ministerium, dass die nicht selten gemachte Entgegensetzung von staatlicher Steuerung und Hochschulautonomie zu kurz greift. Das Beispiel der Gleichstellungspolitik an den brandenburgischen Hochschulen zeigt, dass

#### Strategische Maßnahmen:



#### Finanzierung:

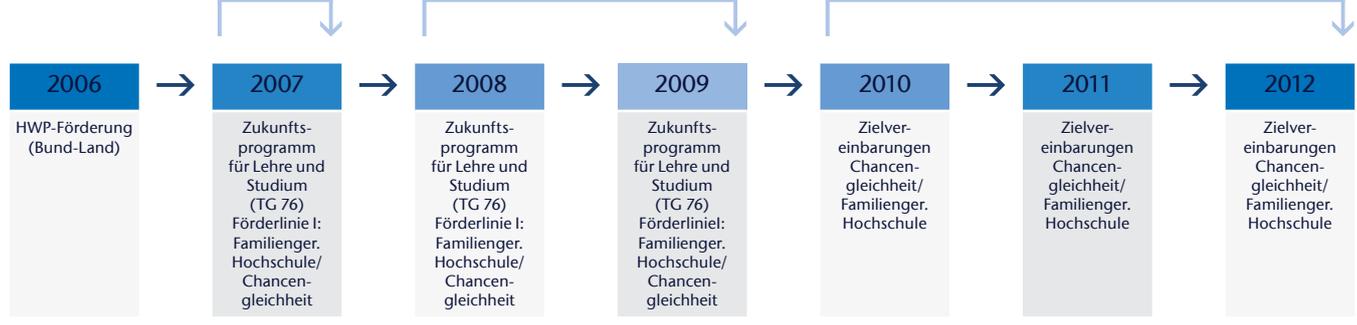


Abb. 3) Chronologische Entwicklung und Finanzierung gleichstellungspolitischer Maßnahmen an den brandenburgischen Hochschulen

die Interessen und Orientierungen von Politik und Hochschulen nicht zwangsläufig konträr ausfallen, sondern konvergieren können. Hinzu kommt, dass der Politik gerade in einem normativen Bereich wie der Chancengleichheit eine *Ermöglichungsfunktion* zukommt: Ohne finanzielle Förderung durch die Politik wären die Qualitätsstandards zur Chancengleichheit und Familienorientierung an den brandenburgischen Hochschulen in dieser Form nicht möglich gewesen.

Zugleich zeigt sich aber auch, dass die Hochschulen – und hier vor allem ihre Leitungsorgane – den neuen Herausforderungen infolge des doppelten Paradigmenwechsels in der Gleichstellungspolitik gerecht werden können. Die brandenburgischen Hochschulen nutzten die sich neu eröffnenden Spielräume und traten selbstbewusst in einen sachlich-konstruktiven Dialog mit der Politik. Neben den Leitungen kam dabei den gewählten Gleichstellungsbeauftragten der Hochschulen eine zentrale Rolle zu. Angesichts der Debatte um eine fachliche Professionalisierung der Gleichstellungsarbeit (vgl. Löther 2008) haben die „traditionellen“ Gleichstellungsbeauftragten an den brandenburgischen Hochschulen unter Beweis gestellt, dass sie den Herausforderungen der neuen Steuerungsformen in Hochschule und Gleichstellungsarbeit ebenso souverän und kompetent begegnen können wie professionelle Gender- oder Diversity-ManagerInnen. Dies ist nicht zuletzt in der ausgeprägten *normativen* Orientierung der per Wahlamt agierenden Gleichstellungsbeauftragten begründet.

Der skizzierte doppelte gleichstellungspolitische Paradigmenwechsel ist in eine zunehmende Differenzierung der deutschen Hochschullandschaft eingebettet, die sich vertikal (Stichwort „Exzellenzuniversität“) und horizontal (Stichwort „Profilbildung“) bemerkbar macht (vgl. Flink et al. 2012). Vor diesem Hintergrund gewinnt die glaubwürdige und sichtbare Bemühung einer Hochschule um Chancengleichheit den Status eines *Profilierungsmerkmals* im Wettbewerb um engagierte Studierende und qualifiziertes Personal in Forschung, Lehre und Verwaltung.

Der „brandenburgische Weg“ zur Chancengleichheit von Frauen und Männern hat in dieser Hinsicht zu einem Wettbewerbsvorteil geführt, der durch die beschriebene kooperative und verständigungsorientierte Vorgehensweise *allen* Hochschulen des Landes zugutekommt. Dies verdeutlicht, dass neue Steuerungsformen an Hochschulen nicht notwendig kompetitiv und mit dem Ergebnis benutzt werden müssen, dass „Gewinner“ und „Verlierer“ entstehen. Möglich ist stattdessen auch eine auf gegenseitiger Verständigung und gemeinsamer Zielerreichung basierende Nutzung. Wie das Beispiel der brandenburgischen Hochschulen zeigt, sind wichtige Voraussetzungen dafür die Bereitschaft zur gemeinsamen Kooperation und Zielerreichung sowie die Existenz gemeinsam geteilter Werte und Ziele.

#### LITERATUR

- Auspurg, Katrin/Hinz, Thomas (2008): Wer beruft Professorinnen? Eine geschlechtsspezifische Analyse der Berufungsverfahren an der Universität Konstanz. In: *Forschung & Lehre*, Heft 6/2008, 378–381.
- Bartz, Olaf (2007): *Der Wissenschaftsrat. Entwicklungslinien der Wissenschaftspolitik in der Bundesrepublik Deutschland 1957–2007*. Stuttgart: Steiner.
- Battis, Ulrich (2008): Chancengleichheit – nicht Ergebnishierarchie. Frauenquote in der Wissenschaft aus juristischer Sicht. In: *Forschung & Lehre*, Heft 6/2008, 376–377.
- Bogumil, Jörg/Heinze, Rolf G. (Hrsg.): *Neue Steuerung von Hochschulen. Eine Zwischenbilanz*. Berlin: Sigma.
- CEWS (2003): *HWP – Fachprogramm Chancengleichheit für Frauen in Forschung und Lehre – Bilanz und Aussichten*. (CEWS, publik.no 6). Bonn: Center of Excellence Women and Science an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Flink, Tim/Rogge, Jan-Christoph/Roßmann, Simon/Simon, Dagmar (2012): Angleichung statt Vielfalt. Deutsche Universitäten auf der Suche nach Profil. *WZ Brief Bildung* 22.06.2012. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.
- Forschung & Lehre (2008): Braucht die Wissenschaft eine Frauenquote? Wissenschaftsorganisationen antworten. In: *Forschung & Lehre*, Heft 6/2008, 368–370.
- Harde, Maria E./Streblov, Lilian (2008): „Ja, ab der Promotion wird es eng“ – Zum Zusammenspiel individueller und struktureller Barrieren für Frauen in der Wissenschaft. In: Haffner, Yvonne/Krais, Beate (Hrsg.): *Arbeit als Lebensform? Beruflicher Erfolg, private Lebensführung und Chancengleichheit in akademischen Berufsfeldern*. Frankfurt am Main/New York: Campus, 155–176.
- Krell, Gertraude/Mückenberger, Ulrich/Tondorf, Karin (2001): *Gender Mainstreaming. Informationen und Impulse*. (Herausgegeben vom Niedersächsischen Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales), 2. Aufl. Hannover. Landtag Brandenburg (2006): Plenarprotokoll 4/37 der 4. Wahlperiode vom 25.10.2006, Tagesordnungspunkt 13, Frauen- und Familienförderung an Hochschulen, Potsdam, 2594–2598.

- Langer, Markus F./De Ridder, Daniela/Leichsenring, Hannah/Müller, Ulrich (2008): *Kinder und Karriere. Frauenförderung und Familienorientierung als Wettbewerbsvorteil für Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Brandenburg. Empfehlungen für ein Qualitätsversprechen und erste Maßnahmen in 2008*. Unveröffentlichter Projektbericht, Gütersloh: CHE Consult GmbH.
- Löther, Andrea (2008): Die Qualität von Gleichstellungsmaßnahmen. In: Koreuber, Mechthild/Andresen, Sünne/Lüdke, Dorothea (Hrsg.): *Gender und Diversity. Alptraum oder Traumpaar?* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 231–251.
- Macha, Hildegard/Bauer, Quirin J./Struthmann, Sandra (2008): *Ausgebremst: Frauen in der Wissenschaft*. In: *Forschung & Lehre*, Heft 06/2008, 372–375.
- MASF (2011): *Gleichstellungspolitisches Rahmenprogramm für das Land Brandenburg 2011–2014. Neue Chancen – Faires Miteinander – Gute Lebensperspektiven*. Potsdam: Ministerium für Arbeit, Soziales, Frauen und Familie des Landes Brandenburg.
- Metz-Göckel, Sigrid/Möller, Christina/Auferkorte-Michaelis, Nicole (2009): *Wissenschaft als Lebensform – Eltern unerwünscht? Kinderlosigkeit und Beschäftigungsverhältnisse des wissenschaftlichen Personals aller nordrhein-westfälischen Universitäten*, Opladen u. Farmington Hills: Verlag Barbara Budrich.
- Metz-Göckel, Sigrid/Lind, Inken (Hrsg.) (2012): *Balance-Akte. Wissenschaftliche Karriere und (verhinderte) Elternschaft*, Opladen u. Farmington Hills: Verlag Barbara Budrich (i. E.).
- Schimank, Uwe (2009): *Governance-Reformen nationaler Hochschulsysteme. Deutschland in internationaler Perspektive*. In: Bogumil, Jörg/Heinze, Rolf G. (Hrsg.): *Neue Steuerung von Hochschulen. Eine Zwischenbilanz*. Berlin: Sigma, 123–137.
- Solga, Heike/Pfahl, Lisa (2009): *Wer mehr Ingenieurinnen will, muss bessere Karrierechancen für Frauen in Technikberufen schaffen*. *WZ Brief Bildung* 07.04.2009. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.
- Stiegler, Barbara (2000): *Wie Gender in den Mainstream kommt – Konzepte, Argumente und Praxisbeispiele zur EU-Strategie des Gender Mainstreaming*. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Stucke, Andreas (2006): *Der Wissenschaftsrat*. In: Falk, Svenja/Rehfeld, Dieter/Römmele, Andrea/Thunert, Martin (Hrsg.): *Handbuch Politikberatung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 248–254.
- Winkel, Olaf (2006): *Neues Steuerungsmodell für die Hochschulen?* In: *Aus Politik und Zeitgeschichte*, Heft 48/2006, 28–31.
- Wissenschaftsrat (1998): *Empfehlungen zur Chancengleichheit von Frauen in Wissenschaft und Forschung*. (Drs. 3534/98), Mainz.
- Wissenschaftsrat (2007): *Empfehlungen zur Chancengleichheit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern*. (Drs. 8036-07), Berlin.
- Wissenschaftsrat (2012): *Fünf Jahre Offensive für Chancengleichheit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern – Bestandsaufnahme und Empfehlungen*. (Drs. 2218-12), Bremen.

#### AUTOR

**Dr. Michael Frey**  
Qualitätsmanagement  
TH Wildau [FH]  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-647  
michael.frey@th-wildau.de

# BPMN ALS NEUER MODELLIERUNGSSTANDARD?

Klaus D. Bösing

## Zusammenfassung

Im Business Process Management (BPM) spielen Geschäftsprozessmodelle eine zentrale Rolle. Geschäftsprozessmodelle bilden die Grundlage für viele Unternehmen, um ihre Prozesse zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Bezüglich der Anforderungen und Zielsetzungen gibt es unterschiedliche Modellierungsmethoden. Während in der Vergangenheit überwiegend die Methode der Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) angewendet wurde, tritt heute zunehmend die Business Process Modeling and Notation (BPMN) in den Vordergrund. Im Folgenden werden beide Methoden kurz beschrieben, mögliche Transformationen dargestellt und gezeigt, welche Chancen BPMN in Zukunft hat, als Standard im Bereich der Modellierung von Geschäftsprozessen akzeptiert zu werden.

## Abstract

In the business process management (BPM), business process models play a major role. Business process models describe the basic operations for many companies in order to capture, analyze and evaluate their processes. With regard to the requirements and objectives, there are different modeling methods. While the method of the event driven process chain (EPC) was predominant in the past, nowadays the business process modeling and notation (BPMN) appears increasingly in the foreground. In the following, both methods will be described briefly. Possible transformations will be described before I show what chances BPMN will have in the future to become an accepted standard in the field of modeling business processes.

## » I. EINLEITUNG

Um am globalisierten Markt erfolgreich zu sein, sind beispielsweise maximale Kundenorientierung und konsequente Kostenoptimierung wichtige Voraussetzungen (Bösing 2005). Daher verfügen heute viele Unternehmen über eine Menge von Geschäftsprozessmodellen, um ihre Unternehmensziele zu erreichen. Neben der Optimierung von Geschäftsprozessen in Unternehmen dient die Modellierung von Prozessen u. a. der Dokumentation, der Automatisierung und der Simulation. Ein weiterer Grund der Modellierung besteht in der Notwendigkeit, Compliance-Anforderungen wie beispielsweise regulatorische und gesetzliche Anforderungen zu erfüllen (Strasser und Wittek 2012).

Im verstärkten Maße kommen heute Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Geschäftsprozessen hinzu. Da Geschäftsprozessmodelle ständig verändert werden, d. h. es werden beispielsweise laufend neue Geschäftsprozesse eingefügt oder vorhandene Prozesse aktualisiert, gilt es, Methoden zu entwickeln, um die Qualität eines Prozesses innerhalb eines Geschäftsprozessmodells sicherzustellen. Da Unternehmen heute überwiegend

international tätig sind, stehen zunehmend standardisierte Prozessmodelle wie CMMI, SPICE und ITIL im Vordergrund.

## » II. METHODEN DER MODELLIERUNG VON GESCHÄFTSPROZESSEN

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Modellierungsmethoden, die sich grundsätzlich in scriptbasierte und diagrammbasierte Methoden gliedern lassen. Mit scriptbasierten Methoden erfolgt die Beschreibung mithilfe formaler Notationen in Anlehnung an Programmiersprachen. Diagrammbasierte Methoden können in datenfluss-, kontrollfluss- und objektorientierte Ansätze untergliedert werden. Neben dieser Differenzierung lassen sich die Modellierungsmethoden den fachlich-konzeptionellen und operativen Ebenen zuordnen. Die fachlich-konzeptionelle Ebene ist mehr auf der betriebswirtschaftlichen Seite angesiedelt, zu nennen sind hier beispielsweise Ereignisgesteuerte Prozessketten. Die operative Ebene tendiert in Richtung Workflowmanagement, also IT-gestützte, ausführbare Prozesse (Gadatsch 2010). Auf fachlich-konzeptioneller wie auf operativer Ebene kann ein Geschäftsprozess als eine Reihe

von aufeinander folgenden Tätigkeiten oder Aktivitäten definiert werden. Ein Geschäftsprozess setzt sich aus funktions- und organisationsübergreifenden Verkettungen wertschöpfender Aktivitäten zusammen. Diese erzeugen die vom Kunden erwarteten Leistungen. Im Folgenden sollen die beiden wichtigsten Methoden, die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) und die Business Process Modeling and Notation (BPMN) vorgestellt werden.

### 1. Ereignisgesteuerte Prozesskette

A.-W. Scheer entwickelte in den 80er Jahren und publizierte in den 90er Jahren eine Modellierungsarchitektur für Geschäftsprozesse, das so genannte Architekturkonzept für Informationssysteme ARIS (Architektur Integrierter Informationssysteme). Dieses Konzept besteht aus dem Vorgehensmodell und den Modellierungsmethoden. Das ARIS-Konzept ist ein allgemeiner Bezugsrahmen für die Modellierung von Geschäftsprozessen und stellt verschiedene ebenen- und sichtenspezifische Modellierungsmethoden zur Verfügung (Scheer 2006, Slama und Nelius 2011, Staud 2006). Das ARIS-Konzept und das zugehörige Werkzeug sind heute im Bereich Prozessmodellierung weit verbreitet. Innerhalb der Prozess-/Steuerungssicht hat die

EPK bzw. die erweiterte EPK (eEPK) eine zentrale Bedeutung. Mit EPKs werden Kontrollflüsse von Geschäftsprozessen in einer zeitlichen und logischen Reihenfolge abgebildet. Im Wesentlichen bestehen EPKs aus den in Abbildung 5 dargestellten Elementen.

Da die Modellierung von EPKs sehr komplex sein kann und vielfältige Modellierungsmöglichkeiten bestehen, sind definierte Modellierungsregeln unabdingbar. In vielen großen Unternehmen werden eigene ARIS-Modellierungskonventionen abgeleitet. Solche Konventionen bilden den Rahmen für einheitliche Regeln, Kriterien sowie Formate für die Modellierung. Sie sind notwendig, um konzernweit eine Vergleich- und Austauschbarkeit von Prozessmodellen zu gewährleisten. Abbildung 1 stellt ein Beispiel für ein eEPK dar.

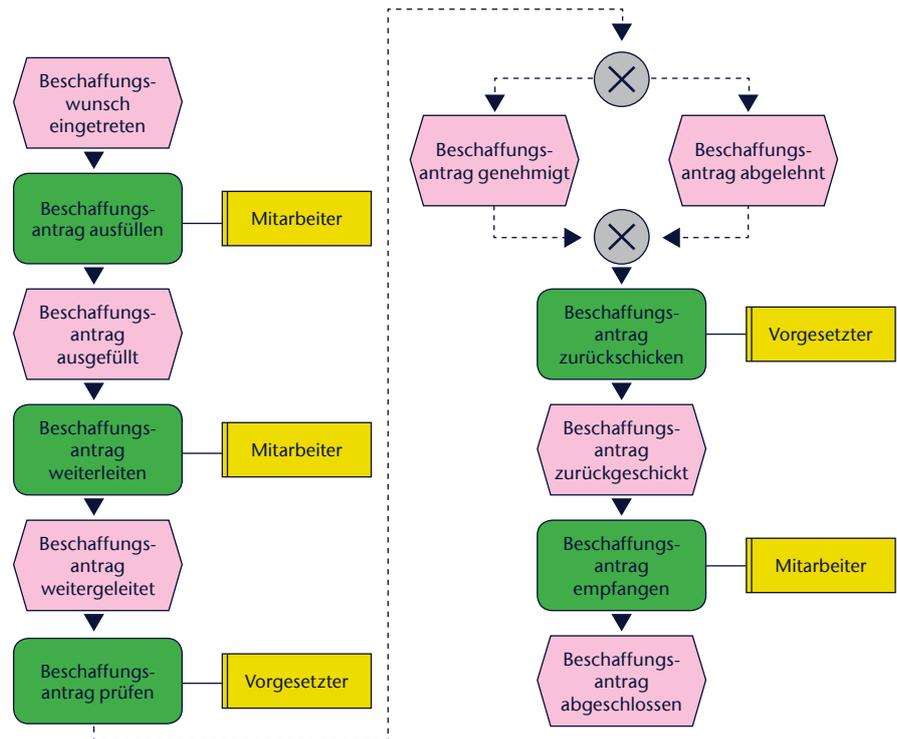


Abb. 1) Modellierungsbeispiel für ein eEPK

## 2. Business Process Modeling and Notation

Die Business Process Modeling and Notation (BPMN) wurde 2004 von Stephen A. White, einem IBM-Mitarbeiter, entwickelt und von der Business Process Management Initiative (BPMI) veröffentlicht. Zielsetzung der Entwicklung von BPMN war, sowohl eine standardisierte, grafische Notation für die Modellierung von Prozessen als auch für die Prozessautomatisierung zur Verfügung zu stellen. Im Jahr 2005 übernahm die Object Management Group (OMG) die Weiterentwicklung der BPMN. 2006 wurde die BPMN in der Version 1.0 erstmals als offizieller Standard verabschiedet. Im Februar 2011 wurde die aktuell geltende Version 2.0 von der OMG veröffentlicht (Object Management Group 2011). Seitdem steht die Abkürzung BPMN für „Business Process Model and Notation“. Damit wird nicht nur die Notation, sondern auch das Business Process Definition Metamodel (BPDMM) zugrunde gelegt (Freund und Rucker 2012).

BPMN-Modelle bestehen im Wesentlichen aus den in Abbildung 5 aufgeführten Elementen, die im Folgenden beschrieben werden sollen.

Slimlanes (Pools und/oder Lanes) können Systeme, Organisationseinheiten

oder Rollen repräsentieren. In der Regel werden jedoch Organisationen als Pools und Rollen, Stellen und Organisationseinheiten als Lanes dargestellt.

BPMN differenziert zwischen Sequenz- und Nachrichtenflüssen. Ein Sequenzfluss ist eine gerichtete Kante und drückt die Abhängigkeit in der Ausführung aus. Nachrichtenflüsse präsentieren die Kommunikation zwischen verschiedenen Pools.

In BPMN werden drei Arten von Flussobjekten unterschieden: Aktivität, Ereignis und Gateway. Ein zentrales Modellierungselement ist die Aktivität. Aktivitäten repräsentieren einzelne Aufgaben in einem Prozess. Diese lassen sich wiederum in atomare Task oder komplexe Unterprozesse unterteilen.

Es gibt verschiedene Formen von Ereignissen: Start-, Zwischen- und Endereignisse. Startereignisse stehen am Anfang eines Prozesses und haben keinen eingehenden Sequenzfluss. Zwischenereignisse stehen für einen Status, der sich im Verlauf einer Prozessausführung ereignet. Endereignisse stehen am Ende eines Prozesses und haben keinen ausgehenden Sequenzfluss.

Gateways werden für Verzweigungen und Zusammenführungen von Sequenzflüssen verwendet. BPMN stellt folgende Gateways zur Verfügung:

- Paralleles Gateway (AND-Gateway)
- Datenbasiertes inklusives Gateway (OR-Gateway)
- Datenbasiertes exklusives Gateway (XOR-Gateway)
- Ereignisbasiertes exklusives Gateway
- Komplexes Gateway

Das parallele Gateway und die beiden datenbasierten Gateways entsprechen semantisch den Konnektoren einer EPK und sind somit hinlänglich bekannt. Das ereignisbasierte und das komplexe Gateway sollen an dieser Stelle näher betrachtet werden.

Nach einem ereignisbasierten Gateway folgen immer mehrere eintretende Ereignisse, d. h. der Sequenzfluss ist von den nachfolgenden möglichen Ereignissen abhängig. In Abbildung 2 ist der Sequenzfluss davon abhängig, ob der bestellte Artikel in den ersten zwei Wochen eingetroffen ist oder nicht.

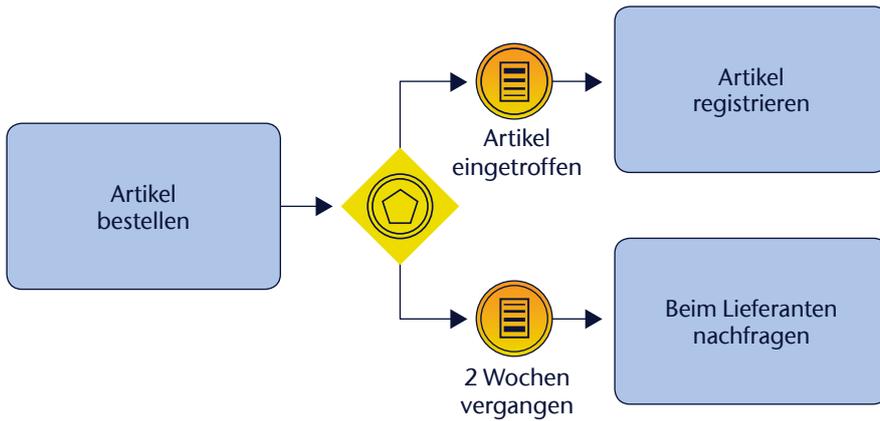


Abb. 2) Beispiel für ein ereignisbasiertes Gateway

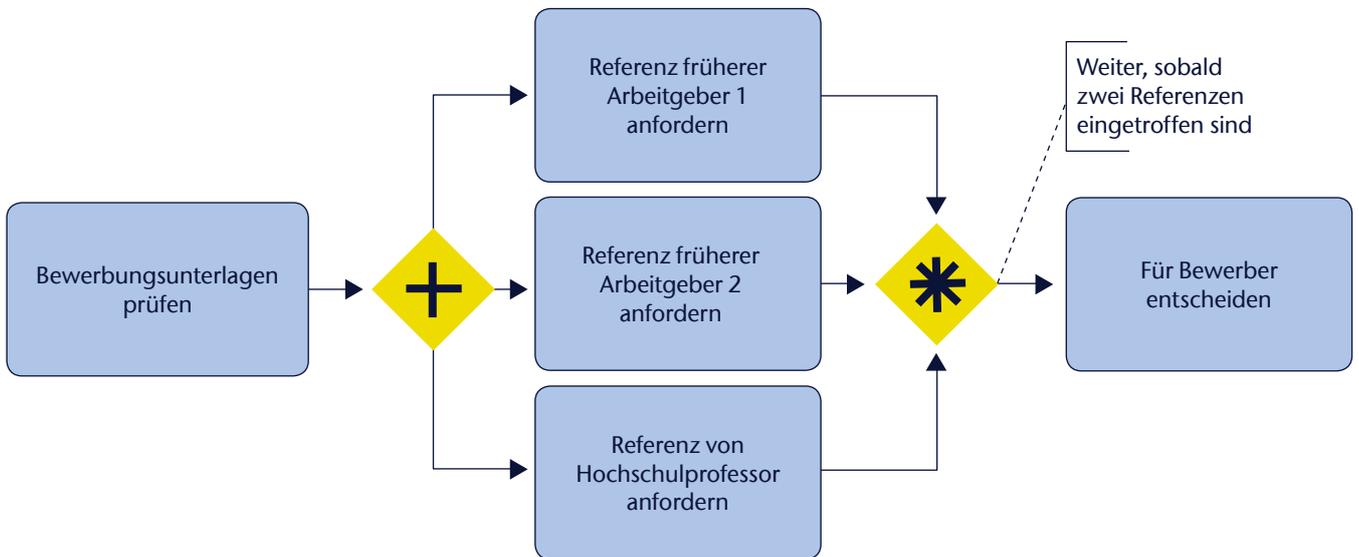


Abb. 3) Beispiel für ein komplexes Gateway (Allweyer 2009)

Es wird der Sequenzfluss fortgeführt, bei dem das nachfolgende Ereignis als erstes eingetreten ist.

Das komplexe Gateway ist ein sogenannter Alleskönner. Es wird in Szenarien angewendet, wenn sich die Semantik mit anderen Gateways nicht darstellen lässt. Die Semantik wird mithilfe von Kommentaren definiert. In Abbildung 3 wird ein Sequenzfluss eines Bewerbungsprozesses über einen parallelen Gateway in drei Sequenzflüsse gesplittet. Vorsichtshalber werden drei Referenzen angefordert, obwohl nur zwei benötigt werden, falls eine angeforderte Referenz nicht geliefert wird. Sobald zwei Referenzen eingetroffen sind, wird der Prozess fortgeführt. Die gesplitteten Sequenzflüsse werden über ein komplexes Gateway wieder zusammengeführt.

Bei der Beschreibung von Prozessen konzentriert sich BPMN im

Wesentlichen auf Sequenzflüsse, Gateways und Ereignisse. Um auch andere Aspekte zu modellieren, die für die Ausführung von Geschäftsprozessen relevant sind, werden Datenobjekte und so genannte Artefakte zur Verfügung gestellt.

Datenobjekte können Informationen, Dokumente oder Dateien sein, die erstellt, bearbeitet oder verarbeitet werden können. Sie werden über Assoziationen mit Flussobjekten verbunden, mit einer Bezeichnung versehen und darüber hinaus kann ihnen ein Status zugewiesen werden.

Zu den Artefakten gehören die Gruppierung und Annotation. Gruppierungen dienen dazu, bestehende Elemente zusammenzufassen, um sie visuell hervorzuheben. Gruppierungselemente können an beliebiger Stelle in einem Diagramm platziert werden. Annotationen können Hinweise, Bemerkungen oder Erläuterungen sein

und mit einem Element über eine Assoziation verbunden werden. Gruppierungselemente und Annotationen dienen lediglich dem besseren Verständnis des Modells und haben auf die Logik keinen Einfluss. In Abbildung 4 ist noch mal das gleiche Modell dargestellt wie in Abbildung 1, allerdings mit der Modellierungsmethode BPMN.

### » III. EPK VS. BPMN

Das vorrangige Ziel einer Modellierungsmethode ist es, eine entsprechende Semantik zur Verfügung zu stellen, um Geschäftsprozesse der realen Welt abzubilden. Hinsichtlich der Zielsetzung, ob das Modell beispielsweise als Grundlage für die Dokumentation, Analyse, Modifikation, Qualitätssicherung, Optimierung, Simulation oder Automatisierung von Geschäftsprozessen dient, werden unterschiedliche Anforderungen an die

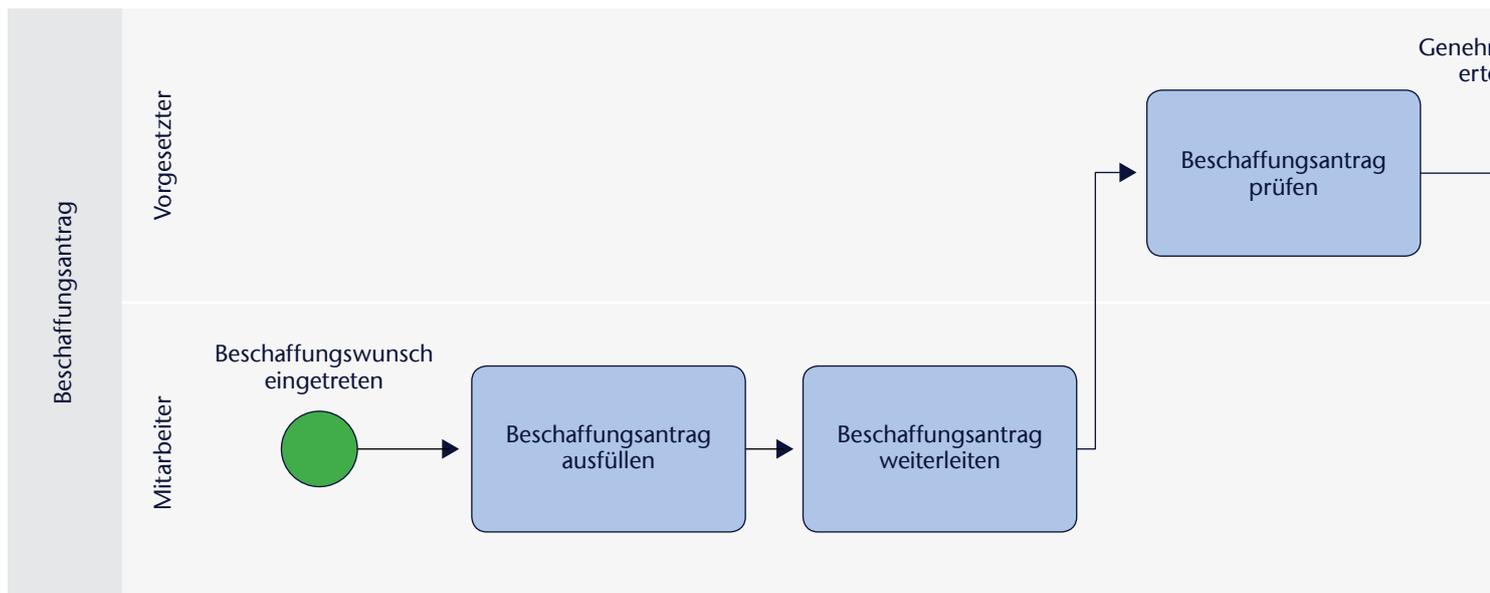


Abb. 4) Modellierungsbeispiel für ein BPMN

Modellierungsmethode gestellt. Wie oben schon dargestellt, lässt sich zwischen der fachlich-konzeptionellen und der operativen Ebene der Modellierung differenzieren. Für einige Anforderungen an das Prozessmodell ist sicherlich die fachlich-konzeptionelle Ebene der Modellierung völlig hinreichend, während beispielsweise hinsichtlich der Automatisierung von Geschäftsprozessen die operative Ebene eine besondere Herausforderung darstellt. Hier gilt der Anspruch, dass die Notation der Methode sowohl für die fachlich-konzeptionelle Modellierung als auch für ausführbare Geschäftsprozesse geeignet ist. Hinsichtlich der Anforderungen und der Zielsetzungen sollen die beiden vorgestellten Modellierungsmethoden näher betrachtet werden.

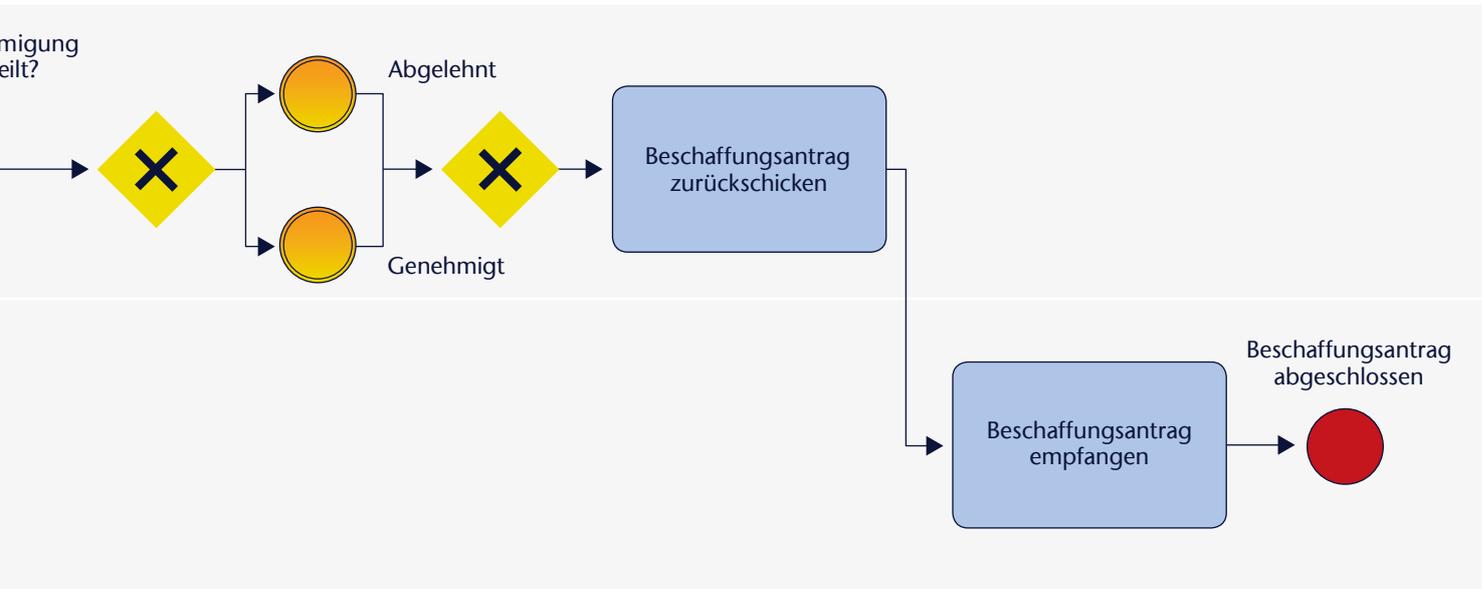
Zielsetzung der EPK-Methode ist es, auf der fachlich-konzeptionellen Ebene EPKs zu modellieren. Im Mittelpunkt stehen hier Kontrollflüsse, die Geschäftsprozesse in einer zeitlich und logischen Reihenfolge beschreiben. Um weitere Aspekte der Geschäftsprozessmodellierung zu berücksichtigen, lassen sich zusätzliche Elemente wie beispielsweise Rollen, Organisationseinheiten und Informationsobjekte in das Modell integrieren, die sich in einem eEPK widerspiegeln. Die EPK-Methode hat sich gerade im deutschsprachigen Raum sehr etabliert und sich

in vielen Unternehmen als führende Methode für die Modellierung von Geschäftsprozessen entwickelt (Gadatsch 2010). Hinzu kommt die Verbreitung der Methode durch das Modellierungswerkzeug ARIS, das auch zentraler Bestandteil des SAP-Systems ist. Nicht nur das aktuelle ARIS Business Architect & Designer der Software AG, sondern viele andere Modellierungstools unterstützen diese Form der Modellierung. Die EPK-Methode zeichnet sich durch die einfache Beschreibung von standardisierten Abläufen wie durch die große Nähe zu Standard-Softwaresystemen aus. Hinzu kommt, dass in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Geschäftsprozess-Referenzmodellen entwickelt wurde.

Die EPK-Methode hat sich bisher nicht als formaler Standard durchsetzen können, wird aber in vielen Unternehmensbereichen als de-facto-Standard betrachtet. Neben der Problematik der Abbildung von kreativen und komplexen Geschäftsprozessen lassen sich nur bedingt Kontroll- und Überwachungsstrukturen modellieren. Aufgrund der strengen Modellierungsregel, dass eine alternierende Folge von Ereignissen und Funktionen gefordert wird, gestaltet sich eine aussagekräftige Benennung von Ereignissen häufig als problematisch. Oft haben Ereignisse keinen zusätzlichen Informationsgehalt und erscheinen redundant. Dies

führt in der Praxis dazu, dass auf die Darstellung von Ereignissen oft verzichtet wird. Für die Simulation von Geschäftsprozessen ist die EPK-Methode nur eingeschränkt geeignet. Die Modellierungsmethode unterstützt keine präzise Definition von Verzweigungsbedingungen wie beispielsweise die Angabe von Wahrscheinlichkeiten. Die Modellierung von Bedingungsparametern lässt sich nur eingeschränkt umsetzen. Aufgrund des Fachkonzepts und der damit verbundenen fehlenden Workflowmodellierung ist die Überführung in ein produktives Workflow Management System (WMS) nicht möglich. In Müller 2012 wird gezeigt, dass diese Nachteile von EPKs durch die Definition geeigneter Attribute behoben werden können. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie eine individuelle Erweiterung und kein allgemein akzeptierter Standard sind.

Laut Spezifikation von BPMN wird das Ziel verfolgt, sowohl die Modellierung von Geschäftsprozessen als auch deren Ausführung zu berücksichtigen. Damit wird der komplette Zyklus von der Modellierung bis hin zur Implementierung realisiert. Die Notation hat den Anspruch, eine Brücke zu bilden zwischen der fachlich-konzeptionellen und der operativen Ebene, also zwischen dem Fachkonzept und der IT-Lösung. Auf der fachlichen Ebene besteht ein wichtiger Unterschied zur EPK



durch die klare Zuordnung von Rollen und Organisationsstrukturen mithilfe von Swimlanes. Gegenüber der EPK-Methode lassen sich mit BPMN aufgrund der Notation Wartezeiten und die Dauer von Aktivitäten modellieren. In Zukunft soll es den Nutzern der BPMN möglich sein, auf der fachlichen Ebene technisch ausführbare Modelle zu entwickeln oder solche, aus denen so genannte Workflows abgeleitet werden können, die sich dann mithilfe von Process Engines eines Workflow Management Systems ausführen lassen.

BPMN entstand ursprünglich in Hinblick darauf, ausführbare Geschäftsprozesse zu modellieren, um sie mit einem WMS ausführen zu lassen. Mit dem Anspruch an die Notation, sowohl fachliche als auch technische Prozessmodelle entwickeln zu können, wird die Zukunft zeigen, wie dies in der Praxis von den Anwendern akzeptiert wird. Denn die Anforderungen an die Modellierung von fachlichen und technischen Geschäftsprozessen sind sehr unterschiedlich. Auf der fachlichen Seite steht der Prozessablauf im Vordergrund und zu viele Detailbeschreibungen wirken sich nur störend auf das Prozessmodell aus. Bei der Modellierung von technischen Prozessen sind hingegen konkrete Vorgaben notwendig, wie sich Prozesse unter welchen Bedingungen eindeutig zu verhalten haben. Hinzu kommt eine hohe Anzahl

EPK	BPMN	Bedeutung
		Ereignisse (BPMN): - Startereignis - Zwischenereignis - Endereignis
		Funktion (EPK) Task (BPMN)
		Prozessschnittstelle (EPK) Subprocess (BPMN)
		Konnektoren (EPK)/Gateways (BPMN): - Exklusives ODER/Gateway - ODER/Inklusives Gateway - UND/Paralleles Gateway
		Kontrollfluss (EPK) Sequenzfluss (BPMN)
		Datenfluss (EPK) Nachrichtenfluss (BPMN)
		Zuordnung (EPK) Assoziation (BPMN)
 		Rolle/Organisationseinheit (EPK) Swimlane (BPMN)
		Informationsobjekt (EPK) Datenobjekt (BPMN)

Abb. 5) Gegenüberstellung einiger EPK- und BPMN-Elemente sowie Beispiele für eine Transformation

verschiedener grafischer Elemente, deren Eingrenzung in Zukunft notwendig sein wird, um auf fachlicher Ebene die nötige Akzeptanz zu erreichen. Durch die Übernahme der OMG und der Internationalität hat die BPMN dennoch gute Chancen, ein weltweiter Standard für die Geschäftsprozessmodellierung zu werden. Hinzu kommt die Weiterentwicklung und aktive Unterstützung namhafter Softwarehersteller wie beispielsweise SAP, Oracle und IBM.

#### » IV. TRANSFORMATION VON EPK IN BPMN

In vielen Unternehmen besteht heute der Wunsch, quasi auf Knopfdruck, die auf fachlicher Ebene modellierten Geschäftsprozesse als Workflow mithilfe eines Workflow Management Systems ausführen zu lassen. Viele in der Vergangenheit modellierten Geschäftsprozesse basieren auf der EPK-Methode. Es stellt sich die Frage, ob es möglich ist und mit welchem Aufwand die Überführung in den BPMN-Standard verbunden ist. Prinzipiell ist eine Transformation von EPK zu BPMN durchführbar, da die Elemente der EPK und die syntaktischen Regeln eine Teilmenge von BPMN sind. Problematisch ist eine vollautomatische Transformation, da es doch zu viele Optionen gibt. Abbildung 5 zeigt eine Gegenüberstellung der grafischen Elemente.

Für die Transformation von Geschäftsprozessen von der EPK-Methode zum BPMN-Standard sind entsprechende Regeln zu definieren, so dass kein Informationsverlust entsteht. Prinzipiell sind folgende Fragen bei der Überprüfung zu klären:

- Gibt es ein BPMN-Element oder eine Kombination von Elementen, welches bzw. welche die Semantik eines EPK-Elements vollständig ersetzt?
- Falls kein vollwertiger Ersatz vorliegt, welches Element steht semantisch einem BPMN-Element am nächsten?
- Ist die Abbildung eindeutig oder lassen sich mehrere EPK-Elemente auf ein BPMN-Element übertragen?

- Wie hoch ist der Informationsverlust, wenn die Abbildung der Elemente nicht eindeutig ist?

Bedingung einer Transformation ist natürlich, dass beide Modelle vollständig konform sind, so dass kein Informationsverlust entsteht (Decker et al. 2009, Kotsev et al. 2011). Im Folgenden soll die Transformation einiger Elemente kurz dargestellt werden.

Die Funktion in einer EPK findet ihr Pendant in der Task. Da auslösende Ereignisse kurzlebige Aktivitäten innerhalb eines Prozesses repräsentieren, lässt BPMN eine weiterführende Typisierung von Aktivitäten zu. Daher können Funktionen in bestimmten Fällen mit auslösenden Zwischen- und Endereignissen transformiert werden. Ereignisse in EPKs symbolisieren einen bestimmten Zustand. Da Ereignisse keinen nennenswerten Informationsgehalt darstellen, werden sie in BPMN auch nicht berücksichtigt. Sollen trotzdem Prozesszustände modelliert werden, stehen Datenobjekte mit entsprechenden Zusatzattributen zur Verfügung. Ein interessanter Aspekt sind Startereignisse, da sie in EPKs sowohl Zustände als auch Auslöser einer Funktion, so genannte Trigger repräsentieren können. BPMN unterscheidet mehrere Typen von Triggeroptionen. Die Ermittlung des Triggertyps erfolgt durch die Beschriftung oder durch den Prozesskontext. Hat ein EPK nur ein Startereignis, so wird es in BPMN ebenfalls in nur einem Startereignis abgebildet. Sind dagegen mehrere Startereignisse vorhanden, so kann eine Transformation nur in bestimmten Fällen erfolgen. Handelt es sich um alternative Startereignisse, d. h., es folgt eine Zusammenführung der Kontrollflüsse durch einen XOR-Konnektor, kann jedes EPK-Startereignis in ein BPMN-Startereignis transformiert werden. Handelt es sich nicht um alternative Startereignisse, so ist unter Berücksichtigung der Beschriftung zu prüfen, ob es mehr als einen Trigger unter den Startereignissen gibt. Ist nur ein Trigger vorhanden, wird wieder in ein BPMN-Startereignis übersetzt. Sind mehrere Trigger vorhanden, deren Kontrollflüsse durch UND- oder ODER-Konnektoren zusammengeführt werden, ist eine exakte Abbildung unter Beibehaltung einer vergleichbaren syntaktischen Struktur in ein BPMN-

Modell nicht möglich. Hier ist nur eine Sequenzialisierung der parallelen Struktur denkbar. Dies hat wiederum eine Redundanz von Ereignissen zur Folge, die nicht zum besseren Verständnis des Modells beiträgt.

Konnektoren werden in BPMN mithilfe von Gateways symbolisiert. UND-Konnektoren werden in parallele Gateways, ODER-Konnektoren in datenbasierte inklusive Gateways und XOR-Konnektoren in datenbasierte exklusive Gateways überführt. Problematisch ist es bei ODER-Verbindungen, da hier die Semantik nicht eindeutig ist. In EPK-Modellen werden nach Konnektoren Verzweigungsbedingungen durch Ereignisse gekennzeichnet, während BPMN hierfür Kantenbeschriftungen notiert. Organisationseinheiten und Rollen werden in EPKs als erweiterte Informationsobjekte an Funktionen notiert, in BPMN werden sie als Pools und Lanes dargestellt. Probleme treten dann auf, wenn mehrere Organisationen und/oder Rollen mit einer Funktion verknüpft sind. Bei der Transformation sind mehrere Lösungen möglich. In EPKs gibt es für Prozessschnittstellen zwei unterschiedliche Ausprägungen: die horizontale und vertikale Prozessschnittstelle, die im ARIS-Konzept auch als Hinterlegung bekannt ist. Die horizontale Prozessschnittstelle verbindet zwei gleichrangige Prozesse. In BPMN wird die Darstellung mittels Link-Ereignissen realisiert. Die vertikale Prozessschnittstelle entspricht einem Unterprozess in BPMN. Ob nun ein Link-Ereignis oder ein Unterprozess vorliegt, lässt sich beispielsweise klären, indem geprüft wird, ob eine Prozessschnittstelle ein Vorgängerelement und ein Nachfolgerelement aufweist. Ein Datenobjekt eines EPK-Modells wird direkt mithilfe einer gerichteten Assoziation in BPMN abgebildet.

Wie dargestellt, lassen sich viele Elemente eines EPKs in ein BPMN-Modell überführen, wenn nicht durchgehend vollautomatisch, dann aber zumindest halb automatisch. Zentrale Forderung ist natürlich, dass bei der Transformation kein Informationsverlust entsteht, so dass das Quell- und Zielmodell identisch ist. Die Überführung von EPKs nach BPMN könnte dem Wunsch vieler Unternehmen ein Stück näher kommen,

die auf der Basis von EPKs entwickelten Geschäftsprozessmodelle als technische Prozesse ausführen zu lassen. Somit könnten die in der Vergangenheit investierten Modellierungskosten gerechtfertigt werden. So wie der BPMN-Standard Regeln für die Transformation eines Business-Modells in die Ausführungssprache Business Process Execution Language (BPEL) unterstützt, ist als alternativer Ansatz die Transformation von EPK nach BPEL in Betracht zu ziehen. (Stein und Ivanov 2007). BPEL ist eine XML-basierte Auszeichnungssprache für die Prozessautomatisierung. Grundlage des Transformationsverfahrens sind so genannte gemeinsame Workflow-Pattern sowohl in EPKs als auch BPEL. Ein konkreter Ansatz wird von der Software AG mit „Model-to-Execute“ verfolgt. Hier findet eine Integration von ARIS und WebMethods statt, die Anwendern eine einfache Überführung von fachlichen Prozessmodellen in technisch ausführbare Modelle erlauben soll. Für die Transformation wird BPMN 2.0 sowohl von der ARIS- als auch von der WebMethods-Komponente unterstützt (Funke 2010).

## » V. ZUSAMMENFASSUNG

EPKs sind relativ einfach anzuwenden, da sie im Wesentlichen nur aus Funktionen, Ereignissen, Konnektoren und Kontrollflüssen bestehen. Die Modellierungsmethode zeichnet sich durch ihre einfache, intuitive Art und Weise aus und ist durch eine gute Interpretierbarkeit und hohe Verständlichkeit geprägt. Insbesondere die Verknüpfung von EPKs mit dem Sichtenkonzept der ARIS-Methode steuert im hohen Maße zum Verständnis bei. EPKs erfüllen grundsätzlich die fachlichen Anforderungen, die für die Geschäftsprozessmodellierung gestellt werden. Die Modellierungsmethode stößt aber aufgrund des Fachkonzepts an ihre Grenzen, da ihr die Möglichkeit der Umsetzung in automatisierte Workflows fehlt. Die Software AG stellt inzwischen gleichermaßen sowohl EPK als auch BPMN als Modellierungsmethode in ihren Softwareprodukten im Bereich BPM zur Verfügung.

Der Urgedanke der Entwicklung von BPMN war die Modellierung von

Prozessen, die mittels einer Process Engine eines Workflow Management Systems ausgeführt werden können. Inzwischen eignet sich BPMN auch für die Modellierung von Geschäftsprozessen auf fachlicher Ebene, so dass damit der Kreislauf bis hin zur IT-Lösung geschlossen ist. Die BPMN-Modellierungsmethode kommt dem Wunsch vieler Unternehmen nach, auf fachlicher Ebene „gleichzeitig“ ausführbare Prozesse zu entwickeln.

Mit BPMN wird eine Modellierungsmethode zur Verfügung gestellt, mit der umfangreiche und detaillierte Geschäftsprozessmodelle entwickelt werden können. Für die Modellierung werden inzwischen mehr als 100 Elemente mit einer ausgeprägten Semantik bereit gestellt. Aufgrund dieses Symbolumfangs besteht aber auch die Gefahr, dass in der Praxis umfangreiche und detaillierte Modelle entstehen, die nicht unbedingt zum Verständnis der Anwender beitragen. Inzwischen gibt es kritische Stimmen hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit von BPMN. Es werden wohl in Zukunft weiterhin entsprechend den Anforderungen und den Zielgruppen im Umfang unterschiedliche Prozessmodelle entwickelt werden. Von einem Mitglied der OMG wird gar eine Unterteilung der Notationselemente in vier Klassen vorgeschlagen, von „simple“ mit nur sieben Elementen bis hin zur Klasse „complete“ (Shapiro 2010).

Aufgrund der Übernahme durch die OMG als wichtige Institution im IT-Bereich und durch weltweit agierende Standardisierungsgremien, hat BPMN dennoch große Chancen, als Standard im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung akzeptiert zu werden. Hinzu kommt eine agile Community der BPMN-Modellierung sowie die Existenz von über 70 Herstellern von Modellierungstools, die diese Methode inzwischen unterstützen.

## LITERATUR

- Allweyer, T. (2009): BPMN 2.0 – Business Process Model and Notation, 2. Auflage, Books on Demand, Norderstedt.
- Bösing, K. D. (2005): Methodologie zur Optimierung von Geschäftsprozessen. In: Wissenschaftliche Beiträge der TH Wildau [FH], 19–26, Wildau.
- Decker, G., Tscheschner, W., Puchan, J. (2009): Migration von EPK zu BPMN. In: EPK 2009, Geschäftsprozessmanagement mit Ereignisgesteuerten Prozessketten, Proceeding, 91–109, Nüttgens, M. Rump, F. J., Mendling, J., Gehrke, N. (Hrsg.), 8. Workshop der Gesellschaft für Informatik e.V., Berlin.
- Funke, S. (2010): Software AG komplettiert ihre Prozessplattform, Computerwoche, 10.12.2010, <http://www.computerwoche.de/software/software-infrastruktur/2359954>, Zugriff: 10.09.2012.
- Gadatsch, A. (2010): Grundkurs Geschäftsprozess-Management, 6. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Freund, J., Rücker, B. (2012): Praxishandbuch BPMN 2.0, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München.
- Kotsev, V., Stanev, I., Grigoroava, K. (2011): BPMN-EPC-BPMN Converter. In: Imagination, Creativity, Design, Development, Proceeding of the International Students Conference on Informatics, ICDD, 150–156, Simian, D. (Ed.), Sibiu, Romania.
- Müller, Chr. (2012): Generation of EPC based Simulation Models. In: ECMS 2012, Proceedings, 301–305, 26. European Conference on Modelling and Simulation, Troitzsch, K. G., Möhring M., Lotzmann, U. (Eds.), Universität Koblenz-Landau, Koblenz.
- Object Management Group (2011): Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0, <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>, Zugriff: 08.09.2012.
- Scheer, A.-W. (2006): ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem, 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- Shapiro, R. (2010): Update on BPMN Release 2.0, February 3, 2010, <http://www.wfmc.org/download-document/bpmn-2.0-industry-update-presentation.html>, Zugriff: 10.09.2012.
- Slama, D., Nelius, R. (2011): Enterprise BPM, 1. Auflage, dpunkt.verlag, Heidelberg.
- Staud, J. (2006): Geschäftsprozessanalyse: Ereignisorientierte Prozessketten und objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung für Betriebswirtschaftliche Standard Software, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin.
- Stein, S., Ivanov, K. (2007): EPK nach BPEL Transformation als Voraussetzung für praktische Umsetzung einer SOA. In: Software Engineering 2007, 75–80, Böttinger, S. Theuvsen, S. L. Rank, S. Morgenstern, M. (Eds.), Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik, Hamburg.
- Strasser, A., Wittek, M. (2012): IT-Compliance, Informatik Spektrum, Band 25, Heft 1, Februar 2012, 39–44, Springer-Verlag, Berlin.

## AUTOR

**Prof. Dr. Klaus D. Bösing**  
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik  
 Fachgebiet Software Engineering  
 TH Wildau [FH]  
 Telefon: +49 (0) 3375 / 508-952  
[klaus.boesing@th-wildau.de](mailto:klaus.boesing@th-wildau.de)

# PERSONALEINSATZPLANUNG FÜR BODENVERKEHRSDIENSTE – Ein exakter Algorithmus

Ralf Szymanski

## Zusammenfassung

Die Bodenverkehrsdienste (BVD) bewältigen auf den Flughäfen die Frachtgut- bzw. Gepäckabfertigung, die technischen Abfertigungen und die Innenreinigung von Flugzeugen. Neben den qualitativen Standards ist es zunehmend wichtiger, betriebswirtschaftliche effiziente Strukturen aufzubauen.

Ziel der Personaleinsatzplanung ist es, die nichtproduktiven Wartezeiten zwischen den Abflügen zu minimieren. Ein kostenminimaler Einsatzplan bestimmt den Arbeitsbeginn sowie die Arbeitsdauer des Personals – also wann, wie viele Personen für wie lange zu arbeiten haben.

Es werden Modelle präsentiert, die auf variablen Arbeitsschichten des Personals von mindestens 3-Stunden – bis maximal 10-Stunden-Schichten basieren. Ein Schwerpunkt ist die Analyse unterschiedlicher Mindestdauern der Arbeitszeiten von 3, 3 ½ und 4 Stunden. Die Lösungen der Modelle werden mit einem exakten mathematischen Verfahren auf einem handelsüblichen PC berechnet.

Bei einem realen Rechenbeispiel der Be- und Entladung von Flugzeugen wurden die Modelle mit unterschiedlichen Mindestschichtdauern verglichen. Es zeigte sich ein Unterschied von 7,8% bei den Personalkosten und 3,4% bei der Arbeitsproduktivität, wobei sich das 3-Stunden-Modell als effizienter erwies.

## Abstract

Ground Air Scheduling handles work tasks like cabin cleaning, loading, etc. at terminal airports. A high quality standard and efficient structures become more and more important.

Personal scheduling performs the minimization of the non-productive time between the flights. So the resulting schedule minimizes costs. It specifies how many employees are needed – including start and end working time.

Specific models contain a variable working time from 3 to 10 hours a day. Different minimum working time of 3, 3 ½ and 4 hours are analyzed. The solution processes are done with a discrete mathematical algorithm on a standard PC.

A real life example of loading an aircraft with different minimum working times is processed. The minimum working time of 3 hours saves 7.8% costs respectively 3.4% productivity.

## » I. EINLEITUNG

Der Betrieb von Flughäfen beinhaltet eine Vielzahl von Planungsaufgaben. Eine davon ist die Planung des Personaleinsatzes der Bodenverkehrsdienste (BVD). Die Tätigkeiten der BVD umfassen das Betanken, Rangieren, Reinigen sowie die Be- und Entladung von Flugzeugen. Aufgrund dieser Aufgaben ist es nachvollziehbar, dass ca. 2/3 der Mitarbeiter eines Flughafens im Bereich der BVD tätig sind (Newsroom ADV deutsche Verkehrsflughäfen 2012b).

Die aktuelle Situation ist durch eine geplante Neuregelung der EU-Kommission geprägt. Bei der ersten Marktöffnung durch die EU-Kommission 1996 gelang es, die Preise der BVD um bis zu 25% zu senken. Hauptursächlich ist dies durch die Möglichkeit eines zweiten BVD-Dienstes für die Flughäfen

ermöglicht worden. Bezüglich der Personaleinsatzplanung bedeutet jeder weitere BVD-Anbieter an einem Flughafen eine potentielle Verschlechterung. Denn viele Abfertigungen sind relativ leicht zu planen, weil das notwendige Personal kontinuierlich beschäftigt wird. Seit der Marktöffnung von 1996 müssen die BVD-Anbieter nun mehr fragmentierte Arbeitseinsätze berücksichtigen – also Arbeitseinsätze, mit nicht durchgängig zu beschäftigten Mitarbeitern. Somit ist ein entscheidender Indikator die Arbeitsproduktivität bzw. die effektive Arbeitszeit, die ein Mitarbeiter aktiv beschäftigt werden kann. Aufgrund des personalintensiven Aufgabenbereichs bestreiten die ca. 20.000 BVD-Mitarbeiter in Deutschland ca. 70% der Gesamtkosten der BVD-Anbieter (Newsroom ADV deutsche Verkehrsflughäfen 2012a/b).

Es ist zu befürchten, dass weitere Kosteneinsparungen zu einer qualitativen Verschlechterung der Abfertigungsprozesse führen. Auslösende Faktoren hierfür sind der internationale Wettbewerb im Luftverkehr sowie das Kostenmanagement der Fluggesellschaften.

## » II. PERSONALEINSATZPLANUNG FÜR BODENVERKEHRSDIENSTE

Die Herausforderung eines optimalen Personaleinsatzes für die BVD ist es, die nichtproduktive, wartende Arbeitszeit zu minimieren. Dies ist ideal, wenn es sehr viele oder sehr wenige abzufertigende Flugzeuge gibt. Schwieriger wird die Situation, wenn es unvermeidliche Wartezeiten geben muss. Eine Möglichkeit wäre es, dies durch zeitspezifische Abfertigungsgebühren direkt an den Kunden

weiterzureichen bzw. die Planung der Personaleinsätze zu verbessern. Rahmenbedingungen sind tarifliche und gesetzliche Bestimmungen zu der Anzahl von Mindeststunden je Schicht sowie den Pausenregelungen eines Mitarbeiters. Im Folgenden werden die Be- und Entladung von abzufertigenden Flugzeugen betrachtet.

Da es sich hierbei um eine computergestützte Planung handelt, gilt es – wie generell bei Softwareprojekten – der Spezifikation von Datenschnittstellen die größtmögliche Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu widmen. Selbstverständlich sollten die Datenschnittstellen so beschaffen sein, dass zukünftige Änderungen bzw. Ergänzungen ohne großen Aufwand erfolgen können. Außerdem sollen die Strukturen denen bestehenden Arbeitsablaufs ähneln, da somit Eingabefehler reduziert werden.

Die Mitarbeiter werden aktuell in drei Qualifikationskategorien eingeteilt, wobei jede eine beispielhafte spezifische Entlohnung in Euro [€] je Stunde [h] beinhaltet, die auch Zuschläge für Feiertags-, Wochenend- und Nachtschichten ermöglicht:

Id	Bezeichnung	€/h	Feiertag	Wochenende	Nacht
LM	Loadmanager	15,-	+ 50%	+ 50%	+ 25%
FA	Flugabfertiger	10,-	+ 50%	+ 50%	+ 25%
LO	Loader	8,-	+ 50%	+ 50%	+ 25%

Zusätzlich sind beispielhafte Pausenregelungen in Abhängigkeit der Arbeitszeit zu erfassen:

Arbeitszeit in [h]	Pausenlänge
≤ 4,5	0 Minuten
≤ 6	15 Minuten
≤ 9	30 Minuten
> 9	60 Minuten

Ein weiterer Parameter begrenzt für die Optimierung die maximale Nettoarbeitszeit auf 10,5 Stunden.

Aus Gründen der Benutzer- bzw. Bedienfreundlichkeit des Systems gibt es ein dreistufiges Konzept zur Eingabe der Arbeitseinsätze für die Mitarbeiter (je Qualifikationsstufe).

Als Standard gibt es die Hinterlegung der Arbeitsminuten vor und nach einer Ankunft sowie vor und nach eines Abflugs pro Flugzeugtyp. Zusätzlich gibt es die Option, fluglinienspezifische Informationen je Flugzeugtyp einer Airline zu hinterlegen. Beide Möglichkeiten können dann noch mit den Informationen des Flugplans „überschrieben“ werden.

Die folgende Tabelle beinhaltet den Ressourcenbedarf an Mitarbeitern mit der Qualifikationsstufe „LM“. Bleibt die Airline-Spalte frei, dann ist dies der Standard-Vorgabewert (Auszug):

Flugzeugtyp	Airline	LM	vA	nA	vD	nD
A320		1	10	10	40	5
A320	AB	1	15		50	
A320	XY	1	0	10	30	
B737		1	10		40	5
B737	AB	1	15		50	

LM: Anzahl der benötigten Loadmanager  
 vA: Vorbereitungszeit vor der Ankunft in Minuten  
 nA: Nachbereitungszeit nach der Ankunft in Minuten  
 vD: Vorbereitungszeit vor dem Abflug in Minuten  
 nD: Nachbereitungszeit nach dem Abflug in Minuten

Diese Tabelle gibt es für jede Qualifikationsstufe der Mitarbeiter (LM, FA und LD).

**Der wöchentliche Flugplan spezifiziert den Planungsgegenstand (Auszug):**

**Beispiel:**

Eine B737 der Airline „XY“ landet am Montag, Mittwoch und Freitag um 10:00 Uhr aus „FRA“ kommend und startet wieder um 12:00 Uhr nach „CNG“

Flugzeugtyp	Airline	M	D	M	D	F	S	S	A	A#	from	D	D#	to
B737	XY	x		x		x			10:00	3222	FRA	12:00	4432	CNG

MDMDFSS: „x“ = Flug findet an dem Tag der Woche statt  
 A: Ankunftszeit  
 A#: Flugnummer bei der Ankunft  
 from: Startflughafen  
 D: Abflugszeit  
 D#: Flugnummer bei dem Abflug  
 to: Zielflughafen

Es ist anzumerken, dass eine individuelle Zuordnung der Mitarbeiter zu realen Personen nicht Zielsetzung dieser Personaleinsatzoptimierung ist. Es wird „nur“ der kostenminimale Bedarf ermittelt. Somit werden weder eine Mindeststundenanzahl noch ein individualisiertes Stundenkonten für die Mitarbeiter benötigt. Dies ist allerdings mit relativ geringem Aufwand nachträglich zu realisieren. Im Fokus stehen daher die Handhabbarkeit des Verfahrens sowie die Möglichkeit, Trendrechnungen für unterschiedliche Mindestarbeitsstunden je Schicht zu evaluieren.

Die Arbeitszeit der Mitarbeiter kann zu einer beliebigen Viertelstunde beginnen – also z. B. um 8:00 Uhr, 8:15 Uhr, 8:30 Uhr, etc.

**Die Ausgabe der Optimierungslösung erfolgt in folgender Struktur (Auszug):**

Wochentag	Qualifikation	Beginn	Dauer
Montag	LM	06:00	4,5 Stunden
Montag	LM	06:00	4,5 Stunden
Montag	FA	06:00	4,5 Stunden
Montag	LD	06:00	4,5 Stunden
Montag	LD	07:15	4,0 Stunden

**Anmerkung zur Lösungsausgabe:**  
 Es hätte auch eine weitere Spalte mit der Anzahl der benötigten Mitarbeiter eingefügt werden können, der Vorteil dieser Lösung ist es allerdings, dass hierbei gleich in einer weiteren Spalte der Name des Mitarbeiters eingetragen werden kann.

» III. MATHEMATISCHE MODELLFORMULIERUNG

Der Flugplan und Ressourcenbedarf an Mitarbeitern werden zu einer Bedarfstabelle zusammengeführt.

**Indexmengen und Indizes**

Q: Menge der Qualitätsniveaus der Mitarbeiter,  $q \in Q$

T: Menge der Zeitperioden a 15 Minuten einer Woche,  $t \in T$

Ta: Menge der Zeitperioden t, die d-1 Zeitperioden vor t liegen

D: Menge der Arbeitszeiten (Dauer in ¼-Stunden) eines Mitarbeiters,  $d \in D$

**Daten**

Bedarf<sub>q,t</sub>: Anzahl an Mitarbeitern mit dem Qualitätsniveau q in der Zeitperiode t

c<sub>q,t,d</sub>: Kosten eines Mitarbeiters mit dem Qualitätsniveau q, der in der t Zeitperiode beginnt und d¼-Stunden arbeitet inklusive der Nacht-, Feiertags- und Wochenendzuschläge.

M: Maximale Anzahl von benötigten Mitarbeitern

**Entscheidungsvariablen**

y<sub>q,t,d</sub>: Anzahl der Mitarbeiter mit dem Qualitätsniveau q, die zum Zeitpunkt t anfangen und d ¼-Stunden arbeiten.

**Zielfunktion**

$$\min \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} \sum_{d \in D} c_{q,t,d} y_{q,t,d}$$

**Restriktionen**

1. Block – Bedarf an Mitarbeitern ist zu decken

$$\sum_{d \in D} \sum_{t \in T_d} y_{q,t,d} \geq \text{Bedarf}_{q,t}$$

für alle  $q \in Q, t \in T$

**Nichtnegativitäten**

y<sub>q,t,d</sub> ∈ {0, 1, 2, ..., M}  
 für alle  $q \in Q, t \in T, d \in D$

» IV. NUMERISCHE RESULTATE

Der Modellgenerator und die Lösungsaufbereitung wurden in FORTRAN implementiert. Die Verwaltung der Informationen und die Benutzerschnittstelle wurden mit einem handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogramm realisiert. Das mathematische Optimierungssystem MOPS (Suhl 1994) in der Version 9.25 diente zur Lösung der Modelle auf einem Intel Core Duo 2,81 GHz, 4GB RAM.

Es sind drei unterschiedliche mathematische Modelle evaluiert worden, die sich bezüglich der Mindestdauer der Arbeitszeit unterscheiden: 3, 3½ sowie 4 Stunden (h). Die Datenbasis stammt aus dem Ausschnitt eines *einwöchigen* realen Flugplans mit insgesamt 50 Ankünften und 49 Abflügen.

	3-Stunden-Modell	3½-Stunden-Modell	4-Stunden-Modell
Modelldimensionen: rows x cols x Nonzeros	in Tausend: 1,1 x 20,4 x 581,5	in Tausend: 1,1 x 19,2 x 561,6	in Tausend: 1,1 x 18,1 x 538,9
Lösungszeit in Sekunden:	0,22 secs	0,22 secs	0,11 secs
Arbeitszeiten gesamt: davon produktiv: in Prozent:	1.211,5 h 704,5 h 58,1 %	1.251,7 h 704,5 h 56,3 %	1.303,0 h 704,5 h 54,7 %
Personalkosten gesamt: relativ zum Günstigsten:	28.710,36 € 100 %	29.703,10 € 103,5 %	30.950,29 € 107,8 %
<b>Arbeitseinsatz</b>			
≤ 4,5 h	92,0 %	83,8 %	72,2 %
> 4,5 h und ≤ 6 h	8,0 %	13,9 %	19,1 %
> 6 h und ≤ 9 h	-	2,3 %	8,7 %
> 9 h	-	-	-
<b>Aushilfszeiten</b>			
ein LM als FA:	10,25 h	11,00 h	13 h
ein LM als LD:	1,25 h	1,75 h	-
ein FA als LD:	0,75 h	0,25 h	1 h

**Anmerkung:**

Die Aushilfszeiten geben die Stunden des Arbeitseinsatzes eines Mitarbeiters an, der in einer niedrigeren Qualifikationsstufe tätig ist.

Die detaillierten Ergebnisse je Woche nach Qualifikationsniveau:

Loadmanager	3-Stunden-Modell	3½-Stunden-Modell	4-Stunden-Modell
<b>Arbeitszeiten - LM ges.:</b> davon produktiv: in Prozent:	327,25 h 185,25 h 56,6 %	334,25 h 185,25 h 55,4 %	345,75 h 185,25 h 53,6 %
<b>Personalkosten - LM ges.:</b> relativ zum Günstigsten:	10.057,46 € 100 %	10.286,96 € 102,3 %	10.659,90 € 107,0 %

Flugabfertiger	3-Stunden-Modell	3½-Stunden-Modell	4-Stunden-Modell
<b>Arbeitszeiten - FA ges.:</b> davon produktiv: in Prozent:	474,75 h 291,00 h 61,3 %	493,75 h 291,00 h 58,94 %	514,25 h 291,00 h 56,6 %
<b>Personalkosten - FA ges.:</b> relativ zum Günstigsten:	11.059,94 € 100 %	11.541,19 € 104,4 %	12.047,44 € 108,9 %

Loader	3-Stunden-Modell	3½-Stunden-Modell	4-Stunden-Modell
<b>Arbeitszeiten - LD ges.:</b>	409,50 h	423,75 h	443,00 h
davon produktiv:	228,25 h	228,25 h	228,25 h
in Prozent:	55,7%	53,9%	51,5%
<b>Personalkosten - LD ges.:</b>	7.592,95 €	7.874,95 €	8.242,95 €
relativ zum Günstigsten:	100%	103,7%	108,6%

Es ist auch ein Datendeck mit 1.314 An- und Abflügen berechnet worden. Die Dimensionen des 3-Stunden-Modells betragen (row x cols x nonzeros in Tausend): 1,5 x 52,9 x 2.049,3 und wurden in weniger als einer Minute gelöst. Die Arbeitsproduktivität erreichte dabei ca. 90%.

## » V. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aufgrund der hohen Planungskomplexität der realen BVD-Personaleinsatzplanung ist die Verwendung von exakten mathematischen Methoden möglich. Es sind signifikante Unterschiede für die verschiedenen Mindestschichtdauern am Beispiel der Be- und Entladung von Flugzeugen berechnet worden.

In einem weiterentwickelten Modell sollten auch Szenariorechnungen ermöglicht werden, z. B. um erwartete Ereignisse vorauszuplanen. Zu Bedenken ist selbstverständlich auch die Problematik von Verspätungen im Flugbetrieb.

Besonders interessant wären hierbei ex-poste-Analysen, die eine optimale Personaleinsatzplanung nachträglich berechnen – also nicht auf Basis der geplanten Abfertigungen sondern der realen Ankunfts- und Abflugdaten.

Ein Soll-Ist-Abgleich könnte in einem wissensbasierten System gespeichert werden und für zukünftige Szenariorechnungen planerische De- und Eskalationsfaktoren bereitstellen. Dies sollte zu einer weiteren Verbesserung des betriebswirtschaftlichen Gesamtergebnisses beitragen.

## LITERATURVERZEICHNIS

Suhl U. H. (1994): MOPS – Mathematical OPTimization System. In: European Journal of Operational Research 72, 1994, 312–322.

Newsroom ADV deutsche Verkehrsflughäfen (2012a): Mitarbeiter von Europas Flughäfen wehren sich gegen Lohndumping – Flughafenverband ADV weist Brüsseler Liberalisierungspläne entschieden zurück  
<http://www.presseportal.de/pm/44169/2283654/mitarbeiter-von-europas-flughafen-wehren-sich-gegen-lohndumping-flughafenverband-adv-weist-vom-01.09.2012-um-9:00>.

Newsroom ADV deutsche Verkehrsflughäfen (2012b): EU-Gesetz zu Bodenverkehrsdiensten ruft ver-di auf den Plan  
<http://www.presseportal.de/pm/44169/2125970/eu-gesetz-zu-bodenverkehrsdiensten-ruft-ver-di-auf-den-plan-betriebsversammlungen-an-allen-grossen-vom-01.09.2012-um-8:00>.

## AUTOR

Prof. Dr. Ralf Szymanski  
 TH Wildau [FH]  
 ralf.szymanski@th-wildau.de

# INNOVATION HUB ALS NUKLEUS REGIONALER ENTWICKLUNG

Frank Hartmann, Dana Mietzner, Markus Lahr

## Zusammenfassung

Das Konzept des Innovation Hubs aufgreifend wird im folgenden Beitrag der Frage nachgegangen, ob sich Innovation Hubs auch außerhalb von Stadtzentren entwickeln können und welche Voraussetzungen hierfür erforderlich sind. Basierend auf empirischen Untersuchungen wird diskutiert, ob geeignete Bedingungen für die Entwicklung eines Innovation Hubs im regionalen Wachstumskern Schönefelder Kreuz gegeben sind, und mittels Szenarien antizipiert wie diese Standortbedingungen in einem zukünftigen Innovation Hub ausgeprägt sein könnten.

## Abstract

Taking up the concept of Innovation Hub, the paper will provide answers to the question whether Innovation Hubs can develop also outside of large cities and which conditions are necessary for this. On the basis of empirical studies the article discusses whether suitable regional conditions for the development of an Innovation Hub within the Regional Growth Core Schönefeld Cross are given and how they can be anticipated using scenario techniques.

## » I. FORSCHUNGSANSATZ

Seit einigen Jahren steht das Thema „Innovation Hub“ auf der Forschungsagenda (vgl. Hall 2001, da Cunha 2007). Der Forschungsansatz beruht wesentlich auf der Symbiose von Konzepten zu räumlich konzentrierten Wissens- und Technologiestandorten (beispielsweise Wissenschafts- und Technologieparks) mit denen der Stadtentwicklung bzw. Stadterneuerung. Damit verbinden sich Fragen der Innovationsforschung, etwa die nach der Bedeutung räumlicher Nähe für die Hervorbringung und Durchsetzung von Innovationen, oder die der Offenheit von Innovationsprozessen (vgl. Chesbrough 2006), mit regionalwissenschaftlichen Fragestellungen. Eine zentrale forschungsleitende These aus regionalwissenschaftlicher Perspektive besteht darin, dass durch die Sanierung entwicklungsbedürftiger Stadtgebiete mittels der Integration von Wissenschaft, Technologie, Kultur, Medien, Design und Kunst die Entwicklung sogenannter intelligenter, innovativer bzw. kreativer Städte forciert werden kann (vgl. da Cunha 2007). Man geht davon aus, dass in solchen Stadtgebieten funktionelle „Schmelztiegel“ entstehen können, die entgegen bisheriger sozialwissenschaftlicher Definitionen nicht nur kulturell durchmischt sind, sondern auch eine Vielzahl an innovativen, parallel existierenden

Funktionen in sich vereinen. Beispielhafte Funktionen sind Forschung und Entwicklung, Kultur, Wohnen und Freizeit. Infolge dessen weisen solche Räume eine hohe Dichte von jungen und hochqualifizierten Bewohnern, ein attraktives räumliches Umfeld sowie ein vielfältiges und interessantes kulturelles Leben auf. Diese multifunktionalen räumlichen Einheiten (Quartiere bzw. Stadtteile) können als mögliche Motoren für die Entwicklung von Stadtregionen angesehen werden, um im globalen wirtschaftlichen Wettbewerb bestehen zu können (vgl. Ache 2000). Sie bieten eine Vielzahl an qualitativ hochwertigen Arbeitsplätzen und stellen gleichzeitig einen attraktiven Lebensraum dar, durch den Arbeitskräfte längerfristig an den Standort gebunden werden können.

Fasst man die bisherigen Forschungsarbeiten zusammen und bringt die Sicht der regionalorientierten Innovationsforschung in eine Arbeitsdefinition ein (vgl. Hartmann und Große 2012), lässt sich ein Innovation Hub als ein räumlich konzentrierter Standort zur Hervorbringung und Vermarktung von Innovationen beschreiben, die durch das aufeinander bezogene Agieren von Wissenschaft, Bildung und Wirtschaft in Kombination mit passfähigen Wohnbedingungen sowie Kultur-, Shopping- und Unterhaltungsangeboten befördert werden. Ein Innovation Hub ist

folglich durch eine Vielzahl von Interaktionen zwischen den entsprechenden Akteuren gekennzeichnet und die Grenzen zwischen physischen, digitalen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Räumen werden in ihm aufgehoben. Es bilden sich kreative Communities mit einer großen Dichte an Wissensarbeitern, die eine hohe Lebensqualität suchen, einschließlich sozialer und kultureller Vielfalt sowie digitaler und physischer Erreichbarkeit (vgl. Hall 2001 und da Cunha 2007).

Besonders geeignete Bedingungen für Innovationen entwickeln sich in Stadtregionen, demzufolge durch eine spezifische Integration der oben genannten Funktionen. Wenn dem so ist, und dafür sprechen zahlreiche empirische Befunde (vgl. Florida 2005), und wenn der generelle Trend der Suburbanisierung noch länger anhält (vgl. Mädig 2004, Köppen 2008), stellt sich die Frage, ob sich Innovation Hubs nicht nur in den Zentren großer Metropolen entwickeln können, sondern auch in suburbanen Räumen bzw. peripheren Edge Cities (Garreau 1991).

Dieser Fragestellung wurde im Zuge der Anwendung des Konzepts auf eine konkrete Region nachgegangen. Die Stadt Königs Wusterhausen beauftragte im Jahr 2011 die TH Wildau [FH] zu prüfen, ob begründete Chancen dafür bestehen, ausgehend

von der Entwicklungsdynamik des ehemaligen Schwermaschinenbau-Geländes in Wildau, mit seinen Technologiezentren, Unternehmen und dem Campus der TH Wildau, ein Teilareal des Funckerberges in Königs Wusterhausen zu einem technologisch orientierten Anpark zu entwickeln. Bei dieser Untersuchung wurde von den Autoren die These zugrundegelegt, dass der Funckerberg Bestandteil der integrativen Entwicklung einer umfassenderen Teilregion des Regionalen Wachstumskerns Schönefelder Kreuz sein sollte, die zur Herausbildung eines Innovation Hubs führen könnte (vgl. Abbildung 1). Die Besonderheit eines solchen Innovation Hubs bestünde darin, dass er sich nicht in einer größeren Stadt oder Metropole entwickeln würde, sondern im suburbanen Raum einer Metropole und inmitten einer sich profilierenden Flughafenumfeldregion. Ein solcher Hub könnte sich zur Drehscheibe auf einer der zentralen

Entwicklungachsen der Flughafenumfeldregion Berlin-Brandenburg entwickeln, die von Ludwigsfelde über Dahlewitz und den Flughafen in Schönefeld bis hinein in die Metropole Berlin führt.

## » II. BEDINGUNGEN FÜR DIE ENTWICKLUNG EINES INNOVATION HUBS

Um diese Entwicklungschancen auszuloten, wurden in der bisherigen Literatur zu Innovation Hubs herausgearbeitete zentrale Entwicklungsbedingungen (vgl. da Cunha 2007) mit gängigen „harten“ und „weichen“ Standortfaktoren (vgl. Meyer-Stamer 1999) abgeglichen und ein Faktorensatz erstellt (32 Faktoren). Dieses Faktorensatz wurde inhaltlich weiter unteretzt und durch ein internes Team der Projektbearbeiter, durch Vertreter der Wirtschaftsförderung der Stadt

Königs Wusterhausen und der Gemeinde Wildau, Vertreter des Arbeitskreises Funckerberg, der Wohnungswirtschaft Wildau, von ausgewählten regional ansässigen Unternehmen sowie weiteren Mitarbeitern der TH Wildau als Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken bewertet. Insgesamt gingen die Wertungen von 14 externen Experten in die Bewertung ein.

Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass die überwiegende Zahl der untersuchten 32 Standortfaktoren, die den Bereichen (1) Wirtschaft, (2) Architektur und bauliches Umfeld, (3) Naturraum und räumliche Lage, (4) Kultur und öffentlicher Raum, (5) Verkehrs- und Dateninfrastruktur, (6) Arbeitsmarkt und Sozialstruktur/Bildung zugeordnet wurden, nach Auffassung von Experten und zugrundeliegenden Studien bereits gegenwärtig gut ausgeprägt sind. Es konnten zahlreiche Stärken und Chancen identifiziert werden, was für die erfolgreiche Etablierung eines Innovation



Abb. 1) Innovation Hub Funkerberg

Hubs Funckerberg spricht. Besonders positiv ausgeprägt sind die Standortfaktoren „Ansiedlungsgeschehen“, „Verkehrsinfrastruktur“, „Rolle der Technologie- und Gründerzentren“ sowie „Nähe zu Forschung und Entwicklung“. Allerdings gibt es auch Faktoren, die als nachteilig ausgeprägt bewertet wurden. Zu diesen Faktoren gehören (1) die Identifikation der lokalen Bevölkerung mit einem Innovation Hub sowie ein diesbezügliches Image. Des Weiteren wurden (2) die Multikulturalität, als Ausdruck einer offenen und international orientierten Region, (3) der Lifestyle, im Sinne eines urbanen Lebensstiles, und (4) die Emissionsbelastungen infolge der verkehrstechnischen Einbindung des Standortes als nachteilig ausgeprägt eingeschätzt. Auch der Standortfaktor Governance, als kooperative und zugleich integrierende Form regionaler politischer Gestaltung, muss im Hinblick auf die zügige und entschlossene Entwicklung eines Innovation Hubs Funckerberg gezielt weiterentwickelt werden.

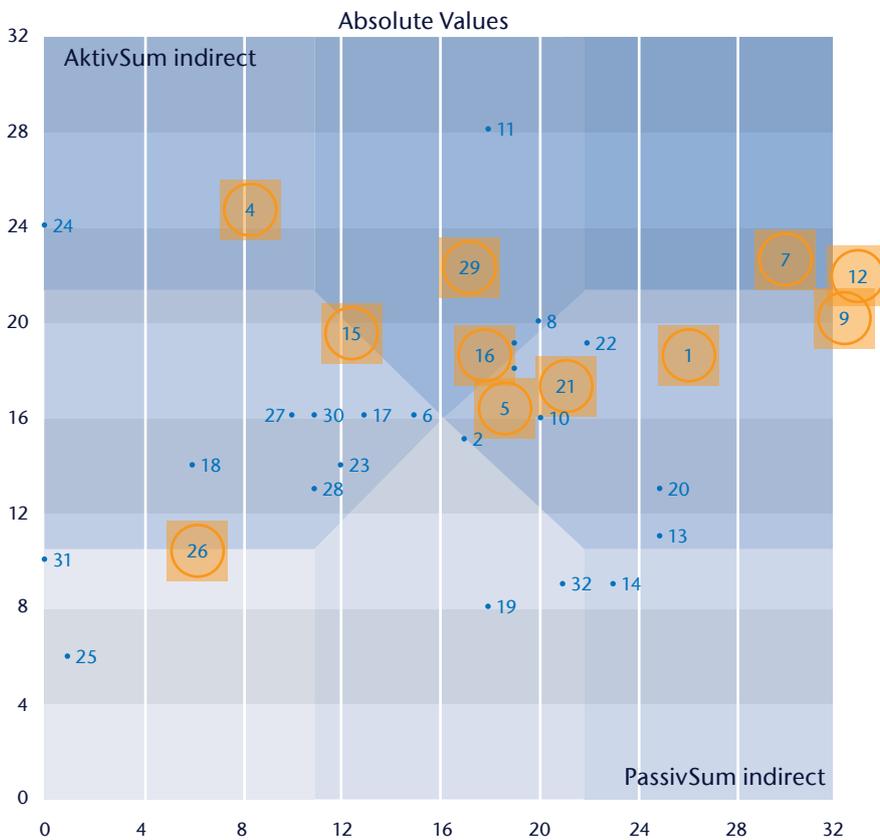
» III. ERARBEITUNG VON SZENARIEN

Aufbauend auf der Konzeptentwicklung zu Innovation Hubs sowie der Analyse und Bewertung förderlicher Entwicklungsbedingungen wurden Szenarien mit dem Zukunftshorizont 2027 entwickelt. Das Ziel der Szenarioanalyse bestand in der Herausarbeitung unterschiedlicher Zukunftsbilder zur Entwicklung des Innovation Hubs Funckerberg. Durch die systematische Entwicklung von Szenarien sollte aufgezeigt werden, wie der Innovation Hub Funckerberg ausgestaltet werden kann und welche Faktoren seine Entwicklung befördern oder hemmen können.

Der Prozess der Szenarioanalyse beginnt generell mit einer systematischen Bestandsaufnahme. Darauf aufbauend werden Einflussfaktoren abgeleitet und in einer Einflussanalyse näher untersucht, mit dem Ziel Schlüsselfaktoren zu identifizieren, welche die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Szenariofeldes signifikant beschreiben.

In einem weiteren Schritt schließt sich die Ableitung von Zukunftsprojektionen an, die dann mithilfe einer Konsistenzanalyse zu Szenarien gebündelt werden. Abschließend werden Szenarien beschrieben (vgl. Gausemeier et al. 1996, Mietzner 2009).

In der Konzeptstudie zum Innovation Hub Funckerberg dienten die identifizierten und bewerteten Standortfaktoren zur erweiterten Beschreibung der Ausgangssituation für die Entwicklung eines Innovation Hubs und wurden im Prozess der Erarbeitung von Szenarien einer Einflussanalyse unterzogen. Zu diesem Zweck wurden die 32 Faktoren durch das Bearbeitungsteam in mehreren Runden zueinander in Beziehung gesetzt und die Stärke der Beziehungen zwischen den Faktoren eingeschätzt. Die Auswertung der Vernetzung der Faktoren (Aktivsummen und Passivsummen) führte zu einem Systemgrid (vgl. Abb. 2), in dem die Faktoren in Abhängigkeit vom Grad ihrer Einflussnahme und in



EINFLUSSFAKTOREN:

- 1 Grad ökonomischer Spezialisierung
- 2 Rolle Kreativwirtschaft
- 3 Entrepreneurship Culture
- 4 Nähe zu FuE
- 5 Institutionelle Kooperation Netzwerke
- 6 Rolle TGZ
- 7 Wirtschaftsstruktur
- 8 Verfügbare Flächen
- 9 Ansiedlungsgeschehen
- 10 Expansionsdruck ansässiger Firmen
- 11 Bildung
- 12 Fachkräfte
- 13 Standortbindung von Studenten
- 14 Sozialstruktur
- 15 Multikulturalität
- 16 Verbindung Wohnen Arbeiten Studieren  
Freizeit
- 17 Architektur
- 18 Raumentwicklungskonzept
- 19 Gestaltung des öffentlichen Raumes
- 20 Identität/Image
- 21 Kultureinrichtungen Angebote
- 22 Lifestyle Dynamik
- 23 Umwelt und Landschaftsqualität
- 24 Räumliche Lage
- 25 Landschaftsbesonderheiten
- 26 Emissionen
- 27 Verkehrsanbindung
- 28 Digitale Infrastruktur
- 29 Regionale Entwicklungsstrategie
- 30 Politisch-administratives Handeln
- 31 public-private-partnership
- 32 Langfristige Projektunterstützung

Abb. 2) Systemgrid für die vernetzten Standortfaktoren

Abhängigkeit vom Grad ihrer Beeinflussbarkeit geclustert wurden. Die zur Berechnung eingesetzte Software<sup>1</sup> berücksichtigt darüber hinaus auch indirekte Beziehungen zwischen den Faktoren. Entsprechend der Positionierung der Faktoren in den Quadranten der Matrix werden Systemhebel, proaktive Knoten, interaktive Knoten, reaktive und proaktive Knoten, Systemindikatoren, reaktive Puffer und unabhängige Puffer unterschieden. Während besonders aktive Faktoren eine größere Zahl anderer Faktoren relativ stark beeinflussen und auch als Systemhebel bezeichnet werden können, werden die interaktiven Knoten gleichzeitig von anderen Faktoren stark beeinflusst. Sie haben großen Einfluss auf das Gesamtsystem, weil sie in dieses sehr stark eingebunden sind. Passive Faktoren werden in hohem Maße von anderen Faktoren beeinflusst, ohne diese in starkem Maße zu beeinflussen. Aus diesem Grund verweisen sie auf mögliche Systemänderungen und eignen sich besonders als Frühwarnindikatoren. Die reaktiven und unabhängigen Puffer sind nur wenig in das System eingebunden und werden in Szenariobildungsprozessen häufig ausgeklammert. Für die Erarbeitung von Szenarien sind somit insbesondere die

Systemhebel sowie die interaktiven und proaktiven Knoten geeignet.

Im daran anschließenden Analyse-schritt wurden für jeden ermittelten Schlüsselfaktor Projektionen, d. h. mehrere alternative Entwicklungsmöglichkeiten, beschrieben. Diese Zukunftsprojektionen sind in der Regel keine quantitativen Prognosen, sondern qualitative Beschreibungen, mit denen sich zukünftige, mögliche Entwicklungen verdeutlichen lassen. Die tatsächliche Szenario-Bildung beginnt mit der Bewertung der Verträglichkeit der einzelnen Zukunftsprojektionen im Rahmen einer Konsistenzanalyse. In diesem Schritt wird untersucht, ob zwei Projektionen in Zukunft zusammen auftreten können. Durch unterschiedliche Annahmen über die Zukunftsentwicklung der treibenden Faktoren können so verschiedene Szenarien entwickelt werden. Es entstehen differenzierte, in sich konsistente Szenarien. Diese werden analysiert, interpretiert und in einer kommunikationsfähigen Form beschrieben.

Im Fallbeispiel wurden für die 11 Schlüsselfaktoren insgesamt 28 Projektionen erarbeitet und auf ihre Konsistenz überprüft. Im Anschluss an

die Konsistenzprüfung erfolgte unter Zuhilfenahme des Softwaretools die Auswahl geeigneter Projektionsbündel als Basis für die entsprechenden Szenarien. Auf der Basis der softwaregestützten Konsistenzanalyse konnten drei Szenariovorschlüsse ermittelt werden. Das erste Szenario beinhaltet die Alleinstellungsmerkmale „Hoher Grad ökonomischer Spezialisierung“ und „innovative und integrierende regionale Entwicklungsstrategie“, das zweite Szenario das zentrale Projektionsbündel „Attraktionsstandort“ und das dritte Szenario die zentralen Projektionsbündeln „Profilbegrenzung“ und „Schrumpfende Wirtschaft“.

Die Clusterung der Szenariovorschlüsse und deren interne Konsistenz zeigt Abbildung 3. Hier wird sichtbar, dass die Szenarien 1 und 3 sehr stark geclustert und in sich „stimmig“ sind. Das Szenario 2 weicht hiervon etwas ab und ist nicht in diesem hohen Maße konsistent und wurde demzufolge nicht ausformuliert.

Das erste Szenario „Innovation Hub Funkeberg als Motor der Flughafen-umfeldregion“ beschreibt eine positive Zukunftsentwicklung ausgewählter Schlüsselfaktoren. Das Szenario ist

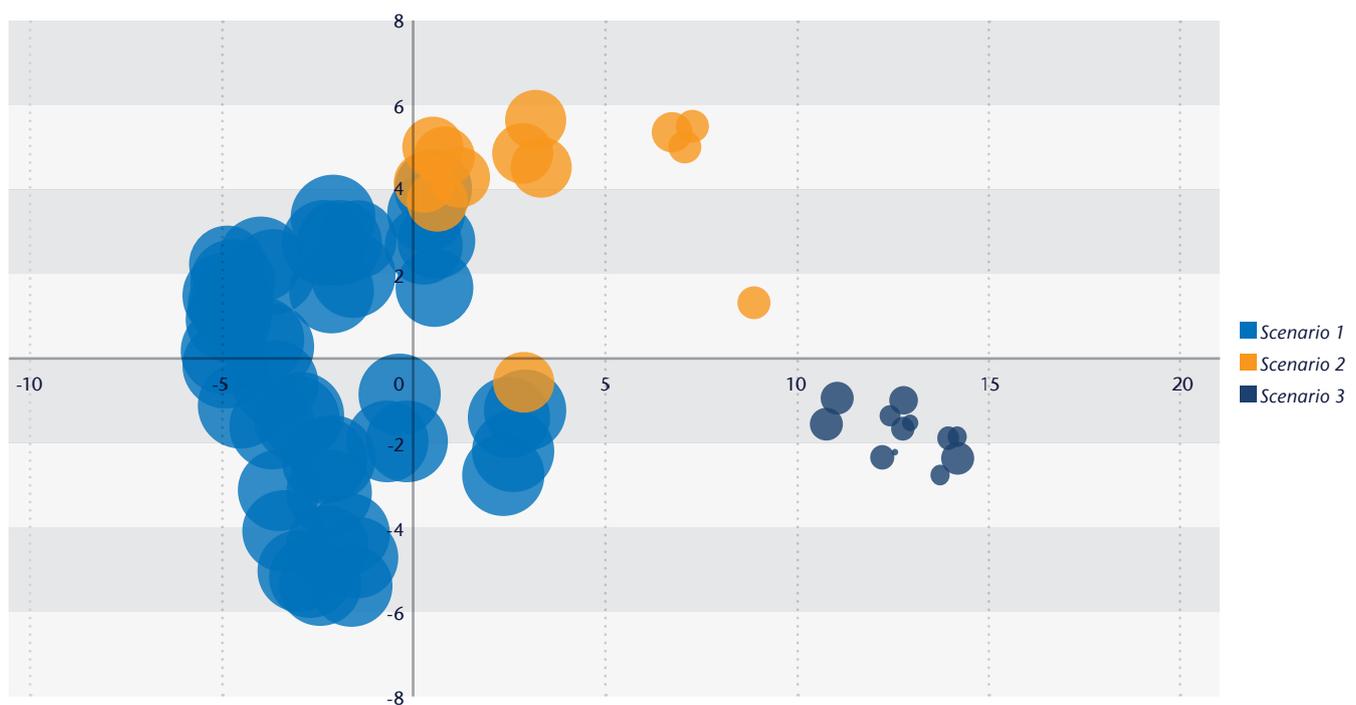


Abb. 3) Clusterung der Szenarien im Ergebnis der Konsistenzanalyse

<sup>1</sup> Für die Szenarioerarbeitung wurde der Szenario-Manager der ScMI AG genutzt

durch eine deutliche Profilbildung des Innovation Hubs Funckerberg und eine vorteilhafte Entwicklung wichtiger Standortfaktoren charakterisiert. Im zweiten Szenario „Zufallsgetriebene Spezialisierung und Profilbegrenzung im Innovation Hub Funckerberg“ mangelt es deutlich an einer klaren Profilbildung des Innovation Hubs sowie einer adäquaten Entwicklung weiterer zentraler Standortfaktoren. Zudem haben in diesem Szenario die dynamischen Entwicklungen an anderen Standorten die verzögerte Entwicklung des Innovation Hubs Funckerberg schlichtweg überrollt.

#### » IV. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Fallbeispiel belegt die These, dass sich Innovation Hubs auch außerhalb von großen Städten oder Metropolen entwickeln können. Voraussetzung dafür ist, dass an solchen Orten kritische Massen an Innovationspotenzialen entstehen, diese Potenziale sich in überregionale Innovationsstrukturen (Cluster) und Raumkontexte (Flughafenregion oder Metropolenregion) einbinden und die erforderlichen Standortbedingungen zielgerichtet auf hohem Niveau entwickelt werden. Solche Innovation Hubs können dann, so die Hypothese weiter konkretisiert, hochgradig spezifische Komponenten und Funktionen ausbilden wie beispielsweise den Betrieb eines Inkubators, das Vorhalten von Coworking Space, den Betrieb von Innovation und Living Labs, die Bereitstellung und den Betrieb von Demonstrationsflächen für innovative Entwicklungen oder von gemeinsamen Laborflächen und anderer Infrastruktureinrichtungen für Wissenschaft und Wirtschaft.

#### LITERATUR

- Ache, P. (2000): Was treibt den Motor an? Stadtregionen zwischen innovativen Milieus und Urban Governance. Raumforschung und Raumordnung 58(2-3), 244–253.
- Chesbrough, H. W., Vanhaverbeke, W., West, J. (2006): Open innovation: Researching a new paradigm. Oxford: Oxford University Press.
- da Cunha, V. (2007): Creative Urban Regeneration: The Case of 'Innovation Hubs'. In: International Journal of Innovation and Regional Development (Vol 1 No. 4).
- Florida, R. L. (2005): The flight of the creative class: The new global competition for talent. New York: Harper Business.
- Garreau, J. (1991): Edge City. Life on the New Frontier.
- Gausemeier, J., Fink, A., Schlake, O. (1996): Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien. 2. Aufl. München, Wien: Hanser.
- Hall, P. (2001): Cities in Civilization: Culture, Innovation and Urban Order. London: Weidenfeld&Nicholson.
- Hartmann, F., Große, U. (2012): Innovation Competence in Regions: A Case Study Approach: XXII ISPIM Conference, Barcelona, paper accepted for presentation.
- Köppen, B. (2008): Reurbanisierung als Hoffnung der Städte im demographischen Wandel? In: Maretzke, St. (Hrsg.) Städte im demographischen Wandel. Materialien zur Bevölkerungswissenschaft, Heft 125, Wiesbaden, 31–40.
- Mädig, H. (2004): Raus aus der Stadt? Zur Erklärung und Beurteilung der Suburbanisierung. DifU Berichte 2004.
- Meyer-Stamer, J. (1999): Lokale und regionale Standortpolitik – Konzepte und Instrumente jenseits von Industriepolitik und traditioneller Wirtschaftsförderung. Duisburg. (INEF-Report, 39).
- Mietzner, D. (2009): Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen: Methodenevaluation und neue Ansätze: Gabler Verlag 2009.

#### AUTOREN

**Frank Hartmann**  
frank.hartmann@th-wildau.de

**Dana Mietzner**  
dana.mietzner@th-wildau.de

**Markus Lahr**  
markus.lahr@th-wildau.de

Forschungsgruppe Innovations- und Regionalforschung,  
TH Wildau [FH]

# CREATIVE LABS IN OFFENEN INNOVATIONSPROZESSEN

## Typen und Funktionen

Markus Lahr

### Zusammenfassung

Dieser Beitrag thematisiert das bisher wenig untersuchte Konzept der Creative Labs als einen Ansatz zur Unterstützung offener Innovationsprozesse. Im Rahmen einer Studie wurden Organisationstypen, Zielgruppen und Konzepte verschiedener Labs untersucht, die die Grundlage für eine systematische Bewertung und die Ableitung von best practice bilden. Es wurden 22 Creative Labs mittels desk research analysiert und eine Typisierung von Creative Labs erarbeitet. Es konnten drei unterschiedliche Ansätze für die Gestaltung von Creative Labs identifiziert und den Phasen des Innovationsprozesses zugeordnet werden.

### Abstract

This article is focusing on the yet sparsely researched concept of creative labs as an approach to support open innovation processes. In the course of a research study, types of organizations, target groups and concepts of different labs have been investigated, which in turn are basis for a systematical rating and the derivation of best practices. Part of the study was also to analyze 22 creative labs by desk research and thereby to develop a standardization of types. As a result three different types of labs were identified and attributed to the different stages of the innovation process.

### » I. EINLEITUNG

Das Konzept der Open Innovation als „... paradigm that assumes that firms can and should use external ideas as well as internal ideas, and internal and external paths to market, as the firms look to advance their technology“ (Chesbrough: 2003) spielt im Innovationsmanagement, in der akademischen Diskussion und in der praktischen Anwendung eine immer größere Rolle (vgl. Huizingh 2010). Der Hauptvorteil von Open Innovation liegt vor allem in der „Erweiterung der Spannweite der Ideen- und Lösungsfindung“ (vgl. Reichwald und Piller, 2005). Es werden externe Akteure in den Innovationsprozess eingebunden und somit neue Inputfaktoren zur Verbesserung des Innovationspotenzials erschlossen. Es ist deshalb wichtig, einen entsprechenden Arbeitsraum zu schaffen, der Innovation befördert und Akteuren alle Möglichkeiten an die Hand gibt, erfolgreich zu innovieren. Entsprechend hat sich in den letzten Jahren eine breite Landschaft von Creative Labs entwickelt, die aber bisher wissenschaftlich nicht näher untersucht wurde. Bisher ist unklar, was ein Creative Lab genau ist, welche Differenzierungen und Kategorisierungen es gibt, welche Erfolgsfaktoren als kritisch eingeschätzt werden können und welche Aufgaben und Ziele

mit der Etablierung der Creative Labs verfolgt werden.

Ziel der Untersuchung ist es deshalb, eine erste Systematisierung vorzunehmen, die Rolle im Innovationsprozess näher zu untersuchen und weitere Forschungsfragen abzuleiten. Creative Labs werden in der wissenschaftlichen Literatur bisher nur unzureichend definiert. Im Rahmen der Studie wird unter einem Creative Lab ein Konzept verstanden, das den Rahmen für einen offenen und interdisziplinären Such- und Lösungsprozess zwischen unterschiedlichen Akteuren bildet und dabei kreative Methoden der Ideengenerierung und Umsetzung nutzt.

### » II. METHODISCHES VORGEHEN

Anhand einer Literaturanalyse wurde zuerst die Aktualität des Forschungsthemas erfasst. Zu diesem Zweck wurde in verschiedenen wissenschaftliche Datenbanken, aber auch mithilfe von Suchmaschinen (Google), nach den Begriffen „Creative Lab“, „Idea Lab“ und „Innovation Lab“ gesucht. Die unterschiedlichen Suchbegriffe wurden gewählt, da sich während der Literaturrecherche herausgestellt hat, dass es keinen festen Terminus für ein Creative Lab gibt.

Vielmehr werden Konzept und Name der Labs den jeweiligen Zielgruppen und Thematiken angepasst.

Eine Google-Suche am 25.05.2012 hat für den Begriff „Creative Lab“ 1.030.000 Suchergebnisse geliefert. Ähnlich viele Treffer, 962.000, ergab die Suche nach dem Begriff „Innovation Lab“. Der Suchbegriff „Idea Lab“ ergab 362.000 Google-Einträge (vgl. Tabelle 1).

Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse ist es nicht möglich, die Einträge hinsichtlich ihrer thematischen Relevanz zu analysieren. Beispielhaft wurden die ersten 30 Suchergebnisse dahingehend überprüft. 28 der 30 Suchergebnisse (93%) für den Terminus „Innovation Lab“ gehörten thematisch zu Kreativlaboren. Eine ähnlich hohe Übereinstimmung ergab sich beim Suchbegriff „Idea Lab“. Hier sind 24 der 30 Suchergebnisse themenverwandt. Für den Terminus „Creative Lab“ lag die Themenverwandtschaft der Suchergebnisse bei 20 von 30 (66%). Diese Stichproben sind nicht geeignet, um allgemeingültige Aussagen zu treffen, die große Zahl der Suchergebnisse und der hohe Anteil themenrelevanter Treffer zeigt jedoch eine große Aktualität und Präsenz des Themas in der nicht wissenschaftlichen Literatur. In einem zweiten Schritt wurden die

wissenschaftlichen Datenbanken Ebsco, web of knowledge [WoK] und Science direct ausgewertet, um einen Überblick über Aktualität und Forschungsstand zu Kreativlaboren in der wissenschaftlichen Literatur zu erhalten.

Hierzu wurde analog zur Google-Suche nach den Begriffen „Idea Lab“, „Creative Lab“ und „Innovation Lab“ gesucht (vgl. Ergebnisse in Tab. 1). Die Ergebnisse der Datenbanksuche zeigen eine weit geringere Trefferzahl gegenüber der Google-Suche. Besonders der Begriff „Idea Lab“ kommt in der wissenschaftlichen Literatur selten vor. Von den insgesamt 29 Treffern wiesen nur vier thematische Übereinstimmungen auf. Der Begriff „Creative Lab“ lieferte nur in Science direct Treffer. Von den 166 Suchergebnissen waren 13 relevant, was einer Quote von ca. 8% entspricht. Eine wesentlich größere Anzahl an Treffern lieferte die Suche nach dem Begriff „Innovation Lab“. Von den 482 Treffern sind 17 (4,2%) für das Thema relevant. Daran anschließend wurden durch Recherchen 22 Labs (weltweit) identifiziert, die dem definierten Begriffsverständnis „Creative Lab“ zugeordnet werden können. Um einen Überblick über Funktionen, Zielgruppen und Konzepte zu erhalten und eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden mittels Desk Research spezifische Merkmale erfasst und in eine Matrix übertragen.

### » III. SYSTEMATISIERUNG UNTERSCHIEDLICHER CREATIVE LAB-ANSÄTZE

Die Rolle von „Creative Labs“ als Teil der Open Innovation wurde im wissenschaftlichen Diskurs bisher weitestgehend vernachlässigt (vgl. Tab. 1). Bisherige Forschungsarbeiten haben sich mit der Systematisierung von Inkubatoren und Präinkubatoren beschäftigt, die oftmals als institutioneller Überbau für Creative Labs dienen. Labs und Inkubatoren ähneln sich sowohl hinsichtlich ihrer Organisationsformen und Organisationstypen. Unterschiede bestehen in ihren jeweiligen Funktionsweisen. Inkubatoren und Präinkubatoren stellen Mietflächen, Infrastruktur und Dienstleistungen zur Verfügung, die Gründer und junge Unternehmen über einen längeren Zeitraum nutzen

Datenbank ▶	Google	ebsco (davon thematisch übereinstimmend)	Web of knowledge (davon thematisch übereinstimmend)	Science direct (davon thematisch übereinstimmend)
Creative Lab	1.030.000	0 (0)	0 (0)	166 (13)
Idea Lab	362.000	0 (0)	6 (4)	23 (0)
Innovation Lab	962.000	0 (0)	380 (12)	102 (5)

Tab. 1) Thematische Übereinstimmung von Suchergebnissen

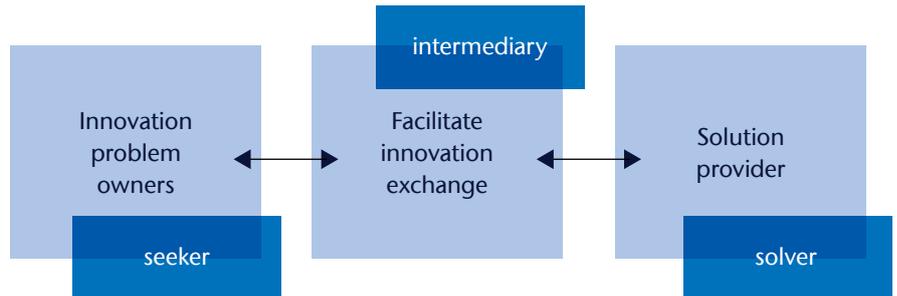


Abb. 1) Prinzip des knowledge brokering (eigene Darstellung)

können. Im Gegensatz dazu begleiten Creative Labs die Prozesse der Ideengenerierung und Umsetzung für Unternehmensneugründungen und Geschäftsfeldentwicklungen meist in Form von Workshops über einen kurzen und intensiven Zeitraum.

Anhand verschiedener Differenzierungskriterien (vgl. Barbero et al. 2012) wurden Inkubatoren beispielsweise nach ihrer strategischen Ausrichtung (vgl. Carayannis und von Zedtwitz 2005, von Zedtwitz und Grimaldi 2006 in Barbero et al. 2012), ihrer Philosophie und eingebundenen Wirtschaftssektoren (vgl. Aernoudt 2004 in Barbero et al. 2012) sowie ihren Geschäftsmodellen (vgl. Allen und McCluskey 1990 in Barbero et al. 2012) und Geschäftszielen (vgl. Gassmann und Becker 2005) kategorisiert. Die Systematisierung von Präinkubatoren verlief entlang ähnlicher Differenzierungskriterien. Fischer unterscheidet zwischen Betreibern, Zielen, Geschäftsmodellen, Branche der Nutzer und Zielgruppen (vgl. Fischer: 2011: 54). Feller et al. (2010) wiederum untersuchten erstmals die Auswirkungen von Creative Labs als knowledge intermediaries (vgl. Abbildung 1) auf den Wissensaustausch, während Dell’Era und Verganti (2009) „design-driven-laboratories“, innerhalb von Unternehmen typisierten.

Abbildung 2 liefert einen Überblick zur strategischen Ausrichtung (Fokus) der Labs, ihrer jeweiligen Organisationsform im Hinblick auf die Betreiberstruktur sowie ihren jeweilige Zielsetzungen. Auf Grundlage des Desk Research und der Entwicklung von Steckbriefen zu den untersuchten Labs konnten drei grundsätzliche Typen von Kreativlaboren abgeleitet werden. Die Kategorisierung folgt dabei den verschiedenen Rollen, die das jeweilige Lab und die Teilnehmer im System des knowledge brokering (vgl. Feller et al. 2010) einnehmen können.

### » IV. TYP 1 Individuumsbezogene Creative Labs

Ein Großteil der Labs des Typ 1 sind in Hochschulen und wissenschaftlichen Instituten eingegliedert. Das Hauptanliegen der Labs ist entsprechende Personen und Akteursgruppen, wie Studierende und Entrepreneur mit entwicklungs-fähigen Ideen, bei der Bewertung, Entwicklung, Realisierung und Integrierung ihrer Vorhaben zu unterstützen. Diese konkreten Projekte können eigene Gründungsideen sein, an denen im Team oder als Individuum unter Betreuung des Labs gearbeitet wird, oder aber durch Kooperation mit

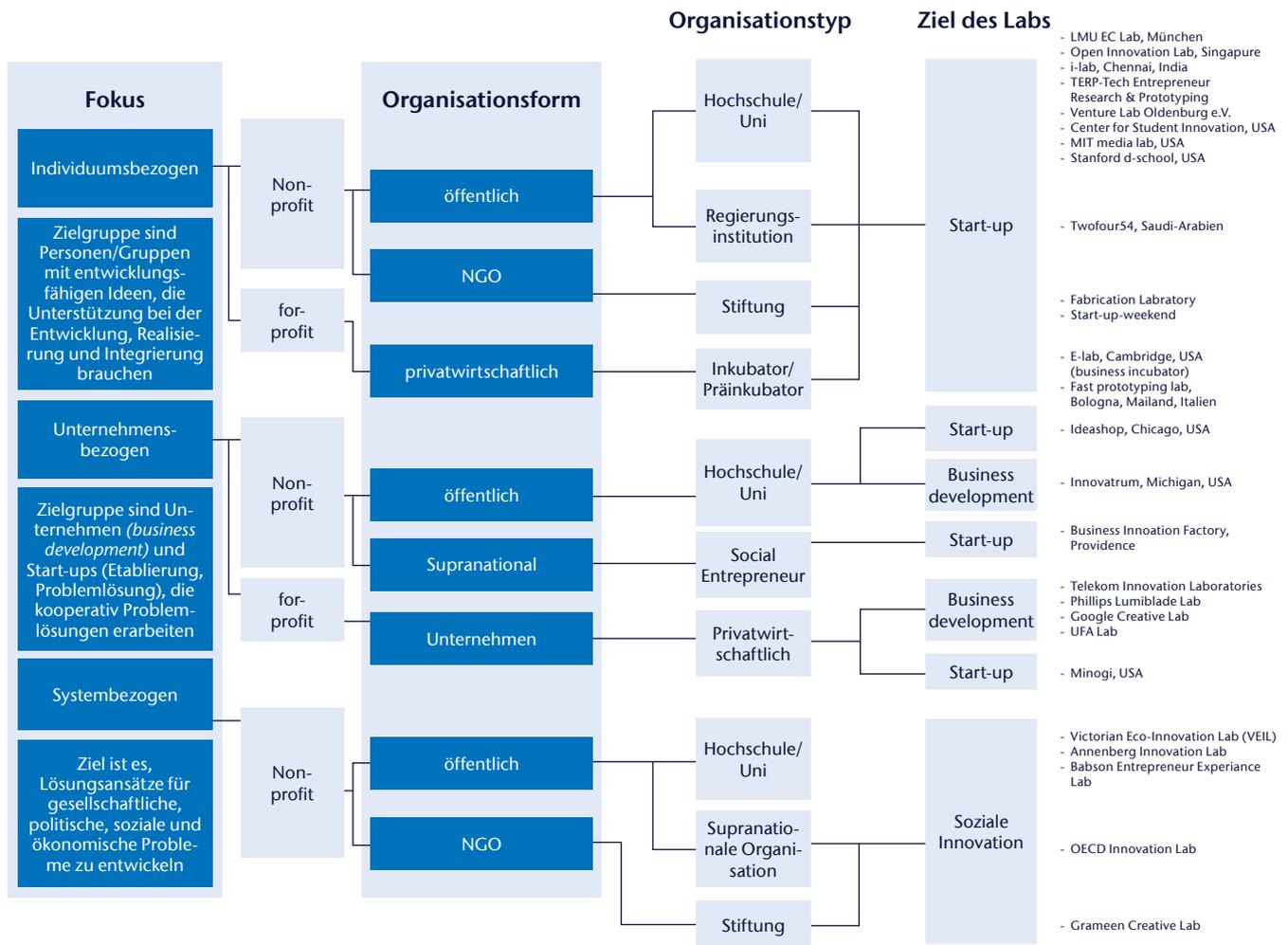


Abb. 2) Systematisierung nach Fokus, Organisation und Ziel (eigene Darstellung nach Gassmann und Becker 2005)

der Industrie vorgegeben Problemstellungen, an denen die Methoden praktisch angewendet werden können. Im Vordergrund steht die Qualifizierung/Befähigung des Individuums (solver). Die Labs fungieren als Vermittler (intermediaries) von Wissen und Fähigkeiten. Zusätzlich nutzen einige Labs ihre Kontakte in der Wirtschaft (zu den so genannten seekern), um beispielsweise Studierenden das praktische Lernen an konkreten Problemstellungen aus Unternehmen zu ermöglichen. Im Gegensatz zu Typ 2 ist die Auftragsarbeit für die Wirtschaft aber nachgeordnet, die Befähigung der Labteilnehmer steht im Vordergrund. Die Zusammenarbeit mit der Industrie eröffnet dem Lab jedoch die Möglichkeit, die Theorieebene zu verlassen, bietet zusätzliche Finanzierungsmöglichkeiten und ermöglicht dem Wirtschaftsunternehmen den kostengünstigen Zugriff auf externe Lösungskapazitäten.

» V. TYP 2  
Unternehmensbezogene  
Creative Labs

Die Mehrheit dieser Labs sind eigenständige Unternehmen, in Unternehmen angesiedelt oder hochschulintegrierte gewinnorientierte Institute. Die Zielgruppe der Labs des Typs 2 sind Unternehmen, die das Creative Lab im Rahmen des eigenen business developments nutzen und Start-ups, die sich noch am Markt etablieren müssen und kooperativ Problemlösungen erarbeiten möchten. Das Unternehmen (seeker) tritt mit einer konkreten Problemstellung an ein Lab heran und beauftragt es, kreative Strategien oder konkrete Lösungen zu erarbeiten. Das Lab als Vermittler erarbeitet in Kooperation mit Freiwilligen beispielsweise nach den Prinzipien des crowd sourcing, mit Gruppen von Studierenden, in einigen Fällen auch mit einem festen Team von Angestellten, entsprechende

Lösungen. Im Vordergrund stehen Unternehmen (seeker) mit konkreten Vorgaben und Aufträgen, die es im Rahmen von Kooperationen zu erfüllen gilt. Die Befähigung des Individuums (solver) ist im Gegensatz zum Typ 1 als nachrangig einzuschätzen.

» VI. TYP 3  
Systembezogene  
Creative Labs

Die Labs des Typs 3 haben weder eine kommerzielle Motivation noch einen expliziten Bildungsauftrag für die Labteilnehmer. Ihr Ziel ist, es Lösungsansätze für gesellschaftliche, politische, soziale und ökonomische Probleme zu entwickeln, die zum Teil ein globales Ausmaß haben und von hoher gesellschaftlicher Relevanz sind. In diesem Fall sind die Labs nicht in der Rolle des Vermittlers, sondern geben selbst die Problemstellung (seeker) vor. Mithilfe von Experten (solver) sollen

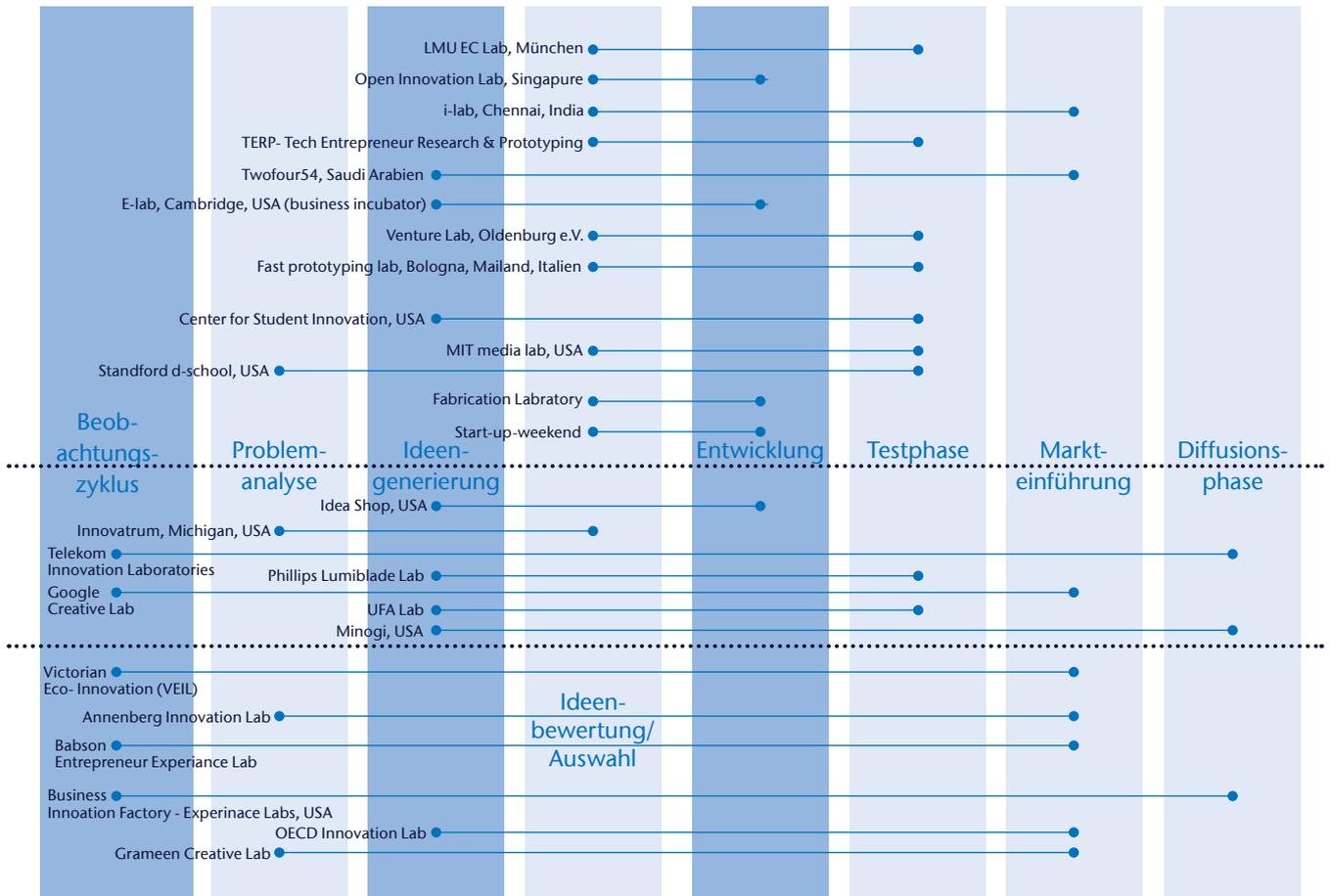


Abb. 3) Phasen des Innovationsprozesses mit Labzuordnung (geänderte Abbildung nach Tsivdaris 1994)

Problemlösungsstrategien erarbeitet werden. Sowohl seeker als auch solver handeln im öffentlichen Interesse. Labs dieses Typs werden meist von Stiftungen, überstaatlichen Organisationen und Hochschulen betrieben.

Weiterhin lassen sich die Labtypen hinsichtlich ihres administrativen Aufbaus unterscheiden. Analog zur Differenzierung von Inkubatoren (vgl. Becker und Gassmann) können Creative Labs eine for-profit und non-profit Orientierung (vgl. Abbildung 2) aufweisen. Während non-profit Labs größtenteils von Stiftungen und Hochschulen getragen werden und individuals-, unternehmens- und systembezogen existieren, sind for-profit Labs meist eigenständige Unternehmen (vgl. Abb. 2). Je nach konzeptueller Ausrichtung liegen die Schwerpunkte der Typ 1 und Typ 2 Labs auf dem Business development und der Unterstützung von Start-ups. Labs des Typs 3 zielen vor allem auf soziale Innovation ab.

Neben der konzeptionell-administrativen Systematisierung der Labs wurde außerdem näher betrachtet, in welchen Phasen des Innovationsprozesses die Labs konkret Einfluss nehmen (vgl. Abb. 3).

Unter Zuhilfenahme der erstellten Matrix und weiterem Desk Research konnte abgeleitet werden, in welchem strukturellen Kontext das Lab integriert ist und welche Methoden im Lab angewendet werden. Da die Methodik einzig auf desk research, also der Auswertung von Literatur und Internetquellen beruht, ist mit einigen Unschärfen bei der Einordnung der Labaktivitäten in den Phasen des Innovationsprozesses zu rechnen. Die Grundlage für die Einordnung bildet das Modell des Innovationsprozesses von Tsivdaris (1994).

Von besonderem Interesse für die Arbeit sind dabei die Phase I (Beobachtungszyklus), Phase III (Ideengenerierung) und Phase V (Entwicklung) als die

Elemente des Innovationsprozesses, bei denen nach bisherigen Analysen Creative Labs die größte Bedeutung haben. Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, konzentrieren sich die Labs des Typ 1 vor allem auf den Bereich der Ideengenerierung und -entwicklung und begleiten die Produkte bis in die Testphase. Die unternehmensbezogenen Labs sind teilweise bereits in der Beobachtungsphase in den Innovationsprozess involviert und begleiten den Auftrag über die Testphase hinaus bis zur Markteinführung. Eine ähnliche Ausrichtung zeigt sich bei den auf soziale Innovationen abzielenden Labs des Typs 3. Insgesamt begleiten nur drei der untersuchten 22 Creative Labs den Innovationsprozess über die Markteinführung hinaus bis in die Diffusionsphase.

## » VII. SCHLUSSFOLGERUNG UND WEITERE FORSCHUNGSFRAGEN

Es hat sich während der Untersuchung gezeigt, dass trotz der Vielzahl von Labkonzepten typenübergreifend Ähnlichkeiten bestehen. Es gilt festzuhalten, dass Creative Labs in drei Kategorien eingeteilt werden können. Creative Labs sind (1) häufig an Hochschulen angesiedelt und dienen vor allem der Ausbildung von Studierenden und der Weiterentwicklung von Gründungs-ideen. Eine weitere Form der Labs sucht (2) eine enge Kooperation mit der Industrie und ist als Auftragnehmer über Unternehmensgrenzen hinweg „akteursoffen“ gestaltet. Die Rolle der Labs ist insbesondere durch moderierte Such- und Lösungsprozesse gekennzeichnet. Des Weiteren konnten (3) Creative Labs identifiziert werden, die im öffentlichen Interesse Expertenwissen nutzen, um aktuelle und oftmals globale Problemstellungen zu lösen.

Diese Arbeit liefert erste Aussagen dazu, an welchen Phasen des Innovationsprozesses die untersuchten Creative Labs beteiligt sind und in welchen Prozessphasen – aus Sicht des Autors – diesen Labs eine besondere Bedeutung zukommt. In einem nächsten Schritt bedarf es einer detaillierten Untersuchung ausgewählter Creative Lab im Rahmen von Fallstudien, um die Ergebnisse zu validieren und weiter zu präzisieren.

Aus den bisherigen Erkenntnissen ergeben sich für die Entrepreneurship- und Innovationsforschung des Weiteren Fragen nach der Leistungsfähigkeit und best practices von Creative Labs. Anhand detaillierter Fallstudien soll eine Indikatorik entwickelt werden, auf deren Grundlage die Leistungsfähigkeit der Creative Labs gemessen und bewertet werden kann. Konkret muss dazu auch festgelegt werden, wie Leistungsfähigkeit und Erfolg in diesem Kontext definiert werden können.

## LITERATUR

Barbero, J. L., J. C. Casillas, et al. (2012): „Revisiting incubation performance: How incubator typology affects results.“ In: *Technological Forecasting and Social Change* 79(5): 888–902.

Chesbrough, H. W. (2003): „Open innovation – the new imperative for creating and profiting from technology.“ Boston, Mass., Harvard Business School Press.

Dell’Era, C., R. Verganti (2009): „Design-driven laboratories: organization and strategy of laboratories specialized in the development of radical design-driven innovations.“ In: *R&D Management* 39(1): 1–20.

Feller, J. et al. (2010): Leveraging ‘The Crowd’: An Exploration of how solver brokerages enhance knowledge mobility, ECIS.

Fischer, M. (2011): „Hochschulpräinkubatoren und ihr Einfluss auf Unternehmen in der Vorgründungsphase Lehrstuhl für Gründungsmanagement.“ Lüneburg, Leuphana Universität Lüneburg.

Gassmann, O., Becker, B. (2006): „Towards a resource-based view of corporate incubators.“ In: *International Journal of Innovation Management* 10(1): 19.

Huizingh, E. K. R. E. (2011): „Open innovation: State of the art and future perspectives.“ In: *Technovation* 31(1): 2–9.

Reichwald, R., Piller, F. T. (2005): Open Innovation: Kunden als Partner im Innovationsprozess (download unter: [http://www.impulse.de/downloads/open\\_innovation.pdf](http://www.impulse.de/downloads/open_innovation.pdf)). Letzter Zugriff: 14.09.2012.

Tsifidaris, M. (1994): „Management der Innovation: Pragmatische Konzepte zur Zukunftssicherung des Unternehmens“, 209 Seiten, expert Verlag, Meinsheim.

## AUTORENANGABEN

**Markus Lahr**  
**Diplom-Geograph**  
Forscherguppe Innovations- und Regionalforschung  
TH Wildau [TH]  
Markus.Lahr@th-wildau.de

# DAS INTERNATIONALISIERUNGSVERHALTEN DEUTSCHER UNTERNEHMEN

Ergebnisse einer vergleichenden Studie für Brandenburg, Berlin und das Bundesgebiet

Sławomir Smyczek, Sarah Maria Bruhs, Mario Glowik

## Zusammenfassung

Im Zuge der Integration weltweiter Wertschöpfungsketten hat die Internationalisierung von Geschäftsaktivitäten für Unternehmen aller Größenklassen gleichermaßen an Bedeutung gewonnen. Chancen und Risiken von Auslandsaktivitäten werden von den beteiligten Akteuren in der Regel unterschiedlich empfunden. Im Zuge einer Feldstudie sind insgesamt 102 Firmen aus dem gesamten Bundesgebiet im Zeitraum von Mai 2010 bis Juni 2011 zu ihrem Internationalisierungsverhalten (z. B. Internationalisierungsmotive und Erfolgsfaktoren) befragt worden. Die Ergebnisse werden für Brandenburgische und Berliner Unternehmen im Vergleich zum Bundesgebiet differenziert dargestellt.

## Abstract

In the course of integration of global value added activities, the internationalization of business activities has gained increasing importance. However, opportunities and risks are perceived differently by the operating management. In the course of empirical field research between May 2010 and June 2011, 102 firms located in the Federal Republic of Germany were analyzed concerning their internationalization behavior (e.g., internationalization motives and success factors). Research outcomes are accumulated and differentiated between Brandenburg and Berlin in comparison to firms located in other regions ('Bundesländer') of Germany.

## » I. EINFÜHRUNG

Tendenziell sinkende tarifäre Handelshemmnisse (Kutschker et al. 2011: 45), eine effiziente Logistik und verbesserte Informations- und Kommunikationstechnologien, haben ein günstiges Umfeld für grenzüberschreitende Unternehmenstätigkeiten geschaffen (Bode 2009: 1).

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) prägen mit einem Anteil von 99,99% am Gesamtaufkommen aller Unternehmen das wirtschaftliche Bild in Brandenburg (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2011, IfM Bonn 2012). Dennoch belegen aktuelle Statistiken, dass eine internationale Orientierung unter den KMU nach wie vor relativ schwach ausgeprägt ist (Krystek et al. 1997: 45). So lag beispielsweise der Anteil der KMU am gesamten Exportumsatz 2009 in Deutschland bei 21,48%; der von Großunternehmen hingegen bei 78,52% (Statistisches Bundesamt 2009). Diese Quote entspricht bei weitem nicht der wirtschaftlichen Bedeutung, welche die KMU auf dem Heimatmarkt besitzen, wo sie in 2009 49% der Bruttowertschöpfung

erwirtschafteten (IfM Bonn 2007: 28, Statistisches Bundesamt 2009; 2012).

## » II. DATENMATERIAL & METHODEN

Die Studie wurde in Form einer empirischen Feldanalyse (persönliche Gespräche mit Studienteilnehmern) konzipiert. Firmenkontaktdaten wurden von der IHK Ostbrandenburg und der IHK Potsdam zur Verfügung gestellt. Das Datenmaterial ist in einem ersten Schritt nach Unternehmen mit Engagements auf ausländischen Märkten selektiert worden. In einem zweiten Schritt wurden mit den in Frage kommenden Unternehmen Gesprächstermine für ein persönliches Interview oder ein Telefoninterview vereinbart. Als Grundlage für die Interviews diente ein standardisierter Fragebogen mit sogenannten offenen und geschlossenen Fragen. Während erstere Fragekategorie uneingeschränkte Antwortmöglichkeiten (z. B. Stimmungsbild, Erfahrungen positiver bzw. negativer Art) zulässt, erlauben geschlossene Fragen, Antwortkategorien mit einer vorgegebenen Abstufung (z. B., 'stimme

vollkommen zu'; ,stimme überhaupt nicht zu'). Im Zuge der Befragung wurde mit einer 7-wertigen Likert-Skala gearbeitet. Die Interviews variierten in ihrer Länge von minimal 20 Minuten bis maximal 50 Minuten. Als Interviewpartner wurden Unternehmensvertreter in leitender Position und sogenannte Fachentscheider (z. B. internationaler Vertrieb, Marketing) identifiziert, welche über verlässliche Kenntnisse der Auslandsaktivitäten ihres Unternehmens verfügen. Als Erhebungszeitraum wird Mai 2010 bis Juni 2011 dokumentiert. Alle Daten und Quellenangaben sind anonymisiert. Insgesamt 37 Firmen der Studie kommen aus dem Raum Brandenburg und Berlin (rund 39%). Davon haben wiederum 23 Unternehmen ihren Firmensitz im Bundesland Brandenburg und 14 in der Bundeshauptstadt Berlin. 59 Firmen aus der Befragung sind im übrigen Bundesgebiet angesiedelt (rund 61%). 6 Unternehmen wollten zu ihrer regionalen Firmenherkunft keine Angaben machen.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozepte	Kumulierte Prozepte
Gültig	Berlin	14	13,7	14,6	14,6
	Brandenburg	23	22,6	24,0	38,6
	Restliches Bundesgebiet	59	57,8	61,4	100,0
	Zwischensumme	96	94,1	100,0	
	k. A.*	6	5,9		
	Gesamt	102	100,0		

\* k. A. = keine Angabe (Unternehmen die keine Aussage zu Ihrer Firmenherkunft machen wollten)

Tab. 1) Regionale Verteilung der Unternehmen in der Stichprobe

Gemäß einer Empfehlung der Europäischen Kommission werden Kleinunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU) entsprechend ihrer Mitarbeiterzahl und ihres Umsatzes bzw. der Bilanzsumme definiert. Demnach gehört ein Unternehmen zur Kategorie der KMU, wenn es weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigt und einen Umsatz von weniger als 50 Millionen Euro im Jahr erwirtschaftet (Europäische Kommission 2003). 66 von 102 Unternehmen aus der Stichprobe, also rund zwei Drittel, gehören zur Gruppe der KMU. Aufgrund der Stichprobenzusammensetzung sind die gewonnenen Erkenntnisse zum Internationalisierungsverhalten insbesondere auf KMU reflektierbar.

### » III. ZUR INTERNATIONALISIERUNG VON UNTERNEHMEN

Das Internationalisierungsverhalten von KMU wird in der einschlägigen, aktuellen Literatur in Zusammenhang mit den Terminologien ‚Entrepreneurship‘ oder ‚International New Ventures‘ diskutiert (siehe exemplarisch Oviatt et al. 1994, Jones et al. 2002, Young et al. 2003, Dimitratos et al. 2005, Jones et al. 2005). Diese proklamieren, dass der unternehmerische Erfolg von KMU insbesondere auf einer neuen und einzigartigen Geschäftsidee beruht, welche von den etablierten Wettbewerbern nur schwer oder gar nicht imitiert werden kann. KMU und Großunternehmen unterscheiden sich jedoch in ihrer Ausgangsposition für einen internationalen Markteintritt (Kruse 2009: 24). Im internationalen Wettbewerb sehen

sich KMU im Vergleich zu Großunternehmen beispielsweise mit einer begrenzten Ressourcenausstattung konfrontiert. KMU verfügen häufig nicht über die notwendigen Kapital- oder Managementressourcen um Auslandsmärkte, beispielsweise in Form von Auslandsdirektinvestitionen, zu erschließen (Hausmann et al. 2006: 1).

Andererseits kann eine innovative und einzigartige Geschäftsidee größentechnisch bedingte Ressourcennachteile eines KMU ausgleichen. In diesem Zusammenhang kommt der Person des Firmengründers bzw. Geschäftsführers, eine entscheidende Bedeutung zu (Zahra et al. 2005: 21). Diese Person treibt aktiv die Entwicklung und die grenzüberschreitende Implementierung einer konkurrenzfähigen Firmenidee voran (Mathews et al. 2007: 394). Internationale Erfahrungen und persönlichen Kontakte sind wichtige Faktoren für KMU beim Markteintritt in ausländische Märkte (Lopez et al. 2009: 1230). Der Erfolg im internationalen Wettbewerb ist darüber hinaus von der Fähigkeit des Firmengründers abhängig, die vorhandenen knappen Ressourcen effektiv zu kombinieren und den sich ändernden Marktbedingungen dynamisch anzupassen (Sharma et al. 2003: 749f.). International erfolgreiche Unternehmen haben die Fähigkeit entwickelt, durch ihre Integration in Netzwerke wertvolle externe Ressourcen, wie beispielsweise Wissen über Marktbedingungen und Marktchancen auf ausländischen Märkten, zu erlangen (Fahy 2002: 62, Mathews 2002: 208).

## » IV. ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN STUDIE

### 4.1. Bewertung der Zukunftsaussichten von Auslandsmärkten

Die überwiegende Mehrheit der Brandenburgischen Unternehmen bewertet die zukünftigen Marktpotenziale in Osteuropa als positiv. 2 Firmen aus Brandenburg bescheinigen ihren Auslandsaktivitäten in osteuropäischen Staaten sogar ‚sehr gute‘ Zukunftschancen. Insgesamt 9 Firmen vergeben die Note ‚gut‘, während weitere 6 Firmen die Zukunftsaussichten in osteuropäischen Märkten für sich als ‚eher gut‘ einschätzen. 5 von 23 Brandenburgischen Unternehmen glauben, dass die Marktpotenziale in Osteuropa als ‚eher schlecht‘ bzw. ‚schlecht‘ zu werten sind. Ein Unternehmen gab ein neutrales Votum ab. Im Vergleich dazu: In der Gruppe der Berliner Firmen ist der Anteil mit neutralem Votum (8 von 14) zu den Zukunftsaussichten in Osteuropa relativ hoch. Mehr als 86% der befragten Firmen aus dem restlichen Bundesgebiet bewerten das Marktpotenzial in Osteuropa als insgesamt positiv. 5 Unternehmen bewerten die zukünftigen Marktchancen in Osteuropa als ‚sehr gut‘. 26 Unternehmen bewerten die Absatzchancen mit ‚gut‘ und 20 von 59 Unternehmen mit ‚eher gut‘. Im Verhältnis dazu denken nur 3 Unternehmen, dass die Zukunftsaussichten für Auslandsaktivitäten in Osteuropa als negativ zu bewerten sind. Hieraus folgt: Unternehmen aus dem Bundesgebiet bewerten ihre Auslandsaktivitäten in Osteuropa tendenziell positiver als Firmen aus Brandenburg und Berlin. Die Vermutung, dass Brandenburgische Unternehmen angesichts ihrer geografischen Nähe zu den osteuropäischen Nachbarländern eine besondere Affinität für Engagements in den Märkten Osteuropas haben, ist somit nicht aufrechtzuerhalten.

		Zukunftsaussichten Osteuropa						Gesamt	
		-3	-2	-1	0	+1	+2		+3
Area	Berlin	1	0	1	8	1	2	1	14
	Brandenburg	0	2	3	1	6	9	2	23
	Restliches Bundesgebiet	1	0	2	5	20	26	5	59
	Zwischensumme	2	2	6	14	27	37	8	96
	k. A.	0	0	0	2	1	3	0	6
Gesamt		2	2	6	16	28	40	8	102

Tab. 2) Zukunftsaussichten Osteuropa

Die Zukunftsperspektiven in den westeuropäischen Märkten werden von allen befragten Unternehmen allgemein positiver als für Osteuropa eingeschätzt. Dies zeigt bereits die Skalenbreite der vorliegenden Antworten, die in Bezug auf Westeuropa ausschließlich einen Bereich von -1 bis +3 (von möglichen Antwortkategorien -3 bis +3) abdecken. Einschlägig negative Bewertungen hinsichtlich Marktpotenzial und Zukunftschancen (-3 oder -2) wurden von den Interviewpartnern für Westeuropa damit nicht abgegeben. Die Mehrheit der Unternehmen aus Brandenburg (77%) beurteilt die Zukunftsperspektiven in westeuropäischen Märkten mit ‚eher gut‘ bis ‚sehr gut‘. Damit ergibt sich für Brandenburg eine ähnliche Tendenz wie für Berlin und die übrigen Bundesländer. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass die Datenbasis mit lediglich 19 Datensätzen in dieser Fragenkategorie relativ gering ist.

		Zukunftsaussichten Westeuropa					Gesamt
		-1	0	+1	+2	+3	
Area	Berlin	0	2	0	1	1	4
	Brandenburg	2	1	3	7	0	13
	Restliches Bundesgebiet	0	0	2	0	0	2
Gesamt		2	3	5	8	1	19*

\* Zu den Zukunftsaussichten in Westeuropa lagen im Rahmen der Studie 19 verwertbare Datensätze vor.

Tab. 3) Zukunftsaussichten Westeuropa

Ein ähnliches Bild wie für Westeuropa zeichnet sich in Bezug auf die Bewertungen der Zukunftsaussichten für Übersee ab. Bei einer Skalenbandbreite zwischen 0 (neutral) bis +3 (sehr gut) ist die Mehrheit der Unternehmensvertreter aus Brandenburg in Bezug auf ihre Überseemärkte eindeutig positiv. Für Berlin und das restliche Bundesgebiet ergibt sich eine ähnliche Tendenz.

		Zukunftsaussichten Übersee						Gesamt
		0	+1	+2	+3	Zwischensumme	k. A.	
Area	Berlin	1	1	1	1	4	0	4
	Brandenburg	5	2	0	3	10	3	13
	Restliches Bundesgebiet	0	0	1	0	1	1	2
Gesamt		6	3	2	4	15*	4	19

\* Zu den Zukunftsaussichten in Übersee lagen im Rahmen der Studie 15 verwertbare Datensätze vor.

Tab. 4) Zukunftsaussichten Übersee

## 4.2. Motive der Internationalisierung

Im weiteren Verlauf der Studie wollten wir die ausschlaggebenden Faktoren für ein Auslandsengagement in Erfahrung bringen. Nachfolgend wird das Meinungsbild der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer in Bezug auf wesentliche Internationalisierungsmotive vorgestellt.

### Attraktive Marktbedingungen

Für rund ein Drittel (8 von 23 befragte Unternehmen, entspricht 35%) aus Brandenburg sind attraktive Marktbedingungen (Nachfrage) im Ausland ein Hauptmotiv, internationale Engagements einzugehen (Berlin, 43%). Im Vergleich dazu: 38 von 59 Firmen (64%) aus den übrigen Bundesländern geben attraktive Marktbedingungen als einen bedeutenden Beweggrund für den Eintritt in ausländische Märkte an.

### Einbindung in internationale Netzwerke

Die Einbindung in internationale Netzwerke beispielsweise zu Lieferanten, Abnehmern, öffentlichen Institutionen etc. stellt einen wichtigen Motivationsfaktor für den Eintritt in internationale Märkte dar. Fast die Hälfte (48 Firmen) aller befragten Unternehmen (102 Firmen) haben die Bedeutung von Netzwerken bejaht. In dieser Kategorie werden regionale Unterschiede besonders deutlich. Die Mehrheit der Brandenburgischen und Berliner Unternehmen messen Netzwerkbeziehungen tendenziell eine geringere Bedeutung bei bzw. sind sich deren Bedeutung offensichtlich nicht bewusst. Im Vergleich dazu bejaht die Mehrheit der Unternehmen aus dem Bundesgebiet die Wichtigkeit von Netzwerkbeziehungen im internationalen Geschäft.

### Globale Vision und internationale Erfahrung des Firmengründers

Insbesondere in KMU wird dem Firmengründer eine tragende Rolle bei der strategischen Ausrichtung des Unternehmens auf internationalen Märkten beigemessen. Häufig sind die internationalen Kontakte und Erfahrungen des Firmengründers ausschlaggebend für einen Markteintritt im Ausland. In Brandenburg ist der Anteil der Unter-

		Attraktive Marktbedingungen		Gesamt
		ja	nein	
Area	Berlin	6	8	14
	Brandenburg	8	15	23
	Restliches Bundesgebiet	38	21	59
	Zwischensumme	52	44	96
	k. A.	2	4	6
Gesamt		54	48	102

Tab. 5) Attraktive Marktbedingungen

		Internationale Netzwerke		Gesamt
		ja	nein	
Area	Berlin	6	8	14
	Brandenburg	9	14	23
	Restliches Bundesgebiet	31	28	59
	Zwischensumme	46	50	96
	k. A.	2	4	6
Gesamt		48	54	102

Tab. 6) Internationale Netzwerke

		Eine globale Vision/Int. Erfahrung des Gründers		Gesamt
		ja	nein	
Area	Berlin	6	8	14
	Brandenburg	7	16	23
	Restliches Bundesgebiet	26	33	59
	Zwischensumme	39	57	96
	k. A.	5	1	6
Gesamt		44	58	102

Tab. 7) Eine globale Vision/Internationale Erfahrung des Gründers

		Messeauftritt		Gesamt
		ja	nein	
Area	Berlin	3	11	14
	Brandenburg	7	16	23
	Restliches Bundesgebiet	11	48	59
	Zwischensumme	21	75	96
	k. A.	1	5	6
Gesamt		22	80	102

Tab. 8) Messeauftritt

		Aktivitäten von Wettbewerbern im Ausland		Gesamt
		ja	nein	
Area	Berlin	1	13	14
	Brandenburg	4	19	23
	Restliches Bundesgebiet	14	45	59
	Zwischensumme	19	77	96
	k. A.	1	5	6
Gesamt		20	82	102

Tab. 9) Aktivitäten von Wettbewerbern im Ausland

nehmen, in denen der Firmengründer bzw. die Geschäftsführung internationale Engagements aufgrund einer globalen Vision bzw. internationaler Erfahrungen bewusst forciert, mit 30% geringer als in Berlin (43%) und dem übrigen Bundesgebiet (44%). Das lässt die Vermutung zu, dass Brandenburger Unternehmen tendenziell zurückhaltender auf potenzielle Chancen auf Auslandsmärkten reagieren, weil eine internationale Ausrichtung (mangelnde Erfahrungen) bzw. eine international ausgeprägte Unternehmenskultur zumindest in der Tendenz fehlt.

### Messeauftritt

Messeauftritte zur Initiierung von internationalen Engagements nehmen nach den Ergebnissen der Studie im Vergleich zu ihrer traditionellen Bedeutung in der Vergangenheit ab. Lediglich 22% der befragten Unternehmen geben an, dass die Teilnahme an internationalen Fachmessen einen Eintritt in ausländische Märkte bewirkt. Brandenburgische Unternehmen (30%) messen dem traditionellen Instrument der Messe jedoch einen relativ höheren Stellenwert bei als Firmen aus Berlin (21%) und dem restlichen Bundesgebiet (19%).

### Aktivitäten von Wettbewerbern

Lediglich 7% der Berliner Unternehmen führen an, eigene internationale Engagements von den Auslandsaktivitäten ihrer Wettbewerber abhängig zu machen. Diese Quote ist im Vergleich zu den Brandenburgischen Unternehmen (17%) und zu Firmen aus dem übrigen Bundesgebiet (24%) außerordentlich gering. Das lässt die Vermutung zu, dass in KMU im Allgemeinen, insbesondere aber in Brandenburgischen und Berliner Unternehmen, die länderübergreifende Markt- und Wettbewerberforschung, auch bzw. gerade weil es sich um ein Nischenprodukt handelt, ausgebaut werden sollte.

### 4.3. Erfolg der Internationalisierung

Die überwiegende Mehrheit, nämlich 88 von 102 befragten Unternehmen (86%) bewerten ihre internationalen Aktivitäten mit ‚gut‘ bis ‚sehr gut‘ (Skalenbereich +1 bis +3). 12 Interviewpartner gaben ein neutrales Urteil ab und nur zwei Unternehmen in der Stichprobe sind unzufrieden mit dem Erfolg ihrer Internationalisierungsstrategie. Die positive Bewertung der eigenen Auslandsaktivitäten ist in Brandenburg ähnlich ausgeprägt wie in Berlin bzw. im übrigen Bundesgebiet. Mit anderen Worten, Firmen, die den internationalen Markteintritt gewagt haben, haben diesen Schritt offensichtlich nicht be-

#### » V. FAZIT

Auf Basis der Ergebnisse der empirischen Feldstudie wurden Hintergründe und kritische Erfolgsfaktoren von Internationalisierungsentscheidungen – im regionalen Vergleich Brandenburg, Berlin und das übrige Bundesgebiet – untersucht.

Im Vergleich zu Brandenburgischen und Berliner Unternehmen sind Firmen aus dem übrigen Bundesgebiet tendenziell stärker in internationale Netzwerke eingebunden und können im Zuge ihrer Auslandsaktivitäten auf diese zurückgreifen. Eine international ausgerichtete Unternehmenskultur (globale Vision) ist im übrigen Bundesgebiet – nicht unbedingt immer im Einzelfall aber in der Tendenz – stärker ausgeprägt als in Brandenburg.

Die Zukunftsaussichten für Westeuropa und Übersee werden unabhängig von der regionalen Herkunft der befragten Unternehmen grundsätzlich positiver bewertet als für Osteuropa. Brandenburgische und Berliner Unternehmen bewerten die Zukunftsaussichten für Osteuropa tendenziell negativer als Unternehmen in den übrigen Bundesländern. Die Annahme, dass Brandenburgische Unternehmen angesichts ihrer geografischen Nähe eine besondere Affinität (Nutzung des Standortvorteils) für Engagements in den Märkten Osteuropas haben, kann nicht bestätigt werden. Das heißt aber auch, dass logistische Vorteile

		Erfolgsschätzung der Internationalen Strategie						Gesamt
		-2	-1	0	+1	+2	+3	
Area	Berlin	0	0	2	5	3	4	14
	Brandenburg	0	0	3	8	11	1	23
	Restliches Bundesgebiet	1	1	7	9	23	18	59
	Zwischensumme	1	1	12	22	37	23	96
	k. A.	0	0	0	2	3	1	6
Gesamt		1	1	12	24	40	24	102

Tab. 10) Erfolgsschätzung der Internationalen Strategie

aufgrund der geografischen Lage Brandenburgs und Berlins zu den Ländern Osteuropas bisher ungenutzt bleiben. Eine Intensivierung der Auslandsmarktforschung in den Brandenburgischen und Berliner Unternehmen könnte ein erster wichtiger Schritt sein. Unabhängig von der regionalen Herkunft, haben die Interviewpartner mehrheitlich angegeben, dass die Attraktivität des eigenen Produktes ein entscheidender Erfolgsfaktor im Wettbewerb auf den Auslandsmärkten darstellt. Die Produktattraktivität wird beispielsweise bestimmt durch eine besondere technologische Lösung, die speziell auf die Kundenbedürfnisse ausgerichtet ist und von den Wettbewerbern entweder nicht bzw. schwer wahrgenommen oder gar nicht imitierbar ist. Flexibilität in der Fertigung, Kundennähe (Vertriebsmitarbeiter vor Ort), Sprach- und Landeskenntnisse und eine Produktpositionierung in einer technisch-innovativen Marktnische sind, nach den Ergebnissen der Studie, bestimmende Faktoren für Produktattraktivität. Darüber hinaus identifizieren die befragten Unternehmen attraktive Nachfragebedingungen im Ausland (Bedarf größer als im gesättigten Heimatmarkt) als einen Hauptgrund für den Erfolg der eigenen Auslandsaktivitäten. Angebotsmotivierte Erfolgsfaktoren der Internationalisierung, z. B. ein erwartetes niedriges Kostenniveau im Ausland im Vergleich zur Produktion und Verwaltung auf dem Heimatmarkt, haben nach den Ergebnissen der Befragung, so gut wie keine Bedeutung.

## LITERATUR

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2011): Unternehmen und Betriebe 2009 (Stand: Unternehmensregister 30.04.2011). Zugriff am 16.08.2012 von: <http://www.statistik-berlin-brandenburg.de>

Bode, A. (2009): Wettbewerbsvorteile durch internationale Wertschöpfung. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Dimitratos, P., Jones, M. V. (2005): Future directions for international entrepreneurship research. *International Business Review*, 14 (2): 119–128

Europäische Kommission (2003): EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen (2003/361/EG). Amtsblatt der Europäischen Union vom 20.5.2003. Zugriff am 20.04.2012 von: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:L24:0036:0041:DE:PDF>

Fahy, J. (2002): A resource-based analysis of sustainable competitive advantage in a global environment. *International Business Review*, 11: 57–78

Haussmann, H., Holtbrügge, D., Rygl, D., Schillo, K. (2006): Erfolgsfaktoren mittelständischer Weltmarktführer. Working Paper 3/2006 des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Internationales Management. Universität Erlangen-Nürnberg

IfM Bonn (2007): Die Bedeutung der außenwirtschaftlichen Aktivitäten für den deutschen Mittelstand (Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie). Bonn: Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM Bonn)

IfM Bonn (2012): Kennzahlen zum Mittelstand 2009/2011 in Deutschland. Zugriff am 16.08.2012 von: <http://www.ifm-bonn.org/index.php?id=99>

Jones, M. V., Coviello, N. E. (2002): A time-based contingency model of entrepreneurial internationalisation behaviour. Working Paper 2002-12, Haskayne School of Business: 1–60

Jones, M. V., Coviello, N. E. (2005): Internationalisation: conceptualising an entrepreneurial process of behaviour in time. *Journal of International Business Studies*, 36: 284–303.

Kruse, P. (2009): Internationalisierung der Absatzmärkte für kleine und mittelständische Unternehmen. Wiesbaden: Gabler | GWV Fachverlage GmbH

Krystek, U., Zur, E. (1997): Internationalisierung. Eine Herausforderung für die Unternehmensführung. Berlin: Springer-Verlag

Kutschker, M., Schmid, S. (2011): Internationales Management. 7., überarbeitete und aktualisierte Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag

Lopez, L. E., Kundu, S. K., Ciravegna, L. (2009): Born global or born regional? Evidence from exploratory study in the Costa Rican software industry. *Journal of International Business Studies*, 40: 1228–1238

Mathews, J. A. (2002): Dragon multinational. A new model for global growth. New York: Oxford University Press

Mathews, J. A., Zander, I. (2007): The international entrepreneurial dynamics of accelerated internationalisation. *Journal of International Business Studies*, 38 (3): 387–403

Oviatt, B. M., Mc Dougall, P. P. (1994): Toward a theory of international new ventures. *Journal of International Business Studies*, 25 (1): 45–64

Sharma, D. D., Blomstermo, A. (2003): The internationalization process of born globals: a network view. *International Business Review*, 12: 739–753

Statistisches Bundesamt (2009): Exportumsatz der Unternehmen 2000 bis 2009 in Deutschland nach Unternehmensgröße gemäß der KMU-Definition der EU-Kommission (Sonderauswertung der Umsatzsteuerstatistik im Auftrag des IfM Bonn). Wiesbaden: Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM Bonn)

Statistisches Bundesamt (2012): Kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Zugriff am 14.08.2012 von: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwerk/KleineMittlereUnternehmenMittelstand/Aktuell.html>

Young, S., Dimitratos, P., Dana, L. P. (2003): International entrepreneurship research: what scope for international business theories? *Journal of International Entrepreneurship*, 1: 31–42

Zahra, S. A., Korri, J. S., Yu, J. (2005): Cognition and international entrepreneurship: implications for research on international opportunity recognition and exploitation. *International Business Review*, 14: 129–146

## AUTOREN

**Prof. Dr. habil. Slawomir Smyczek**  
University of Economics Katowice  
Department of Consumption Research  
40-287 Katowice, Poland  
Telefon: +48 (0) 32 / 257 75 64  
[slawomir.smyczek@ae.katowice.de](mailto:slawomir.smyczek@ae.katowice.de)

**Sarah Maria Bruhs, M.A.**  
TH Wildau [FH]  
Department of Marketing  
15745 Wildau, Germany  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-287  
[sarah\\_maria.bruhs@th-wildau.de](mailto:sarah_maria.bruhs@th-wildau.de)

**Prof. Dr. habil. Mario Glowik**  
TH Wildau [FH]  
Department of Marketing  
15745 Wildau, Germany  
Telefon: +49 (0) 3375 / 508-287  
[mario.glowik@th-wildau.de](mailto:mario.glowik@th-wildau.de)

# THE PROCESS OF SECOND LANGUAGE ACQUISITION AND ITS IMPLICATIONS FOR TEACHING

Ludmilla Mamelina

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse beim Erlernen einer neuen Zielsprache werden nach wie vor nach Unterrichtsgrundlagen des Behaviorismus aus den 50er Jahren gemessen. Danach orientiert sich der Sprachansatz des Lerners auf eine ungenaue Wiedergabe, seine Fehler werden durch ungenügende Praxis erklärt. Der behavioristische Ansatz erwies sich in neueren Theorien als zu ungenau. Seitdem haben Forschungen ergeben, dass das Erlernen einer zweiten Sprache von qualitativen Veränderungen und von Rückschritten bestimmt wird. Das Erlernen einer weiteren Sprache wird durch verschiedene unterschiedliche Faktoren bestimmt, von denen der formale Sprachunterricht nur einer ist. Die L 2-Entwicklung des Lerners ist von der mentalen Informationsverarbeitung, von der kognitiven Reife, früheren sprachlichen Erfahrungen, zeitlichen Beschränkungen, individuellen psychologischen Eigenschaften sowie dem sozialen Umfeld abhängig. Hier werden Modelle und Lehrmethoden mit Fokus auf die Sprache des Lerners vorgestellt. Die hier genannten Fakten dienen dem besseren Verständnis eines andauernden Lernprozesses und können für die Interpretation von Unterrichtsergebnissen herangezogen werden.

## Abstract

The progress of learners in the acquisition of a new language (L2) is often measured by standards set for teaching in the 1950's by behaviourism. According to this view, the learner's language is considered to be an incorrect version of the target language and mistakes are explained in terms of lack of practice. This approach was proved inaccurate by later language acquisition theories and research. Now it has been shown that the process of L2 development is characterized by both positive changes and regressions. L2 develops under the influence of many factors with formal instruction being only one of them. The L2 development depends on how the brain processes information, the cognitive maturity of the learner, previous linguistic experience, time limitations, the individual's psychological characteristics and the social circumstances of learning. This paper examines three models of second language acquisition and teaching methods based on these models, with a specific focus on the characteristics of the learners' developing speech. The facts in the article provide a better understanding of the ongoing learning process and can be used for the interpretation of classroom results.

## » I. INTRODUCTION

Language teaching is a crucial component of the internationalization policy implemented at the UAS Wildau. Language teachers are provided with the Common European Framework of References for Languages to assess the learners' level of achievement at the end of the teaching period. But it is important for all educators who teach students using non-native languages to know how language learning takes place, what is realistic to expect of learners during the teaching process and whether what we practice in the classroom is consistent with how languages are learned.

The purpose of this paper is to characterize the process of language development in order to enable teachers to set reasonable goals in the classroom, adjust their teaching practices for the learner's needs and realistically assess their progress. The paper aims to examine a few influential

teaching methods, their theoretical background and their effectiveness in light of research findings in second language acquisition and classroom reality.

Theoretical models describing how children acquire their first language have served as a framework for studies of how second language is learned. The conclusions of researchers about second language acquisition might be better comprehended in light of the parallel first language acquisition theory. For this reason we begin by considering first language acquisition theories. Next we will examine second language acquisition theories and the effects of their implementation in teaching. Finally we will present some conclusions about second language acquisition which might provide guidelines for the evaluation of learning, goal setting and the choosing of teaching methods that serve the interests of learners in certain unique circumstances.

## » II. FIRST LANGUAGE ACQUISITION THEORIES

Before looking at first and second language acquisition processes it is necessary to make a clear distinction between the terms first language, second language and foreign language. According to Crystal (2007: 427), 'first language' (L1) refers to the language which is first acquired by a child. The term 'second language' (L2) is generally used for any language acquired by a learner other than the first language. In certain situations a distinction is made between second and foreign language. As Rod Ellis (2008b: 6-7) suggests, second language plays an institutional and social role in the community, whereas "foreign language learning takes place in settings where the language plays no major role in the community and is primarily used only in classroom". In this paper both foreign and second language learning are referred to as second language acquisition since our interest is to

consider underlying psycholinguistic mechanisms which are believed to be the same for both processes.

One of the influential theories in the 1950s and early 1960s describing first language acquisition is behaviourism. Behaviorists (Skinner 1957) view language learning as they do the learning of any set of new habits. Thus, imitation of what children hear in their environment, practice and negative or positive reinforcement from caregivers are the primary processes in the language development. Studies of L1 learning showed that in fact imitation and practice take place when a child learns language but do not exclusively account for the process. The question, which behaviourism could not answer was why children make 'creative' mistakes, like *Mummy goed*, if they only imitate language in their environment.

Noam Chomsky (1959), the founder of generative grammar, pointed out that language used by children is not mere repetition, as behaviourists suggested. Rather it is creative, because children produce sentences that they have never learned before, and rule-governed, even if the rules applied by children differ from those used by grown-ups. Chomsky's next claim was that a complex and abstract grammar could not be learned in such a limited time frame from often qualitatively poor samples of language that children encounter in their environment. He concluded that children have an innate facility, which helps them to learn the grammar by discovering the rules from language they hear. In other words, the ability to acquire language rules is genetically hardwired.

Chomskian ideas encouraged a lot of studies of children's speech with findings which seemed to support his claims of the innate nature of language acquisition since they all showed almost identical patterns of children's speech development and internal predisposition. Eimas et al. (1971) discovered that babies under the age of six months can distinguish phonemes (sounds) used in other languages they have not encountered before and concluded that children are born sensitive to language sounds. Slobin (1970)

revealed similarities in language learning behaviour of young children. All of them go through the same developmental phases as crying, cooing, babbling, etc. Brown (1973) came up with a relatively fixed order in which children learn grammatical morphemes in English (plural *-s*, articles *the* and *a*, regular past *-ed*). Children go through similar developmental stages of learning negations (Wode 1981) and questions (Bloom 1991) in English and other languages.

Developmental and cognitive psychologists seriously questioned the view of first language development as a genetically determined process. Ellis (1993: 42-43) pointed out that Chomskian theory did not provide the explanation of how the "mental organ" (the Chomskian term for innate ability) learned grammar rules and suggested a "simpler" account of the process. Developmentalists claimed that children's ability to make associations between things that occur together and general learning mechanisms, like analysis and categorization, are the internal factors necessary for learning a language. They emphasize the importance of the environment in which children are exposed to many thousands of opportunities to learn words and phrases. The utterances learned throughout the child's usage history are analyzed and regularities of use are abstracted to represent grammar rules (Ellis 2008a). The features of language which children encounter more frequently are acquired earlier.

### » III. SECOND LANGUAGE ACQUISITION THEORIES AND IMPLICATIONS FOR TEACHING

If, according to behaviourists, children learn their first language by imitating what they hear, the situation would be more complicated when it comes to learning the second language since a set of responses already exists in the first language. The process of second language teaching was about setting new habits in response to stimuli in a habitual environment. The first language was believed to help learning if the structures in the native language and in the target language were similar. If the structures in the two languages differed,

then learning the new target language would be difficult. It was suggested a teacher should make sure that students were developing a new habit by means of imitation and repetition of the same structures of the target language over and over again. Moreover a teacher was supposed to focus on teaching structures which were believed to be difficult, i.e. structures differing in the target and native languages. Linguists practicing the strategy of Contrastive Analysis, focused on comparing languages, revealing differences between them and providing clues for successful teaching.

However, practical experience showed that the difficulties the learners had with L2 were not always predicted by Contrastive Analysis. The researchers changed their focus to the analysis of learners' speech, revealing that their language is systematic i.e. it obeys certain rules, which are not necessarily similar to target-language rules. Errors could be partially explained by regularities found in the language they learn. An interlanguage is formed that has characteristics of previously learned languages as well as characteristics of L2. Studies of how L2 learners acquire grammatical morphemes, negation, questions, reference to the past (Lightbown and Spada 2006) showed that language learners with different language backgrounds go through similar developmental stages in acquiring these linguistic features and the stages resemble those which children learning their L1 go through.

The significant difference between the L1 acquisition and L2 acquisition process is that the developmental stages of L2 learners are not strictly separated from each other. An L2 learner may concurrently use sentences characteristic of different developmental stages. Advanced L2 learners when under stress or in complex communicative situations may use language of earlier stages. A child achieves a perfect mastery of the native language but perfect mastery is not likely to happen in L2 acquisition since at some point of development some features in the learner's interlanguage stop changing. This phenomenon is referred to as fossilization. Another crucial factor in the L2 learning process is the influence of L1. If learners feel similarities between their native and target languages

they transfer rules from their L1 to their L2. L1 influence prevents learners from seeing that the utterance they make is not based on the L2 features (White 1991). Sometimes the learners know the L2 rule but do not apply it because it is perceived as awkward due to the influence of their L1 (Schachter 1974).

The similarities revealed in L1 and L2 acquisition processes encouraged many researchers to use the Chomskian model of L1 acquisition as a model for L2 acquisition. One of the most influential theories based on this model was developed by Steven Krashen (1985). Its underlying principles shaped the communicative approach in language teaching. There are five main hypotheses in the theory. First of all, Krashen makes a distinction between the process of language acquisition and language learning:

*“Acquisition is a subconscious process identical in all important ways to the process children utilize in acquiring their first language, while learning is a conscious process that results in ‘knowing about language’”* (Krashen 1985:1).

Krashen suggests that learning does not lead to acquisition. Secondly, acquisition of language rules takes place according to a predictable sequence, independent of classroom instructions and formal simplicity. Thirdly, rules, which the student learns can only be used to correct the written or spoken output but do not lead to language acquisition.

The fourth hypothesis of Krashen provides three important components in this process of acquisition: the comprehensible input, the internal language processor (Chomsky’s Language Acquisition Device, LAD) and the affective filter. The comprehensible input is the message that a learner understands. The LAD “generates possible rules according to innate procedures” (Krashen 1985: 2f.). Another important factor in the process of language acquisition is the affective filter, which defines how much of the comprehended input reaches the LAD.

Fifthly, Krashen’s affective filter hypothesis claims, that the comprehensible input reaches LAD if the acquirer is ‘open’ to the input. Krashen explains what the affective filter is and names situations in

which it might be up and down: *“[It is up] when the acquirer is unmotivated, lacking in self-confidence, or anxious, when he is ‘on the defensive’, when he considers the language class to be a place where his weaknesses will be revealed. The filter is down when the acquirer is not concerned with the possibility of failure in language acquisition and when he considers himself to be a potential member of the group speaking the target language”* (Krashen 1985: 3f.).

As we have seen, Krashen suggests that L1 and L2 language learners use the same mechanisms for acquiring languages and that the ‘affective filter’ accounts for the degree of success that second language learners achieve. Furthermore, students’ efforts to learn rules of the target language do not result in acquiring proficiency. What learners benefit from most is comprehensible input. Apart from providing comprehensible input there is hardly anything a teacher can do since there is a certain order of language acquisition of universal nature, found in learners in different environments and with different first language backgrounds.

Krashen’s theory initiated a number of studies focusing on the effect of comprehensible input in the form of reading and listening. Exposure to written and audio texts proved to be positive for the development of learners’ vocabulary and speaking particularly at earlier stages of language learning (Lightbown 2002, cited in Lightbown and Spada 2006: 145). However, in the long run groups receiving traditional instructions showed better writing skills. According to Trahey and White (1993) learners could acquire new language features from language they understood but the input did not help them to correct mistakes they made. Groups receiving corrective feedback from teachers showed better results. Furthermore, learners who received a lot of input, explicit instructions and tasks focused on targeted linguistic features showed better results than learners exposed to texts only (Spada, Lightbown and White 2005, cited in Lightbown and Spada 2006: 148). So, comprehensible input is far more beneficial for learners if it is offered with form-focused instructions and negative evidence.

The role of the affective filter in the L2 acquisition process was analyzed and found insufficient. Schumann’s study of Alberto (1978), a thirty-three year-old Costa Rican, who kept social and psychological distance from native speakers, revealed the same patterns of linguistic development as found in Schmidt’s study of Wes (1983), a thirty-three year-old Japanese, who seemed to enjoy regular contacts with native speakers of English. Thus affective filter cannot fully account for differences between individuals in terms of success in language learning. However there are several psychological features underlying second language acquisition which are believed to explain why some learners succeed more than others. Researchers present different sets of characteristics necessary for successful learning. Cook (1996) mentions such factors as motivation, aptitude, learning strategies, age, cognitive style and personality. This list can be extended with anxiety, willingness to communicate and learner beliefs about the effectiveness of teaching instructions (Ellis 2008b). Identity and ethnic group affiliation are some social factors also affecting language learning process (Lightbown and Spada 2006).

So far we have considered L2 acquisition models based on habit formation and the internal language processor or LAD. The latest acquisition model is suggested by cognitive and developmental psychologists who explain both L1 and L2 acquisition processes in terms of the same cognitive learning mechanisms, i.e. associative learning, analysis and categorization. Just like children, L2 learners store multi-word units in their memory and extract regularities from them (Ellis 2008a). For learners to acquire multi-word units, they should encounter them many times in meaningful communication. The main teaching principle that can be drawn from this acquisition model is to teach phrases or lexico-grammatical units, rather than words and rules of grammar in isolation. Presenting lexico-grammatical units and analyzing them would supposedly contribute to grammar acquisition (Lewis 1983, Nattinger and DeCarrico 1992).

This model of L2 acquisition is based on the L1 acquisition model and on the principle that as soon as L2 learners create their database of multi-word

units, like children learning L1, they should implicitly extract grammar regularities and also, like native-speakers, pull out ready-made phrases and sentences from their memory and produce native-like utterances fluently. The question is whether L2 learners have the time and necessary input to accumulate all these multi-word units. Researchers present interesting facts which help answer the question. McLaughlin writes:

*“Consider the time it takes for a child to learn a first language: assuming that young children are exposed to a normal linguistic environment for at least five hours a day, they will have had, conservatively, 9,000 hours of exposure between the ages of one and six years. In contrast, the Army Language School in California regarded 1,300 hours as sufficient for an English-speaking adult to attain near-native competence in Vietnamese”* (McLaughlin 1993: 46).

Native speaker memory may store up to 100,000 phrases. Swan (2006) notices that if a learner memorizes ten phrases a day, it might take him/her thirty years to achieve native-like command. Ellis et al. (2008) revealed significant differences between the accuracy and fluency of processing academic formulas shown by native and non-native speaker students at the University of Michigan. They explained the differences in terms of frequency of exposure and practice. They wrote that over ten years native speakers encountered the academic language input at a rate of 30,000 words per day and output of 7,500 words per day. This makes 109 million words of input and 27 million words of output with the possibility to encounter academic formulas between 1,188 and 4,572 times. As for non-native speakers in this experiment, they learned English for twelve months with the intake of 10,000 words per day which amounts to 3.7 million words of total intake over the whole period. Ellis et al. conclude that the possibility is very high that non-native speakers did not experience some of the formulas at all.

Apart from the amount of practice and frequency of exposure to language which is available to native and non-native speakers, different social conditions and the cognitive maturity of L2

learners also make the two processes quite different. Whereas children have to engage in verbal communication and use language to satisfy their needs, adult L2 learners may have other problem-solving strategies, which allow them to omit practicing language (Wray 2002). Because adults already know where to look for dependable clues, they rely on the context of communication and content words (nouns, verbs, adverbs, adjectives) to figure out or convey the meaning, and overlook or underuse grammatical morphemes, which are often redundant for expressing the meaning (Ellis 2008b). Unlike children, who have a chance to receive a lot of input before they start speaking, adult learners have to start using L2 before they know enough of it. Obviously adults rely on their previous linguistic knowledge to figure out a new language (Wray 2002). At this point the teacher's form-focused instructions and corrective feedback are important to draw the learners' attention to the linguistic features that are not salient and to minimize the influence of the learners' L1 (Ellis 2008b).

#### » IV. CONCLUSION

We have considered three main models of second language acquisition along with teaching principles and methods based on these models. Our goal was to identify the characteristics of the second language acquisition process and to specify the optimal context of application and limitations of teaching methods designed to facilitate the acquisition process.

It turned out to be mistaken to expect that forming the right kind of new linguistic habits by drilling grammar structures would bring learners to produce the right version of the target language and to explain learners' errors exclusively as a result of insufficient exercises. As studies of the L2 acquisition process show, it is inaccurate to view the emerging learners' language as an incorrect form of the target language. Errors which learners make might be better explained in terms of their developing knowledge of the second language. The correct utterances which they produce might sometimes be the result of rote

memorization and not actual linguistic ability. Furthermore, apparent errors such as the form *wented* in *I wented to the shop* could be a feature of a higher developmental stage in which the learners have acquired the rule of forming regular past simple tense.

Absolute mastery of the target language would probably be an unrealistic and unnecessary goal for L2 learners in many educational contexts. The social circumstances and conditions of L2 acquisition considerably differ from those of children learning their first language. L2 learners do not have the time that children have to experience the language and have to begin using the target language before they have gained enough knowledge about it. L2 learners already have a firmly entrenched native language and often rely on its norms to deal with a new language. Older learners can understand the meaning of the utterance relying on the situational clues and a few key words so they overlook grammatical morphemes which are often low in salience and redundant in the understanding of meaning; therefore when speaking about past events the learners initially rely on the adverb *yesterday* and ignore the morpheme *-ed*.

Form-focused instructions are essential in the classroom to help learners see features of the target language which they might otherwise overlook. However, L2 learners do not learn the language by gradually acquiring one linguistic feature after the other. This is one of the reasons why the Audio-Lingual Method proved unsuccessful. Language progress is better explained in terms of qualitative changes when a breakthrough occurs in the learner's language even without a teacher's obvious influence. Corrective feedback is also necessary to help learners see when they apply the rules they learned incorrectly. Formal instructions and correction integrated into communicative and task-based methods contribute together towards better results.

L2 acquisition process involves psychological and social factors which might constrain the learner's achievements in acquiring the second language. Among the most important of these factors are

memory, age, learning strategies, motivation, personality, willingness to communicate and the learner's beliefs about effective teaching strategies.

With so many psychological aspects involved in the language acquisition process and with the variety of specific needs of learners in different educational contexts, a teacher may decide to choose effective techniques based on actual classroom research which could show if there is a relationship between a desired outcome and a method or technique used in the classroom. The characteristics of the L2 acquisition process might be useful for goal-setting, evaluating the process of learning and classroom research results.

#### REFERENCES

- Bloom, L. (1991): Language Development from Two to Three.
- Brown, R. (1973): A First Language: the First Stages.
- Chomsky, N. (1959): A Review of B. F. Skinner's Verbal Behavior.
- Cook, V. (1996): Language Learning and Language Teaching.
- Crystal, D. (2007): The Cambridge Encyclopedia of Language.
- Eimas, P., Siqueland, E., Jusczyk, P., Vigorito, J (1971): Speech Perception in Infants.
- Ellis, N. (1996): The Epigenesis of Language. Acquisition as a Sequence Learning Problem.
- Ellis, N. (2008): Phraseology: The periphery and the heart of language.
- Ellis, N., Simpson-Vlach, R., Maynard, G. (2008): Formulaic Language in Native and Second Language Speakers: Psycholinguistics, Corpus Linguistics, and TESOL.
- Ellis, R. (2008b): The Study of Second Language Acquisition.
- Krashen, S. (1985): The input hypothesis: issues and implications.
- Lightbown, P., Spada, N. (2006): How Languages are Learned.
- Lewis, M. (1983): The State of ELT and a Way Forward.
- Mclaughlin, B. (1993): Theories of second language learning.
- Nattinger, J., DeCarrico, J. (1992): Lexical Phrases and Language Teaching.
- Schachter, J. (1974): An Error in Error Analysis.
- Schmidt, R. (1983): Interaction, Acculturation and the Acquisition of the Communicative Competence: A Case Study of an Adult.
- Schumann, J. (1978): The Pidginisation Process: A Model for Second Language Acquisition.
- Skinner, B. (1957): Verbal Behaviour.
- Slobin, D. (1970): Universals of Grammatical Development in Children.
- Swan, M. (2006): Chunks in the Classroom: Let's not Go Overboard.
- Trahey, M., White, L. (1993): Positive Evidence and Pre-emption in the Second Language Classroom.
- White, L. (1991): Adverb Placement in Second Language Acquisition: Some Effects of Positive and Negative Feedback in the Classroom.
- Wode, H. (1981): Language Acquisition Universals: a Unified View of Language Acquisition.
- Wray, A. (2002): Formulaic language and the lexicon.

#### AUTOR

**Ludmilla Mamelina**  
Lehrbeauftragte für Englisch  
Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
TH Wildau [FH]  
ludmilla.mamelina@th-wildau.de

# GROßFLÄCHIGE ABSCHIEDUNG VON GRAPHEN

## Ein wichtiger Schritt für neuartige Bauelemente

Harald Beyer, Mandy Hofmann, Sebastian Trutz, Helge Lux, Sven Stissel, Wolfgang Mehr, Sigurd Schrader, Peter Siemroth

### Zusammenfassung

Das wachsende Interesse an Graphen beruht auf seiner unverwechselbaren Bandstruktur und seinen damit zusammenhängenden herausragenden physikalischen Eigenschaften. Es wird daher weltweit nach einem Verfahren gesucht, Graphen großflächig und mit hoher Qualität abzuschneiden. In einer an der TH Wildau [FH] speziell für diese Aufgabe konzipierten Reaktionskammer wurde die Herstellung mittels chemischer Gasphasenabscheidung auf katalytischen Metalloberflächen für verschiedene Parameter studiert und deren Verträglichkeit mit der CMOS-Technologie untersucht. Die ersten Tests erfolgten auf Nickel, da hier eine im Volumen stattfindende katalytische Reaktion einsetzt. In weiteren Schritten fiel die Wahl auf Kupfer, da hier die Reaktion an der Oberfläche stattfindet und daher ein stabilerer Prozess realisiert werden konnte. Die Qualitätsprüfung der erzeugten Schichten erfolgte mittels Raman-Spektrometrie.

### Abstract

The growing interest on graphene is based on the distinctive band structure and the resulting physical properties. Worldwide the community is looking for a method to get large-area and uniform graphene with high quality. At the Technical University of Applied Sciences Wildau there was constructed a special chamber to grow graphene using chemical vapour deposition with different parameters on a catalytically metallic substrate. It was studied if this process is compatible to the CMOS technology. First tests were done on nickel where the catalytical process takes place inside the bulk material. In further steps it was investigated if copper is a better choice because here the reaction is situated on the surface. This might be a more stable process. To look for the quality of the grown films a Raman spectrometer was used.

### » I. EINLEITUNG

Kohlenstoff, als Baustein des Lebens, gilt als eines der interessantesten Elemente im Periodensystem. Durch seine vielseitigen Erscheinungsformen ist er seit Jahrzehnten Gegenstand unterschiedlichster Forschungen. Spätestens seit dem Nobelpreis 2010 für Physik, der an die Wissenschaftler Andre Geim und Konstantin Novoselov verliehen wurde, ist die quasi-zweidimensionale Struktur, das Graphen im weltweiten Interesse. Es wurde bereits 2004 von den beiden russischen Wissenschaftlern eine freitragende Monolage aus Kohlenstoff hergestellt und grundlegend charakterisiert (Sachse 2012, Lindinger 2012). Dies galt zum damaligen Zeitpunkt als ausgeschlossen, da die verbreitete Meinung herrschte, dass strikt zweidimensionale Kristalle nicht stabil sein können.

Es zeigt sich, dass Graphen eine extrem hohe Ladungsträgerbeweglichkeit aufweist und daher mögliche Anwendungen von hocheffektiven Solarzellen über neuartige Sensoren bis zu Transistorbauelementen für den Terahertzbereich reichen. Seit 2009 wird an der TH Wildau [FH] im Rahmen des Projektes „Kohlenstoffbasierte Funktionsschichten für die

Elektronik und Photonik“ an der Herstellung und Charakterisierung von Graphen geforscht. Das Joint Lab zwischen der TH Wildau [FH] und dem IHP Frankfurt (Oder) hat dabei eine wichtige Rolle übernommen. Der grundlegende Aufbau einer Anlage sowie erste Tests erfolgten im Rahmen einer Diplomarbeit. Ausgehend von diesen Untersuchungen werden die weitere Optimierung der Prozesse und notwendige Neuerungen im Rahmen einer Dissertation als Kooperation zwischen der TH Wildau [FH] und der Universität Rom „Tor Vergata“ weitergeführt.

### » II. STRUKTUR UND EIGENSCHAFTEN VON GRAPHEN

Die Verbindung mehrerer Kohlenstoffatome kann in unterschiedlichen Varianten auftreten, wobei jede gebildete Struktur spezielle Eigenschaften besitzt. Grundsätzlich kann Kohlenstoff in drei Hybridisierungszuständen ( $sp^1$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ ) auftreten, die sich in unterschiedlichen Kräfteverteilungen und damit in unterschiedlichen Anordnungen der Atome auswirken, sodass verschiedene elektrische und mechanische Eigenschaften

resultieren. Ein typischer Vertreter von  $sp^3$ -hybridisiertem Kohlenstoff ist Diamant, bei dem alle Elektronenpaarbindungen gleich stark sind. Durch diese Konfiguration und die starken Bindungskräfte zwischen den Atomen ist der Diamant das härteste Material, was derzeit auf der Erde bekannt ist (Gottstein 2007).

Die Bezeichnung „Graphen“ wird für die Kohlenstoffmodifikation verwendet, die aus einer monoatomaren Schicht von Kohlenstoffatomen, die in  $sp^2$ -Hybridisierung vorliegen, besteht. Das bedeutet, dass beim Kohlenstoff zwei 2p-Niveaus mit einem 2s-Orbital hybridisieren, wodurch sich drei energetisch gleichwertige und gleichstarke keulenförmige  $sp^2$ -Hybridorbitale bilden. Jedes Orbital ist zum anderen Orbital um  $120^\circ$  versetzt, sodass sich unter Einbeziehung aller Kohlenstoffatome im Gitter eine Honigwabenstruktur (Sechseck-Ringe) ergibt (Meyer 2009). Graphen bildet somit eine zweidimensionale Struktur, welche nach lange vorherrschender Meinung nicht existieren kann, da zweidimensionale Kristalle nachweislich thermodynamisch instabil sind. In den 60er Jahren des

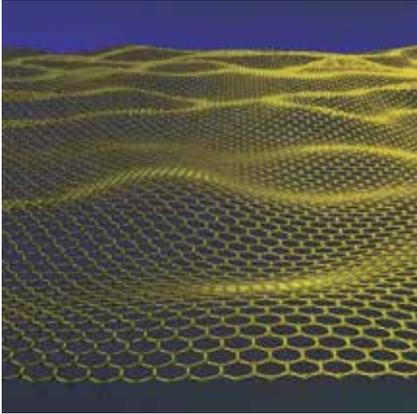


Abb. 1) Graphen ist ein perfektes Netz aus nur einer Atomlage von miteinander verbundenen Kohlenstoffatomen (Gottstein 2007).

20. Jahrhunderts gab es bereits erste theoretische Betrachtungen zum Graphen, deren Grundlagen genutzt wurden, um elektronische Eigenschaften komplexer Kohlenstoffmaterialien beschreiben zu können. Lange Zeit wurde davon ausgegangen, dass zweidimensionale Festkörper sich verklumpen und dreidimensionale Strukturen bilden. Graphen entzieht sich jedoch all dieser Einschränkungen, in dem es durch ein Aufwellen der Oberfläche metastabile Zustände annimmt, wodurch eine energetisch günstige, dreidimensionale Struktur entsteht (siehe Abb. 1). Es „knittert“ und mögliche auftretende Fluktuationen werden durch anharmonische Dehn- und Stauchschwingungen unterdrückt (Kliemt 2012).

Die Atome im Graphen sind 1,42 nm voneinander entfernt und haben eine Bindungsenergie von 4,3 eV (Baun 2012). Wenn sich nun mehrere Lagen Graphen übereinander befinden, so werden sie über die Van-der-Waals-Bindungen verknüpft, sodass sich ein dreidimensionaler Kristall, das Graphit, bildet (Trauzettel 2007). Die Bindungsenergien bei dieser Form betragen jedoch nur 0,07 eV, was um fast zwei Größenordnungen kleiner als bei der Elektronenpaarbindung ist. Das ist der Grund dafür, dass sich die Schichten des Graphits leicht voneinander lösen lassen.

Insgesamt sind damit vier Formen des  $sp^2$ -hybridisierten Kohlenstoffs bekannt (vgl. Abb. 2). Zu der monoatomaren Schicht Graphen und dem Graphitkristall kommen noch Kohlenstoffnanoröhrchen (Nanotubes), die aus zusammengerollten Graphenschichten bestehen.

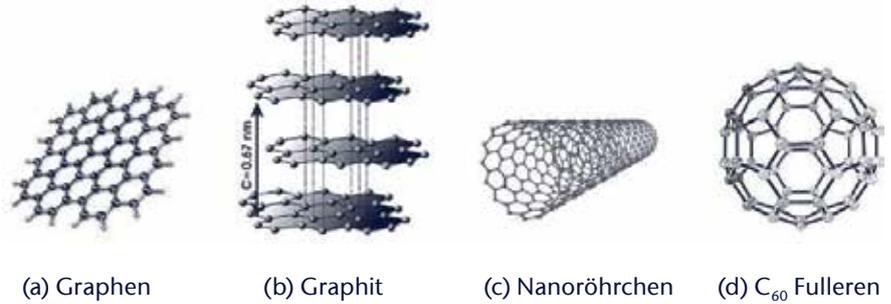


Abb. 2) Strukturen möglicher Kohlenstoffmodifikationen in  $sp^2$ -Hybridisierung (Biniok 2010)

Außerdem gibt es noch die Fullerene (Buckyballs). Sie bestehen aus Graphenschichten, bei denen teilweise Fünfecke anstatt Sechsecke eingebaut sind, sodass sich eine Kugel bildet (Baun 2012).

Graphen ist insgesamt ein für die Applikation sehr neuer und interessanter Werkstoff, dessen „Wellenstruktur“ neue elektrische Eigenschaften hervorruft. So ist z. B. im Gegensatz zu Halbleitern, die eine parabolische Dispersionsrelation haben, bei Graphen die Energie der Elektronen nahe der Fermikante eine lineare Funktion des Wellenvektors. Normalerweise ist das die Dispersionsrelation von relativistischen masselosen Teilchen (Seyller 2011). Es bedeutet, dass es eine doppel-kegelförmige Bandstruktur gibt, bei der sich die Leitungs- und Valenzbandkegel lückenlos in sechs Dirac-Punkten berühren,

den sogenannten K-Punkten (Kliemt 2012) (siehe Abb. 3). Graphen ist an diesen Punkten ein Halbleiter mit verschwindender Bandlücke. Dadurch können Elektronen ohne Hindernis vom Valenzband in das Leitungsband und umgekehrt wechseln, was dort zu einer hohen Ladungsträgerdichte führt. Eine extrem hohe Mobilität der Ladungsträger von bis zu 200.000  $cm^2/Vs$  resultiert aus der starken Krümmung der Bänder. Zudem kann das Fermi-Level durch ein elektrisches Feld so geändert werden, dass Graphen n-dotiert oder p-dotiert erscheint, sodass es als Halbleiterbaumaterial eingesetzt werden kann (Royal 2010). Insgesamt muss zur Beschreibung der Ladungsträger und ihres Verhaltens die Dirac-Gleichung für masselose Fermionen angewendet werden. Das bedeutet aber auch, dass ein für Graphen ungewöhnliches

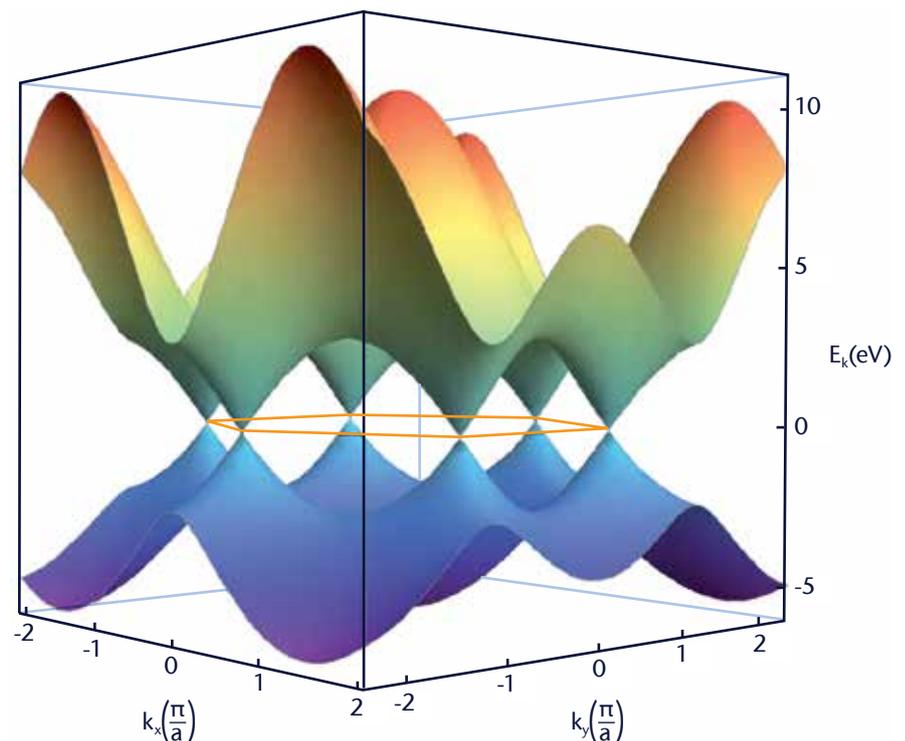


Abb. 3) Modelrechnung des Valenz- und Leitungsbandes von Graphen (Kliemt 2012)

Landauniveau-Spektrum existiert, das zu einem halbzahligen Quantenhalleffekt führt. Dieser Quantenhalleffekt ist auch schon bei Zimmertemperatur (20 °C) zu beobachten (Baun 2012). Weitere besondere Eigenschaften von Graphen sind das hohe Elastizitätsmodul mit 1020 GPa, das an die Härte des Diamanten heranreicht, und eine Zugfestigkeit von  $1,25 \cdot 10^{11}$  Pa, die die höchste ist, die je ermittelt wurde (Royal 2010). Graphen ist zudem außerordentlich transparent. Der Absorptionsgrad beträgt nur 2,3% und ist von der Wellenlänge des Lichts unabhängig (Kin Fai Mak 2008).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Graphen aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften für eine Vielzahl von Anwendungen denkbar ist. So ist die hohe Transparenz in Verbindung mit der hohen Leitfähigkeit eine ideale Voraussetzung für ein transparentes Elektrodenmaterial bei Solarzellen, LCD-Displays und Flachbildschirmen. Aufgrund seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit könnte es als neues Transistormaterial eingesetzt werden, wodurch die Wärmeverluste in diesen Bauelementen drastisch gesenkt würden. Des Weiteren sind mit Graphen höhere Taktraten und damit Schaltvorgänge im Transistor möglich. Diese könnten theoretisch auf bis zu 1000 GHz steigen. Die derzeit gängigen siliziumbasierten Taktraten erreichen höchstens 500 GHz. Erste Schritte in diese Richtung der

Graphenanwendung wurden bereits getätigt. So entwickelte IBM am Anfang des Jahres 2010 einen Transistor mit einer Taktung von 100 GHz (Lindinger 2012). Das IHP in Frankfurt (Oder) hat zudem bereits mehrere Patente zur Anwendung von Graphen in Transistoren angemeldet (Mehr 2011). Hierbei wird das Graphen als Basis des Transistors verwendet (GTB, Graphene Base Transistor), wodurch die Nachteile eines Feldeffekttransistors (FET) mit Graphen vermieden werden sollen. Diese sind der fehlende Sättigungsstrom sowie der hohe Leckstrom eines Graphen-FETs, was den Einsatz als elektronischer Schalter verhindert.

### » III. HERSTELLUNGSVERFAHREN

Grundsätzlich kann Graphen auf unterschiedliche Art und Weise hergestellt bzw. abgeschieden werden. Die Methode von Novoselov und Geim beruht auf dem wiederholten Abziehen von graphitischem Kohlenstoff mittels Klebeband, das so genannte „Sticky-Tape-Verfahren“. Durch immer weiteres Abziehen lassen sich so Monolagen erzeugen, die bis heute die besten Schichten liefern. Das Verfahren ist aber für eine Produktion von Bauelementen vollkommen ungeeignet, da nur kleine Graphenflakes in  $\mu\text{m}$ -Skalierung hergestellt werden können. Für die industrielle Massenproduktion muss daher ein Herstellungsverfahren entwickelt werden,

das es gestattet, Graphen defektfrei und großflächig abzuscheiden. Für die Transistorfertigung muss bei der Entwicklung auf die Kompatibilität zur CMOS-Technologie geachtet werden, was einige Verfahren von vornherein ausschließt.

Ein möglicher Prozess ist die Epitaxie von Graphen auf SiC-Kristallen. Wird ein solcher Kristall auf 1200–1600 °C erwärmt, so verdampft das Silizium aufgrund des höheren Dampfdrucks, wodurch sich auf der Oberfläche der zurückbleibende Kohlenstoff als Graphen abgelagert. Die sehr hohen Prozesstemperaturen machen diese Methode für industrielle Anwendungen aber wenig attraktiv.

Die Variante der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) von Graphen, die auch an der TH Wildau [FH] angewendet wird (Biniok 2010, Hofmann 2012, Lux 2012), beruht auf der Aufspaltung eines kohlenstoffhaltigen Precursorgases (z. B. Methan) an einer erwärmten (für Methan ca. 1000 °C) katalytischen Metalloberfläche. Verschiedene Metalle zeigen hierbei unterschiedliche Mechanismen, wobei sich in allen Fällen der durch den Aufspaltungsprozess freiwerdende Kohlenstoff unter optimalen Bedingungen auf der Oberfläche abgelagert und zu Graphen organisiert. Die jeweilige Prozessführung ist hierbei von dem verwendeten Substratmaterial abhängig. Bei der Abscheidung auf Nickeloberflächen handelt es sich um einen katalytischen Volumeneffekt, bei dem zunächst der Kohlenstoff nach dem Aufspaltungsprozess an der Oberfläche in die oberen Atomlagen des erwärmten Substratmaterials eindiffundiert. Durch den sich anschließenden Kühlprozess wird der im Nickel gespeicherte Kohlenstoff an die Oberfläche gebracht und bildet dort Graphen. In Abhängigkeit der Prozessparameter (Partialdrücke von Wasserstoff und Precursorgas, Prozesszeit, Kühlrate) kann defektfreies Graphen großflächig hergestellt werden. Ein typischer Prozessablauf für die Abscheidung von Graphen auf Nickel ist in Abbildung 4 dargestellt. Nach dem Aufheizen des Substrats auf 950 °C erfolgt hier ein Reinigungsschritt mit reinem Wasserstoff für 10 Minuten, gefolgt von dem eigentlichen Graphenprozess unter Zugabe von Methan für 3 Minuten. Anschließend wird das

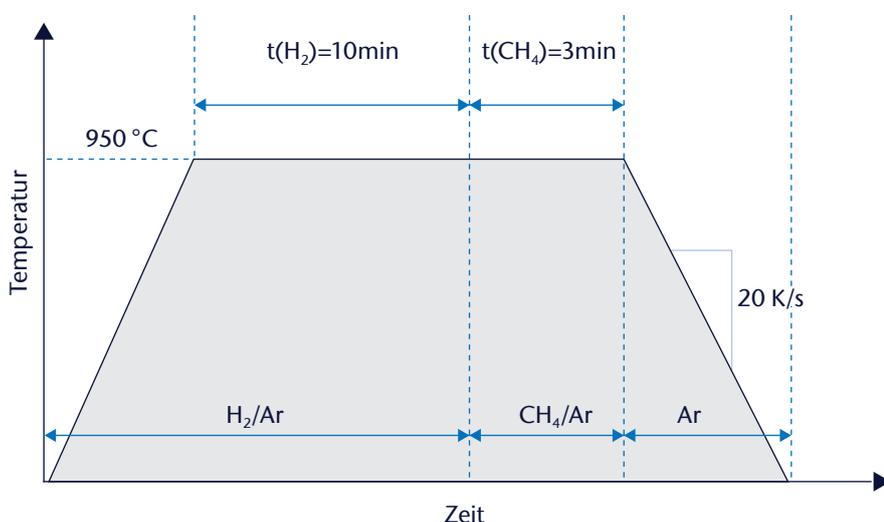


Abb. 4) Prozessablauf für die Abscheidung von Graphen auf Nickel (Baun 2012). Nach dem Aufheizen auf 950 °C wird das Substrat in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre gereinigt. Anschließend erfolgt die Kohlenstoffabscheidung aus Methan.

Substrat mit einer definierten Kühlrate von 10 K/s abgekühlt. Zusätzlich kann in diesem Prozess Argon als inertes Puffergas verwendet werden.

Wird Kupfer als Substratmaterial verwendet, so ist die Kühlrate kein begrenzender Faktor, da die Graphenbildung hier ein reiner Oberflächenprozess ist. Nach dem Aufspaltungsprozess des Precursors an der erwärmten Metalloberfläche wird das Graphen direkt auf der Oberfläche gebildet. Die Qualität des Graphens wird allerdings von Korngrößen des Substratmaterials negativ beeinflusst, was durch regelmäßige Unterbrechung der Gaszufuhr (gepulstes CVD) verbessert werden kann (Zheng Han 2012). Zusätzlich zu den auch an der TH Wildau [FH] getesteten Metallen ist die Bildung von Graphen sowohl auf Einkristallen, dünnen Schichten, Folien, Blechen oder Bulk-Materialien denkbar.

Für viele Anwendungen ist es entscheidend, dass Graphen nicht auf einem leitenden Substrat abgeschieden wird, sondern auf einem Isolator (z. B. Siliziumoxid). Mit den hier beschriebenen Verfahren ist das leider nicht möglich. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die auf katalytischen Metallen abgeschiedenen Graphenschichten auf die gewünschten Halbleitermaterialien zu transferieren, die für die meisten Einsatzgebiete als Substrat notwendig sind. Im Rahmen einer Bachelorarbeit zum Thema „Transfer und Charakterisierung von CVD-Graphen“, die in Kooperation zwischen der TH Wildau [FH] und dem IHP Frankfurt (Oder) durchgeführt wurde, erfolgten ein intensives Studium und Tests des notwendigen Transferprozesses (Trutz 2012). Ziel der Arbeit war es, dass an der TH Wildau [FH] auf Kupfer hergestellte Graphen auf ein Silizium-Waferstück zu übertragen. Hierfür musste zunächst das Graphen vom Kupfer abgelöst werden, was einige Probleme in sich birgt, denn das Graphen haftet auf dem Kupfer und hat sich der Topografie der Kupferoberfläche angepasst. Daher kann die monoatomare Graphenschicht nicht vom Kupfer abgelöst werden, ohne dass sie beschädigt wird und Restpartikel vom Kupfer am Graphen hängen bleiben. Aus diesem Grund musste das Kupfer komplett mithilfe einer Säure aufgelöst werden. Dieser Schritt alleine würde jedoch

bedeuten, dass die Graphenschicht am Ende des Ätzschrittes ohne Trägermaterial in der Säure schwimmt. Trotz der hohen Stabilität würde sie im Anschluss schwer handhabbar sein und vermutlich bei weiteren Schritten beschädigt werden. Zudem ist es möglich, dass das Graphen dann auf seinem zukünftigen Substrat nicht haftet. Aus diesen Gründen wird ein Transfermaterial benutzt, was übergangsweise das Graphen an sich bindet. In Anlehnung an einen in der Literatur beschriebenen Übertragungsprozess (Liang 2011) gelang es, Graphen auf Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) zu übertragen und diesen Prozess gezielt zu untersuchen und zu optimieren.

Um die Qualität der erzeugten Schichten zu charakterisieren wird vielfach die Ramanpektrometrie verwendet. Der Abbildung 5 ist ein typisches Ramanpektrum von Graphen zu entnehmen. Dort sind verschiedene Peaks zu sehen, die ihre Ursache wiederum in unterschiedlichen Schwingungen des Kristallgitters haben. Die Lage der Peaks ist dabei u. a. von der Anregungswellenlänge des Ramanlasers abhängig. Auf der linken Seite ist der D-Peak bei ca.  $1350 \text{ cm}^{-1}$  zu sehen, der bei Vorhandensein Aufschluss über Defekte im Kristallgitter (z. B.  $\text{sp}^3$ -hybridisierter Kohlenstoff) gibt. Bei reinem, defektfreiem Graphen ist dieser Peak nicht detektierbar, sodass seine Höhe ein Maß für die Güte der erzeugten Schicht darstellt (Krueger 2010). Rechts daneben befindet sich

der G-Peak, der bei ca.  $1600 \text{ cm}^{-1}$  liegt. Er zeigt an, dass es sich um  $\text{sp}^2$ -hybridisierten Kohlenstoff handelt, sodass er auch bei Graphit nachgewiesen werden kann. Seine Intensität sinkt mit der Anzahl der Kohlenstofflagen und erreicht bei Graphen ein Minimum. Er ist dann, abhängig von der Anregungswellenlänge, meist deutlich kleiner als der 2D-Peak (vgl. Abb. 5).

Der wichtigste Peak für die Identifikation von Graphen ist gleichzeitig der höchste im Graphenspektrum und liegt bei ca.  $2700 \text{ cm}^{-1}$ . Er ist die 2. Ordnung des D-Peaks und wird daher auch als 2D bezeichnet. Die Höhe, Halbwertsbreite (FWHM) sowie die Lage im Spektrum geben Aufschluss über die Anzahl der Graphenlagen. Bei einer Peakbreite (FWHM) von unter  $40 \text{ cm}^{-1}$  und einer Peaklage nahe  $2700$  Wellenzahlen liegt eine Monolage Graphen vor. Mit steigender Anzahl der einzelnen Graphenschichten wird der 2D-Peak breiter und flacher und verschiebt sich nach rechts Richtung  $2800 \text{ cm}^{-1}$ . Die absolute Höhe des „2D-Peak ist dabei wieder von der eingestrahlten Wellenlänge abhängig. Bei kurzweiliger Anregung (z. B.  $488 \text{ nm}$ ) ist der 2D-Peak bei Monolagen mehr als doppelt so hoch wie der G-Peak (vgl. Abb. 5).

Die Ramanlinie bei  $2370 \text{ cm}^{-1}$  ist charakteristisch für Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), der hier nur auftritt, da der Laserstrahl beim Messen den Stickstoff in der Luft durchquert und

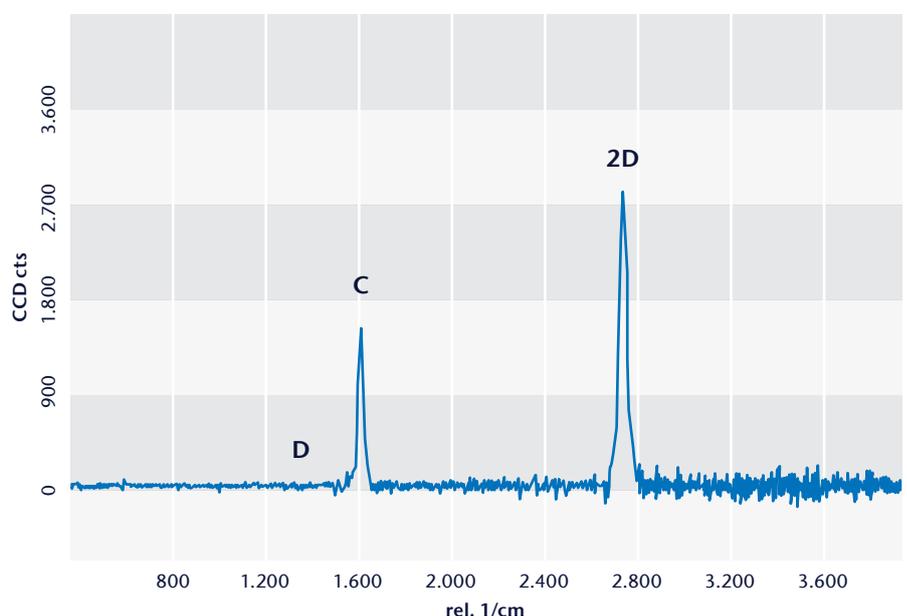


Abb. 5) Ausschnitt von einem Raman-Spektrum von Graphen auf einem Silizium-Wafer

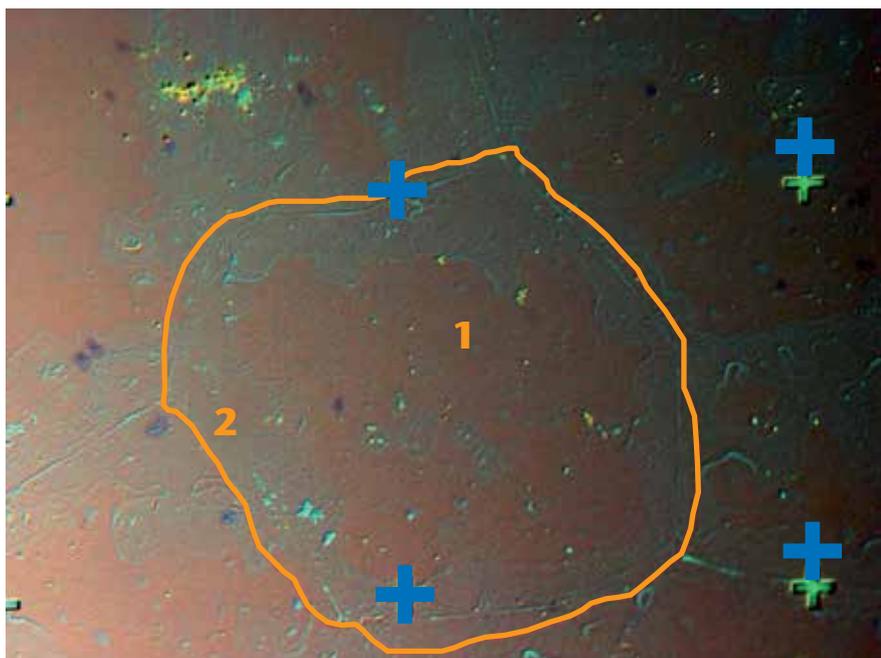


Abb. 6) Lichtmikroskopieaufnahme von Graphen auf einem Silizium-Wafer mit einem veränderten Kontrastwert. Die Kreuze sind Orientierungsmarken auf dem Wafer im Abstand von 10µm.

diesen dabei detektiert. Bei Untersuchungen der Schichten in einer Vakuumkammer verschwindet dieser Peak. Der kleine Peak zwischen dem 2D-Peak und dem Stickstoff-Peak bei ca.  $2450 \text{ cm}^{-1}$  ist wie der 2D-Peak eine Anregung zweiter Ordnung von Graphen. Er gibt also an, wie viel Graphen in wie vielen Schichten vorhanden ist, jedoch ist seine Intensität so gering, dass er qualitativ nicht für reproduzierbare Aussagen herangezogen werden kann (Gupta 2006).

Trotz aller Optimierung, eingesetzter hochwertiger Analysentechnik und Sorgfalt zeigte sich, dass auch die Transfertechnik nicht in der Lage ist, großflächige und defektfreie Graphenschichten zu liefern. In Abbildung 6 lassen sich einige der Defekte gut identifizieren. So sind die Korngrenzen der Kupferfolie sowie kleine Löcher in der Schicht zu erkennen. Es zeigen sich auch Gebiete mit unterschiedlicher Färbung (Pos. 1 und Pos. 2). Hier konnte mit der Ramanpektrometrie ermittelt werden, dass es sich zwar in beiden Fällen um Graphen handelt, jedoch ist es durch Verspannungen bei der Position 2 zu Störungen des Kristallgefüges gekommen.

Zur Herstellung von störungsfreien, großflächigen Graphenschichten auf katalytischen Metalloberflächen konnte

an der TH Wildau [FH] demonstriert werden, dass die Methode der chemischen Gasphasenabscheidung geeignet ist. Der anschließend notwendige Transferprozess von den Metalloberflächen auf die für den späteren Einsatz geeigneten Halbleiter oder Isolatoren stellt mit den heute bekannten Methoden jedoch noch immer ein Problem dar. Im Rahmen einer Kooperation zwischen der TH Wildau [FH] und der Firma Arc Precision GmbH wurde nach einer Alternativmethode gesucht, um Graphen auf isolierenden Siliziumoxidschichten direkt abscheiden zu können. Erste Versuche mit einem gefilterten Hochstrombogen und einem anschließenden Temperprozess zeigen vielversprechende Ergebnisse, da mittels Ramanpektrometrie graphenhaltige Schichten nachgewiesen werden konnten. Diese sind über einige  $\text{cm}^2$  homogen und zeigen in Hall-Messungen bereits Flächenwiderstände von  $16 \text{ K}\Omega$ . Die Idee und die damit zusammenhängende Technologie wurden im Zuge dieser Pionierarbeiten bereits als Patent angemeldet (Patent 2012).

#### » IV. AUSBLICK

Graphen ist ein außerordentlich vielversprechendes Material für eine große Zahl innovativer Anwendungen, insbesondere für das Gebiet der Energienutzung und -umwandlung. Der Weg der Überführung in einen großindustriellen Einsatz ist jedoch langwierig und mühevoll. Die TH Wildau [FH] hat zusammen mit dem IHP Frankfurt (Oder) in einem gemeinsamen JointLab an dieser Entwicklungsarbeit erfolgreich teilgenommen. In einem geförderten Projekt, einer Diplom-, einer Bachelor- und einer Masterarbeit wurden aufschlussreiche Details zum Wachstum, der Messmethodik und des Transfertechnik untersucht. Zudem ist ein Patent aus den Untersuchungen hervorgegangen. Grundsätzlich sind die Wissenschaftler der Arbeitsgruppe Photonik, Laser- und Plasmatechnologien der TH Wildau [FH] in der Lage, störungsfreies, großflächiges Graphen herzustellen und gezielt zu charakterisieren. In der Zukunft sind jedoch noch viele Ideen notwendig, um mithilfe von Graphen die vielen neuen Bauelemente und Anwendungen zu realisieren.

## LITERATUR

Baun, A. (2012): Vortrag „Funktionalisierung von Graphen“, Johannes Gutenberg Universität Mainz, Mainz. Available: [www.chemie.uni-mainz.de](http://www.chemie.uni-mainz.de) (Zugriff am 24.04.2012, 12:45 Uhr).

Biniok, D. (2010): „Konzipierung, Aufbau und Test einer Reaktionskammer zur Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten“, Diplomarbeit, TH Wildau [FH].

Gottstein G. (2007), „Physikalische Grundlagen Materialkunde. 3. Auflage.“ Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Gupta, A., Chen, G., Joshi, P., Tadigadapa, S., und Eklund, P. (2006): „Raman Scattering from High-Frequency Phonons in Supported n-Graphene Layer Films“. In: Nano Letters Vol. 6, No. 12., 2667–2673.

Han, Zh., Kimouche, A., Allain, A., Arjmandi-Tash, H., Reserbat-Plantey, A., Pairis, S., Reita, V., Bendiab, N., Coraux, J., Bouchiat, V. (2012): Suppression of Multilayer Graphene Patches during Graphene growth; Institut N<sub>2</sub>EEL, CNRS and Universite Joseph Fourier, BP166, F-38042 Grenoble Cedex 9.

Hofmann M., D. Biniok, O. Seifarth, Beyer, H., Schrader, S., Mehr, W. (2011): Design und Test einer Reaktionskammer zur Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten auf Nickel- und Iridiumsubstraten; 12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen, Hochschule Harz, Wernigerode, 14.04.2011, Tagungsband.

Kliemt, K., Neumann, C. (2012): „Graphen“, Vortrag an der Goethe Universität Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, 2012. Available: [http://itp.uni-frankfurt.de/~valenti/TALKS\\_BACHELOR/GraphenVortrag.pdf](http://itp.uni-frankfurt.de/~valenti/TALKS_BACHELOR/GraphenVortrag.pdf). (Zugriff am 23.04.2012, 10:11 Uhr).

Krueger, A. (2010): „Carbon Materials and Nanotechnology“, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 207.

Li, T., Jongho, L., Chou, H., Holt, M., Ruo, R. S., Akinwande, D. (2012): Synthesis of High Quality Monolayer Graphene at Reduced Temperature on Hydrogen-Enriched Evaporated Copper (111) Films; ACSNANO VOL. 6, NO. 3, 2319–2325.

Liang, X., Sperling, B. A., Calizo, I. (2011): „Toward Clean and Crackless Transfer of Graphen“, ACS Nano, [www.acsnano.org](http://www.acsnano.org).

Lindinger, M. (2012): „Frankfurter Allgemeine“, Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH 2012, 5 Oktober 2010. (Online). Available: <http://www.faz.net/aktuell/wissen/physik-chemie/nobelpreis-fuer-physik-2010-die-bremsspur-des-bleistifts-11051468.html> (Zugriff am 26.04.2012, 10:49 Uhr).

Lux, H., Villringer, C., Seifahrt, O., Hofmann, M., Schrader, S., Mehr, M. (2011): Abscheidung von Graphenschichten auf Kupfersubstraten; 12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen, Hochschule Harz, Wernigerode, 14.04.2011, Tagungsband.

Mak, K. F., Sfeir, M. Y., Wu, Y., Lui, Ch. H., Misewich, J. A., Heinz, T. F. (2008): Measurement of the Optical Conductivity of Graphene. In: Phys. Rev. Lett. 101, 196405 (2008).

Mehr, W., Dabrowski, J., Lippert, G., Lemme, M., Lupina, G., Scheytt, J. C. (2011): P-type Graphene Base.

Meyer, J. (2009): Science, Vol. 324, 15.05.2012.

Patent Aktenzeichen 10 2012 0112 77.7 eingereicht am 08.06.2012.

Sachse, M. (2012): „Hardware-Infos“, Hardware-Infos, 8 Februar 2010. (Online). Available: <http://www.hardware-infos.com/news.php?news=3415> (Zugriff am 26.04.2012, 11:08 Uhr).

Seyller, T. (2011) „[www.graphene.nat.uni-erlangen.de](http://www.graphene.nat.uni-erlangen.de/)“, Universität Erlangen, 28 Juni 2011. (Online). Available: <http://www.graphene.nat.uni-erlangen.de/graphen.htm> (Zugriff am 12.05.2012, 11:43 Uhr).

The Royal Swedish Academy of Sciences (2010): „Graphene – Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010“, [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org), Stockholm, 2010. Available: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2010/advanced-physicsprize2010.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/advanced-physicsprize2010.pdf) (Zugriff am 30.04.2012, 16:32 Uhr).

Transistor (Patent); IHP.379.11, EP-Erstanmeldung am 23.12.2011, AZ: 11 195 711.4.

Trauzettel, B. (2007): „Von Graphit zu Graphen“. In: Physik Journal 6, pp. 39-44, 7 Juli 2007. Available: [www.prophysik.de/details/articlePdf/1104875/issue.html](http://www.prophysik.de/details/articlePdf/1104875/issue.html) (Zugriff am 27.04.2012, 13:23 Uhr).

Trutz, S. (2012): Transfer und Charakterisierung von CVD-Graphen, Bachelorarbeit, TH Wildau.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Graphen ist ein perfektes Netz aus nur einer Atomlage von miteinander verbundenen Kohlenstoffatomen

Abbildung 2: Strukturen möglicher Kohlenstoffmodifikationen

Abbildung 3: Modelrechnung des Valenz- und Leitungsbandes von Graphen

Abbildung 4: Prozessablauf für die Abscheidung von Graphen auf Nickel (Baun 2012). Nach dem Aufheizen auf 950°C wird das Substrat in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre gereinigt. Anschließend erfolgt die Kohlenstoffabscheidung aus Methan.

Abbildung 5: Ausschnitt von einem Raman-Spektrum von Graphen auf einem Silizium-Wafer

Abbildung 6: Lichtmikroskopieaufnahme von Graphen auf einem Silizium-Wafer mit einem veränderten Kontrastwert. Die Kreuze sind Orientierungsmarken auf dem Wafer im Abstand von 10µm.

## KONTAKTDATEN

Harald Beyer  
TH Wildau [FH]  
[harald.beyer@th-wildau.de](mailto:harald.beyer@th-wildau.de)

## IHP

– Innovations for High Performance Microelectronics  
Materials Research Department  
Im Technologiepark 25  
15236 Frankfurt (Oder)  
[harald.beyer@th-wildau.de](mailto:harald.beyer@th-wildau.de)

[www.ihp-microelectronics.com](http://www.ihp-microelectronics.com)