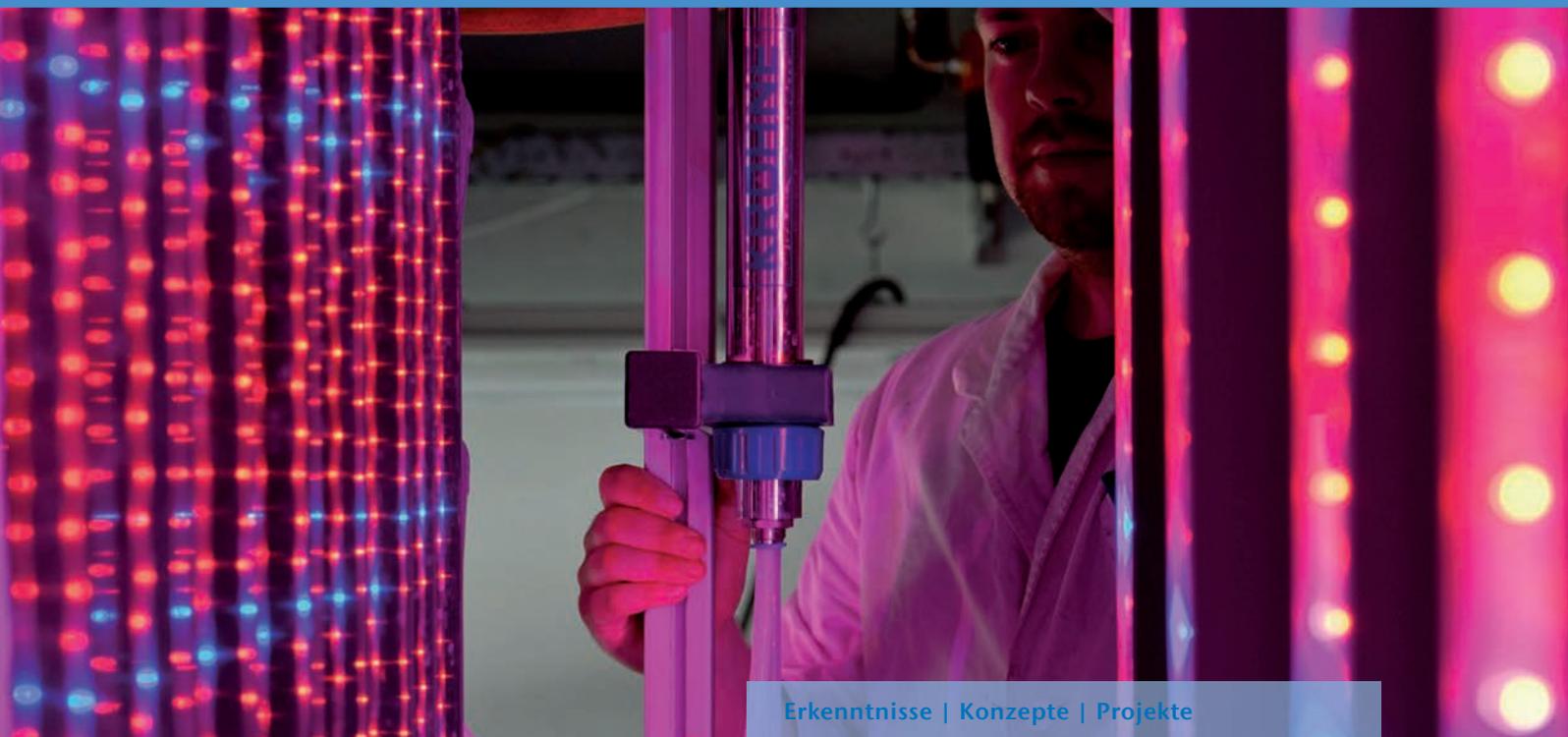


## Forschung, Entwicklung und Lehre



Erkenntnisse | Konzepte | Projekte

Aus dem Inhalt: Einfluss der Kryokonservierung, Labelfreie Detektion, Intelligent Facility Management, New Polyurethanes, Terrorist Attacks on Air Cargo, Wiki-basiertes Dokumentationssystem, Schnelle Energiewende, Klimawandel als Kulturthema, 3D-Fernsehen, Prosumtionstheoretische Implikationen, Task-Based Language Teaching



**Wissenschaftliche Beiträge  
2012**

## Impressum

### Herausgeber

*Der Präsident der Technischen Hochschule Wildau [FH]*

Prof. Dr. László Ungvári

Bahnhofstraße

15745 Wildau

T +49 3375 508-101

F +49 3375 500324

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

### Redaktionskollegium der TH Wildau [FH]

Prof. Dr. rer. nat. Asta Richter

Prof. Dr. phil. Olga Rösch

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme

Prof. rer. pol. Frank Sistenich

Prof. Dr. rer. nat. Tilo Wendler

### Redaktion

*Redaktionsleitung*

Markus Vossel

T +49 3375 508-673

[markus.vossel@th-wildau.de](mailto:markus.vossel@th-wildau.de)

*Redaktionsmitarbeit*

Marie-Christin Ernst

### Gesamtherstellung

Verlag News & Media

Perelsplatz 18

12159 Berlin

T +49 30 85962170

F +49 30 85962171

[verlag@newsmedia.de](mailto:verlag@newsmedia.de)

### ISSN 0949-8214

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge

bei Quellenangabe frei.

## Inhalt

- 05** Vorwort
- 07** Einleitung
- Schwerpunkt Biosystemtechnik | Bioinformatik**
- 09** *Lars Radke, Annika Lubitz, Christoph Giese, Marcus Frohme*  
Einfluss der Kryokonservierung auf die Immunantwort von Leukozyten
- 15** *Johannes Tanne, Daniel Schäfer, Waquas Khalid, Wolfgang J. Parak, Fred Lisdat*  
Lichtgesteuerter bioelektrochemischer Sensor basierend auf CdSe/ZnS-Quantum Dots
- 23** *Christoph Tersch, Fred Lisdat*  
Labelfreie Detektion von Protein-DNA-Interaktionen durch elektrochemische Impedanzspektroskopie
- 31** *Ulrich M. Tillich, Stefanie Grüber, Marcus Frohme*  
Etablierung von Hochdurchsatz-Kultivierungs- und -Screeningmethoden für phototrophe Einzeller
- Schwerpunkt Informations- und Kommunikationstechnologien**
- 37** *Bernd Eylert*  
Die Medien aus der Sicht eines Nachrichtentechnikers
- 47** *Margit Scholl, Maika Büschenfeldt*  
IT-Projekte im deutschen E-Government: IT-Projektmanagement zwischen Planung und Selbstorganisation
- 57** *Ralf Vandenhouten, Ralph Holland-Moritz*  
A software architecture for intelligent facility management based on complex event processing
- 63** *Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel*  
A model-driven concept for the automatic integration of legacy protocols to distributed component-oriented software systems
- Schwerpunkt Managementsysteme**
- 69** *Thomas Biermann*  
Will Terrorist Attacks on Air Cargo Have an Impact on World Trade?

- 79** *Bertil Haack*  
Nachhaltiges Projektmanagement am Beispiel der Einführung von Enterprise Resource Planning-Software
- 85** *Jascha Silbermann, Andrea Schmid*  
Ein Wiki-basiertes Dokumentationssystem für das Qualitätsmanagement der Hochschule
- Schwerpunkt  
Materialtechnik** **93** *Vladimir Peshkov, Gerhard Behrendt, Rozeta Evtimova, Michael Herzog*  
New Polyurethanes with a polyurea matrix
- Schwerpunkt  
Wirtschaft und Governance** **103** *Marco Althaus*  
Schnelle Energiewende – bedroht durch Wutbürger und Umweltverbände? Protest, Beteiligung und politisches Risikopotenzial für Großprojekte im Kraftwerk- und Netzausbau
- 115** *Jenny Baumann, Sarah Bruhs, Yelena Bryantseva, Ekaterina Chmyreva, Marie-Christin Ernst, Anne Frischbier, Katharina Fritsch, Mario Glowik, Lisa Lippert, Bo Ma, Thuy Nguyen und Nathalie Sroka*  
3D-Fernsehen – Top oder Flop? Eine Marktanalyse
- 123** *Ulla Große, Martina Brandt*  
Avoiding gender bias during measurement of individual research output of scientists – adaption of an analytical concept developed for health care research
- 129** *Olga Rösch*  
Klimawandel als Kulturthema. Die Sicht einer Kulturwissenschaftlerin
- 137** *Frank Sistenich, Katrin Böckler*  
Eventmarketing – Prosumtionstheoretische Implikationen zur Erweiterung der Theoriebildung eines innovativen Kommunikationsinstruments
- 145** *Tilo Wendler*  
Kausalanalyse mit linearen Strukturgleichungsmodellen (LISREL)
- Lehre und Lernen** **153** *John O’Donoghue*  
Task-Based Language Teaching. A new methodological approach to Second Language Acquisition – opportunities and challenges.

## Vorwort

*Prof. Dr. László Ungvári*



Die Technische Hochschule Wildau [FH] feierte 2011 ihr 20-jähriges Bestehen. Auch im Jubiläumsjahr setzte sich die positive Entwicklung zu einer echten Campushochschule von Rang fort – von der Zahl der Studienbewerber über die Grundsteinlegung für zwei weitere Hochschulgebäude bis hin zur Internationalisierung und wiederum gestiegenen Drittmitteleinnahmen.

Trotz der problematischen demografischen Entwicklung bei den Schulabgängern im Osten Deutschlands erhöhte sich erneut die Nachfrage nach einem Studienplatz in Wildau. So bewarben sich zum Wintersemester 2011/2012 4.089 junge Menschen, das sind 6,8 Prozent mehr als im Vorjahr. Über die Hälfte der Bewerber kam aus dem Land Brandenburg, ein Viertel aus Berlin. Der Anteil junger Frauen lag bei knapp 40 Prozent. Aufgrund der begrenzten Anzahl der Studienplätze mussten wieder alle Bachelor-Studiengänge mit einem Numerus Clausus belegt werden.

Schon dieses Szenario deutet an, dass zukunftsweisende praxisorientierte Studiengänge und eine hochmoderne Lehr- und Forschungsinfrastruktur wichtige Vorteile im Wettbewerb mit anderen Hochschulen darstellen. Darüber hinaus wird auch die Vollendung des Hochschulcampus die Attraktivität des Standortes weiter befördern.

Die Baufachwelt schaut schon heute mit großem Interesse auf den Wildauer Campus. Die verschiedenen Entwürfe namhafter Architekturbüros wurden nicht nur in zahlreichen Aufsätzen als beispielhaft gelobt, sondern auch mit Preisen ausgezeichnet. Zum 20-jährigen Bestehen der TH Wildau hat der Leiter der Hochschulbibliothek, Dr. Frank Seeliger, im Auftrag des Präsidenten ein Buch mit dem Titel »Auf den Spuren der Wildauer Steine« konzipiert, das Hochschulangehörige, Gäste und Besucher sowie die Wildauer Bevölkerung zum Architekturspaziergang über den Campus der TH Wildau einlädt. Zahlreiche Fotografien und Aufsätze von Denkmalpflegern, Historikern und den

beteiligten Architekten veranschaulichen die architektonische Vielfalt und Baugeschichte des ehemaligen Industriestandorts und seinen Wandel zum Ort für Forschung und Lehre.

Die Entwicklung des Hochschulgeländes steht im Kontext des neuen Stadtentwicklungskonzeptes der Gemeinde Wildau auf ihrem Weg zur Stadt. Am 28. Juni 2011 trafen sich ortsansässige Unternehmer, Wirtschaftsförderer und Standortentwickler, Kommunalpolitiker, Vertreter der öffentlichen Verwaltung sowie Hochschulangehörige zum Austausch über Chancen und Potenziale der Kommunalentwicklung auf der 2. Standortkonferenz an der TH Wildau. Hintergrund dieses Treffens war, dass auf dem historischen Industrieareal im Zentrum von Wildau zurzeit ein »Europäischer Spitzencampus für Wirtschaft, Wissenschaft und Lebensqualität« entsteht. Dies wurde bereits 2007 mit der Verleihung des Titels »Ausgezeichneter Ort im Land der Ideen« durch den Bundespräsidenten im Rahmen der Initiative »Deutschland – Land der Ideen« gewürdigt. Dem Wunsch der Akteure folgend, die Zusammenarbeit mit regelmäßigen Treffen zu untersetzen, fand 2009 die 1. Wildauer Standortkonferenz in den Räumen der Hochschule statt. Die engen Beziehungen zwischen den Beteiligten haben sich in den letzten beiden Jahren weiter vertieft. Sichtbare Ergebnisse sind die Unterzeichnung einer Kooperationsvereinbarung der Gemeinden des Regionalen Wachstumskerns »Schönefelder Kreuz« und der TH Wildau, die Bildung einer Arbeitsgruppe »Entwicklung Wildaus zur Hochschulstadt« und die inzwischen abgeschlossenen bzw. begonnenen Bauvorhaben auf dem Gelände zwischen Berg- und Freiheitstraße.

So wurde am 23. Mai 2011 in Anwesenheit der Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst, und der Staatssekretärin im Ministerium der Finanzen des Landes Brandenburg, Daniela Trochowski, der

Grundstein für das »Verfügungsgebäude II« und die Rekonstruktion der historischen Industriehalle 17 gelegt. Gleichzeitig erfolgte die Grundsteinlegung für ein modernes Apartment-Wohnheim des Studentenwerks Potsdam für einhundert Studierende.

Mit einer Nutzfläche von über 7.500 Quadratmetern für einen Hörsaal, Seminar- und Lehrräume sowie Labor- und Versuchsflächen für die technischen Studiengänge Ingenieurwesen, Logistik, Wirtschaftsingenieurwesen und Telematik ist das Bauvorhaben auf dem Campus der TH Wildau das derzeit größte Hochschulbauprojekt des Landes Brandenburg. Wissenschaftsministerin Sabine Kunst betonte: »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.«

Außer der Ministerin besuchten 2011 weitere prominente Gäste die TH Wildau. Anlässlich des 20. Jahrestages der Gründung unserer Hochschule hatten wir die neue Veranstaltungsreihe »Mit Spitzenpolitikern im Gespräch« unter der Schirmherrschaft von Honorarprofessor Dr. Peter Danckert, MdB, ins Leben gerufen. Zum Auftakt sprach Bundesfinanzminister a. D. Peer Steinbrück, MdB, am 4. April in der Hochschulbibliothek über »Europa in einem neuen globalen Machtgefüge«. Ihm folgte am 9. Mai im Großen Hörsaal von Halle 14 der US-amerikanische Botschafter Philip D. Murphy mit einem Vortrag zum Thema »Heroines & Heroes – People Who Have Made a Difference«. Der Besuch des Botschafters war eine große Freude und Ehre für unsere Hochschule und die Region. Er zeigte, dass die TH Wildau inzwischen mit ihren Leistungen weit über das Land Brandenburg hinausstrahlt. Das ist gut für den gesamten Standort. Insbesondere unser Kurs auf Internationalisierung in Lehre und Forschung trägt Früchte.

Der Internationalisierungsprozess schlägt sich aktuell unter anderem im Ratifizierungsabkommen vom 8. März 2011 zur Gründung einer Deutschen Logistik Hochschule an den Higher Colleges of Technology in Abu Dhabi/Vereinigte Arabische Emirate nieder. Wissenschaftsministerin Sabine Kunst bezeichnete das Projekt anlässlich der Ratifizierung als Türöffner für weitere Bereiche der Zusammenarbeit mit der arabischen Golfregion. Die Realisierung des Projektes wird vom Deutschen Akademischen Austauschdienst gefördert und erfolgte in einem Konsortium der Hochschule Bremen, der Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth und der TH Wildau als Lead Partner. Im

Herbst 2011 begann der Lehrbetrieb an der neugegründeten Hochschule in Abu Dhabi. Des Weiteren haben wir am 28. April 2011 eine langfristige Kooperationsvereinbarung mit dem Regional College of Management Autonomous (RCMA) in der ostindischen Stadt Bhubaneswar über den Studierendenaustausch mit der Möglichkeit eines Doppel-Master-Abschlusses in den Studiengängen »Wirtschaftsinformatik« (TH Wildau) und »Computer Application« (RCMA) sowie gemeinsame Forschungsprojekte unterzeichnet. Initiiert wurde dieses Projekt von Prof. Dr. Günter-Ulrich Tolkiehn.

Die Vergabe von Doppelabschlüssen ist seit längerem eine erfolgreiche Praxis zwischen der TH Wildau und ihren ausländischen Partnerhochschulen. So erhielten 2011 zu ihren Heimatabschlüssen im Studiengang Logistik neun Absolvent/innen der WSL Poznań, der TU Poznań, der HAN Arnhem und der DKU Almaty und im Masterstudiengang Europäisches Management sechs Absolvent/innen der Staatlichen Polytechnischen Universität St. Petersburg auch den entsprechenden Abschlussgrad der TH Wildau. Umgekehrt bekamen sechs TH-Absolvent/innen im Studiengang Logistik auch den Abschluss der HAN Arnhem. Seit Bestehen unserer Hochschule erwarben 6.978 Damen und Herren einen Abschluss der TH Wildau, davon allein 2011 insgesamt 935. Bei ihrer Verabschiedung am 15. Oktober hielt Außenminister a. D. Dr. Frank-Walter Steinmeier, MdB, die Festrede und signalisierte durch sein langes Bleiben, dass er sich bei uns und unter ihnen sehr wohl fühlte.

Nach diesem Rückblick auf einige besondere Ereignisse im Jubiläumsjahr der Hochschule lade ich Sie nun ein, sich intensiver mit den Forschungsaktivitäten unserer Professoren, wissenschaftlichen Mitarbeiter, Studierenden und Kooperationspartner zu befassen. Die vorliegenden »Wissenschaftlichen Beiträge 2012« bieten zum 17. Mal einen Einblick in einige der über 200 bearbeiteten Forschungsprojekte und noch mehr studentische Abschlussarbeiten. Die hier versammelten 19 Aufsätze spiegeln auszugsweise das breite Spektrum an ingenieurwissenschaftlichen, betriebswirtschaftlichen, verwaltungswissenschaftlichen und kulturwissenschaftlichen Themen wider, mit denen sich die Angehörigen der TH Wildau befassen.

Allen Leserinnen und Lesern wünsche ich bei der Lektüre vielfältige Einsichten und neue Anregungen.

Prof. Dr. László Ungvári  
*Präsident der TH Wildau [FH]*

## Einleitung

*Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag*



Die TH Wildau [FH] versteht sich als Hochschule mit einem Schwerpunkt in der angewandten Forschung und Entwicklung und einem für Fachhochschulen seit Jahren sehr respektablen Budget an Drittmiteinnahmen, die zusätzliche Einnahmen zum Haushalt der Hochschule von mehr als 50 Prozent bedeuten. Die Zielsetzung, möglichst viele Kollegen trotz der gegebenen hohen Belastung durch das Lehrdeputat für die Forschung und Entwicklung zu gewinnen, ist immer wieder eine neue Herausforderung. Dies soll nicht nur durch die im Wettbewerb der Hochschulen und Forschungsinstitutionen eingeworbenen Forschungsprojekte und deren Ergebnisse dokumentiert werden, sondern vor allem durch Veröffentlichungen, die sich auch auf hervorragende Abschlussarbeiten beziehen und oft gemeinsam von Absolventen und betreuenden Hochschullehrern in den Wissenschaftlichen Beiträgen vorgestellt werden. Diese Veröffentlichungen sind eine wichtige Säule unserer Wissenschaftlichen Beiträge.

Die Wissenschaftlichen Beiträge dienen auch der Dokumentation der vielen Veranstaltungen zu Forschungsthemen an der TH Wildau sowie der Forschungsprojekte der Hochschule. Hier sind insbesondere die internationalen Konferenzen, Seminare und Workshops an der TH Wildau im Verlaufe des Jahres aufgrund der zahlreichen Einbindung in europäische Projekte zu nennen.

Die TH Wildau führt gegenwärtig mit ACUMEN ein Projekt im Spezifischen Programm »Kooperation« des 7. Forschungsrahmenprogramms der Europäischen Kommission durch. Ein weiteres Projekt befindet sich gerade in der Verhandlungsphase mit der Kommission und wird voraussichtlich im Frühjahr 2012 starten.

Neben dem Forschungsrahmenprogramm nutzt die Hochschule auch verstärkt die INTERREG-Förderung. So war beispielsweise die Logistik in den renommierten Projekten SONORA, SCANDRIA, FLAVIA zum Ostsee-Adria-Korridor und in PEA zur Biomasselogistik der

regenerativen Energien mit verschiedenen Veranstaltungen vertreten. Darüber hinaus beteiligt sich die TH Wildau [FH] erfolgreich am Lifelong Learning Programme der EU (LLP) und hat gerade das Projekt ENG-4LOG mit Partnern aus Polen und Italien begonnen, in dem Blended Learning-Module zur Logistikausbildung entwickelt werden.

Das Ziel, an der TH Wildau [FH] den Anteil der »forschenden Professoren« an der Professorenschaft durch anwendungsorientierte Forschung zu erhöhen, wird weiter erfolgreich verfolgt. Dies ist auch für die praxisbezogene Lehre – Markenzeichen unserer Ausbildung – unerlässlich. Denn eine wirklich praxisbezogene Lehre muss sich durch die Forschungstätigkeit der Kolleginnen und Kollegen immer wieder erneuern. Die anwendungsorientierten Forschungsprojekte bereichern nicht nur Lehre und Studium durch anspruchsvolle Themen für Abschlussarbeiten, sie stellen auch eine finanzielle Hauptquelle für die praxisnahe Forschung der Zukunft dar.

Wichtige Instrumente dafür sind die Technologietransfer- und Innovationsberatungsstelle (TIB) und das Service-Center für internationalen Wissens- und Technologietransfer (SeWiTec). TIB-Stelle und SeWiTec unterstützen Hochschulprofessoren und Mitarbeiter in der Forschung seit Jahren bei der Einwerbung und Realisierung umfangreicherer Forschungsprojekte mit Praxispartnern. Das SeWiTec hat sich dabei als Türöffner für den Zugang zu Förderprogrammen der EU, des Bundes und des Landes Brandenburg bewährt. So waren in der zurückliegenden Zeit viele Anträge mit einer ungewöhnlich hohen Förderquote erfolgreich.

Mit der verstärkten Öffnung für Interessenten außerhalb der Hochschule festigt die TH Wildau [FH] mit der TIB-Stelle für die regionale Orientierung entsprechend ihrem Leitbild ihre Rolle als gefragter und zuverlässiger Partner der Wirtschaft und als Wachstumsmotor der Region. Vor allem kleine und mittlere Unternehmen

sollen so von der angewandten Forschung profitieren und ihre Kompetenzen im Rahmen von internationalen Netzwerken des Wissens- und Technologietransfers ausbauen.

Abschließend noch ein paar Worte in eigener Sache: Nach mehr als 8 Jahren in der Position als Vizepräsident der TH Wildau – und nach zuvor mehr als 25-jähriger Tätigkeit als Unternehmer und damit spät im Beruf des Hochschullehrers angekommen – freue ich mich sehr, in dieser Aufgabe seit Dezember 2011 durch einen geschätzten und verantwortungserprobten Kollegen, Prof. Dr. Ralf Vandenhouten, abgelöst worden zu sein. Ich sehe zuversichtlich in die weitere Entwicklung der forschenden Technischen Hochschule Wildau.

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag  
*Vizepräsident für Forschung, Unternehmenskontakte und  
Qualitätsmanagement der TH Wildau [FH] a. D.*

Im Dezember 2011

# Einfluss der Kryokonservierung auf die Immunantwort von Leukozyten

Lars Radke, Annika Lubitz, Christoph Giese, Marcus Frohme

## Zusammenfassung

Die Messung von Zytokinen in Stimulationsexperimenten zur Bestimmung von Stärke und Umfang einer Immunreaktion werden in der Praxis häufig an kryokonserviertem Zellmaterial durchgeführt. Bisherige Untersuchungen zum Einfluss der Kryokonservierung auf die Zytokinexpression sind widersprüchlich. In den hier durchgeführten Experimenten wurden die Genexpression und/oder Sekretion der Zytokine IL-2, IL-4, IL-5, IL-10, IL-12, IL-13, GM-CSF, IFN- $\gamma$  und TNF- $\alpha$  in frisch isolierten und kryokonservierten Immunzellen aus Blut (PBMC) eines gesunden Spenders bestimmt. Diese wurden mit den Immunsystem-aktivierenden Stoffen OKT-3 und Concanavalin A (Con A) stimuliert und für 4 bzw. 24 h kultiviert. Ein Vergleich der frisch-isolierten und kryokonservierten PBMC in Stimulationsexperimenten zeigt, (1) dass die Messung der Genexpression genauere Einblicke zu Beginn der einsetzenden Immunreaktion verschafft, als die Messung der ausgeschütteten Zytokine, (2) dass durch Einfrieren die Immunreaktion insbesondere zu diesem Zeitpunkt beeinflusst wird und (3) dass zu späteren Zeitpunkten die Konzentrationsbestimmung der Zytokine im Zellkulturüberstand das Mittel der Wahl ist.

## Abstract

The measurement of cytokines in stimulation experiments with the aim to determine the strength and the complexity of an immune reaction is commonly carried out on cryopreserved cells. Previous studies, investigating the impact of cryopreservation on the cytokine expression, are inconsistent in their findings. Experiments conducted in this study determine the gene expression and/or secretion of IL-2, IL-4, IL-5, IL-10, IL-12, IL-13, GM-CSF, IFN- $\gamma$  and TNF- $\alpha$  in freshly isolated and cryopreserved PBMC of a healthy donor. The cells were stimulated with the substances OKT-3 and Concanavalin A (Con A) and cultured for 4h and 24h. The comparison of freshly isolated and cryopreserved cells in stimulation experiments showed (1) that the measurement of the gene expression offers a more accurate insight into the immune-reaction at early timepoints than the measurement of the secreted cytokines; (2) that freezing of the cells affect the immune response at this early stage and (3) that at later points the measurement of secreted proteins is the method of choice.

## 1 Einführung

Die Untersuchung der Zytokinausschüttung ist Gegenstand von vielen Untersuchungen in der Medizin und klinischen Pharmakologie. Zytokine sind meist einfache Polypeptidketten oder Glykoproteine mit regulatorischer Wirkung, die von Leukozyten und einer Vielzahl anderer Körperzellen sekretiert werden. Zu ihnen zählen die Interleukine, die Interferone, Tumornekrosefaktoren, Chemokine und koloniestimulierende Faktoren. Die pleiotrope Wirkung der Zytokine umfasst eine Vielzahl von Effekten auf Zellen des Immunsystems, wie die Modulierung von Entzündungsreaktionen, des Zellwachstums und der Signalübertragung (Wilček 2003). Umfangreiche Zytokinprofile werden

erstellt, um beispielsweise die Menge an Entzündungsmarkern im Körper eines Patienten festzustellen oder die Natur von Autoimmunerkrankungen zu verstehen. Auch der Einfluss von chronischen Erkrankungen auf das Immunsystem oder die Wirkungsweise von neuentwickelten Impfstoffen (Lalor et al. 2010; García-Piñeres et al. 2007) kann mit derartigen Zytokinprofilen untersucht werden. Für solche Anwendungen werden die Immunzellen des Bluts, sogenannte PBMCs (Peripheral Blood Mononuclear Cells, engl. für mononukleäre Zellen des peripheren Bluts) von kranken oder gesunden Spendern extrahiert und mit bestimmten Wirkstoffen stimuliert (Silva et al. 2010; Fan et al. 1998). In diesem Zusammenhang ist die Kryokonservierung eine häufig genutzte Technik, um Probenmaterial für den späteren

Gebrauch in umfangreicheren Vergleichsstudien zu konservieren und zu lagern. Durch die Kryokonservierung können jedoch Eigenschaften der Zelle ungewollt beeinflusst werden. Da die Immunantwort aus einem Zusammenspiel verschiedener Zellarten entsteht, ist es äußerst wichtig, dass deren Verhältnis zueinander nicht beeinflusst wird. Dies konnte von Jeurink et al. (2008) und Allsopp et al. (1998) für T-Zellen, B-Zellen, NK-Zellen und Monozyten in PBMC gezeigt werden. Zwar wurde eine Verringerung der Aktivität von NK-Zellen nach dem Einfrieren festgestellt, jedoch konnte diese wiedererlangt werden, wenn die Zellen nach dem Auftauen für mehrere Stunden ruhen gelassen wurden (Fujiwara et al. 1986). Auch das Verhältnis von aktivierten CD4+ und CD8+ T-Zellen nach einer Stimulation zeigte keine Unterschiede durch Kryokonservierung, mit Ausnahme von Stimulation mit Con A, bei der eine zeitliche Verzögerung der Aktivierung festgestellt wurde (Jeurink et al. 2008; Sleasman et al. 1997). Die Proliferation von PBMC ist unverändert in ihrem zeitlichen Ablauf, aber in ihrer Kapazität leicht herabgesetzt (Jeurink et al. 2008).

Insbesondere die Viabilität wird durch Kryokonservierung beeinflusst, wobei nicht die Dauer der Kryokonservierung und die Art des Auftauens Einfluss auf die Zellviabilität haben (Kvarnström et al. 2004), sondern allein die Einfrieremethode. Insbesondere die Temperatur des Einfriermediums scheint die Überlebensrate stark zu beeinflussen (Kreher et al. 2003). In der Literatur finden sich Viabilitätsraten von bis zu 98 % (Venkataraman 1997) nach dem Auftauen, welche aber mit der relativ unsensitiven Trypanblaufärbung erhalten wurden. Bei der Nutzung von sensitiveren Viabilitätstests, wie zum Beispiel Annexin V und Propidium Iodid, welche auch frühe Phasen von Apoptose und Nekrose aufzeigen, sind direkt nach dem Auftauen nur noch 85 % der Zellen, bzw. 50 % nach Stimulation vital. Insbesondere bei Stimulation ist die Viabilität frischer Zellen deutlich höher (Jeurink et al. 2008). Um die gleiche Anzahl an aktiven Zellen zu verwenden, ist es daher essentiell, möglichst sensitive Viabilitätstests zu verwenden. Untersuchungen der Zytokinproduktion sind daher stark abhängig von der Methode und dem experimentellen Aufbau. Kreher et al. (2003) und Jeurink et al. (2008) zeigen keine Unterschiede zwischen der Stimulation frischer und kryokonservierter PBMC gesunder Spender bei der Sekretion von IL-2, IL-4, IL-5 und IFN- $\gamma$  bzw. IL-4, IL-10, IL-12, IL-13 und TNF- $\alpha$  nach Kryokonservierung. Venkataraman (1997) hingegen

zeigt für verschiedene Zytokine gesunder Spender signifikante Unterschiede. Des Weiteren lässt sich ein besonders starker Einfluss der Kryokonservierung sowohl auf RNA also auch auf Proteinebene beobachten, wenn PBMC verschiedener Patientengruppen (Multiple Sklerose, Allergien und Schwangerschaft) verwendet werden (Kvarnström et al. 2004). Uneinheitliche oder widersprüchliche Studienergebnisse entstehen offenbar durch den Einsatz unterschiedlicher Zellen, Stimulanzien und Untersuchungsmethoden.

Das Ziel dieser Arbeit war es, nach Stimulation Unterschiede in der Zytokinproduktion zwischen frisch-isolierten und kryokonservierten PBMC eines gesunden Spenders zu bestimmen. Hierzu wurde die Genexpression von vier Schlüsselzytokinen (Interleukin 2 (IL-2), IL 4, Interferon-gamma (IFN- $\gamma$ ) und Tumornekrosefaktor-alpha (TNF- $\alpha$ )) untersucht. Letztere sind typische Vertreter für die Bestimmung von Entzündungsprozessen, wohingegen IL-2 die zelluläre und IL-4 die humorale Immunantwort abbildet. Zusätzlich zu diesen vier Zytokinen wurde die Sekretion von fünf weiteren Zytokinen (IL-5, IL-10, IL-12, IL-13 und Granulozyten Makrophagen – Kolonie-stimulierender Faktor (GM-CSF)) untersucht. Die Stimulation der PBMC erfolgte mit einem therapeutischen monoklonalen anti-CD3-Rezeptor-Antikörper (OKT-3) und Concanavalin A (ConA), einem Lectin, welches in der Lage ist, spezifisch an Kohlenhydrate auf der Oberfläche von Zellmembranen zu binden. Beide Substanzen werden als Standardstimulanzien in vielen Untersuchungen eingesetzt und sind gut untersucht. Die Analyse der mRNA und der Zellkulturüberstände erfolgte nach einer Kultivierungszeit von 4 h bzw. 24 h, um die einsetzende und die fortschreitende Immunantwort bewerten zu können. Die Messung der Genexpression erfolgte mit RT-qPCR (reverse Transkription quantitative Polymerase Kettenreaktion) und wurde mit einem Lightcycler 480 qPCR System (Roche) durchgeführt. Die Messung der Zytokine im Zellkulturüberstand erfolgte mittels Bead-basierter Multiplextechnologie mit einem BioPlex-200 System (BioRad).

## 2 Material und Methoden

Zellen und Zellkulturüberstände aus Stimulationsexperimenten wurden von der ProBioGen AG (Berlin) bereitgestellt. PBMC eines gesunden Spenders wurden aus Vollblut durch Dichtegradientenzentrifugation

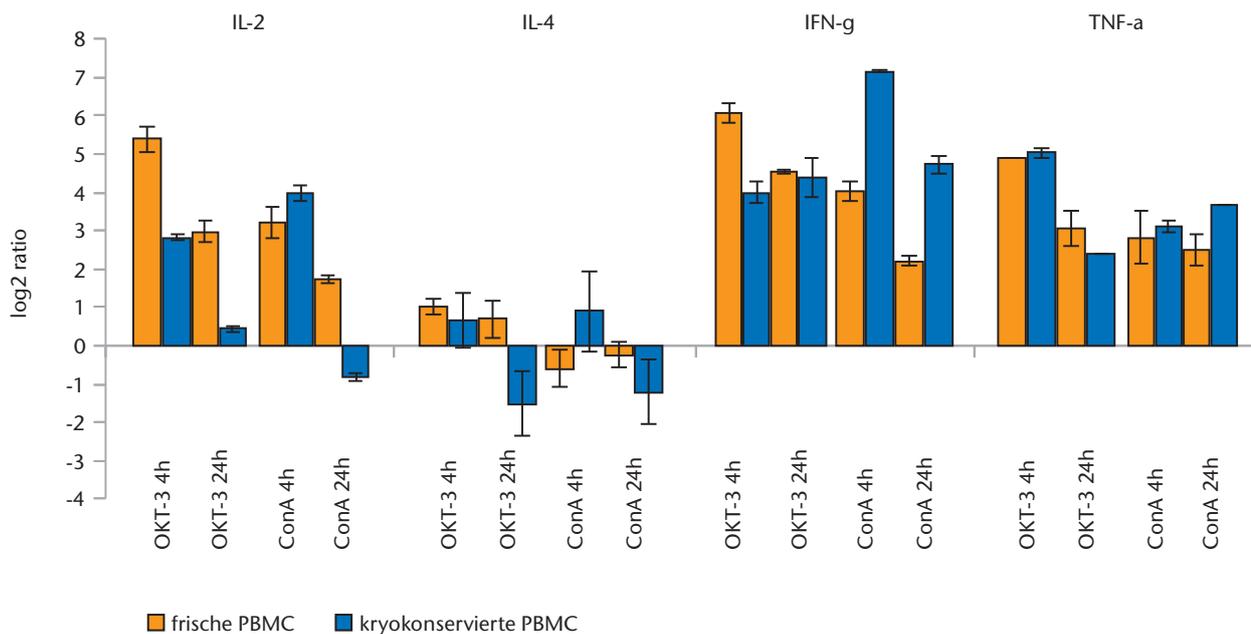


Abb. 1: Genexpressionsraten (bestimmt mit RT-qPCR) von IL-2, IL-4, IFN- $\gamma$  und TNF- $\alpha$  in frisch isolierten und kryokonservierten Zellen nach 4 und 24 Stunden Kultivierung. Die PBMC wurden mit OKT-3 und Con A stimuliert. Die Genexpressionswerte sind als Logarithmen zur Basis 2 dargestellt (ein Faktor von 1 stellt eine Verdopplung der Genexpression dar, 7 bedeutet ein Anstieg um den Faktor 128 gegenüber dem Referenzgen PBGD).

extrahiert und in zwei Aliquots getrennt. Ein Aliquot wurde als frisches Material stimuliert und kultiviert, das zweite Aliquot wurde für die Kryokonservierung in Kältemedium (60 % RPMI (Roswell Park Memorial Institute Medium) 1640, 30 % FCS (Fetales Kälberserum) und 10 % DMSO (Dimethylsulfoxid)) resuspendiert und in vorgekühlten (4 °C), mit Isopropyl Alkohol (IPA) gefüllten, Kryocontainern platziert. Das Einfrieren erfolgte über Nacht in einem -80 °C Tiefkühlschrank. Danach wurden die Zellen in einer Stickstoff-Dampfphase eingelagert.

Kryokonservierte PBMC wurden aufgetaut und ruhten für einen Tag bei 37 °C und 5 % CO<sub>2</sub>. Diese Ruhezeit wurde ebenfalls für die frischen Zellen eingehalten. Die Kultivierung und Stimulation erfolgte in 24well Platten in 1 ml RPMI mit 10 % FCS. Con A (Sigma) wurde in einer Konzentration von 2  $\mu$ g/ml und OKT-3 (Muromonab-CD3; Novartis Pharma) in einer Konzentration von 50 ng/ml eingesetzt. Die Ernte der Zellkulturüberstände und Zellen erfolgte nach 4 bzw. 24 h. Die RNA wurde aus den Zellen isoliert (RNeasy® Plus Mini Kit; Qiagen), auf ihre Qualität kontrolliert (2100 Bioanalyzer; Agilent) und revers transkribiert (Transcriptor High Fidelity cDNA Synthesis Kit; Roche). Diese Methoden und die durchgeführte RT-qPCR sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (Radke et al. 2011).

Die Messung der Zytokine im Zellkulturüberstand erfolgte mit einem Suspension Array System (BioPlex-200, BioRad) mit einem kommerziell erhältlichen Assay (Bio-Plex Human Cytokine Th1/Th2 Panel, BioRad). Die Durchführung erfolgte nach dem Herstellerprotokoll. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit der Software BioPlex Manager 6.0.

### 3 Ergebnisse

Kryokonservierte und frische Zellen wurden mit Con A und OKT-3 stimuliert und für 4 bzw. 24 Stunden kultiviert. Die Genexpression von IL-2, IL-4, IFN- $\gamma$  und TNF- $\alpha$  wurde mit Hilfe von RT-qPCR bestimmt, um Unterschiede in der Aktivierung des Immunsystems zu detektieren (Abb. 1). Nach der Stimulation mit OKT-3 zeigten die frischen Zellen höhere oder gleiche Expressionsraten wie kryokonservierte Zellen. Bei der Stimulation mit Con A zeigt sich ein umgekehrtes Verhalten: Mit Ausnahme von IL-2 und IL-4 nach 24-stündiger Kultivierung sind die Expressionswerte der kryokonservierten höher als die der frisch isolierten Zellen.

Die Messung der Zytokine im Zellkulturüberstand erfolgte mittels Bead-basiertem Immunofluoreszenzassay. Nach vierstündiger Kultivierung ließen sich nur die Zytokine IL-2, IL-10, GM-CSF, IFN- $\gamma$  und TNF- $\alpha$

nachweisen (Abb. 2). Konzentrationsunterschiede, die sich zu diesem Zeitpunkt zwischen kryokonservierten und frisch isolierten Zellen feststellen ließen, sind kongruent mit den unterschiedlichen Transkriptionsraten der im Genexpressionsexperiment untersuchten Zytokine.

Nach 24 h erweiterte sich das Spektrum an nachweisbaren Zytokinen um IL-5 und IL-13 für beide Stimulationen und zusätzlich um IL-4 und IL-12 bei Stimulation mit OKT-3. Außer für TNF- $\alpha$  und IL-12 lassen sich nahezu die gleichen Konzentrationen feststellen, unabhängig davon, ob die Zellen eingefroren wurden oder nicht. Um den Korrelationsgrad der Zytokinkonzentrationen im Zellkulturüberstand mit und ohne Kryokonservierung zu bestimmen, wurde das Bestimmtheitsmaß von linearen Regressionsgeraden berechnet. Dieses Maß steigt von der 4 h-Kultur zur 24 h-Kultur für die OKT-3

Behandlung von 0,88 auf 0,95 und für Messwerte der Con A-Stimulation von 0,51 auf 0,97. Die Werte nahe 1,0 entsprechen einer nahezu perfekten Korrelation. Dies bedeutet, dass für späte Messwerte, also nach andauernder Zytokinsekretion, der Einfluss einer zurückliegenden Konservierung an Bedeutung verliert.

## 4 Diskussion

Die hier durchgeführten Untersuchungen wurden im Rahmen des Projekts »Potenzierung von Impfstoffen durch gezieltes Design der Glykosylierung« (IPoGly) durchgeführt. Hintergrund dieses Projektes, welches an der TH Wildau in Zusammenarbeit mit der Beuth Hochschule und mehreren anderen Berliner Partnern (u. a. ProBioGen AG) durchgeführt wird, ist die Entwick-

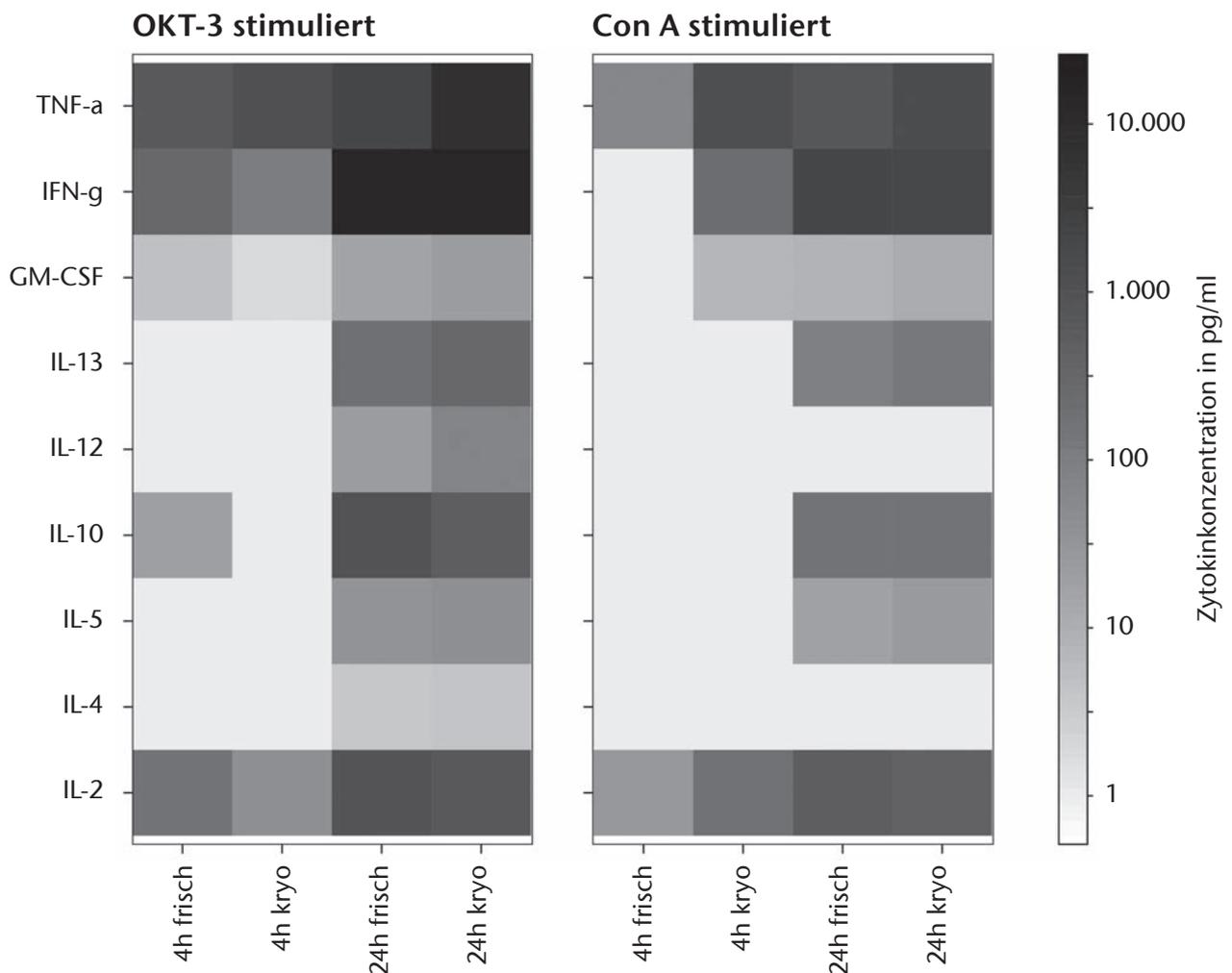


Abb. 2: Heatmap der Zytokinekonzentration im Zellkulturüberstand nach 4- und 24-stündiger Kultivierung von OKT-3 und Con A stimulierten PBMC. Die Daten wurden mittels Bead-basiertem Suspensionsarray System gemessen. Unterschiede zwischen kryokonservierten (kryo) und frischen (frisch) Zellen sind nach 24-stündiger Kultivierung vernachlässigbar.

lung einer Impfstoffentwicklungsplattform anhand des Respiratorischen Synzytial Virus (RSV). Dabei werden rekombinant hergestellte Impfstoffkandidaten anhand ihrer Fähigkeit, das Immunsystem zu stimulieren, bewertet. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, welchen Effekt die Kryokonservierung auf die Bildung einer Immunantwort von in vitro stimulierten PBMC hat. Dabei konnten insbesondere für die beginnende Immunreaktion substanzspezifische Effekte auf der Ebene der Genexpression festgestellt werden. So zeigten frisch isolierte PBMC nach Stimulation mit OKT-3 eine höhere Transkription der untersuchten Gene, wohingegen Con A höhere Werte in den kryokonservierten Zellen erzeugte. Beide Substanzen aktivieren das Immunsystem auf unterschiedliche Weise. OKT-3 ist gegen den CD3-Komplex auf der Oberfläche von T-Lymphozyten gerichtet, welcher Bestandteil des T-Zell-Rezeptors ist und der intrazellulären Aktivierung dient. Als therapeutischer Antikörper wird er als Immunsuppressivum beispielsweise bei Organtransplantationen verwendet. Durch hohe Dosen oder längere Exposition kann jedoch auch eine Aktivierung des Immunsystems hervorgerufen werden (Parleviet et al. 1995). Con A ist ein Lectin (Kohlenhydrat-bindendes Molekül), welches als Mitogen wirkt und unspezifisch T-Zellen aktiviert. Obwohl beide Substanzen das Immunsystem über T-Zellen aktivieren, scheint die Kryokonservierung die Geschwindigkeit, mit welcher die Immunantwort formuliert wird, unterschiedlich zu beeinflussen.

Die Messung der Zytokine im Zellkulturüberstand zeigt für den frühen Zeitpunkt eine hohe Korrelation der Genexpression und der Menge an sekretierten Proteinen; im Verlauf bis zum 24 Stunden Zeitpunkt nimmt dieser Bezug ab. Gleichzeitig lassen sich zu diesem Zeitpunkt für die meisten untersuchten Zytokine nur noch sehr geringe Konzentrationsunterschiede zwischen kryokonservierten und frischen Zellen beobachten. Die größten Abweichungen finden sich bei IL-12 und TNF- $\alpha$ , welche beide von ursprünglich kryokonservierten Zellen etwa dreimal so stark sekretiert werden wie von frischen Zellen. Eine höhere TNF- $\alpha$  Produktion bei kryokonservierten PBMC wurde schon in anderen Studien in ähnlicher Größenordnung nachgewiesen (Venkaraman 1997).

Andere Studien, die den Einfluss von Kryokonservierung untersuchen, zeigen uneinheitliche und teilweise sogar widersprüchliche Ergebnisse. Diese Abweichungen entstehen offenbar durch Unterschiede beim Einfrierprozess, der Kultivierungsmethode,

den verwendeten Medien und Zellen, der Stimulation und den verwendeten Nachweismethoden. Weitere Schwankungen entstehen durch das verwendete Spendermaterial. Nicht in allen Studien werden der Zustand des Immunsystems untersucht oder Vorerkrankungen ausgeschlossen. Zudem können verdeckte chronische Erkrankungen die Immunantwort in vielfältiger Weise beeinflussen. So kann die Produktion einzelner oder mehrerer Zytokine stark herauf- oder herabgesetzt werden oder die Bildung der Immunantwort zeitlich stark beschleunigt oder verlangsamt werden.

Der Vergleich unserer Messdaten mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen mit kryokonservierten PBMC und gleichem experimentellen Aufbau (Radke et al. 2009) zeigt eine hohe Übereinstimmung der ermittelten Proteinmesswerte. Die geringen Abweichungen lassen sich auf die Interassay-Variation und natürliche spenderbedingte Schwankungen zurückführen. Die hier beschriebene Methode zur Durchführung von Stimulationsexperimenten mit kryokonservierten PBMC weist somit eine hohe Reproduzierbarkeit und Stabilität auf.

In unserem experimentellen Ansatz kommt es zwar zu Beginn der Immunreaktion zu Unterschieden der Geschwindigkeit, mit der die Immunantwort einsetzt, nach 24 Stunden jedoch lassen sich im Zellkulturüberstand von kryokonservierten und frischen Zellen ungefähr gleiche Zytokinkonzentrationen nachweisen. Kryokonservierte PBMC eignen sich somit im vollen Maße für Stimulationsexperimente, ähnlich dem hier beschriebenen Ansatz. Die Messung der Genexpression ist gut nutzbar, um das Einsetzen der Immunreaktion zu beobachten sowie deren Ausmaß abzuschätzen (Radke et al. 2010). Für die Untersuchung der fortlaufenden Immunreaktion hingegen ist die Bestimmung der Zytokine im Zellkulturüberstand als Nachweismethode am besten geeignet.

## Literatur

- Allsopp, C. E., Nicholls, S. J., Langhorne, J. (1998): A flow cytometric method to assess antigen-specific proliferative responses of different subpopulations of fresh and cryopreserved human peripheral blood mononuclear cells. *J. Immunol. Methods* 214, 175-186.
- Fan, J., Nishanian, P., Breen, E. C., McDonald M., Fahey, J. L. (1998): Cytokine gene expression in normal human lymphocytes in response to stimulation. *Clin Diagn Lab Immunol* 5, 335-40.
- Fowke, K. R., Behnke, J., Hanson, C., Shea, K., Cosentino, L.M. (2000): Apoptosis: a method for evaluating the cryopreservation of whole blood and peripheral blood mononuclear cells. *J. Immunol. Methods* 244, 139-144.

- Fujiwara, S., Akiyama, M., Yamakido, M., Seyama, T., Kobuke, K., Hakoda, M., Kyoizumi, S., Jones, S.L. (1986): Cryopreservation of human lymphocytes for assessment of lymphocyte subsets and natural killer cytotoxicity. *J. Immunol. Methods* 90, 265-273.
- García-Piñeres, A., Hildesheim, A., Dodd, L., Kemp, T. J., Williams, M., Harro, C., Lowy, D. R., Schiller, J. T., Pinto, L. A. (2007): Cytokine and chemokine profiles following vaccination with human papillomavirus type 16 L1 Virus-like particles. *Clin Vac Immunol (CVI)* 14, 984-9.
- Jeurink, P. V., Vissers, Y. M., Rappard, B., Savelkoul, H. F. J. (2008): T cell responses in fresh and cryopreserved peripheral blood mononuclear cells: Kinetics of cell viability, cellular subsets, proliferation, and cytokine production. *Cryobiology* 57, 91-103.
- Kreher, C. R., Dittrich, M. T., Guerkov, R., Boehm, B.O., Tary-Lehmann, M. (2003): CD4+ and CD8+ cells in cryopreserved human PBMC maintain full functionality in cytokine ELISPOT assays. *J. Immunol. Methods* 278, 79-93.
- Kvarnström, M., Jenmalm, M., Ekerfelt, C. (2004): Effect of cryopreservation on expression of Th1 and Th2 cytokines in blood mononuclear cells from patients with different cytokine profiles, analysed with three common assays: an overall decrease of interleukin-4. *Cryobiology* 49, 157-168.
- Lalor, M. K., Smith, S. G., Floyd, S., Gorak-Stolinska, P., Weir, R. E., Blitz, R., Branson, K., Fine, P. E., Dockrell, H. M. (2010): Complex cytokine profiles induced by BCG vaccination in UK infants. *Vaccine* 28, 1635-41.
- Parlevliet, K. J., Bemelman, F. J., Yong, S. L. (1995): Toxicity of OKT3 increases with dosage: a controlled study in renal transplant recipients. *Transplant Int* 8, 141-6.
- Radke, L., López Hemmerling, D. A., Lubitz, A., Giese, C., Wildenauer, F.-X., Frohme, M. (2009): Etablierung verschiedener Bead-basierter Multiplexmethoden mit einem Suspensions-Array-System für molekular diagnostische Zwecke. *Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau*, 2009|2010, 6-12.
- Radke, L., López Hemmerling, D. A., Lubitz, A., Giese, C., Frohme, M. (2010): Prediction of cytokine release using gene expression profile analysis. *Chimica Oggi/Chemistry Today*, 28 (Oktober), 2-4.
- Radke, L., López Hemmerling, D. A., Lubitz, A., Giese, C., Frohme, M. (2011): Induced cytokine response of human PMBC-cultures: Correlation of gene expression and secretion profiling and the effect of cryopreservation. *Cellular Immunology*, (im Druck).
- Silva, M. L., Martins, M. Â., Espirito-Santo, L. R., Ribeiro, J. G. L., Homma, A., Geessien Kroon, E., Teixeira-Carvalho, A., Elói-Santos, S. M., Martins-Filho, O. A. (2010): Major sources of pro- and anti-inflammatory cytokines in the complex network of innate and adaptive immunity in adults volunteers after 17DD yellow fever first-time vaccination. *Vaccine* 29, 1-10.
- Sleasman, J. W., Leon, B. H., Aleixo, L. F., Rojas, M., Goodenow, M. M. (1997): Immunomagnetic selection of purified monocyte and lymphocyte populations from peripheral blood mononuclear cells following cryopreservation. *Clin Diagn Lab Immunol* 4, 653-658.
- Venkataraman, M. (1997): Effects of cryopreservation of immune responses. XI. Heightened secretion of tumor necrosis factor-alpha by frozen human peripheral blood mononuclear cells. *Cryobiology* 34, 276-283.
- Wilček, J. (2003): Chapter 1 Introduction. In: A. W. Thomson, M. T. Lotze (Eds.), *The Cytokine Handbook Volume 1 Fourth Edition*. Academic Press, San Diego, 40-56.

## Autoren

**Lars Radke, MSc.** (korrespondierender Autor)  
Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
lradke@th-wildau.de

**Dr. Christoph Giese**  
Director Cell and Tissue Services and Quality Control  
ProBioGen AG, Berlin  
Goethestraße 54, 13086 Berlin  
T +49 30 924006-0

**Dipl.-Ing. Annika Lubitz**  
Cell And Tissue Services  
ProBioGen AG, Berlin  
Goethestraße 54, 13086 Berlin  
T +49 30 924006-0

**Prof. Dr. Marcus Frohme**  
Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-249  
marcus.frohme@th-wildau.de

# Lichtgesteuerter bioelektrochemischer Sensor basierend auf CdSe/ZnS-Quantum Dots

Johannes Tanne, Daniel Schäfer, Waquas Khalid, Wolfgang J. Parak, Fred Lisdat

## Zusammenfassung

Diese Studie beschäftigt sich mit der Untersuchung der Sauerstoffsensitivität von QD-Elektroden auf Basis von CdSe/ZnS-Nanopartikeln. Das Verhalten des sauerstoffabhängigen Photostroms wurde dabei in Abhängigkeit des pH-Wertes und des Potentials untersucht. Auf Grundlage dieser Sauerstoffabhängigkeit wurde die Enzymaktivität von GOD über Photostrommessungen evaluiert. Für die Konstruktion eines photobioelektrochemischen Sensors, der durch Beleuchtung der entsprechenden Elektrodenfläche ausgelesen werden kann, wurden Multischichten auf die CdSe/ZnS-modifizierten Elektroden aufgetragen. Die Layer-by-Layer Deposition von GOD mit Hilfe des Polyelektrolyten PAH zeigte, dass eine Sensorkonstruktion möglich ist. Die Sensoreigenschaften dieser Elektroden werden drastisch durch die Menge an immobilisiertem Enzym auf der Quantum Dot-Schicht beeinflusst. Durch die Präparation von vier Bilayern  $[GOD/PAH]_4$  an CdSe/ZnS Elektroden kann ein schnell ansprechbarer Sensor für Konzentrationen zwischen 0.1 – 5 mM Glukose hergestellt werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Multianalytdetektion mit nichtstrukturierten Sensorelektroden, lokalisierten Enzymen und räumlich aufgelöster Auslesung durch Licht.

## Abstract

This study reports on the oxygen sensitivity of quantum dot electrodes modified with CdSe/ZnS nanocrystals. The photocurrent behaviour is analysed in dependence on pH and applied potential by potentiostatic and potentiodynamic measurements. On the basis of the influence of the oxygen content in solution on the photocurrent generation the enzymatic activity of GOD is evaluated in solution. In order to construct a photobioelectrochemical sensor which can be read out by illuminating the respective electrode area multilayers were build up on the CdSe/ZnS-modified electrodes. The layer-by-layer deposition of GOD by means of the polyelectrolyte PAH show that a sensor construction is possible. The sensing properties of such kind of electrodes are drastically influenced by the amount and density of the enzyme on top of the quantum dot layer. By depositing 4 bilayers  $[GOD/PAH]_4$  on the CdSe/ZnS electrode a fast responding sensor for the concentration range 0.1mM-5mM glucose can be prepared. This opens the door to a multi-analyte detection with a non-structured sensing electrode, localized enzymes and spatial read-out by light.

## 1 Einleitung

Während der letzten Jahre sind Nanostrukturen mehr und mehr in den Mittelpunkt des Interesses für bioanalytische Systeme gerückt (Umar et al. 2009: 278; Lahiff et al. 2010: 1575). Unter den verschiedenen Arten von Nanostrukturen sind insbesondere Nanopartikel interessant, da sie durch ihr Oberflächen/Volumen Verhältnis veränderte chemische und physikalische Eigenschaften im Vergleich zum Vollmaterial besitzen. Bei Verwendung von Metallnanopartikeln und Kohlenstoffnanoröhren sind besonders die hohen elektrokatalytischen Aktivitäten von Vorteil (Shipway et al. 2000: 18; Lohmüller et al. 2011: 1934). Sie werden häufig im

direkten Kontakt mit Enzymen als Erkennungselement in Biosensoren eingesetzt (Xiao et al. 2008: 648). Dadurch kann das Signal für eine sensitive und selektive Substratdetektion verstärkt werden (Zayats et al. 2002: 2120).

Aufgrund ihrer einzigartigen photophysikalischen Eigenschaften wurden Quantum Dots (QDs) darüber hinaus intensiv während der letzten Jahre untersucht. Besonders II-VI-Halbleiter (z. B. CdSe, CdS, HgS, ZnS, ZnSe) sind interessant (Esteves et al. 2002: 347). Die QDs werden häufig mit einem zweiten Halbleitermaterial (z. B. ZnS (Dabbousi et al. 1997: 9463)) beschichtet, um den Kern vor Oxidation oder Bleaching (Ausbleichen der Fluoreszenz) zu schützen. Die Bandlückenenergie

in der Schale ist größer, um die Generation des Excitons (Elektron-Loch-Paar) und die Relaxation des Elektrons auf den Kern zu beschränken und somit die Quantenausbeute zu erhöhen (Hines et al. 1996: 468).

Bei der Beleuchtung von Quantum Dots mit ausreichender Energie wird ein Elektronen-Loch-Paar erzeugt, bei dem das Elektron in das Leitungsband übergeht und im Valenzband ein positives Defektelektron zurücklässt. Die Relaxation der Ladungsträger kann strahlend verlaufen, wobei die ausgestrahlte Energie der Bandlückenenergie entspricht. Aufgrund der Quantenbeschränkung steigt die Bandlückenenergie mit sinkendem Durchmesser der QDs (Alvisatos et al. 1996: 933). Aus diesem Grund kann die Wellenlänge des emittierten Lichts durch die Partikelgröße gesteuert werden. Der Größeneffekt, das breite Absorptionsspektrum und der hohe Widerstand gegen chemische und Photodegradation machen sie im Vergleich zu organischen Farbstoffen effizienter für biologisches Labeling (Medinitz et al. 2005: 435). Des Weiteren können die Oberflächenliganden nach der QD-Synthese durch andere Moleküle ausgetauscht werden, um funktionelle Gruppen zu integrieren (Pellegrino et al. 2005: 48). Das ermöglicht eine definierte Einführung von hydrophilen Eigenschaften, die vorteilhaft für das Markieren von Biomolekülen mit QDs ist (Bruchez et al. 1998: 2013). Es konnten Anwendungen für das Immunosensing (Seydack et al. 2005: 2454), Markieren von Nukleinsäuren (Ma et al. 2008: 181), Proteinen (Chan et al. 1998: 2016) und Peptiden (Pinaud et al. 2004: 6115) gezeigt werden. Es war sogar möglich, die Photolumineszenz von QDs in Zellen (Wu et al. 2003: 41), Gewebe und lebenden Organismen ohne Interferenz durch die Autofluoreszenz des Gewebes nachzuweisen (Akerman et al. 2002: 12617).

Neben der Fluoreszenzdetektion können QDs auch für Förster-Resonanz-Energie-Transfer (FRET) Systeme eingesetzt werden, um die Detektion von biomolekularen Interaktionen und Bindungseffekten zu ermöglichen (Ha et al. 2001: 78). Dies konnte sowohl für Proteine (Medinitz et al. 2003: 630) als auch für DNA (Boeneman et al. 2010: 7253) gezeigt werden.

Wegen der Generation von Ladungsträgern können QDs auch für elektrochemische Sensoren eingesetzt werden. Abhängig vom Potential wird ein anodischer oder kathodischer Photostrom generiert. Ersterer wird durch den Elektronentransfer vom Leitungsband der QDs auf die Elektrode erzeugt. Letzterer wird durch den Elektronentransfer von der Elektrode auf das Defektelektron im Valenzband der QDs ausgelöst (Stoll et al. 2006:

741). Es ist auch eine Verstärkung des Photostroms mit redoxaktiven Spezies in Lösung möglich. Zum Beispiel konnten die Reaktionsprodukte der enzymatischen Reaktion von Acetylcholinesterase (Pardo-Yissar et al. 2003: 622) und Mediatoren wie Eisenhexacyanoferrat (Stoll et al. 2006: 741) nachgewiesen werden. Der Photostrom ist des Weiteren durch die Zugabe von Cytochrom c schaltbar (Katz et al. 2006: 1395). Außerdem sind unterschiedliche Enzyme mit QD-modifizierten Elektroden kombiniert worden (Stoll et al. 2008: 260). Nicht für alle Systeme ist ein direkter Elektronentransfer zwischen Protein und QDs notwendig, oft beruhen Systeme auch auf dem Nachweis der Reaktionsprodukte. Ein Beispiel ist NADH, das die Detektion von Dehydrogenase-katalysierten Reaktionen ermöglicht (Schubert et al. 2010: 1395).

Die verschiedenen, genannten Systeme zeigen bereits in reiner Pufferlösung die Generierung eines Photostroms. Zusammen mit dem Sauerstoffeinfluss auf die Photolumineszenz (Van Sark et al. 2001: 8281) kann geschlussfolgert werden, dass  $O_2$  als Elektronenakzeptor während der Beleuchtung agieren könnte. Es wurde bereits gezeigt, dass Enzymaktivierung durch reaktive Sauerstoffspezies möglich ist, wenn CdSe/ZnS-Nanopartikel mit Licht angeregt werden (Ipe et al. 2006: 519).

In dieser Arbeit werden deshalb CdSe/ZnS-Elektroden im Hinblick auf den  $O_2$ -Einfluss analysiert. Basierend auf den Ergebnissen werden  $O_2$ -konsumierende Enzymreaktionen mit QD-Elektroden kombiniert und das System für den sensitiven Substratnachweis eingesetzt. Verschiedene Immobilisierungsstrategien von Glukoseoxidase (GOD) werden untersucht, um eine effiziente  $O_2$ -Umsetzung in den Enzymschichten während der katalytischen Reaktion zu realisieren. Das erlaubt die Konstruktion eines photobioelektrochemischen Sensors, der das Auslesen durch räumlich begrenzte Beleuchtung spezifischer Sensoroberflächen ermöglicht.

## 2 Experimenteller Teil

### Materialien

Argon kommt von Air Liquid (Düsseldorf, Germany). 1,4-Benzendithiol (97 %; BDT) wurde bei Alfa Aesar (Karlsruhe, Germany) bezogen. Di-Natriumhydrogenphosphat (wasserfrei), (N-[2-Hydroxyethyl]piperazin-N'-[2-ethanschwefelsäure]) (99.5 %; HEPES), Citrat-säure-Monohydrate, Toluol, Peroxidase aus *Meerrettich* (EC 1.11.1.7, HRP), Glukoseoxidase aus *Asp. niger* (EC

1.1.3.4, GOD) und Poly(allylaminhydrochlorid) wurden von Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany) geliefert. Methanol (99.9 %,  $\leq 50\text{ppm H}_2\text{O}$ ),  $\alpha\text{-D(+)-Glukose-Monohydrate}$ , Schwefelsäure (96 %); Wasserstoffperoxid (50 %) kamen von Roth (Karlsruhe, Germany). Alle Puffer wurden mit Reinstwasser (Ultra Clear Direct, Siemens Water Technologies) hergestellt.

CdSe/ZnS Nanopartikel wurden nach einem etablierten Protokoll hergestellt (Dabbousi et al. 1997: 9463; Reiss et al. 2002: 781). Die QDs wurden mit Trioctylphosphinoxide (TOPO) ummantelt und in wasserfreiem Toluol gelöst. Die QDs wurden mit einer Konzentration von ungefähr  $16\ \mu\text{M}$  hergestellt und besaßen einen mittleren Durchmesser von ca. 2.5 nm.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### Untersuchung der $\text{O}_2$ -Abhängigkeit des Photostroms

Wie bereits erwähnt, ist die Photolumineszenz von CdSe/ZnS-Nanopartikeln abhängig von der Sauerstoffkonzentration (Sun et al. 2009: 347). Das gibt Anlass für die nähere Untersuchung des Sauerstoffeinflusses auf den Photostrom von CdSe/ZnS-modifizierten Elektroden. Die QDs sind mit Benzendithiol funktionalisiert und auf Goldelektroden immobilisiert. Der kathodische Photostrom der QD-Elektroden wird in luftgesättigtem und Argon gespültem Puffer gemessen. Abbildung 1A zeigt ein Linear sweep-Voltammogramm der Elektroden unter Argon und Luft. Während der Beleuchtung wird ein Photostrom generiert, der abhängig vom angelegten Potential ist. In beiden Pufferlösungen ist die Generierung eines Photostroms möglich, wobei der Photostrom in sauerstofffreier Lösung deutlich geringer ausfällt. Das weist darauf hin, dass Sauerstoff durch die erzeugten freien Elektronen während der Beleuchtung der Nanokristalle reduziert werden kann. Der sauerstoffabhängige Teil des Photostroms wird aus der Differenz der Photoströme beider Lösungen berechnet und ist in Abbildung 1C gezeigt. Es ist ersichtlich, dass nicht nur der absolute kathodische Photostrom, sondern auch der sauerstoffabhängige Teil mit sinkendem Potential steigt. Abbildung 1B illustriert schematisch die Schritte des Elektronentransfers während der Beleuchtung der QD-Elektroden. Elektronen vom Leitungsband der QDs können den in Puffer gelösten Sauerstoff reduzieren. Das »Loch« im Valenzband der QDs kann durch einen Elektronentransfer von der Elektrode auf die QDs neutralisiert werden.

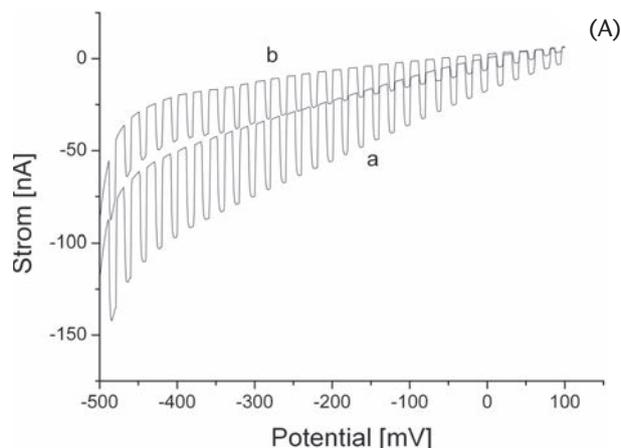


Abb. 1A: LS-Voltammogramm einer Au-[QD-BDT] in Argon gespültem Puffer (b) und luftgesättigtem Puffer (a) (100 mM HEPES; pH 8; 1 mV/s; zwischen  $-500$  und  $+100$  mV vs. Ag/AgCl, 1M KCl)

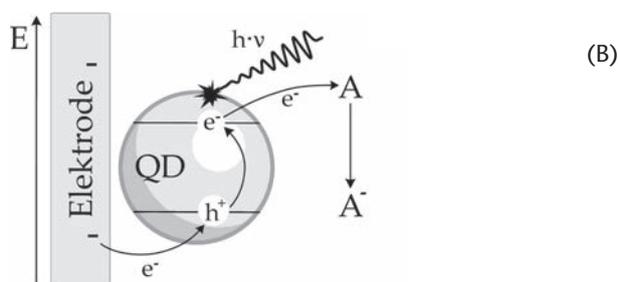


Abb. 1B: Illustration der Schritte des Elektronentransfers nach der Beleuchtung der QD-Elektroden

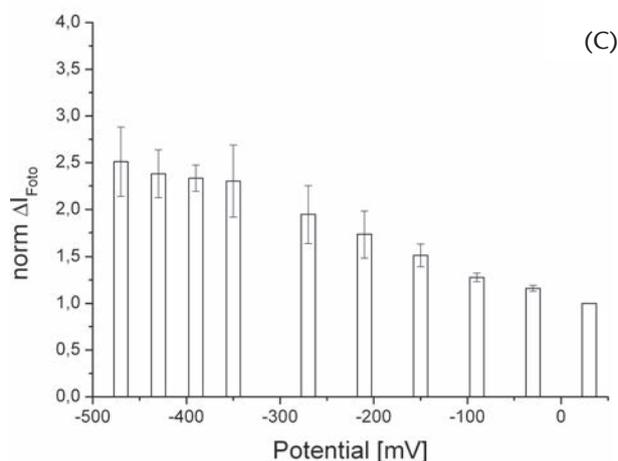


Abb. 1C: Normalisierte Differenz des Photostroms in An- und Abwesenheit von Sauerstoff ( $\Delta I_{\text{photo}}$ ) in Abhängigkeit vom Potential (Fehlerbalken resultieren von 4 unabhängig gemessenen Sensorelektroden, normalisiert auf die Stromänderung bei  $+30$  mV vs. Ag/AgCl)

In den weiteren Studien wird als Arbeitspotential  $-350$  mV vs. Ag/AgCl, 1M KCl gewählt. Nach der Präparation und der ersten Messung der Elektroden der QD-Elektroden zeigt sich ein Anstieg um bis zu 10% innerhalb der ersten sechs bis acht Lichtpulse bevor sie stabil werden.

Um den Einfluss der Lösung auf den Photostrom zu untersuchen, wird der Photostrom bei unterschiedlichen pH-Werten gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Messungen in basischem und neutralem Puffer resultieren in den höchsten Werten für den sauerstoffabhängigen Photostrom. Im Säuren zeigt sich jedoch ein geringerer Photostrom. Das gilt nicht nur für den  $O_2$ -abhängigen, sondern auch für den absoluten Photostrom (Abbildung 2B). Offensichtlich ist die Rekombination von Ladungsträgern unter diesen Bedingungen verstärkt, vermutlich auf der Partikeloberfläche. Die amperometrischen Messungen können durch LSV-Messungen bei unterschiedlichen pH-Werten bestätigt werden.

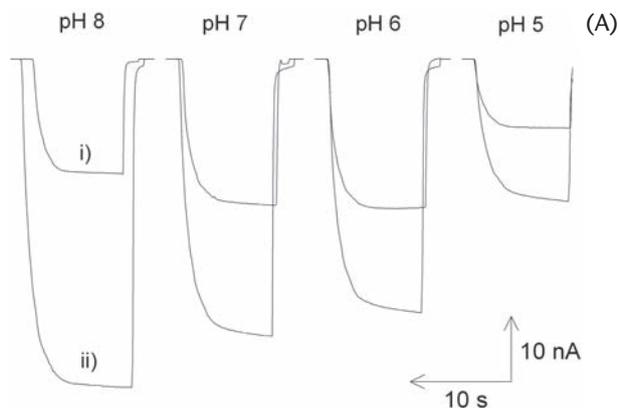


Abb. 2A: Photostrommessungen einer Au-[QD-BDT] Elektrode bei konstantem Potential in Argon-gespültem Puffer (i) und luftgesättigtem Puffer (ii) in Abhängigkeit des pH-Wertes (100 mM HEPES;  $t_s = 10$  s;  $E = -350$  mV vs. Ag/AgCl, 1M KCl)

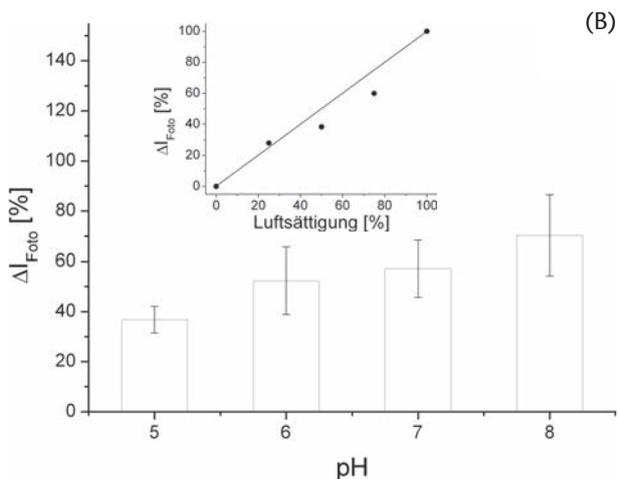


Abb. 2B: Relative Signaländerung nach Entfernung des Sauerstoffs aus luftgesättigter Lösung bei verschiedenen pH-Werten (Fehlerbalken resultieren von 4 unabhängig gemessenen Sensorelektroden); Inset: Abhängigkeit der Photostromänderung von der Sauerstoffkonzentration (relativ zur Luftsättigung) bei physiologischen pH (100 mM HEPES; pH 7).

In weiteren Studien wird die Abhängigkeit des Photostroms von unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen bei neutralem pH-Wert getestet. Der kathodische Photostrom von CdSe/ZnS-modifizierten Elektroden wird bei  $-350$  mV (vs. Ag/AgCl) in Argon gespültem und luftgesättigtem Puffer gemessen. Nach der Detektion eines stabilen Signals wird ein Teil des Puffers entnommen, durch luftgesättigten Puffer ersetzt und erneut gemessen. Mit Zunahme der Sauerstoffkonzentration im Puffer steigt ebenfalls der Photostrom an. Die Studien beweisen eine lineare Sauerstoffsensitivität des Photostroms bei pH 7 und 8. Der Inset der Abbildung 2B illustriert diese Konzentrationsabhängigkeit des Photostroms.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass QDs als eine katalytische Schicht für die Reduktion von Sauerstoff unter Lichtbestrahlung eingesetzt werden können. Diese Sauerstoffsensitivität von QD-modifizierten Elektroden ermöglicht die Kombination mit enzymatischen Reaktionen.

#### Evaluierung der GOD-Aktivität in Lösung

Der Biokatalysator Glukoseoxidase (GOD) kann sein Substrat durch Reduktion von  $O_2$  oxidieren. Durch die Umsetzung von  $O_2$  könnte eine Unterdrückung des Photostroms QD-modifizierter Elektroden ermöglicht werden. Um das Konzept zu prüfen und die Enzymreaktion zu evaluieren, werden verschiedene Enzymaktivitäten getestet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Photostrommessungen vor und nach der Zugabe von Glukose bei  $-350$  mV (vs. Ag/AgCl, 1M KCl) führen zu keiner Signaländerung. Daraus kann geschlossen werden, dass Glukose nicht an den QD-Elektroden umgewandelt werden kann. Nach der Zugabe des Enzyms wird der Photostrom jedoch unterdrückt. In Abbildung 3A kann die Enzymkinetik über den zeitlichen Verlauf des Photostroms beobachtet werden. Abbildung 3B fasst die Ergebnisse aus Messungen mit unterschiedlicher Enzymaktivität zusammen. Es kann gezeigt werden, dass selbst bei niedriger Aktivität des Enzyms (0.025 U/ml) eine Unterdrückung des Photostroms nachweisbar ist.

Die Ergebnisse demonstrieren, dass die Kombination von QD-Elektroden mit der GOD-Reaktion möglich ist. Der Photostrom wird unterdrückt und kann für den Substrat-Nachweis eingesetzt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen werden verschiedene Immobilisierungsversuche des Enzyms an den QD-Elektroden durchgeführt, um einen photoelektrochemischen Biosensor zu entwickeln.

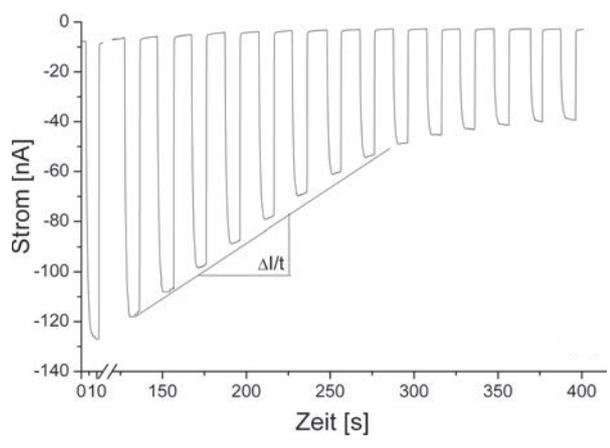


Abb. 3A: Photostrommessungen einer Au-[QD-BDT] Elektrode in 30 mM Glukose und nach Zugabe von GOD (100 mM HEPES; pH 6.8;  $t_L = 10$  s;  $E = -350$  mV vs. Ag/AgCl, 1M KCl)

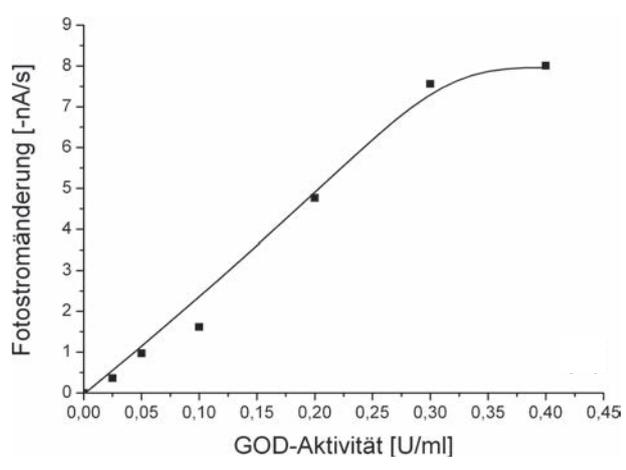


Abb. 3B: Geschwindigkeit der Photostromänderung für verschiedene GOD-Aktivitäten.

**Herstellung eines [GOD/PAH]<sub>n</sub>-Multilayer Assemblat**

Um eine schonende und definierte Immobilisierung von GOD zu ermöglichen, wird eine alternierende Deposition von GOD und einem positiv geladenen Polyelektrolyten Poly(allylaminhydrochlorid) (PAH) durchgeführt. Diese Layer-by-Layer Assemblierung ermöglicht nicht nur die Präparation von definierten Strukturen, sondern auch eine bessere Kontrolle der abgelagerten Enzymmenge. Um die Bedingungen für eine effektive Assemblierung von unterschiedlich geladenen Molekülen zu untersuchen, werden zunächst QCM-Messungen durchgeführt. Diese Technik ist gut geeignet um den Aufbau von Polyelektrolyt/Protein-Multischichten zu untersuchen (Lisdar et al. 2009: 274; Sarauli et al. 2009: 2288; Tanne et al. 2010: 1427).

Hierfür werden Quarzkristalle mit BDT modifiziert und in eine Fließzelle eingebaut. Alternierendes Vorbeifließen von GOD und PAH in 2mM Natriumphosphat Puffer pH 7 ermöglichen eine erfolgreiche Assemblierung. Dies wurde bis zu 4 Bilayern untersucht. Abbil-

dung 4A illustriert deutlich die Abnahme der Frequenz mit Zunahme der Depositionsschritte. Die negative Ladungsdichte des Proteins bei neutralem pH-Wert ist offensichtlich ausreichend für eine erfolgreiche Adsorption des positiv geladenen Polyelektrolyten. Das beweist, dass die Ablagerung von multiplen GOD-Schichten über elektrostatische Wechselwirkung mit PAH möglich ist. Aus den Messungen kann man außerdem erkennen, dass die Menge an abgelagerten GOD relativ konstant über die verschiedenen Adsorptionsschritte ist.

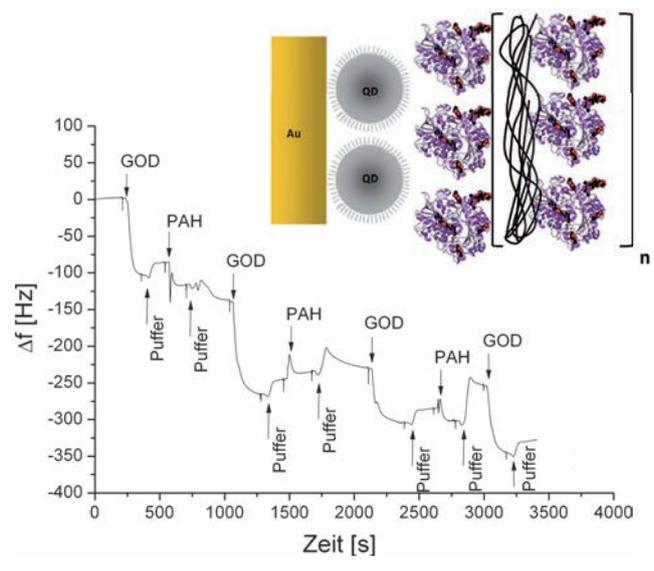


Abb. 4A: Massensensitive Analyse einer [GOD/PAH]<sub>n</sub>-Multischichtassemblierung auf BDT-modifizierten Quarzchips in 2 mM Natriumphosphatpuffer (Flussgeschwindigkeit 40  $\mu$ l/min); Inset: Schematische Illustration der Multischichtassemblierung von [GOD/PAH]<sub>n</sub> auf einer BDT-modifizierten Goldelektrode;

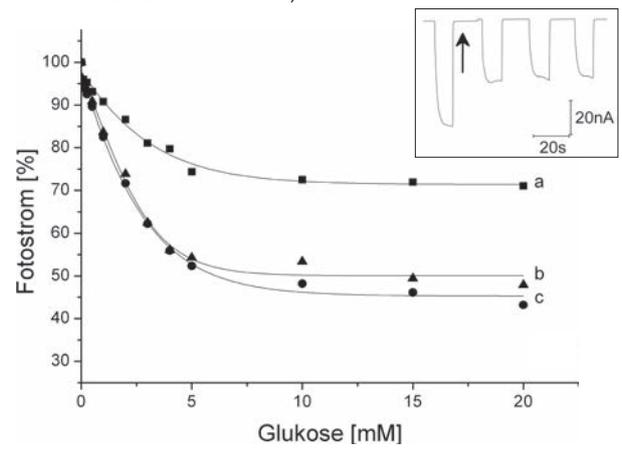


Abb. 4B: Relative Änderung des Photostroms einer Au-[QD-BDT] Elektrode mit immobilisierten [GOD/PAH]<sub>n</sub>-Schichten mit ansteigender Glukosekonzentration, (a) [GOD/PAH]<sub>2</sub>, (b) [GOD/PAH]<sub>3</sub>, (c) [GOD/PAH]<sub>6</sub> (100 mM HEPES pH 6.8;  $t_L = 10$  s;  $E = -350$  mV vs. Ag/AgCl, 1M KCl); Inset: Verhalten des Photostroms von Elektroden mit 4 Bilayern [GOD/PAH]<sub>4</sub> in luftgesättigtem Puffer ohne Glukose (Lichtpuls 1) und nach der Zugabe von 4 mM Glukose (Lichtpulse 2 – 4, der Pfeil markiert die Zugabe von Glukose).

In den weiteren Studien sind QD-Elektroden mit  $[\text{GOD}/\text{PAH}]_n$ -Multischichten modifiziert und das Verhalten des sauerstoffabhängigen Photostroms untersucht worden. Abbildung 4B zeigt die Ergebnisse von Sensoren mit unterschiedlicher Anzahl an immobilisierten  $[\text{GOD}/\text{PAH}]_n$ -Schichten. Die Abbildung illustriert die relative Änderung des Photostroms in Abhängigkeit der Glukosekonzentration. Man kann eindeutig den Signalanstieg mit steigender Zahl der GOD-Schichten erkennen. Die Ergebnisse demonstrieren auch, dass die GOD-Moleküle zugänglich sind und Glukose durch die Schichten diffundieren kann. Das bedeutet, dass Glukose nicht nur durch die äußere Schicht umgesetzt wird, sondern ebenso die inneren Schichten (bis zu 4 Schichten GOD) zur Signalunterdrückung beitragen. Die Dichte der GOD-Moleküle in der Multischichtarchitektur ist hoch genug, um einen effizienten Sauerstoffabbau zu ermöglichen, obwohl  $\text{O}_2$  eine höhere Diffusionsgeschwindigkeit im Vergleich zu Glukose besitzt. Diese Betrachtungsweise wird unterstützt, wenn man Sensoren vergleicht, die mit derselben Schichtzahl  $[\text{GOD}/\text{PAH}]_4$  aber unterschiedlicher GOD-Konzentration ( $400 \mu\text{M}$  statt  $2 \text{ mM}$ ) präpariert werden. Bei mittlerer GOD-Konzentration kann der Photostrom nur auf 60% ( $20 \text{ mM}$  Glukose) unterdrückt werden; bei  $2 \text{ mM}$  GOD ist eine Unterdrückung bis zu 50% möglich. Daher wird für die weiteren Untersuchungen eine hohe Enzymkonzentration eingesetzt.

Für Elektroden, die unter diesen Bedingungen hergestellt werden, zeigt sich eine Steigerung der Unterdrückung des sauerstoffabhängigen Photostroms bis zu 4 GOD-Schichten. Die Ablagerung weiterer Schichten ermöglicht keine Sensitivitätssteigerung im Bereich  $100 \mu\text{M}$  bis  $5 \text{ mM}$  Glukose. Die maximale Änderung des Photostroms liegt bei 50% ( $10 \text{ mM}$  Glukose). Diese Ergebnisse und die Messungen in Argon-gespültem Puffer beweisen, dass 50% des Photostroms (bei pH 7) von Sauerstoff abhängig sind. Die GOD-Multischichten können den gesamten  $\text{O}_2$ -abhängigen Photostrom unterdrücken, wenn eine hohe Enzymaktivität bei hoher Substratkonzentration genutzt wird. Die Messungen zeigen mit einem dynamischen Messbereich zwischen  $100 \mu\text{M}$  und  $5 \text{ mM}$  das Potential des Systems für den Glukosenachweis. Durch das Fixieren der Enzymreaktion kann eine räumlich begrenzte Auslesung des Signals durch spezifische Beleuchtung des entsprechenden Elektrodenareals stattfinden. Die Auflösung ist dabei sowohl von der Immobilisierungstechnik als auch von der Art des optischen Systems für die Photoanregung

abhängig. Das Signalverhalten der gesamten Elektrode wird durch die Änderung der Glukosekonzentration charakterisiert. Schon nach 10 s stellt sich ein stabiles Signal ein. Das ist im Inset der Abbildung 5B illustriert, wobei nach dem ersten Lichtpuls die Glukosekonzentration geändert und anschließend 3 mal Photoströme aufgezeichnet wurden.

## 4 Zusammenfassung

CdSe/ZnS-modifizierte Elektroden sind präpariert und der kathodische Photostrom während der Beleuchtung in An- und Abwesenheit von  $\text{O}_2$  aufgezeichnet worden. Nach wenigen Lichtpulsen kann ein stabiler Photostrom detektiert werden. Diese Basisexperimente verifizieren die lichtunterstützte Sauerstoffreduktion bei negativem Elektrodenpotential. Die Ergebnisse zeigen desweiteren eine Abhängigkeit des  $\text{O}_2$ -abhängigen Photostroms vom pH-Wert mit einer bevorzugten Reaktion im basischen und neutralen pH-Bereich.

Die  $\text{O}_2$ -sensitive Elektrode wird für die Untersuchung der GOD-Reaktion in Lösung eingesetzt. Wegen des enzymatischen Verbrauchs des Sauerstoffs wird das Signal unterdrückt. Dadurch können verschiedene Enzymaktivitäten in Lösung nachgewiesen werden.

Die alternierende Assemblierung von negativ geladenen GOD- und positiv geladenen Polyelektrolyt-Schichten ermöglicht die Etablierung eines Multischichtsystems durch elektrostatische Wechselwirkungen. QCM-Messungen zeigen die Ablagerung einer konstanten Menge von GOD für die einzelnen Schichten. Photostrommessungen mit variierender Glukosekonzentration beweisen die Zugänglichkeit von GOD innerhalb der Schichten und zeigen einen Signalanstieg mit steigender Schichtzahl. Eine  $[\text{GOD}/\text{PAH}]_4$ -Multilayer Elektrode nutzt den gesamten Bereich des  $\text{O}_2$ -abhängigen Photostroms. Mit einer kurzen Ansprechzeit sowie einem dynamischen Messbereich zwischen  $100 \mu\text{M}$  und  $5 \text{ mM}$  Glukose ist dieses System ein geeigneter Biosensor für den Glukosenachweis. Die Untersuchungen demonstrieren die Nützlichkeit des Konzeptes für eine lichtunterstützte Auslesung einer Sensoroberfläche, basierend auf QD-Schichten und einer gekoppelten Enzymarchitektur.

## Danksagung

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung der DFG (Projekt LI7062-1, PA794/3-1).

## Literatur

- Akerman, M. E., Chan, W. C. W., Laakkonen, P., Bhatia, S. N., Ruoslah-ti, E. (2002): PNAS 2002, 99(20), 12617-12621.
- Algar, W. R., Massey, M., Krull, U. J. (2009): Trends Anal. Chem. 2009, 28(3), 292-306.
- Alivisatos, A. P. (1996): Science 1996, 271, 933-937.
- Bailey, V. J., Easwaran, H., Zhang, Y., Griffiths, E., Belinsky S. A., Herman, J. G., Baylin, S. B., Carraway, H. E., Wang, T.-H. (2009): Genome Research 2009, 19, 1455-1461.
- Bardi, G., Malvindi, M. A., Gherardini, L., Costa, M., Pompa, P. P., Cingolani, R., Pizzorusso, T. (2010): Biomat. 2010, 31, 6555-6566.
- Boeneman, K., Deschamps, J. R., Buckhout-White, S., Prasuhn, D. E., Blanco-Canosa, J. B., Dawson, P. E., Stewart, M. H., Susumu, K., Goldman, E. R., Ancona, M., Medintz, I. L. (2010): ACS Nano 2010, 4(12), 7253-7266.
- Bonanni, A., Del Valle, M. (2010): Anal. Chim. Acta 2010, 678, 7-17.
- Bruchez, M., Moronne, M., Gin, P., Weiss, S., Alivisatos, A. P. (1998): Science 1998, 281, 2013-2016.
- Chan, W. C. W., Maxwell, D. J., Gao, X., Bailey, R. E., Han, M., Nie, S. (2002): Curr. Opin. Biotechnol. 2002, 13(1), 40-46.
- Chan, W. C. W., Nie, S. (1998): Science 281, 2016-2018.
- Clarke, S., Pinaud, F., Beutel, O., You, C., Piehler, J., Dahan, M. (2010): Nano Lett. 2010, 10, 2147-2154.
- Dabbousi, B. O., Rodriguez-Viejo, J., Mikulec, F. V., Heine, J. R., Mat-toussi, H., Ober, R., Jensen, K. F., Bawendi, M. G. (1997): J. Phys. Chem. B 1997, 101, 9463-9475.
- Dittmeyer, R., Keim, W., Reysa, G., Oberholz, A. (2004): Chemische Technik: Prozesse und Produkte. Band 2: Neue Technologie, Wiley-VCH, Weinheim.
- Esteves, A. C. C., Trindade, T. (2002): Curr. Opin. Solid State Mater. Sci., 2002, 6, 347-353.
- Göbel, G., Dietz, T., Lisdat, F. (2010): Electroanalysis 2010, 22, 1581-1585.
- Ha, T. (2001): Methods 2001, 25(1), 78-86.
- Hines, M. A., Guyot-Sionnest, P. (1996): J. Phys. Chem. 1996, 100, 468-471.
- Ipe, B. I., Niemeyer, C. M. (2006): Angew. Chem. 2006, 118, 519-522.
- Kang, W. J., Ko, M. H., Lee, D. S., Kim, S. (2009): Proteomics Clin. Appl. 2009, 3(12), 1383-1388.
- Kang, X., Mai, Z., Zuo, X., Cai, P., Mo (2007): J. Anal. Biochem. 2007, 369, 71-79.
- Katz, E., Zayats, M., Willner, I., Lisdat, F. (2006): Chem. Commun. 2006, 1395-1397.
- Kloepfer, J. A., Bradforth, S. E., Nadeau, J. L. (2005): J. Phys. Chem. B 2005, 109, 9996-10003.
- Koberling, F., Mews, A., Basche, T. (2001): Adv. Mater. 2001, 13(9), 672-676.
- Lahiff, E., Lynam, C., Gilmartin, N., O'Kennedy, R., Diamond (2010): D. Anal. Bioanal. Chem. 2010, 398, 1575-1589.
- Lisdat, F., Dronov, R., Möhwald, H., Scheller, F. W., Kurth, D. G. (2009): Chem. Commun. 2009, 3, 274-283.
- Lohmüller, T., Aydin, D., Schwieder, M., Morhard, C., Louban, I., Pacholski, C., Spatz, J. P. (2011): Biointerphases 2011, 6(1), 1934-8630.
- Ma, L., Wu, S. M., Huang, J., Ding, Y., Pang, D. W., Li, L. (2008): Chromosoma 2008, 117(2), 181-187.
- Mattoussi, H., Mauro, M., Goldman, E. R., Anderson, G. P., Sundar, V. C., Mikulec, F. V., Bawendi, M. G. (2000): J. Am. Chem. Soc. 2000, 122, 12142-12150.
- Medinitz I. L., Clapp, A. R., Mattoussi, H., Goldman, E. R., Fisher, B., Mauro, J. M. (2003): Nat. Mater. 2003, 2, 630-638.
- Medinitz, I. L., Uyeda, H. T., Goldman, E. R., Mattoussi, H. (2005): Nature Materials 2005, 4, 435-445.
- Murray, C. B., Noms, D. J., Bawendi, M. G. (1993): J. Am. Chem. Soc. 1993, 115, 8706-8715.
- Parak, W. J., Boudreau, R., Le Gros, M., Gerion, D., Zanchet, D., Micheel, C. M., Williams, S. C., Alivisatos, A. P., Larabell, C. A. (2002): Adv. Mater. 2002, 14, 882-885.
- Pardo-Yissar, V., Katz, E., Wassermann, J., Willner, I. (2003): J. Am. Chem. Soc. 2003, 125, 622-623.
- Pellegrino, T., Kudera, S., Liedl, T., Muñoz Javier, A., Manna, L., Parak, W. J. (2005): small, 2005, 1, 48-63.
- Pinaud, F., King, D., Moore, H.-P., Weiss S. (2004): J. Am. Chem. Soc. 2004, 126, 6115-6123.
- Reiss, P., Bleuse, J., Pron, A. (2002): Nano Lett. 2002, 2, 781-784.
- Sarauli, D., Tanne, J., Schäfer, D., Schubart, I. W., Lisdat, F. (2009): Electrochem. Commun. 2009, 11, 2288-2291.
- Sarauli, D., Tanne, J., Xu, C., Schulz, B., Trnkova, L., Lisdat, F. (2010): Phys. Chem. Chem. Phys. 2010, 12, 14271-14277.
- Scheller, F., Schubert, F. (1992): Biosensors: Fundamentals and appli-cation; Elsevier.
- Schubert, K., Khalid, W., Yue, Z., Parak, W. J., Lisdat, F. (2010): Lang-muir 2010, 26(2), 1395-1400.
- Seydack, M. (2005): Biosens. Bioelectron. 2005, 20, 2454-2469.
- Shipway, A. N., Katz, E., Willner, I. (2000): ChemPhysChem 2000, 1, 18-52.
- Stoll, Ch., Gehring, C., Schubert, K., Zanella, M., Parak, W. J., Lisdat, F. (2008): Biosens. Bioelectron. 2008, 24, 260-265.
- Stoll, Ch., Kudera, S., Parak, W. J., Lisdat, F. (2006): small 2006, 2, 6, 741-743.
- Sun, J., Zhu, Y., Yang, X., Li, C. (2009): Particuology 2009, 7, 347-352.
- Talapin, D. V., Rogach, A. L., Kornowski, A., Haase, M., Weller, H. (2001): Nano Lett. 2001, 1(4), 207-211.
- Umar, A., Rahman, M. M., Al-Hajry, A., Hahn, Y.-B. (2009): Electro-chemistry Communications, 2009, 11, 278-281.
- Van Sark, W. G. J. H. M., Frederix, P. L. T. M., Bol, A. A., Gerritsen, H. C., Meijerink A. (2002): ChemPhysChem 2002, 3, 871-879.
- Van Sark, W. G. J. H. M., Frederix, P. L. T. M., Van den Heuvel, D. J., Gerritsen, H. C. (2001): J. Phys. Chem. B 2001, 105, 8281-8284.
- Wannier, G. H. (1937): Phys. Rev. 1937, 52, 193-197.
- Willner, I., Basnar, B., Willner, B. (2007): FEBS Journal 2007, 274, 302-309.
- Wu, X., Liu, H., Liu, J., Haley, K. N., Treadway, J. A., Larson, J. P., Ge, N., Peale, F., Bruchez, M. P. (2003): Nat. Biotechnol. 2003, 21, 41-46.
- Xiao, Y., Li, C. M. (2008): Electroanalysis 2008, 20(6), 648-662.
- Zayats, M., Katz, E., Willner, I. (2002): J. Am. Chem. Soc. 2002, 124, 10, 2120-2121.

## Autoren

**Johannes Tanne, M. Sc.**

AG Biosystemtechnik

FhG IBMT Golm

Technische Hochschule Wildau [FH]

johannes.tanne@ibmt.fraunhofer.de

**Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schäfer**

AG Biosystemtechnik

Technische Hochschule Wildau [FH]

daniel.schaefer@th-wildau.de

**Dr. Waquas Kahlid**

Fachbereich Physik

Philips Universität Marburg

wqaskh@yahoo.com

**Prof. Dr. Wolfgang J. Parak**

Fachbereich Physik

Philips Universität Marburg

wolfgang.parak@physik.uni-marburg.de

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Fred Lisdat**

AG Biosystemtechnik

Technische Hochschule Wildau [FH]

fred.lisdat@th-wildau.de

# Labelfreie Detektion von Protein-DNA-Interaktionen durch elektrochemische Impedanzspektroskopie

Christoph Tersch, Fred Lisdat

## Zusammenfassung

Es wird ein impedimetrisches Sensorsystem für den Nachweis von Protein-DNA-Wechselwirkungen vorgestellt. Der Sensor nutzt kurze Thiol-markierte DNA (ssDNA), die über Chemisorption auf Goldchipelektroden immobilisiert wird. Aus den Impedanzspektren wurde der Durchtrittswiderstand ( $R_{ct}$ ) als Kenngröße für die zu untersuchenden Wechselwirkungen gewählt. In Anwesenheit des Redoxsystems Ferro-/Ferricyanid konnte eine Zunahme des Durchtrittswiderstandes nach der Immobilisierung und anschließender Hybridisierung auf der Sensoroberfläche registriert werden. Der Einsatz längerer Fänger-DNA (25-mer im Vergleich zu 18-mer) führte zu einer Abnahme der Konzentration an immobilisierten Fänger-Strängen, aber auch zu einer Vergrößerung der Durchtrittswiderstände sowohl für ssDNA als auch dsDNA. Bei ähnlichen Oberflächenkonzentrationen ließ sich eine annähernd gleiche Sensitivität des Hybridisierungsnachweises im Vergleich zu 18-mer Fänger-Strängen erzielen.

Mit Hilfe des Elektrodensystems wurde die Nachweisbarkeit von Protein-DNA-Wechselwirkungen untersucht. Die Restriktion doppelsträngiger DNA durch die Restriktionsendonuklease BamHI konnte mit der Zykovoltammetrie und markierungsfrei mit der Impedanzspektroskopie verfolgt werden. Des Weiteren wurde die sequenzspezifische Bindung des Transkriptionsfaktors NF- $\kappa$ B p50 anhand einer Abnahme von  $R_{ct}$  impedimetrisch registriert.

## Abstract

In this work, the applicability of an impedimetric DNA sensor has been investigated for the detection of protein-DNA interactions. The sensor is based on short thiol-modified single-stranded DNA, which is chemisorbed to gold chip electrodes. In the presence of the redox system ferri-/ferrocyanide impedance measurements show an increase in charge transfer resistance after immobilization and hybridization of ssDNA to the sensor surface. The use of a longer capture oligonucleotide (a 25-mer instead of an 18-mer) results in a decreasing probe concentration on the surface. Furthermore it causes an increase of the charge transfer resistance for both ssDNA and dsDNA. The hybridization event, however, can be detected with a similar sensitivity compared to an 18-mer (with the same surface concentration) and allows a good discrimination between ssDNA and dsDNA.

This electrode system is used to follow an enzyme reaction on the surface electrochemically. The cleavage of a double-stranded DNA by restriction endonuclease BamHI could be verified by cyclic voltammetry and impedance spectroscopy. The sequence specific DNA-binding of the transcription factor NF- $\kappa$ B p50 is found to cause a decrease in charge transfer resistance.

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren hat der Einsatz von Nukleinsäuren als analytisches Werkzeug zur Identifizierung und Quantifizierung vieler Substanzen an Bedeutung gewonnen. Eine neue, interessante Art dieser affinen Biosensoren kann beispielsweise durch die Kombination von DNA-Schichten und elektrochemischen Transducern hergestellt werden. Verschiedene elektrochemische Methoden, wie Voltammetrie (Pänke et al. 2007; Bütow et al. 2010), Amperometrie (Hianik et al. 2001;

Loaiza et al. 2008) und Impedanzspektroskopie (Kafka et al. 2008; Park et al. 2009) finden bereits für die Detektion spezifischer DNA-Sequenzen Anwendung und erlauben die Konstruktion sensitiver, kleiner und kostengünstiger Sensoren (Drummond et al. 2003; Odenthal et al. 2007; Lucarelli et al. 2008). Die Einsatzfähigkeit dieser DNA-Biosensoren beschränkt sich jedoch nicht nur auf den Nachweis von Hybridisierungsvorgängen.

Eine Vielzahl an Studien belegen die Möglichkeit, DNA-Biosensoren auch für den Nachweis von niedermolekularen Substanzen einzusetzen (Evtyugin et al.

2008; Erdem et al. 2002; Shah et al. 2008), die mit der DNA durch Interkalation, über Bindung in den Furchen doppelsträngiger DNA oder auf Grund elektrostatischer Wechselwirkungen interagieren (Labuda et al. 2010). Ein weiterer Bereich ist die Untersuchung von Protein-DNA-Wechselwirkungen, welchen eine vielfältige Bedeutung innerhalb von zellulären Prozessen, wie z. B. der Replikation, der Transkription, der Restriktion und der DNA-Reparatur, zukommt. Etablierte Methoden zur Detektion entsprechender Wechselwirkungen, wie der electromobility shift assay (Molloy 2000), der DNase-footprinting assay (Bailly et al. 2005) oder Microarray-Techniken (Wang et al. 2003; Mukherjee et al. 2004) sind meist aufwändig, zeitintensiv oder benötigen ein radioaktives Label. Demzufolge ist die Entwicklung neuer, vorteilhafter Methoden für den Nachweis spezifischer Assoziationen zwischen Proteinen und DNA von besonderem Interesse. In letzter Zeit gelang es bereits einigen Arbeitsgruppen, elektrochemische Systeme zum indirekten aber auch direkten Nachweis von Protein-DNA Wechselwirkungen auf einer Elektrodenoberfläche einzusetzen. So kann durch die Bindung von Proteinen an dsDNA deren Basenpaarstapelung durch Herausdrehen von einzelnen Basen oder durch Biegung der Duplex beeinträchtigt werden, wodurch ein veränderter DNA-vermittelter Ladungstransfer hervorgerufen wird (Gorodetzky et al. 2008). Boon et al. (2002) nutzten dieses Prinzip zum Nachweis von Protein-DNA-Wechselwirkungen. Hierfür setzten sie Daunomycin als redoxaktiven Interkalator ein. Sowohl Proteinbindungen als auch enzymatische Reaktionen mit der DNA ließen sich dadurch anhand einer Abnahme des Stromflusses für Daunomycin zur Goldelektrode analysieren. Weiterhin stellen Proteine, die selbst elektroaktiv sind, eine interessante Alternative dar. Zum Beispiel konnte die elektrochemische Oxidation von Tyrosin- und Tryptophan-Resten innerhalb eines Proteins mittels Voltametrie zur Bindungsdetektion eingesetzt werden (Kerman et al. 2005). Ebenso wurde MutY, ein Basenaustausch-Reparatur-Enzym, untersucht. Elektrochemische Studien zeigten, dass die Bindung von MutY an DNA-modifizierten Goldelektroden mit einer Änderung des  $[4FeS]^{3+/2+}$  Clusters assoziiert ist und so anhand einer DNA-vermittelten Redoxreaktion elektrochemisch detektiert werden kann (Boon et al. 2003).

Im Gegensatz zur Amperometrie und Voltammetrie, bei denen die eingesetzten Spannungen relativ hoch sind und dadurch potentialbedingte Schädigungen der Biomoleküle auftreten können, kann die elektrochemi-

sche Impedanzspektroskopie (EIS) als eine relativ schonende Methode bezeichnet werden, die in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus gerückt ist (Daniels et al. 2007; Lisdat et al. 2008; Pänke et al. 2008; Guan et al. 2004). Der Nachweis spezifischer Wechselwirkungen zwischen immobilisierten Biomolekülen und Analytmolekülen in Lösung kann prinzipiell durch Änderungen der Kapazität der elektrochemischen Doppelschicht oder des Durchtrittswiderstandes ( $R_{ct}$ ) analysiert werden. Einige Veröffentlichungen zeigen bereits erste Beispiele zur Nutzung dieses Systems für die Detektion von Protein-DNA-Wechselwirkungen (Chang et al. 2009; Ban et al. 2004).

Im Rahmen vorhergehender Arbeiten zeigten wir die Einsatzfähigkeit impedimetrischer DNA-Sensoren für den markierungsfreien Nachweis eines Metallinterkalators, eines Furchenbinders und eines Einzelstrang-DNA-Bindeproteins (Witte et al. 2011). Ziel dieser Arbeit war die Detektion sequenzspezifischer Wechselwirkungen zwischen Proteinen und DNA. Hierzu wurden dsDNA-modifizierte Elektroden durch Immobilisierung und anschließende Hybridisierung von ssDNA präpariert. Da längere DNA-Stränge eine bessere Zugänglichkeit interagierender Proteine im Vergleich zu kurzen Strängen vermuten lassen, wurde zunächst die dsDNA-Ausbildung von 25-mer langen DNA-Strängen im Vergleich zu 18-meren impedimetrisch analysiert. Im Anschluss wurde die Funktionalität des Systems zur markierungsfreien Detektion von Protein-DNA-Wechselwirkungen verifiziert, wobei eine Restriktionsendonuklease (BamHI) und die sequenzspezifische Bindung eines Transkriptionsfaktors (NF- $\kappa$ B) untersucht wurden.

## 2 Ergebnisse und Diskussion

Zunächst wurde im Rahmen der Arbeit die Ausbildung doppelsträngiger DNA auf der Oberfläche von Goldchipelektroden unter Verwendung 25-mer langer DNA-Sequenzen charakterisiert. Daran anschließend wurden Untersuchungen zum elektrochemischen Nachweis sequenzspezifischer Interaktionen zweier Proteine mit immobilisierter dsDNA vorgenommen.

### Charakterisierung von DNA modifizierten Goldelektroden

Alle eingesetzten Elektroden wurden hinsichtlich der Effizienz der DNA Immobilisierung mit Hilfe der Zyklovoltammetrie nach der Hybridisierung Methyl-

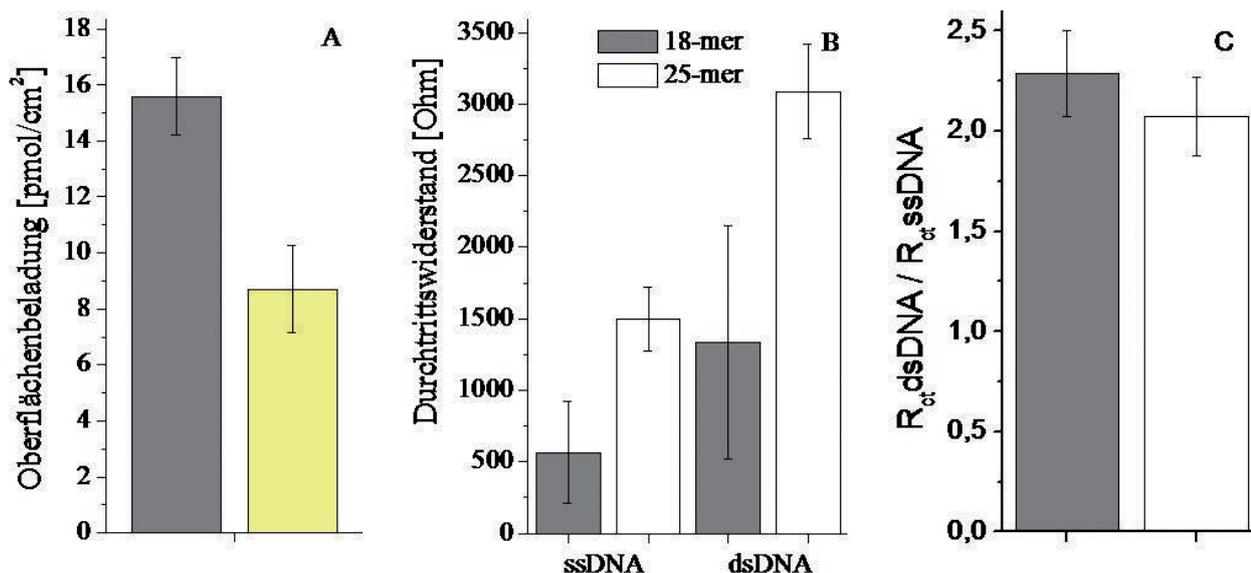


Abb. 1: (A) Vergleich der Oberflächenbeladung zwischen 18-mer (grau) und 25-mer (gelb) langen Fängersträngen unter gleichen Immobilisierungs- und Hybridisierungsbedingungen. (B) Vergleich der Durchtrittswiderstände von ssDNA und dsDNA zwischen 18-mer (grau) und 25-mer (weiß) langen Oligonukleotiden bei vergleichbarer Oberflächenbelegung von 9 pmol/cm<sup>2</sup>. (C) Verhältnis der Durchtrittswiderstände  $R_{ct}(\text{dsDNA})/R_{ct}(\text{ssDNA})$  in Abhängigkeit von der Oligonukleotidlänge (grau: 18-mer, weiß: 25-mer) bei der gleichen Oberflächenbeladung (9 pmol/cm<sup>2</sup>). Die Impedanz wurde jeweils für drei Sensoren in einer Lösung aus 2 mM Ferri-/Ferrocyanid in 0,1 M Natriumphosphatpuffer bei pH 7 bestimmt.

blau(MB)-markierter Target-Stränge beurteilt (Pänke et al. 2007). Das nach der Hybridisierung in Elektroden-nähe befindliche redoxaktive MB kann voltammetrisch erfasst werden, wodurch eine Quantifizierung der hybridisierungsfähigen Fänger-Stränge auf der Elektrodenoberfläche möglich ist. Zur impedimetrischen Charakterisierung der Immobilisierung und Hybridisierung von DNA wurden Impedanzmessungen in Anwesenheit des Redoxsystems Kaliumhexacyanoferrat (II/III) durchgeführt. Verglichen mit einer unmodifizierten Elektrode resultierte die Immobilisierung von ssDNA in einer Zunahme der Impedanz. Analog dazu führte auch eine Hybridisierung zu einer Signalzunahme. Beide Effekte lassen sich dadurch erklären, dass die elektrochemische Redoxreaktion der Kaliumhexacyanoferrationen aufgrund der Akkumulation von negativer Ladung auf der Oberfläche und der damit verbundenen verstärkten elektrostatischen Abstoßung behindert wird. Die Impedanzspektren wurden durch eine Anpassung an das Randles-Ersatzschaltbild ausgewertet und der Durchtrittswiderstand als analytische Messgröße gewählt.

Ein Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung des Einflusses der DNA-Stranglänge auf die Sensitivität des Hybridisierungsnachweises (Steel et al. 2000). Durch den Einsatz längerer Fänger-Stränge soll eine bessere Zugänglichkeit interagierender Biomoleküle erreicht werden. Dieser Fragestellung nachkommend wurden anstatt der bisher eingesetzten 18-mer langen DNA-

Stränge 25-mer DNA-Stränge genutzt (Witte et al. 2011). Hierbei wurde festgestellt, dass der Einsatz längerer DNA-Stränge unter gleichen Bedingungen zu einer Verringerung der Menge an immobilisierter DNA führt (siehe Abb. 1A). Dies lässt sich dadurch erklären, dass nicht nur die Thiol-Gruppen mit der Goldoberfläche interagieren, sondern der gesamte DNA-Strang. Erst der anschließende Passivierungsschritt mit 4-Mercapto-1-butanol löst das DNA-Rückgrat von der Oberfläche und richtet die Stränge zur Lösung aus. Demzufolge blockieren während der Immobilisierung längere DNA-Stränge einen größeren Bereich auf der Oberfläche und limitieren somit die Zugänglichkeit für weitere Fänger-Stränge.

ssDNA	Modifikation	Sequenz (5' → 3')
Fänger 1	5'-SH	GTC AGC TCT ATC CAT AGG
Target 1	5'-MB	CCT ATG GAT AGA GCT GAC
Target 1a		CCT ATG GAT AGA GCT GAC
Fänger 2	5'-SH	GTC AGT CGG ATC CAT ACA AGT TCG C
Target 2	5'-MB	GCG AAC TTG TAT GGA TCC GAC TGA C
Target 2a		GCG AAC TTG TAT GGA TCC GAC TGA C
Fänger 3	5'-SH	GAC GAT TGA GGG GAC TTT CCC AGG C
Target 3	5'-MB	GCC TGG GAA AGT CCC CTC AAT CGT C
Target 3a		GCC TGG GAA AGT CCC CTC AAT CGT C

Tab. 1: eingesetzte DNA Sequenzen

Durch die impedimetrischen Messungen konnte weiterhin gezeigt werden, dass die Länge der DNA-Stränge Einfluss auf den Durchtrittswiderstand hat, sowohl für den ssDNA- als auch für dsDNA-Zustand. Unter Berücksichtigung gleicher Oberflächenbelegungen an DNA konnte bei höherer Nukleotidanzahl eine Zunahme des Durchtrittswiderstandes verfolgt werden, was auf eine verstärkte Akkumulation von negativer Ladung auf den Elektroden zurückzuführen ist. Für die Impedanzspektren von 25-mer langen DNA-Sequenzen wurden Signalerhöhungen von 166 % für ssDNA und 133 % für dsDNA im Vergleich zu 18-meren registriert (Abb. 1B). Bei gleicher Oberflächenbelegung konnte dennoch für 25-mer und 18-mer lange DNA-Stränge eine ähnliche Sensitivität des impedimetrischen DNA-Nachweises erzielt und somit eine gute Differenzierung zwischen ssDNA und dsDNA auf der Elektrodenoberfläche gewährleistet werden (Abb. 1C).

Im Gegensatz zum Durchtrittswiderstand konnten nur geringe Änderungen der Kapazität von 6 % für 25-mer DNA und 3 % für 18-mer DNA nach einer Hybridisierungsreaktion detektiert werden. Weiterhin wurde beobachtet, dass eine vollständige Denaturierung von 25-mer dsDNA mit den für 18-mer dsDNA verwendeten Denaturierungsbedingungen nicht realisierbar ist (Kafka et al. 2008). Voltammetrische Messungen bewiesen, dass eine Verlängerung der DNA zur Ausbildung stabilerer dsDNA führt. Durch eine Verlängerung der Inkubationszeit mit der zur Denaturierung eingesetzten Harnstofflösung von 30 s auf 10 – 20 min ließen sich dennoch alle 25-mer dsDNA-Stränge auf der Elektrodenoberfläche denaturieren und der Sensor sich somit für eine weitere Hybridisierung regenerieren.

### Enzymatische Restriktion durch die Endonuklease BamHI

Neben dem Nachweis von Nukleinsäuren bietet der Einsatz von DNA-Monoschichten ebenso eine Plattform für die elektrochemische Analyse von Protein-DNA-Wechselwirkungen. Diese spezifischen Interaktionen sind vor allem innerhalb zellulärer Prozesse, wie z. B. der DNA-Replikation, der Transkription und der Reparatur, von besonderer Bedeutung. Zu wichtigen Werkzeugen der modernen Molekularbiologie zählen unter anderem die Restriktionsendonukleasen. Sie ermöglichen die gezielte Herstellung von DNA-Fragmenten, die dann isoliert und zu neuen Konstruktionen zusammengesetzt werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde unter Verwendung eines 25-mer Elektrodensystems die sequenzspezifische Restriktion immobilisierter dsDNA durch die Restriktionsendonuklease BamHI untersucht. Hierzu wurden Messungen mit Hilfe der Zyklovoltmetrie sowie der Impedanzspektroskopie durchgeführt. BamHI erkennt als Dimer spezifisch die Sequenz 5'-GGATCC-3' und katalysiert in Anwesenheit von Magnesiumionen als Cofaktor die Restriktion doppelsträngiger DNA zwischen den Guaninbasen (Engler et al. 2001).

Für den voltammetrischen Nachweis der DNA-Restriktion wurden spezifische ssDNA-modifizierte Elektroden mit komplementärer MB-markierter ssDNA hybridisiert. Durch die Bindung des MB lässt sich anhand der Peakströme (siehe Abb. 2A(a)) die Menge an dsDNA auf der Elektrodenoberfläche quantifizieren. Nach 3 h Behandlung der dsDNA-modifizierten Elektrode mit 1 U/ $\mu$ l BamHI konnte ein vollständiger Verlust des MB-Redoxsignals nachgewiesen werden (Abb. 2A(b)). Somit ließ sich auf eine durch BamHI katalysierte Restriktion der dsDNA auf der Elektrode schließen, da durch die Strangtrennung MB-markierte DNA-Fragmente entfernt werden und folglich kein MB-charakteristischer Redoxpeak registriert werden kann.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Effizienz der enzymatischen Restriktion von der Inkubationszeit abhängt (Abb. 2B). Nach der Inkubation des Restriktionsansatzes auf der Elektrode für 15 bis 180 min ist eine stetige Abnahme der Redoxpeaks für MB nachzuweisen. Bereits nach einer Inkubation mit BamHI für 15 min ist ein signifikanter Stromabfall zu verzeichnen, der mit einer weiteren Verlängerung der Zeit allmählich zunimmt. Eine vollständige Restriktion der dsDNA auf der Elektrodenoberfläche ist durch die Inkubation von 1 U/ $\mu$ l BamHI für 120 min bei 37 °C nachweisbar. Demzufolge wurden alle weiteren Untersuchungen unter diesen Bedingungen durchgeführt.

Im Weiteren wurde die Sequenzspezifität der BamHI-katalysierten Restriktion auf der Elektrodenoberfläche verifiziert. Hierzu wurden Goldchipelektroden mit dsDNA präpariert, welche nicht die spezifische Erkennungssequenz für BamHI enthält (Fänger 3/Target 3). Analog zu den vorhergehenden Versuchen ist aus Abb. 2C(a) ein charakteristischer Redoxpeak für MB nach der Hybridisierung-MB-markierter Target-Stränge zu erkennen. Nach der Inkubation der dsDNA-modifizierten Elektrode für 120 min mit BamHI ist jedoch nur eine geringe Abnahme der Peakströme um 15 % zu verzeichnen (Abb. 2C(b)). Dieses Ergebnis lässt auf eine hohe

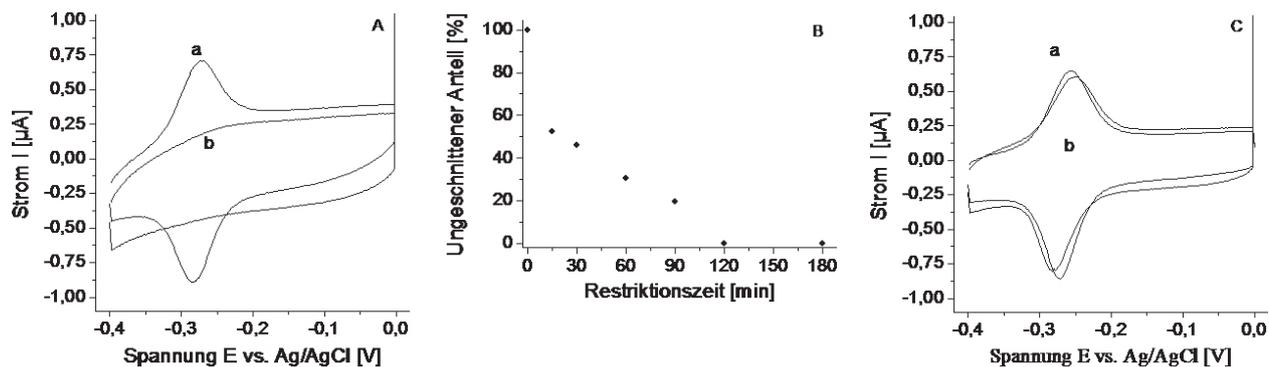


Abb. 2: (A) Cyclovoltammogramme der mit für BamHI spezifischen dsDNA-modifizierten Elektroden vor (a) und nach (b) der Behandlung mit einer BamHI-Endonuklease-Lösung (1 U/ $\mu$ l). (B) Prozentuale Darstellung des unveränderten dsDNA-Anteils auf der Elektrodenoberfläche (cyclovoltammetrische Bestimmung) als Funktion der Restriktionszeit. (C) Cyclovoltammogramme der mit für BamHI unspezifischen dsDNA modifizierten Elektroden vor (a) und nach (b) der Behandlung mit einer BamHI Endonuklease Lösung (1 U/ $\mu$ l). Alle Voltammogramme wurden in 0,1 M Natriumphosphatpuffer pH 7 bei einer Scanrate von 0,1 V/s aufgenommen.

Spezifität der BamHI-katalysierten Restriktion schließen, auch wenn sich die Nukleinsäuren in unmittelbarer Nähe zu einer Elektrode befindet.

Anschließend wurde die elektrochemische Impedanzspektroskopie zur markierungsfreien Detektion der sequenzspezifischen Restriktion von dsDNA durch BamHI eingesetzt. Zu diesem Zweck wurde die Sensoroberfläche zunächst nach der Quantifizierung der ssDNA-Immobilisierung mittels Zyklovoltammetrie durch einen Denaturierungsschritt mit Harnstofflösung regeneriert. Im Anschluss erfolgten die impedimetrischen Messungen.

Voruntersuchungen zeigten, dass die Anwesenheit von DTT im Restriktionspuffer zu deutlichen Änderungen der Impedanz der DNA/MCB-modifizierten Elektrode führt, ohne dass BamHI gegenwärtig ist. Aus diesem Grund wurde DTT für alle folgenden impedimetrischen Messungen aus dem Restriktionspuffer entfernt. Auch in diesem DTT-freien Restriktionspuffer konnte mit Hilfe der zykvoltammetrischen Methode eine hohe

katalytische Aktivität der Endonuklease BamHI nachgewiesen werden.

In Abb. 3A sind die Nyquist-Plots einer dsDNA-modifizierten Elektrode vor und nach der Behandlung mit 1 U/ $\mu$ l BamHI dargestellt. Nach der Inkubation ist mit 1005  $\Omega$  (b) eine deutlich Abnahme des Durchtrittswiderstandes im Vergleich zum Ausgangszustand mit 2994  $\Omega$  (a) für eine dsDNA-modifizierte Elektrode zu verzeichnen. Zusätzlich sind in Abb. 3B die relativen Durchtrittswiderstandsänderungen für dsDNA-modifizierte Elektroden nach der Inkubation mit dem Restriktionsansatz mit und ohne die spezifische Erkennungssequenz für BamHI zusammengefasst. Die Restriktion der dsDNA führte zu einer signifikanten Abnahme von  $R_{ct}$ , was auf die verringerte negative Ladung auf der Elektrodenoberfläche und den dadurch verbesserten Ladungstransfer zurückzuführen ist. Im Vergleich dazu zeigten die Versuche mit dsDNA ohne spezifische Erkennungssequenz für BamHI keine signifikante Änderung von  $R_{ct}$  nach Inkubation mit BamHI. Schlussfol-

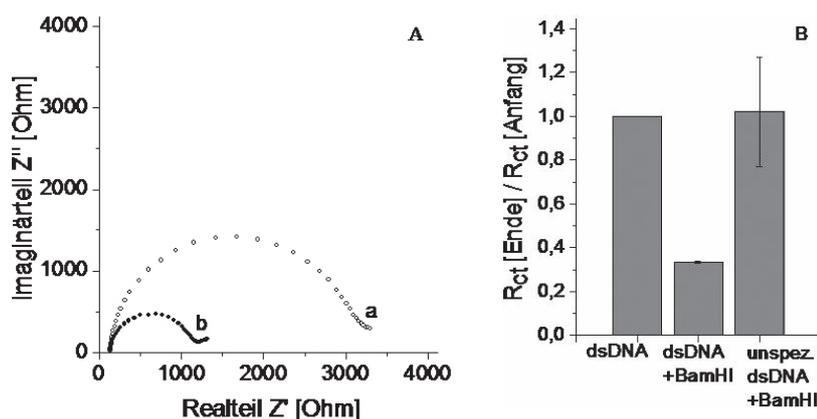


Abb. 3: (A) Impedanzspektren der mit für BamHI spezifischen dsDNA-modifizierten Elektroden vor (a) und nach (b) der Behandlung mit einer BamHI-Endonuklease-Lösung (1 U/ $\mu$ l). (B) Verhältnis der Durchtrittswiderstände  $R_{ct}$  (nach) /  $R_{ct}$  (vor) jeweils bestimmt nach bzw. vor der Elektrodenbehandlung mit der BamHI-Lösung für Elektroden mit einer für BamHI spezifischen bzw. unspezifischen dsDNA-Erkennungssequenz-Modifikation. Die Impedanz wurde jeweils für drei Sensoren in einer Lösung aus 2 mM Ferri-/Ferrocyanoind in 0,1 M Natriumphosphatpuffer bei pH 7 bestimmt.

gernd zeigte diese Versuchsreihe, dass es möglich ist, die enzymatische Restriktion doppelsträngiger DNA durch die Endonuklease BamHI markierungsfrei mit Hilfe der elektrochemischen Impedanzspektroskopie nachzuweisen.

### Impedimetrische Detektion der DNA-Bindung von NF-Kappa B p50

Neben enzymatischen Wechselwirkungen mit DNA sind auch Bindungsereignisse an DNA, wie zum Beispiel von Transkriptionsfaktoren, von besonderem Interesse. Transkriptionsfaktoren wie NF- $\kappa$ B sind an einer Vielzahl von biologischen Prozessen, wie Entzündungs- und Immunabwehr-Mechanismen, der Apoptose oder der Zellproliferation, beteiligt (Tisné et al. 1999). NF- $\kappa$ B beschreibt eine Gruppe von fünf strukturell ähnlichen Proteinen, die zur Familie der NF- $\kappa$ B/Rel-Proteine gezählt werden (Hayden et al. 2004). Deren Gemeinsamkeit ist eine Domäne von ca. 300 Aminosäuren, die sogenannte Rel-Homologie Domäne, welche an der Dimerisierung und der DNA-Bindung beteiligt ist. Jeweils zwei Unter-einheiten können in unterschiedlichen Kombinationen aneinander binden und so z. B. p50/p65-Heterodimere oder p50/p50-Homodimere ausbilden (Gosh et al. 1995). Im Rahmen dieser Arbeit wurde die DNA-Bindung von p50/p50-Homodimeren mit Hilfe der Impedanzspektroskopie untersucht. Für diesen Zweck wurden Goldchip-elektroden mit dsDNA (Fänger 3/Target 3) präpariert, welche die spezifische Erkennungssequenz für NF- $\kappa$ B p50 5'-GGGRNNYYCC-3' enthielt (wobei R für Adenin oder Guanin, Y für Thymin oder Cytosin und N für eine beliebige der vier Basen steht) (Sif et al. 1993).

Aus Abb. 4A wird deutlich, dass die Inkubation einer 25-mer dsDNA-modifizierten Elektrode mit 33  $\mu$ g/ml NF- $\kappa$ B p50 zu einer Abnahme von  $R_{ct}$  um 13 % führt,

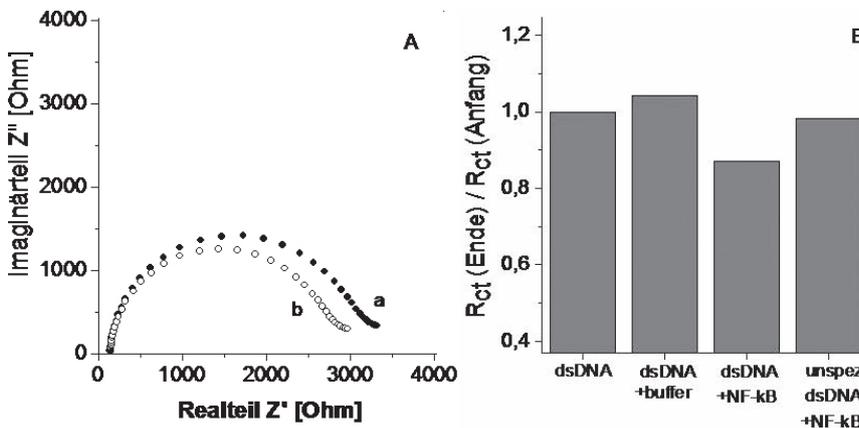


Abb. 4: (A) Impedanzspektren der mit für NF- $\kappa$ B spezifischen dsDNA modifizierten Elektroden vor (a) und nach (b) der Behandlung mit einer 33  $\mu$ g/ml NF- $\kappa$ B p50 Lösung. (B) Verhältnis der Durchtrittswiderstände  $R_{ct}$  (nach)/ $R_{ct}$  (vor) jeweils bestimmt nach bzw. vor der Elektrodenbehandlung mit einer 33  $\mu$ g/ml NF- $\kappa$ B p50 spezifischen bzw. unspezifischen dsDNA-Erkennungssequenz-Modifikation. Die Impedanz wurde jeweils für drei Sensoren in einer Lösung aus 2mM Ferri-/Ferrocyanid in 0,1M Natriumphosphatpuffer bei pH 7 bestimmt.

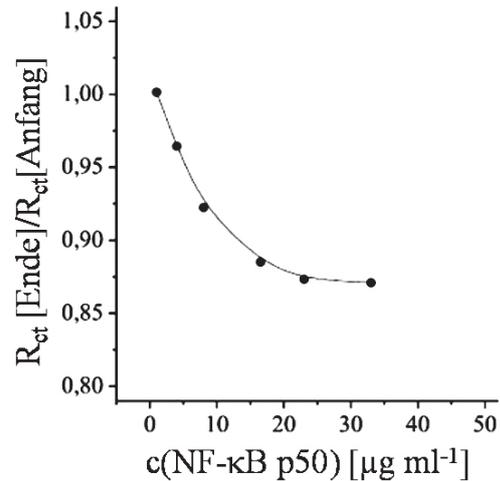


Abb. 5: Verhältnis der Durchtrittswiderstände  $R_{ct}$  (nach)/ $R_{ct}$  (vor) jeweils bestimmt nach bzw. vor der Sensorinkubation mit verschiedenen konzentrierten NF- $\kappa$ B p50 Lösungen für Elektroden mit einer für NF- $\kappa$ B p50 spezifischen dsDNA-Erkennungssequenz. Die Impedanz wurde jeweils für drei Sensoren in einer Lösung aus 2 mM Ferri-/Ferrocyanid in 0,1 M Natriumphosphatpuffer bei pH 7 bestimmt.

hingegen jedoch nur in einer kapazitiven Änderung des Sensors von 2 % resultiert. Im Gegensatz dazu zeigten Elektroden mit dsDNA ohne spezifische Erkennungssequenz für NF- $\kappa$ B nach der Inkubation mit dem Protein keine Änderung in der Impedanz. Weiterhin konnte auch nach der Inkubation mit dem Bindungspuffer allein nur eine minimale Zunahme von  $R_{ct}$  um 4 % registriert werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die spezifische DNA-Bindung von NF- $\kappa$ B p50 mit Hilfe der Impedanzspektroskopie markierungsfrei detektierbar ist und unspezifische Bindungen des Proteins an DNA auszuschließen sind. Darauf aufbauend wurde unter Verwendung von 1  $\mu$ g/ml bis 33  $\mu$ g/ml NF- $\kappa$ B p50 versucht, eine konzentrationsabhängige Änderung des Widerstandes aufzuzeigen. Die resultierende Bindungskurve ist in Abb. 5 dargestellt und lässt eine definierte

Abnahme von  $R_{ct}$  mit steigender NF- $\kappa$ B p50 Konzentration erkennen.

Die Abnahme von  $R_{ct}$  nach der Protein-DNA-Bindung kann durch die NF- $\kappa$ B-Bindung hervorgerufene Veränderung der Ladungssituation erklärt werden. Die spezifische DNA-Bindung von NF- $\kappa$ B p50 Homodimeren resultiert einerseits aus Wechselwirkungen mit den Nukleobasen der DNA, zusätzlich erfolgt andererseits auch eine Interaktion mit dem DNA-Rückgrat durch verschiedene Reste in den Schleifen der NF- $\kappa$ B Sekundärstruktur, wovon 16 positiv geladen sind (Gosh et al. 1995; Michalopoulos et al. 1999). Für die DNA-Bindung von NF- $\kappa$ B p50/p65 Heterodimere ist eine durch die Proteinbindung hervorgerufene Neutralisation der negativen Ladung des DNA-Rückgrats beschrieben (Tisné et al. 1999). Da die DNA-Wechselwirkung auch bei p50-Homodimeren über die Rel-Homologie Domäne erfolgt, ist auch hier ein Neutralisationseffekt anzunehmen. In diesem Fall würde die verringerte negative Ladung auf der Elektrodenoberfläche den Ladungsaustausch zwischen dem Kaliumhexacyanoferrat(II/III)-Redoxsystem und der Elektrode verstärken, was der detektierten Abnahme von  $R_{ct}$  entspräche.

## Danksagung

Wir danken dem BMBF (Projekt-Nr. 13N9593) für die finanzielle Unterstützung.

## Literatur

- Bailey, C., Kluza, J., Martin, C., Ellis, T., Waring, M. J. (2005): DNase I Footprinting of Small Molecule Binding Sites on DNA. *Methods in Molecular Biology*, 288, 319-342.
- Ban, C., Chung, S., Park, D. S., Shim, Y.B. (2004): Detection of protein-DNA interaction with a DNA probe: distinction between single-strand and double-strand DNA-protein interaction. *Nucleic Acids Research*, 32, e110.
- Boon, E. M., Livingston, A. L., Chmiel, N. H., Barton, J. K. (2003): DNA-mediated charge transport for DNA repair. *PNAS*, 100, 12543-12547.
- Boon, E. M., Salas, J. E., Barton, J. K. (2002): An electrical probe of protein-DNA interactions on DNA-modified surfaces. *Nature Biotechnology*, 20, 282-286.
- Buetow, S., Lisdat, F. (2010): Parallel Detection of Different DNA Sequences on One Gold Electrode. *Electroanalysis*, 22, 931-937.
- Chang, H., Li, J. (2009): Electrochemical impedance probing of transcriptional TATA binding protein based on TATA box site-specific binding. *Electrochemistry Communications*, 11, 2101-2104.
- Conolly, B. A., Rider, P. (1985): Chemical Synthesis of oligonucleotides containing a Free Sulfhydryl-Group and Subsequent Attachment of Thiol Specific Probes. *Nucleic Acids Research*, 13, 4485-4502.
- Daniels, J. S., Pourmand, N. (2007): Label-free impedance biosensors: Opportunities and challenges. *Electroanalysis*, 19, 1239-1257.
- Drummond, T. G., Hill, M. G., Barton, J. K. (2003): Electrochemical DNA sensors. *Nature Biotechnology*, 21, 1192-1199.
- Engler, L. E., Sapienza, P., Dorner, L. F., Kucera, R., Schildkraut, I., Jen-Jacobson, L. (2001): The energetics of the interaction of BamHI endonuclease with its recognition site GGATCC. *Journal of Molecular Biology*, 307, 619-636.
- Erdem, A., Ozsoz, M. (2002): Electrochemical DNA biosensors based on DNA-drug interactions. *Electroanalysis*, 14, 965-974.
- Evtuygin, G. A., Budnikov, G. K., Porfi'eva, A. V. (2008): Electrochemical DNA-sensors for determining biologically active low-molecular compounds. *Russian Journal of General Chemistry*, 78, 2489-2506.
- Ghosh, G., Vanduyne, G., Ghosh, S., Sigler, P. B. (1995): Structure of NF-Kappa-B P50 Homodimer bound to a Kappa-B site. *Nature*, 373, 303-310.
- Gorodetsky, A. A., Buzzeo, M. C., Barton, J. K. (2008): DNA-Mediated Electrochemistry. *Bioconjugate Chemistry*, 19, 2285-2296.
- Guan, J. G., Miao, Y. Q., Zhang, Q. J. (2004): Impedimetric biosensors. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 97, 219-226.
- Hayden, M. S., Ghosh, S. (2004): Signaling to NF-kappa B. *Genes & Development*, 18, 2195-2224.
- Hianik, T., Gajdos, V., Krivanek, R., Oretskaya, T., Metelev, V., Volkov, E., Vadgama, P. (2001): Amperometric detection of DNA hybridization on a gold surface depends on the orientation of oligonucleotide chains. *Bioelectrochemistry*, 53, 199-204.
- Kafka, J., Paenke, O., Abendroth, B., Lisdat, F. (2008): A label-free DNA sensor based on impedance spectroscopy. *Electrochimica Acta*, 53, 7467-7474.
- Kerman, K., Morita, Y., Takamura, Y., Tamiya, E. (2005): Escherichia coli single-strand binding protein-DNA interactions on carbon nanotube-modified electrodes from a label-free electrochemical hybridization sensor. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 381, 1114-1121.
- Labuda, J., Oliveira Brett, A. M., Evtugyn, G., Fojta, M., Mascini, M., Ozsoz, M., Palchetti, I., Palecek, E., Wang, J.: *Electrochemical nucleic acid-based biosensors: Concepts, terms, and methodology (IUPAC Technical Report)*. *Pure and Applied Chemistry*, 82, 1161-1187.
- Lisdat, F., Schaefer, D. (2008): The use of electrochemical impedance spectroscopy for biosensing. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391, 1555-1567.
- Loaiza, O. A., Campuzano, S., Guzman-Vazquez de Prada, A., Pedrero, M., Pingarron, J. M. (2008): Amperometric DNA quantification based on the use of peroxidase-mercaptopropionic acid-modified gold electrodes. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 132, 250-257.
- Lucarelli, F., Tombelli, S., Minunni, M., Marrazza, G., Mascini, M. (2008): Electrochemical and piezoelectric DNA biosensors for hybridisation detection. *Analytica Chimica Acta*, 609, 139-159.
- Meunier-Prest, R., Bouyon, A., Rampazzi, E., Raveau, S., Andreoletti, P., Cherkaoui-Malki, M.: Electrochemical probe for the monitoring of DNA-protein interactions. *Biosensors & Bioelectronics*, 25, 2598-2602.
- Michalopoulos, I., Hay, R. T. (1999): Role of the conserved lysine 80 in stabilisation of NF-kappa B p50 DNA binding. *Nucleic Acids Research*, 27, 503-509.
- Molloy, P. L. (2000): Electrophoretic Mobility Shift Assays. *Methods in Molecular Biology*, 130, 235-246.

- Mukherjee, S., Berger, M. F., Jona, G., Wang, X. S., Muzzey, D., Snyder, M., Young, R. A., Bulyk, M. L. (2004): Rapid analysis of the DNA-binding specificities of transcription factors with DNA microarrays. *Nature Genetics*, 36, 1331-1339.
- Odenthal, K. J., Gooding, J. J. (2007): An introduction to electrochemical DNA biosensors. *Analyst*, 132, 603-610.
- Paenke, O., Kirbs, A., Lisdat, F. (2007): Voltammetric detection of single base-pair mismatches and quantification of label-free target ssDNA using. *Biosensors & Bioelectronics*, 22, 2656-2662.
- Paenke, O., Balkenhohl, T., Kafka, J., Schafer, D., Lisdat, F. (2008): Impedance spectroscopy and biosensing. *Advances in biochemical engineering/biotechnology*, 109, 195-237.
- Park, J.-Y., Park, S.-M. (2009): DNA Hybridization Sensors Based on Electrochemical Impedance Spectroscopy as a Detection Tool. *Sensors*, 9, 9513-9532.
- Riddles, P.W., Andrews, R. K., Blakeley, R. L., Zerner, B. (1983): Jack bean urease. 6. determination of thiol and disulfide content – reversible inactivation of the enzyme by the blocking of the unique cysteine residue. *Biochimica & Biophysica Acta*, 743, 115-120.
- Shah, A., Khan, A. M., Qureshi, R., Ansari, F. L., Nazar, M. F., Shah, S. S. (2008): Redox behavior of anticancer chalcone on a glassy carbon electrode and evaluation of its interaction parameters with DNA. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 1424-1434.
- Sif, S., Gilmore, T.D. (1993): NF-Kappa-B P100 is one of the high-molecular-weight proteins complexed with the V-REL oncoprotein in transformed chicken spleen-cells. *Journal of Virology*, 67, 7612-7617.
- Steel, A. B., Levicky, R. L., Herne, T. M., Tarlov, M. J. (2000): Immobilization of nucleic acids at solid surfaces: Effect of oligonucleotide length on layer assembly. *Biophysical Journal*, 79, 975-981.
- Tisne, C., Delepierre, M., Hartmann, B. (1999): How NF-kappa B can be attracted by its cognate DNA. *Journal of Molecular Biology*, 293, 139-150.
- Wang, J., Bai, Y. F., Li, T. X., Lu, Z. (2003): DNA microarrays with unimolecular hairpin double-stranded DNA probes: fabrication and exploration of sequence-specific DNA/protein interactions. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 55, 215-232.
- Witte, C., Lisdat, F. (2011): Direct Detection of DNA and DNA-Ligand Interaction by Impedance Spectroscopy. *Electroanalysis*, 23, 339-346.

## Autoren

**Christoph Tersch, M. Sc.**

AG Biosystemtechnik

Technische Hochschule Wildau [FH]

christoph.tersch@googlemail.com

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Fred Lisdat**

AG Biosystemtechnik

Technische Hochschule Wildau [FH]

fred.lisdat@th-wildau.de

# Etablierung von Hochdurchsatz-Kultivierungs- und -Screeningmethoden für phototrophe Einzeller

Ulrich M. Tillich, Stefanie Grüber, Marcus Frohme

## Zusammenfassung

Mit Hochdurchsatz-Kultivierungs- und -Screeningmethoden können viele Proben parallel, miniaturisiert und kostengünstig bearbeitet werden. Für phototrophe Organismen wie Mikroalgen und Cyanobakterien sind Hochdurchsatz-Kultivierungsverfahren jedoch bis heute kaum etabliert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Verfahren beispielhaft für das Cyanobakterium *Synechocystis sp. PCC 6803* etabliert. Die benötigte technische Automatisierung wurde hierbei durch den Einsatz eines Tecan Genesis RSP 150 Pipettierroboters erreicht. Die Kultivierung erfolgte in Deepwell-Mikrotiterplatten innerhalb einer speziell angefertigten Kammer mit programmierbaren Schüttlern, einstellbarer Belichtung und CO<sub>2</sub>-Atmosphäre. Die in diesem System erreichten Wachstumsraten sind vergleichbar mit publizierten Kultivierungsmethoden. Das Hochdurchsatz-Screening wurde mit Hilfe eines in den Roboter integrierten Tecan Genios Plus Plattenreaders durchgeführt. Es wurden beispielhaft Methoden zur Bestimmung von optischer Dichte und Chlorophyllgehalt etabliert. Die hier vorgestellte Plattform kann vielseitig zur Analyse phototropher Organismen eingesetzt werden und ist durch entsprechende Assays leicht zur Messung anderer Parameter erweiterbar.

## Abstract

High-throughput cultivation and screening methods allow a parallel, miniaturized and cost efficient processing of many samples. These methods however, have not been generally established for phototrophic organisms such as microalgae or cyanobacteria. In this work we describe and test high-throughput methods with the model organism *Synechocystis sp. PCC6803*. The required technical automation for these processes was achieved with a Tecan Genesis RSP 150 pipetting robot. The cultivation was performed in deepwell microtiter plates within a specially constructed cultivation chamber. The chamber is outfitted with programmable shaking conditions, variable illumination and an adjustable CO<sub>2</sub> atmosphere. The growth rates achieved within this system are comparable to those achieved with established methods such as bioreactors. The high-throughput screening was achieved with a Tecan Genios Plus plate reader integrated within the pipetting robot. Methods for determination of optical density and amount of chlorophyll were established within the scope of this work. The presented platform can be used for a variety of analyses of phototrophic organisms and is easily expandable with further assays to screen for additional targets.

## 1 Einleitung

Hochdurchsatz-Kultivierung und -Screening sind nur mit einer Miniaturisierung der Kultur und Parallelisierung der Prozesse über den Einsatz von Mikrotiterplatten möglich (Fernandes/Cabral 2006; Mayr/Fuerst 2008). Hierbei handelt es sich um rechteckige Kunststoffplatten mit voneinander getrennten Kavitäten (sogenannten *Wells*), welche als Reaktionsräume dienen. Mikrotiterplatten haben verschiedene Formate mit unterschiedlicher Anzahl (und Volumina) der Wells. Zu Beginn der 90er Jahre wurden 96-Well-Formate entwickelt, sodass 96 Proben parallel bearbeitet werden

konnten. Durch weitere Miniaturisierungen konnte bis heute der Durchsatz auf 3456 Wells pro Platte gesteigert werden. Besonders Deepwell-Mikrotiterplatten mit einem Volumen von bis zu 5 ml finden in der Kultivierung von Mikroorganismen Anwendung (Kumar et al. 2004). Abbildung 1 zeigt eine Deepwell-Mikrotiterplatte, welche für die Kultivierung von Cyanobakterien eingesetzt wird.

Die Mikrotiterplatte wurde zwischen 1980 und 1990 erstmals für Untersuchungen zum Wachstum mikrobieller Kulturen eingesetzt. Sowohl das Wissen, als auch die Technologien sind in diesem Bereich seither rapide gewachsen. Heute stehen weitere technische Entwick-

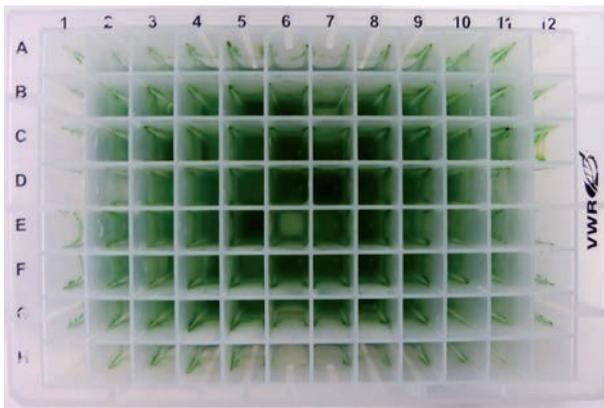


Abb. 1: Kultivierung in Mikrotiterplatte. Mit Hilfe einer in den Pipettierroboter Tecan Genesis RSP 150 integrierten Kultivierungskammer erfolgt im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik die miniaturisierte Kultivierung von Cyanobakterien in 96-Deepwell-Mikrotiterplatten.

lungen wie Multipipetten, Pipettierroboter, Plattenreader und Autosampler zur Verfügung (Duetz 2007).

Die Hochdurchsatz-Kultivierung in Mikrotiterplatten wird routinemäßig für den bakteriellen Modellorganismus *E.coli* eingesetzt (Huber et al. 2010). Für photothrophe Organismen sind Verfahren der Hochdurchsatz-Kultivierung bis heute jedoch kaum etab-

liert. Hochdurchsatz-Screening findet erst seit Anfang der 90er Jahre Anwendung. Besonders im Bereich der modernen Wirkstoffsuche in Pharma- sowie Biotechnologie-Unternehmen stellt es die Basis sowohl für die Grundlagen- als auch für die angewandte Forschung dar. Ohne die massiv parallele Bearbeitung von Proben, die durch das Hochdurchsatz-Screening ermöglicht werden, wären die schnellen Fortschritte in diesen Gebieten kaum möglich.

Als Hochdurchsatz-Screening werden hierbei Verfahren bezeichnet, welche einen Durchsatz von 10.000 bis 100.000 Untersuchungen pro Tag erreichen. Voraussetzungen hierfür sind die Automatisierung der Prozesse bis hin zu vollautomatisierten Robotersystemen (Carroll et al. 2004; Wölcke et al. 2001). Im Labor für Molekularbiologie der TH Wildau wird an Methoden der Hochdurchsatz-Kultivierung und des Hochdurchsatz-Screenings einzelliger Mikroalgen und Cyanobakterien gearbeitet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Methoden beispielhaft für das Cyanobacterium *Synechocystis sp.* PCC 6803 etabliert. Das integrierte Verfahren kann vielseitig eingesetzt werden, um z. B. biotechnologisch relevante Algenstämme zu identifizieren.



Abb. 2: Tecan Genesis RSP 150 Pipettierroboter mit integriertem Tecan GENios Plus Plattenreader sowie einer Algenkultivierungskammer mit CO<sub>2</sub>-Regulierung via Magnetventil.

[1] Liquid-Handling-Arm (LiHa), [2] Stufenlos steuerbare Lichtquelle (3,53 - 83,39  $\mu\text{E}/\text{m}^2$ ), [3] Temperierbare Racks (Ablagegestelle) für Reagenzien, [4] Rack für Pipettenspitzen, [5] Abwurfbehälter für Pipettenspitzen, [6] Temperierbare Racks für Mikrotiterplatten, [7] Kultivierungskammer für Algen mit 2 Schüttlerplätzen, [8] Hotel (zur Lagerung von Mikrotiterplatten), [9] Robotic-Manipulator-Arm (RoMa), [10] Rack für Mikrotiterplatten, [11] Plattenreader Tecan GENios Plus, [12] Steuereinheit für die Kultivierungskammer (CO<sub>2</sub> und Lichtintensität)

## 2 Material und Methoden

### Aufbau der Hochdurchsatzplattform

Für Anwendungen im Hochdurchsatz sind einige technische Voraussetzungen zwingend erforderlich: Die Automatisierung der Kultivierungs- und der Detektionstechniken wurden im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik der TH Wildau durch den Einsatz eines Tecan Genesis RSP 150 Pipettierroboters, erreicht (Abb. 2).

Der Pipettierroboter Tecan Genesis RSP 150 ist eine automatisierte Pipettierstation und gut für den Hochdurchsatz geeignet. Neben einem Liquid-Handling-Arm (LiHa) zum Pipettieren von Flüssigkeiten mit hoher Reproduzierbarkeit verfügt er zusätzlich über einen Robotic-Manipulator-Arm (RoMa). Dieser ermöglicht das Bewegen von Objekten innerhalb des Robotersystems. Sowohl Mikrotiterplatten als auch Reagenzien können durch temperierte Racks (Ablagegestellen) auf bis zu 0 °C gekühlt werden.

Der Pipettierroboter ist mit einer Kultivierungskammer ausgestattet (Abb. 2 Nr. 7), welche an der TH Wildau speziell für die Anforderungen von phototrophen Organismen konstruiert wurde. Sie ermöglicht eine vollständige automatisierte Kultivierung innerhalb des Roboters bei geringer Kontaminationsgefahr. Die Kultivierungskammer ist komplett über den RoMa ansteuerbar. Der Roboterarm ist in der Lage, den Deckel zu entfernen und die Kultivierungsplatten auf ein Rack zu überführen, wo sie anschließend von dem LiHa-Arm erreicht werden können.

In der Kammer stehen zwei computergesteuerte Schüttlerplätze für die Kultivierung in Mikrotiterplatten zur Verfügung. Die Einstellungen der beiden Schüttler sind individuell vom PC aus konfigurierbar, sodass auch komplexere Bewegungen programmiert werden können. Die Kultivierungskammer verfügt außerdem über eine CO<sub>2</sub>-Versorgung, welche eine Regelung der Atmosphäre in der Kammer von 0 bis 4 % CO<sub>2</sub> ermöglicht. Bei Unterschreiten des Sollwertes (gemessen durch einen in der Kultivierungskammer befindlichen Sensor) wird über eine Steuereinheit ein Magnetventil geöffnet und 5 % CO<sub>2</sub>-Gas-Gemisch hinzu dosiert, bis der Sollwert wieder erreicht ist. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer stufenlosen Regelung der Lichtintensität von 3,53 - 83,39  $\mu\text{E}/\text{m}^2$ .

Durch den im Robotersystem integrierten Plattenreader Tecan GENios Plus (Abb. 2 Nr. 11) werden automatisierte Absorptions- und Fluoreszenzmessungen

ermöglicht. Neben direkten optischen Parametern, wie der Lichtstreuung bei 750 nm zur Zellzahlbestimmung oder der Absorption bei 650 nm für extrahierte Chlorophyllpigmente, können durch das Einsetzen von entsprechenden Assays eine Vielzahl von verschiedenen Analyten detektiert werden. So kann beispielsweise durch den Einsatz eines ELISA's (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) fast jeder beliebige Analyt detektiert und quantifiziert werden.

### Kultivierung in Mikrotiterplatten

Nach einer Kultivierungszeit von 24 Tagen auf BG11-Nähragarplatten (BG11, 1 % Agar) wurden die vereinzelt Cyanobakterien-Kolonien von den Agarplatten entnommen und in 96-Deepwell-Mikrotiterplatten überführt (Abb. 1). Die Kultivierung erfolgte in marinem BG11-Nährmedium (42 g/l Instant Ocean, 17,65 mM NaNO<sub>3</sub>, 0,18 mM K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> \* 3H<sub>2</sub>O, 0,03 mM Citronensäure, 0,003 mM EDTA, 0,19 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0,03 mM Ammonium Eisen(III)-citrat und Spurenelemente).

In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass für die Kultivierung von *Synechocystis sp.* PCC 6803 ein Schüttelprotokoll von je 5 Bewegungen Nord-Süd und 5 Bewegungen Ost-West bei 800 rpm optimal ist, um die Kulturen in der Lösung zu halten. Die Atmosphäre in der Kammer war hierbei konstant auf 2 % CO<sub>2</sub> eingestellt. Die Belichtung wurde der Dichte der Kultur angepasst und betrug zu Anfang der Kultivierung 3,53  $\mu\text{E}/\text{m}^2$ . Sie wurde stufenweise wie folgt angehoben: 3,66  $\mu\text{E}/\text{m}^2$  (3. Tag); 5,83  $\mu\text{E}/\text{m}^2$  (4. Tag); 10,75  $\mu\text{E}/\text{m}^2$  (7. Tag). Als Kontrolle für Kreuzkontamination zwischen benachbarten Wells wurden einzelne Wells lediglich mit Nährmedium befüllt, aber nicht mit gepickten Kolonien angeimpft.

Im Verlauf der Kultivierung war eine wöchentliche Auffüllung der einzelnen Wells mit BG11-Nährmedium erforderlich, um das evaporierte Medium zu ersetzen. Hierbei wurden je ein Milliliter Kultur mit einem Milliliter BG11 gemischt (1:2 Verdünnung). Ebenso erfolgte eine tägliche Resuspension der Zellen über die Pipettierfunktion des Roboters, da ansonsten trotz der optimalen Schüttelbedingungen nach über 24 Stunden ein Absetzen der Zellen am Grund der Wells zu beobachten war.

### Messung der optischen Dichte

Die optische Dichte bei 750 nm ( $\text{OD}_{750}$ ) wird bei Mikroalgen und Cyanobakterien zur Bestimmung der Zellzahl verwendet. Bei dieser Wellenlänge absorbieren die Zellen das Licht nur minimal, demnach ist die

gemessene Lichtabnahme durch Streuung der Zellen in der Suspension (gegen Nährmedium als Blindwert) der Zellzahl proportional. Die  $OD_{750}$  wurde für alle Wells täglich gemessen. Hierfür wurden die jeweiligen Kulturen zuvor durch auf- und abpipettieren resuspendiert. Anschließend erfolgte eine Überführung von 80  $\mu$ l je Well in eine transparente Mikrotiterplatte mit 384 Wells. Hierbei wurden jeweils eine Spalte sowie eine Reihe nicht belegt, um mögliche Streueffekte ausschließen zu können.

### Chlorophyllbestimmung

Für die Bestimmung des Gesamtchlorophyllgehaltes in den Zellen wurden je Messung 300  $\mu$ l Probenvolumen je Well verwendet. Die Zellen wurden bei 3.320 g und 9 °C für 15 min mit Hilfe einer Plattenzentrifuge vom Nährmedium getrennt. Nach Entfernung von 270  $\mu$ l Überstand erfolgte die Resuspension in den verbleibenden 30  $\mu$ l mittels Plattenshaker für 15min (800 rpm, 5\*ns, 5\*ow). Durch die Zugabe von 270  $\mu$ l Methanol (100%) und einer anschließenden Inkubationszeit von einer Stunde im Kühlschrank (4 °C) wurden die Chlorophylle aus ihrer natürlichen proteinogenen Umgebung extrahiert. Die Proben wurden im Anschluss erneut für 15 min bei 3.320 g und 9 °C zentrifugiert. Die Messung

der Absorption des Überstandes erfolgte in Doppelbestimmung bei 650nm gegen Methanol unter Verwendung des Plattenreaders (384-Well-Platte mit 80  $\mu$ l je Well). Der Chlorophyllgehalt ergibt sich durch folgende Formel:

$$\text{Chlorophyll}[\mu\text{g/ml}] = \frac{\text{Absorption}_{650\text{nm}} * 13,38}{\text{Probenvolumen [ml]}}$$

Der Extinktionsfaktor von 13,38 wurde anhand von Proben mit bekannter Chlorophyllkonzentration empirisch ermittelt.

### Wachstumsrate

Die spezifische Wachstumsrate  $\mu$ [d<sup>-1</sup>] bezeichnet die Wachstumsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t für einen definierten Organismus unter bestimmten Bedingungen (pH-Wert, Temperatur, Nährmedium usw.).

Die Ermittlung erfolgte unter Verwendung nachfolgender Gleichung (Csögör 2000):

$$\mu = \frac{\ln(x_t) - \ln(x_0)}{\Delta t}$$

$\mu$  Spezifische Wachstumsgeschwindigkeit [d<sup>-1</sup>]

$\Delta t$  Änderung der Zeit [d]

$(x_t)$  Optische Dichte zum Zeitpunkt t

$(x_0)$  Optische Dichte zum Zeitpunkt t = 0

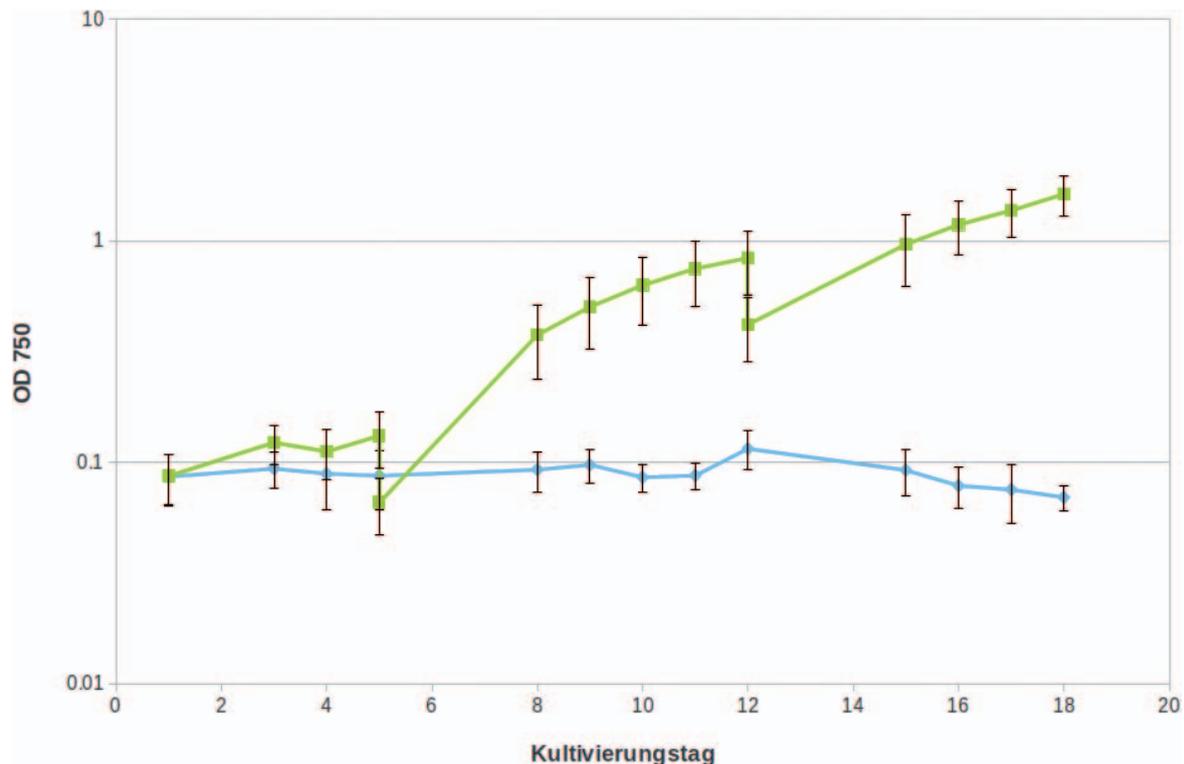


Abb. 3:  $OD_{750}$  über der Kultivierungszeit: Angeimpfte Wells (grün) im Vergleich mit Kontroll-Wells (blau). An den Tagen 5 und 12 wurde 1:2 mit Medium verdünnt.

### Berechnung der Generationszeit

Unter der Generationszeit [ $t_d$ ] wird die Zeit verstanden, in der sich die Zahl der Individuen einer Population von Lebewesen verdoppelt. Während der exponentiellen Phase ist die Generationszeit am kürzesten. Das bedeutet, dass sich die Wachstumsgeschwindigkeit in den einzelnen Wachstumsphasen unterscheidet. Demnach kann die Generationszeit mit der Wachstumsgeschwindigkeit nicht gleichgesetzt werden. Die Wachstumsrate lässt sich mit Hilfe der ermittelten durchschnittlichen Wachstumsrate  $\mu$  wie folgt berechnen:

$$t_d = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

## 3 Ergebnisse

Mit den in Vorversuchen etablierten Parametern und Methoden wurde ein voller Kultivierungslauf mit dem Modellorganismus *Synechocystis* sp. PCC 6803 durchgeführt. Die Temperatur innerhalb der Kammer wurde im Verlauf des Wachstums beobachtet und lag zwischen 25 bis 27 °C. In Abbildung 3 ist das Wachstum der Zellen in den einzelnen Wells dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass bei den angeimpften Wells ein gutes Wachstum stattgefunden hat. In den ersten 5 Tagen hat kaum Wachstum stattgefunden, nach der ersten Verdünnung war jedoch eine starke Zunahme der OD von Tag zu Tag zu beobachten. Die Streuung der OD-Werte zwischen den Wells ist anhand der Standardabweichungsbalken ebenfalls gut zu erkennen. In den Kontroll-Wells hingegen war kein Wachstum messbar. Vorherige Kultivierungen (Daten nicht gezeigt) haben ähnliche Wachstumsverläufe gezeigt. Die Wachstumsraten und Generationszeiten wurden für Kultivierungszeiträume zwischen den Verdünnungen bestimmt und sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Am Tag 18 wurde für alle Wells der Chlorophyllgehalt bestimmt. Im Durchschnitt ergab sich für die Wells mit Wachstum ein Wert von  $6,741 \pm 4,6 \mu\text{g/ml}$ .

Kultivierungszeitraum	Wachstumsrate $\mu$ [ $\text{d}^{-1}$ ]	Generationszeit [ $t_d$ ]
Tag 1-5	$0,084 \pm 0,047$	$12,265 \pm 9,114$
Tag 5-12	$0,353 \pm 0,066$	$2,048 \pm 0,505$
Tag 12-18	$0,235 \pm 0,045$	$3,049 \pm 0,564$

Tab. 1: Durchschnittliche Wachstumsraten und Generationszeiten für die Wells mit OD-Zunahme

## 4 Diskussion

Der Kultivierungslauf hat gezeigt, dass der Aufbau der Hochdurchsatzplattform für Anwendungen mit phototrophen Einzellern gut geeignet ist. Eine parallele Kultivierung der Cyanobakterien in Mikrotiterplatten innerhalb der Kultivierungskammer konnte erfolgreich durchgeführt werden und die neu etablierten Methoden zeigten konsistente und reproduzierbare Daten.

Die  $\text{OD}_{750}$ -Werte in den ersten 5 Tagen der Kultivierung zeigten eine deutliche lag-Phase, in der die Kulturen noch nicht stark gewachsen sind, da sie sich erst an die Umgebung in der Flüssigkultur anpassen mussten. In dieser Phase war ebenso die Wachstumsrate mit  $\mu=0,084$  sehr niedrig. Nach den ersten 5 Kultivierungstagen war jedoch eine starke, fast exponentielle Wachstumszunahme an der OD zu erkennen (log-Phase). Die OD-Werte zwischen den Wells zeigten in dieser Phase eine große Standardabweichung. Dies ist nicht auf stark unterschiedliche Wachstumsraten zurückzuführen, sondern darauf, dass die Kulturen in den einzelnen Wells mit unterschiedlichen Start-ODs in die log-Phase übergingen, aber trotzdem ähnlich schnell gewachsen sind. Die hohen, in der log-Phase erreichten Wachstumsraten  $0,353 \pm 0,066$  und  $0,235 \pm 0,045$ , sind mit anderen Kultivierungsmethoden (z. B. in Bioreaktoren) vergleichbar und zeigen, dass die im Roboter erzeugten Bedingungen gut für die Kultivierung geeignet sind. Die gemessenen Chlorophyllmengen von  $6,741 \pm 4,6 \mu\text{g/ml}$  deuten außerdem auf eine gute Pigmentierung der Zellen hin, was für eine hohe Vitalität spricht.

In den Kontroll-Wells, welche nur mit Medium befüllt waren, war kein Wachstum von Zellen detektierbar. Bereits das Übertreten weniger Zellen hätte jedoch zu einer (verzögerten) Zunahme der OD geführt. Somit ist gezeigt, dass keine Kreuzkontamination zwischen Wells durch das Schütteln oder die Probenentnahme erfolgt ist und dass jedes Well als eine eigene, vollständig getrennte Kultivierungseinheit betrachtet werden kann.

## 5 Fazit

Hochdurchsatz-Kultivierungs- und -Screeningmethoden für phototrophe Organismen konnten erfolgreich etabliert werden. Die miniaturisierte und parallele Kultivierung in Mikrotiterplatten erlaubt es, bis zu 192 Kulturen gleichzeitig und automatisiert im Roboter zu

kultivieren. Die für das Hochdurchsatzscreening getesteten Meßmethoden waren ebenfalls erfolgreich und können mit dem integrierten Plattenreader und entsprechenden Assays leicht auf weitere Parameter oder Analyten ausgeweitet werden.

### Danksagung

Unser besonderer Dank gilt der Cyano Biofuels GmbH für die gute Zusammenarbeit und die finanzielle Unterstützung.

Unser Dank gilt weiterhin Sven Angermann, Andreas Frahm und Kai Lietzau für die Unterstützung beim Bau der Kultivierungskammer.

### Literatur

- Carroll, S., Inglese, J., Mao, S., Olsen, D. (2004): In *Molecular Cancer Therapeutics: Strategies for Drug Discovery and Development*. John Wiley & Sons, Inc. USA, 119-140.
- Doig, S., Pickering, S., Lye, G., Baganz, F. (2005): Modelling surface aeration rates in shaken microtitre plates using dimensionless groups. *Chemical Engineering Science*, Vol. 60 Nr. 10, United Kingdom, 2741-2750.
- Duetz, W. (2007): Microtiter plates as mini-bioreactors: miniaturization of fermentation methods. *Trends in Microbiology*, Vol. 15 Nr. 10, Niederlande, 469-475.
- Fernandes, P., Cabral, J.M.S. (2006): Microlitre/millilitre shaken bioreactors in fermentative and biotransformation process. *Biocatalysis and Biotransformation*, Vol. 24 Nr. 4, Portugal, 237-252.
- Csögör, Z. (2000): Untersuchung zur Modellierung des Wachstums und der Produktbildung bei Mikroalgen. Dissertation, Shaker Verlag, Deutschland, 52.
- Hermann, R., Lehmann, M., Büchs, J. (2003): Characterization of gas-liquid mass transfer phenomena in microtiter plates. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 81 Nr. 2, Deutschland, 178-186.
- Huber, R., Palmen, T., Ryk, N., Hillmer, A., Luft, K., Kensy, F., Büchs, J. (2010): Replication methods and tools in high-throughput cultivation process – recognizing potential variations of growth and product formation by on-line monitoring. *BMC Biotechnology*, Vol. 10 Nr. 22, Deutschland, 173-183.
- Kumar, S., Wittmann, C., Heinzle, E. (2004): Minibioreactors. *Biotechnology Letters*, Vol. 26 Nr. 1, Deutschland, 1-10.
- Mayr, L., Fuerst, P. (2008): The Future of High-Throughput Screening. *Journal of Biomolecular Screening*, Vol. 13 Nr. 6, Schweiz, 443-448.
- Wölcke, J., Ullmann, D. (2001): Miniaturized HTS technologies – uHTS. *Drug Discovery Today*, Vol. 6 Nr. 12, Deutschland, 637-646.

### Autoren

**Ulrich M. Tillich, M. Sc.**  
Molekularbiologie und funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]

**Stefanie Grüber, B. Sc.**  
Studentin Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Technische Hochschule Wildau [FH]

**Prof. Dr. Marcus Frohme**  
Molekularbiologie und funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
marcus.frohme@th-wildau.de

# Die Medien aus der Sicht eines Nachrichtentechnikers

Bernd Eylert

## Zusammenfassung

Der Autor hat zu diesem Thema am 8. Dezember 2010 am Institut für Medienwissenschaften der Philosophischen Fakultät an der Humboldt-Universität Berlin einen Vortrag gehalten. Es ist der Versuch eines Diskurses von Medien, Nachrichtentechnik und Philosophie, was unterscheidet sie, was verbindet sie, was haben sie gemein. Der Autor stellt besonders die Menschen in den Mittelpunkt, die diese Entwicklung maßgebend beeinflusst haben. Was sind Triebkraft und Motivation der Menschen, die mit ihrem Tun solch nachhaltige Veränderungen in der Gesellschaft bewirkt haben? Gibt es einen philosophischen Anspruch, dem sich Nachrichtentechniker verpflichtet fühlen? Der Beitrag versucht, auch darauf eine Antwort zu geben.

## Abstract

The author has made a presentation to this item at the Institute for Media Sciences at the Faculty of Philosophy at Humboldt-University Berlin, 8<sup>th</sup> December 2010. The paper is starting a discourse between media, telecommunications and philosophy. He points out what is different and what they do have in common. The author puts into his focus the people standing behind these developments. What has been the motivation for these people to push forward and change the society itself? Is there a philosophical guideline which is followed by these specialists? The author tries to give an answer.

## 1 Einleitung

Dieser Beitrag konzentriert sich auf solche Medien, die einen Nachrichtenkanal als Träger brauchen. Das ist zum ersten die drahtgebundene Kommunikation über Kabel oder Glasfaser direkt ins Haus, zum anderen die drahtlose Kommunikation, die vom Mobilfunk oder vom Rundfunk her bekannt ist, und endet beim Internet als der »All-inclusive«-Plattform. Damit wird sich klar von den Print- und Bildmedien abgegrenzt.

## 2 Physikalische Grundlagen

Die Existenz elektromagnetischer Wellen hat der schottische Physiker James Maxwell aufgrund mathematischer Berechnung vorhergesagt. Den Nachweis erbrachte Heinrich Hertz 1888. Bei seinem Versuch entdeckte er auch, dass ein solcher Schwingungsvorgang mit einem kurzen Stromstoß verbunden ist, der sich bei Hochspannung in einem Funken entlädt. Das Phänomen der Funkenbildung tritt an allen offenen Übergangsstellen zwischen zwei Polen auf. Die Bildung

kleiner Funken ist letztlich dafür verantwortlich, dass elektromagnetische Wellen entstehen. Mittels dieser können wir über Antennen (Dipole) elektromagnetische Wellen abstrahlen, sodass wir Rundfunk, Fernsehen und Mobilfunk betreiben können.

Hertz, der Anglo-Italiener Guglielmo Marconi u. a. Physiker fanden heraus, dass man auf eine elektromagnetische Welle, einem Träger, elektromagnetische Wellen anderer Wellenlängen als Signale aufmodulieren kann. Damit war die Grundlage für die Übertragung von Nachrichten gelegt. Die ersten Sprachübertragungseinrichtungen, *Telefon* genannt, konnten entstehen. Maßgeblich umgesetzt in eine technische Anwendung hat es der schottisch-amerikanische Sprachtechniker und Stimmphysiologe Alexander Graham Bell. Entscheidend am Telefon sind zwei Dinge:

1. Die Umwandlung von Sprache in elektrische Signale und zurück.
2. Der Aufbau von Verbindungswegen, die eine Übermittlung von Nachrichten auch über große Strecken möglich machen.

Da Schritt 1 ein wichtiges Element zum physikalischen Verständnis der Telefonie ist, soll dies im Folgenden kurz

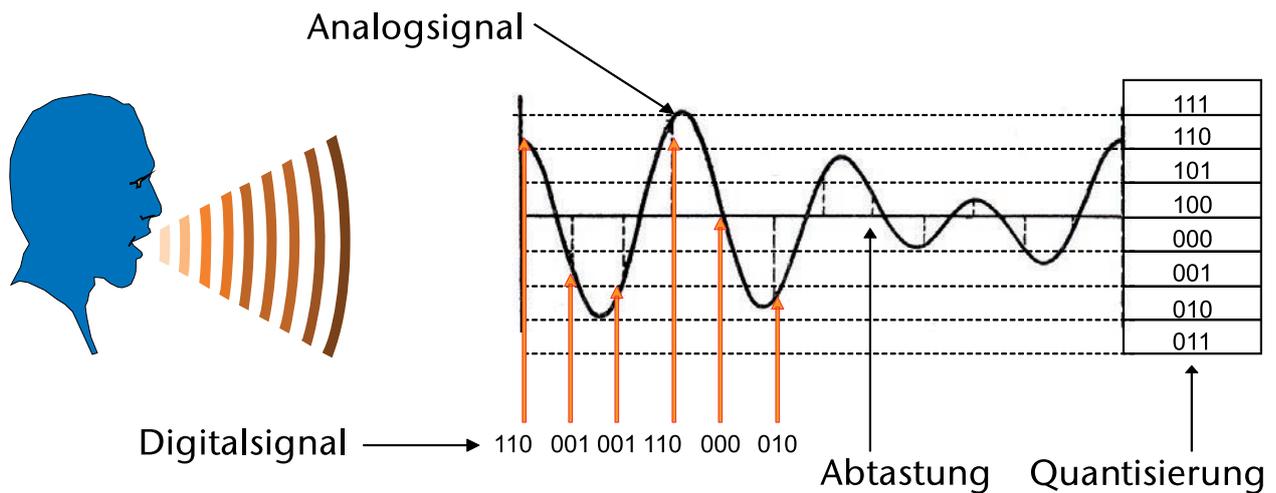


Abb. 1: Analog/Digital-Wandlung (Eylert 2010)

über die Analog/Digital-Wandlung erläutert werden. Dafür ist maßgeblich der amerikanische Mathematiker Claude Shannon verantwortlich. Er stieß damit die Tür für eine neue Entwicklung in der Nachrichtentechnik auf. Um dies ein wenig zu verdeutlichen, stellen wir uns vor, wir sprechen in ein Mikrofon (Eylert 2010: 176f.). Schallwellen werden 1:1 in elektrische Signale umgewandelt, was in Abb. 1 gezeigt wird.

Das wellenförmige Signal, *Analogsignal* genannt, ist das Ergebnis der Umwandlung eines Schallsignals in ein elektrisches Signal, was im Mikrofon passiert. Jahrzehntlang hat man mit dieser Übertragungsart gut leben können. Claude Shannon kam auf die Idee, die Nachricht nicht mehr vollständig mit allen analogen Signalelementen zu übertragen, sondern nur noch ganz bestimmte Teile dieser Signale. Die Idee, die dahintersteckt, ist folgende: Die Sprache enthält eine Fülle von überflüssigen Lauten, die dem Sprachfluss, aber nicht dem Verständnis dienen. Man nennt das Redundanz. Das Gehirn wiederum ist in der Lage, fehlende Redundanz wieder dazu zu komponieren. Man kennt das von schlechten Telefonverbindungen, wo viele Worte verstümmelt werden, aber dennoch der Inhalt der Nachricht verstanden werden kann. Shannon benutzte für diesen Vorgang einen Quantisierer (rechte Seite im Bild) und ordnete dem Analogsignal einen binären Zahlenwert zu. D. h. man liest eine bestimmte Länge der Nachricht in einen Speicher ein, tastet anschließend das Analogsignal in gleichmäßigen Schritten ab und ordnet jedem einzelnen Abtastwert die entsprechende 1-0-Folge aus dem Quantisierer zu (s. Ziffernfolge unter der Kurve). Anschließend wird nur noch die 1-0-Folge, hier also »110 001 001 110 000 010...«, übertragen. Auf der Empfängerseite geht der Prozess genau umgekehrt

vor sich und lässt sich damit über einen Lautsprecher als Pendant zum Mikrofon in hörbare Sprache zurückverwandeln.

### 3 Telefon und Funktelegraphie

1877 baute Werner von Siemens das erste Telefonnetz in Berlin auf. Über Kupferdrähte wurden die Teilnehmer untereinander über eine Vermittlungsstelle verbunden. Die wichtigsten Personen der Gesellschaft und Behörden wurden angeschlossen. Es war zunächst ein sehr elitäres Netz, wurde aber zügig weiter ausgebaut und wer es sich leisten konnte, beantragte ein Telefon bei der Reichspost, denn diese war verantwortlich für den Telefondienst im Reich.

1899 kam es zur ersten Funkübertragung (drahtlose Telegraphie) über den Ärmelkanal durch Marconi, 1903 folgte die erste öffentliche transatlantische Funkverbindung durch Marconis Firma Marconi's Wireless Telegraph Company Ltd. Das System wurde von der britischen Marine übernommen.

Wollte man nicht beliebig viele Systeme weltweit einführen, so musste man sich auf Standards einigen. Dazu wurde schon im Jahre 1865 in Paris auf Anregung der französischen Regierung die *Internationale Fernmeldeunion* (Union Télégraphique Internationale) gegründet (International Telegraph Union 2011), wo bis heute die wesentlichen Standards in der Telekommunikation, einschließlich Rundfunk, Fernsehen, terrestrischer Mobil- und Satellitenfunk, vereinbart werden. Auf den Mobilfunk wird später noch einmal eingegangen.

## 4 Rundfunk (FV Sender Königs Wusterhausen e.V. 2011)

Schon Anfang des letzten Jahrhunderts wurde in New York aus der Metropolitan oder seitens der Reichspost in Berlin aus der Oper unter den Linden versucht, über das Telefon Konzerte und Reden zu übertragen – mit mäßigem Erfolg. Denn die gebotene Qualität ersetzte noch keinen Konzertbesuch. Erste Rundfunkversuche hat es 1913 in New York gegeben. Die Versuche waren durchaus erfolgreich, wurden dann aber durch den beginnenden Ersten Weltkrieg unterbrochen.

In Deutschland führte ab April 1917 das Militär Erprobungen des Rundfunks auf dem Funckerberg in Königs Wusterhausen (kurz KW) unter Beteiligung des Physikers Alexander Meißner und des Ingenieurs Hans Bredow zur Übertragung von Sprache und Musik für Informations- und Unterhaltungssendungen durch. Die Versuche wurden abgebrochen, da die Vorgesetzten befohlen hatten, »diesen Unfug zu unterbinden« (Glaser/Werner 1990). Dass das nicht so unsinnig war, wie einige Heeresführer meinten, ist u. a. daran zu erkennen, dass der Erfolg der Russischen Revolution 1917 per »Rundspruch« an die kämpfenden Truppen verkündet wurde, was den Abschluss des später annullierten Separatfriedens von Brest-Litowsk und damit das Ende des Ersten Weltkrieges in Osteuropa nur beschleunigte.

Nach Beendigung des Ersten Weltkrieges übernahm die Deutsche Reichspost (DRP) die ehemalige Militärfunkstation und führte jetzt ihrerseits entsprechende Erprobungen unter Leitung des damals getadelten Hans Bredow durch. Am 22. Dezember 1920 wurde trotz Funkverbots der Alliierten erstmalig ein Weihnachtskonzert mit Instrumentalmusik, gespielt von Ingenieuren, Technikern und Angehörigen der DRP, ausgestrahlt, welches Zuschriften von privaten Zuhörern aus Luxemburg, Holland, England und den nördlichen Staaten zur Folge hatte. Aus Deutschland kamen damals keine Reaktionen von Privathörern, da »Rundfunkhören« bei Strafe verboten war.

Zunächst wurde das neue Mittel für einen Wirtschaftsdienst angewendet, der 1921 ins Leben gerufen wurde. Telefunken und Lorenz entwickelten in Berlin die ersten Röhren. Röhren sind technische Bauelemente, die elektrische Signale verstärken und damit eine wirtschaftlich sinnvolle Übertragung ermöglichen können. Röhrensender wurden aufgebaut, Empfangsanlagen in Berlin-Zehlendorf errichtet und die Antennenanlage in KW um zwei weitere 100-Meter-Masten

ergänzt. Es liefen also die Bemühungen der Post und das »Basteln« der Funk-Amateure nebeneinander her, wobei das Funkverbot der Alliierten die (offizielle) Freigabe des Empfangs für Amateure bis zum Jahre 1923 unmöglich machte. Erst am 29. Oktober 1923 konnte in Deutschland der »Unterhaltungsrundfunkdienst« als privatwirtschaftliche »Funkstunde AG« starten, zwei Jahre nach dem Start in den USA und ein Jahr, nachdem die BBC in London erstmals auf Sendung gegangen war und eine beispiellose Medien-Karriere beginnt. *Spiritus rector* ist der Ingenieur Hans Bredow, jetzt Staatssekretär im Reichspostministerium.

Hier kommt aus Sicht der Nachrichtentechnik der erste entscheidende Einschnitt: In Deutschland übernehmen private Gesellschaften den Sendebetrieb. Nicht mehr Ingenieure und Physiker bestimmen und gestalten technisch und inhaltlich das Medium »Rundfunk«. Unternehmer beteiligen sich an den neuen Gesellschaften, die kommerziellen Interessen der Geldgeber stehen im Vordergrund. Publizisten gestalten die Programme und Ingenieure und Techniker sind für den Betrieb verantwortlich. Das soll an folgendem Beispiel verdeutlicht werden: Der für Köln bestimmte Sender musste zunächst in Münster arbeiten, weil die alliierte Rheinlandkommission das Empfangsverbot für das damals noch von Frankreich besetzte Rheinland aufrecht erhielt. Als publizistisches Mittel ersten Ranges erwies sich der Rundfunk in der Nacht zum 1. Februar 1926, als die alliierten Truppen das Rheinland verließen und es mit Hilfe der ersten Sendung aus Köln zu einer gewaltigen Volkskundgebung kam und man nun auch im Rheinland offiziell Rundfunk hören durfte.

Die Politik erkennt sofort die Bedeutung des Rundfunks für ihre Zwecke und überträgt am 1. März 1926 51 Prozent der Anteile der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft (RRG) an die Reichspost. Diese ist gehalten, nach dem öffentlichen Grundsatz der sparsamen Haushaltsführung zu handeln, was nicht ohne Konflikte bleiben konnte. Bredow wird ab 1926 als Rundfunk-Kommissar der RRG als Vertrauensmann der Reichspost und der Rundfunkgesellschaften eingesetzt, übernimmt den Vorsitz im Verwaltungsrat und wird 1933 von den Nazis abgesetzt.

Ab 1933 untersteht der Rundfunk dem Propagandaministerium und bekommt damit eine völlig andere »Qualität«, was nach dem Zweiten Weltkrieg zu radikalen Änderungen führt. Die Post bleibt technischer Dienstleister. Die Entwicklung des Rundfunks in der

Zeit von 1933 – 45 zu beschreiben, ist ein eigenes, umfangreiches Thema, das den hiesigen Rahmen sprengen würde.

## 5 Fernsehen

(Deutsches Fernsehmuseum Wiesbaden 2010)

Nachdem der Rundfunk mit Sprach- und Musikübertragung erfolgreich eingeführt war, konnten sich die Nachrichtentechniker neuen Herausforderungen stellen: der Bildübertragung. Im Prinzip wiederholte sich die Entwicklung wie beim (Hör-)Rundfunk, nur mit einem wesentlichen Unterschied: In Deutschland wurde die Entwicklung des Fernsehens ganz wesentlich von den neuen Machthabern in Berlin gefördert und gesteuert. Sie wollten das Fernsehen aus propagandistischen Gründen zu den Olympischen Spielen 1936 in Berlin einsatzbereit haben.

Pionier des Fernsehens war zum einen der Ingenieur Paul Nipkow, der 1884 ein Verfahren erfand und patentierte, wie man (bewegte) Bilder zerlegen und anschließend übertragen kann. Ein weiterer Pionier des Fernsehens war Manfred von Ardenne. Er zeigte auf der 8. Großen Deutschen Funkausstellung 1931 in Berlin das System zur elektronischen Übertragung von Bildern auf Basis einer Kathodenstrahlröhre. Letztendlich ist es aber dem in Berlin lebenden Ungar Dénes von Mihály zu verdanken, dass das Fernsehen Marktreife erlangte. Er präsentierte auf der Funkausstellung in Berlin 1932 erstmals ein Gerät mit Bildröhre. Nach mehreren Versuchssendungen wurde am 22. März 1935 in Berlin das erste regelmäßige Fernsehprogramm Deutschlands gesendet. Gesendet wurde an drei Tagen in der Woche für jeweils zwei Stunden am Abend. Bereits 1936 wurde die erste Livesendung ausgestrahlt. Zu dieser Zeit gab es schätzungsweise 75 Heimempfänger, wie der Fernseher seinerzeit genannt wurde (Wegner 2008). Das Fernsehen war im Dritten Reich nicht so erfolgreich, wie man meinen könnte. Es heißt, den Machthabern wäre das Bild zu klein gewesen; sie wären nicht repräsentativ genug herübergekommen. Der Zweite Weltkrieg ließ das Fernsehen ab 1943 in Deutschland in einen sieben Jahre währenden Dornröschenschlaf fallen.

## 6 Die elektronischen Massenmedien nach dem 2. Weltkrieg

Nach dem 2. Weltkrieg übernehmen die Alliierten den gesamten Rundfunkbetrieb in Deutschland.

Aufgrund des Missbrauchs des Rundfunks als Propagandainstrument im Dritten Reich veranlassen die Alliierten 1948 die Trennung von Rundfunk und Staat in den westlichen Besatzungszonen. Gemäß Verordnung No. 118 der britischen Militärregierung von 1948 befiehlt sie die Einrichtung des Nordwestdeutschen Rundfunks (NWDR) in Hamburg, zuständig für die Britische Zone. Den technischen Betrieb übergibt sie an die Post. Sie legt auch fest, dass die Post die Rundfunkgebühren erhebt; 75 Prozent davon gehen an den NWDR für die Programmgestaltung und den redaktionellen Dienst und 25 Prozent an die Post für die technische Dienstleistung. Damit sind auch die Prioritäten zwischen der inhaltlichen Verantwortung und dem technischen Betrieb klar vorgegeben. Die anderen Besatzungsmächte handeln ähnlich, mit Ausnahme der Sowjets. In der sowjetischen Besatzungszone bleibt der Rundfunk Staatsaufgabe (Deutsches Fernsehmuseum Wiesbaden 2010).

Der Rundfunk wird durch das Grundgesetz (GG) Art. 5, 30, 70 und 73 sowie daraus folgendem Staatsvertrag Ländersache mit Ausnahme der in Art. 73 festgelegten Aufgaben des Bundes. Die Sender werden öffentlich-rechtliche Einrichtungen, der Deutschen Bundespost obliegt der technische Betrieb und sie ist fiskalischer Dienstleister. Sie treibt nämlich bis zur Gründung der GEZ in den 1960er Jahren die Rundfunkgebühren selbst ein. In Teilen liegt die technische Dienstleistung bis heute in den Händen der Post-Nachfolgeorganisation, der Deutschen Telekom; viele Relaisstellen und Sender werden von ihr betrieben (Wegner 2008).

In der DDR bleibt der Rundfunk Staatsaufgabe, die Deutsche Post sichert den technischen Betrieb bis zur Wende 1990. Pikanterweise hat der Artikel 5 ein Pendant in der Verfassung der DDR, jedoch ohne den letzten Satz: »Eine Zensur findet nicht statt.« (Wegner 2008)

Das Fernsehen entstand in der alten Bundesrepublik erst wieder am 27.11.1950, ziemlich genau vor 60 Jahren, beim NWDR in Hamburg, wo mit dem Restteam der ehemaligen Reichspost-Fernseh-GmbH Testsendungen aufgenommen wurden. Weihnachten 1952 wurden die Fernsehsender Köln und Hannover in Betrieb genommen. Dank des Zusammenwirkens mit der Bundespost, die die Relaisstrecken ausbaute, und der

Industrie konnten die Sender Berlin, Hamburg, Hannover, Köln und Langenberg in der Folgezeit das regelmäßige öffentliche Fernsehen ausstrahlen. Mit dem Vertragswerk »Deutsches Fernsehen« im März 1953 wurde für die 1950 gegründete Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rundfunkanstalten (ARD) festgelegt, dass das Fernsehen eine Gemeinschaftsaufgabe ist. Die Beziehungen der Rundfunkanstalten zur Deutschen Bundespost hinsichtlich des Fernsehens wurden durch den Fernsehleitungsvertrag geregelt, den aber jede Anstalt Ende 1955 separat mit der Post abschloss (Deutsches Fernsehmuseum Wiesbaden 2010).

In der DDR fand die erste Ausstrahlung am 21.12.1952 statt. Anlass war der 73. Geburtstag Stalins, der mit der ersten Nachrichtensendung der »Aktuellen Kamera« geehrt werden sollte. Offiziell startete der Deutsche Fernsehfunk (DFF) am 3.1.1956. Der gesamte technische Betrieb lag in den Händen der Deutschen Post. Mit Art. 36 des Einigungsvertrags von 1990 wurden die Auflösung des DFF und die Überführung ihrer Senderkette in die ARD zum 1.1.1992 festgelegt und umgesetzt. Die nördliche Kette ging im Norddeutschen Rundfunk (NDR) auf, im Süden entstand der Mitteldeutsche Rundfunk (MDR) und in Berlin-Brandenburg der Ostdeutsche Rundfunk Brandenburg (ORB), heute Rundfunk Berlin-Brandenburg (RBB) (MDR 2011).

Sieht man einmal von der Entwicklung und Einführung des Farbfernsehens ab, wo es ja leidenschaftliche Auseinandersetzungen um den Standard zwischen den USA (NTSC), Frankreich (SECAM) und Deutschland (PAL) in den 1960er Jahren gab, war die große Zeit der Nachrichtentechniker in diesem Medium 1970 mehr oder weniger vorbei.

## 7 UNO setzt über die Welthandelsorganisation neue Schwerpunkte – WTO/GATS verändert die Märkte

(Eylert 2005: 230ff.)

In den 1980er Jahren gab es nochmal ein Aufbäumen, als Satelliten- und Kabelfernsehen entwickelt und eingeführt wurden. Damit wurden neue Verbreitungskanäle eröffnet, die aufgrund der GATS-Vereinbarungen (General Agreement on Trade in Services) der World Trade Organisation (WTO) neue Maßstäbe durch grenzenlose Service-Dienstleistungen setzten und zur Einführung des Privaten Rundfunks führten. Neue Massenmedien entstanden. Mit verschlüsselten Programmen,

ausgesendet von Satelliten, sollten mit massiver Werbung grenzüberschreitend neue Produkte vermarktet werden. Gleiches galt für das Geschäft auf den (koax-)Kabeln, das die DBP angestoßen, aber durch ihre eigene Privatisierung letztendlich nicht umsetzen konnte und als »nicht zum Kerngeschäft gehörend« verkaufen musste. Nach einer technischen Aufbauphase war auch das kein Feld für Nachrichtentechniker mehr. Sie verlagerten ihre Aktivitäten auf andere Gebiete, die neue Herausforderungen versprachen, z. B. den aufkommenden digitalen Mobilfunk.

## 8 Entwicklung des Mobilfunks (Eylert 2005)

Die Geschichte des Funks begann mit dem Seefunk. Bis zur Einführung des Mobilfunks liegt dazwischen aus nachrichtentechnischer Sicht eine beeindruckende Entwicklung, die aber aus der Sicht der Medien bis zum Jahr 1988 nicht so bedeutsam war. Auf zwei wichtige Meilensteine soll aber noch hingewiesen werden:

1. Die Entwicklung des Zugfunks und seine Einführung zur IFA 1925 in Berlin, der sich dadurch auszeichnete, dass er sich für den Kunden wie ein normales Telefonat darstellte, obwohl es über Langwelle im Gegensprechen, d. h. voll duplex, geführt wurde. Das war eine fantastische Leistung der Ingenieure der Deutschen Reichspost, die kein Pendant in der Welt hatte.
2. Die Entwicklung des Autotelefon, zunächst in den USA mit Einführung 1945 in St. Louis, dann in Deutschland sehr intensiv ab 1951 bei der Deutschen Bundespost, in den Regeldienst 1958 als A-Netz eingeführt. Ihm folgten noch die B- und C-Netze mit analoger Sprachübertragung, weshalb man sie auch als Mobilfunk der 1. Generation bezeichnet. Sieht man einmal vom skandinavischen Nordic Mobile Telephone (NMT) ab, waren alle Mobilfunknetze der 1. Generation nationale Funktelefonnetze.

### a) GSM

Erstmalig hatten sich 1987 13 PTTs (nationale Post- und Fernmeldeorganisationen) und ein privater Netzbetreiber in einem Memorandum of Understanding (MoU) auf die Einführung eines gemeinsamen Mobilfunksystems nach dem GSM-Standard verständigt, eine Entwicklungsinitiative der Group Spéciale Mobile (GSM) und der CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications). Keiner hatte

auch nur ansatzweise die Idee, dass sich GSM als erstes digitales Mobilfunksystem weltweit durchsetzen würde. Schließlich war man ja aus Europa nicht gewöhnt, dass gemeinsame Ideen auch gemeinsam umgesetzt würden. Aber es gab ein sehr starkes politisches Commitment, speziell aus Frankreich und Deutschland. Dieser deutsch-französischen Allianz, genannt D900 (digitaler Mobilfunk im 900MHz-Band), wollten andere EU-Staaten nicht tatenlos zusehen. GSM bekam später den Namen Global System for Mobile Communications und wurde als 2. Mobilfunkgeneration eingestuft.

### b) UMTS und der Weg zu LTE

Die Europäische Union legte nach und das Forschungs- und Entwicklungsprojekt RACE (Research in Advanced Communication Technologies in Europe), später Race I genannt, auf. Ziel dieses Forschungsprojektes war, Europa zum Weltmarktführer in Sachen Kommunikation zu machen. Für den Mobilfunk hieß das, aufbauend auf dem europäischen Standard GSM ein Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) zu entwickeln. Ein neues Akronym war geboren. Nun galt es, dies mit Leben zu füllen. In diese neue Aufgabe eingebunden waren die PTTs, die Telekommunikationsindustrie und Forschungsinstitute (einschl. verschiedener Hochschulen). Umsetzen konnte man eine solche Aufgabe aber nur, wenn man die internationalen Standardisierungs- und Normungsinstitute einband.

Was sollte die Systeme der 3. Mobilfunkgeneration von denen der 2. Mobilfunkgeneration unterscheiden? Bis einschließlich GSM ging es beim Funk rein um *Sprachübertragung*. An *Datenübertragung* über Funk hatte bis dato niemand gedacht. Solche Bandbreiten, wie wir sie für die Datenübertragung benötigen, galten im Funk bis dato als schwer realisierbar. *Shannons*

*Kapazitätstheorem* (s. Abb. 2), das im Wesentlichen eine Aussage zwischen dem Informationsgehalt einer Nachricht und der zur Verfügung stehenden Bandbreite zum Inhalt hatte, wurde zum Maßstab einer neuen Mobilfunkgeneration.

Der Mobilfunkdienst der 3. Generation (UMTS/3G) sollte eine Bildübertragung, Video-Conferencing, erlauben. Wenn eine Videokonferenz möglich ist, dann ist auch bidirektionales Fernsehen möglich! Aber mit welcher Bitrate? Ende der 1980er Jahre konnten Videokameras schon eine digitale Bildaufzeichnung mit 2 MBit/s (MPEG 2) realisieren. So entstand bei ITU-R WG 8F, der Arbeitsgruppe FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) der ITU, das Ziel, für 3G eine Datenübertragungsrate von mindestens 2 MBit/s (peak) zu schaffen.

Parallel dazu hatte sich in den 1990er Jahren das Internet als die Kommunikations- und Medienplattform entwickelt, die die Nutzung des klassischen Telefons dramatisch revolutionierte. Das Telefon wurde zu einem neuen Medium der weltweiten Kommunikation, weg von der reinen Sprachübertragung hin zu einem umfassenden Medienkanal. Waren am Anfang die Netzbetreiber auch noch Inhaltenanbieter, so hat sich das im Laufe der letzten 15 Jahre auch durch die Vorgaben der EU dahingehend gewandelt, dass sich nun viele Diensteanbieter, sogenannte Service-Provider, auf den Netzen nicht immer zur Freude aller tummeln. Man denke da nur an die »Angebote« zur Kinderpornographie oder Sicherheitslücken im Netz, die gewiefte Geschäftemacher gnadenlos ausnutzen.

Abb. 2 verdeutlicht, wie sich die Peak-Datenraten in den letzten 20 Jahren vervielfacht haben (Scrase 2007). Während GSM eine sehr magere Datenrate vergleichbar der bekannten Faxübertragung im Festnetz bereitstell-

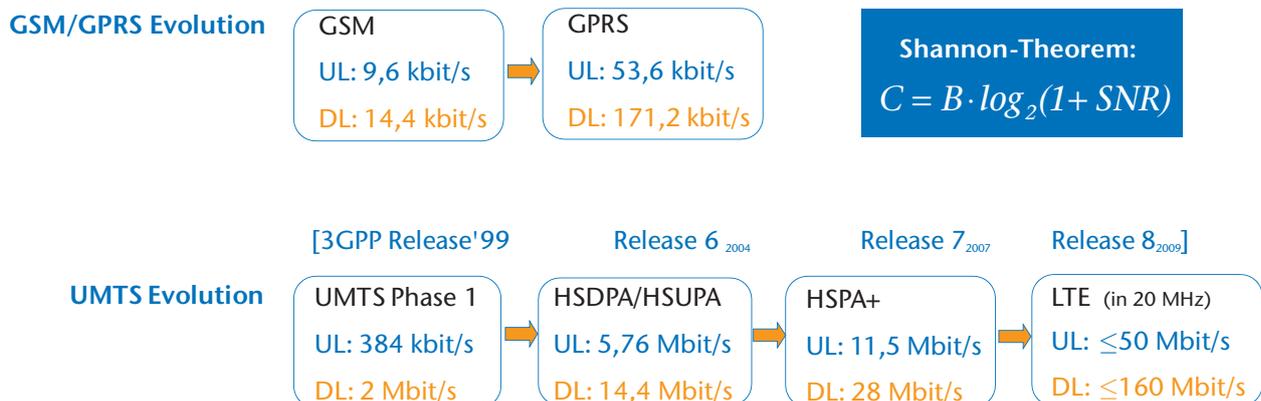


Abb. 2: Evolution der Peak-Datenraten

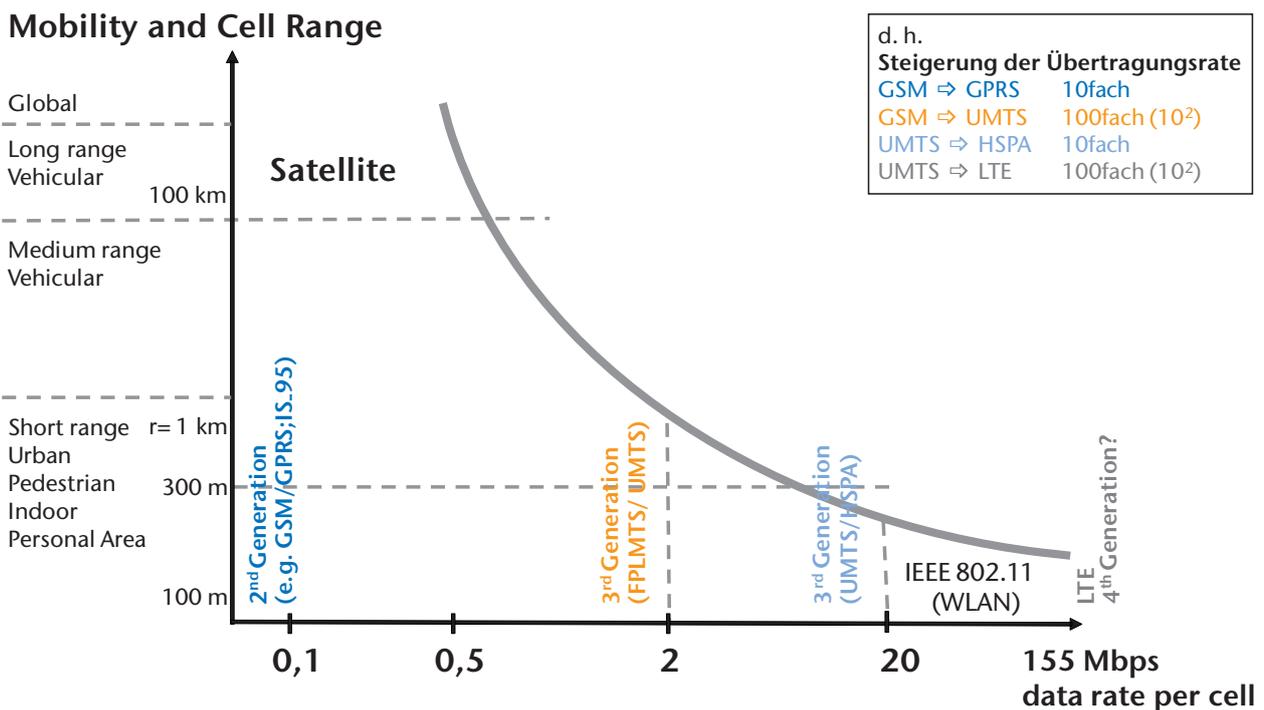


Abb. 3: Übertragungsraten in Abhängigkeit von der Reichweite

te, konnte GPRS (General Packet Radio Service) schon mit der Datenübertragungsrate bei ISDN konkurrieren. Das war zu Beginn der 1990er Jahre, als es noch kein Internet gab, noch okay. Mit dem Aufkommen des Internets und DSL im Festnetz musste das Mobilfunknetz nachziehen. Die Ziele von UMTS waren da durchaus adäquat. Mit der weiteren Leistungssteigerung und neuen Diensten aus dem Internet mit Video on Demand, Pay-TV etc., die das Festnetz dem Kunden anbot, kam eine weitere Herausforderung auf den Mobilfunk zu. Die Netzbetreiber sollten die WM 2006 in Deutschland als Chance begreifen, über UMTS Livestream-TV via Handy anzubieten. Es blieb bei Feldversuchen. 2008 zu den Olympischen Spielen in Peking wurde Livestream-TV via Handy zum Regeldienst, weil nun auch die fortgeschrittene Technologie HSPA (High Speed Package Access) eingeführt war, was als Bandbreite für kleine Bild Darstellungen ausreicht, heute noch zu sehen bei z. B. »Liga-Life«.

Technisch wird LTE (Long Term Evolution), von manchen auch schon als 4. Mobilfunkgeneration (4G) gesehen, diese und natürlich auch die Bedürfnisse der Bildübertragung ab 2011/12 voll erfüllen, sodass es für die Nachrichtentechniker an der Zeit ist, sich erneut neuen Herausforderungen zu stellen. Abb. 3 verdeutlicht die Übertragungsraten in Abhängigkeit von der Reichweite.

## 9 Der philosophische Aspekt

Es folgt der letzte Teil des Diskurses, der philosophische Aspekt nachrichtentechnischen Tuns und Handelns. Stellen wir uns daher zunächst einmal die Frage: Gibt es im Lebensplan von Nachrichtentechnikern allgemein, speziell bei Mathematikern, Physikern, Ingenieuren und Informatikern, einen philosophischen Grundkonsens, eine Grundidee, auf der sie ihr Lebenswerk aufbauen? Das ist bezogen auf die Neuzeit und die Moderne gar nicht so einfach herauszufinden. Stand bei Newtons Hauptwerk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* noch *Ad Maiorem Dei Gloriam* als Leitspruch darüber, was seine philosophischen Wurzeln klar benannte, so findet man zwei Jahrhunderte später bei seinen Nachfolgern solche Bekenntnisse nicht mehr. Das ist sicherlich auch der *Aufklärung* und der *Französischen Revolution* mit der Trennung von Kirche und Staat geschuldet. Dennoch lohnt es sich, einen von ihnen herauszunehmen und ihn als *pars pro toto* zu betrachten: Heinrich Hertz (Hertz 1988).

Heinrich Hertz beginnt 1876 zunächst ein Ingenieur-Studium am Polytechnikum in Dresden mit dem Hauptaugenmerk auf Mathematik und Philosophie, wo er sich insbesondere mit Kants Kritik der Reinen Vernunft auseinandersetzt. Es ist nicht ungewöhnlich, dass sich viele Naturwissenschaftler in dieser Zeit, angeregt

durch den Darwinismus, Kant, Hegel und Nietzsche zu wenden. Nüchterne Vernunft liegt ihnen näher als blumiges Pathos. Nach dem eingeschobenen einjährigen Militärdienst setzt er sein Studium 1877 am Polytechnikum in München fort, wechselt aber das Studienfach, um sich ganz den Naturwissenschaften zu widmen. Er studiert die Werke von Laplace, Lagrange und Newton. Besonders angetan haben es ihm aber die *elliptischen Funktionen*, ein außerordentlich spannendes und heute wieder hochaktuelles Spezialgebiet der Mathematik. Das bringt ihn dazu, 1878 an die Berliner Universität zu wechseln, um seine Studien bei den damaligen mathematischen Kapazitäten auf dem Gebiet – Weierstraß, Kummer und Kronecker – fortzusetzen und Physik bei Helmholtz und Kirchhoff zu studieren.

Helmholtz ermutigte ihn, sich 1879 an der jährlich ausgeschriebenen Preisarbeit der Philosophischen Fakultät mit einer Arbeit zum Wesen der Elektrizität zu beteiligen. Es ging letztendlich darum nachzuweisen, dass die Maxwellsche Theorie, *Licht sei eine elektrische Welle*, experimentell durch Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Größen bestätigt wurde, was Hertz gelang und ihm den Preis einbrachte. In einer weiteren Preisarbeit, diesmal für die Akademie der Wissenschaften – die Aufgabenstellung kam wieder von Helmholtz – gelingt es Hertz, Maxwells Theorie vom Verschiebungsstrom nachzuweisen. Nun ist er wirklich in der Wissenschaft angekommen und schafft es, binnen drei Monaten seine Doktorarbeit, erste Darstellungen des Skin-Effekts, zu schreiben. Seine Verteidigung findet am 5. Februar 1880 statt. Dem Prüfungsausschuss gehören der Mathematiker Kummer, die Physiker Kirchhoff und Helmholtz und der Philosoph Zeller an. Müßig zu erwähnen, dass das Rigorosum eine wissenschaftliche Glanzvorstellung war. Man mag daran erkennen, welche Bedeutung der Philosophie im Gesamtkontext wissenschaftlicher Ausbildung noch vor über 100 Jahren beigemessen wurde.

Auch später hat die Philosophie Hertz nicht losgelassen. Neben all seinen experimentellen Arbeiten gilt es, die Ergebnisse in einen philosophischen Kontext einzubinden. Grundpfeiler damaliger Naturphilosophie war die Rückführung aller Vorgänge auf die klassische Mechanik. Dieser Grundgedanke lässt ihn bis zum Tode 1894 nicht los. In seinem letzten Buch, *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang dargestellt*, von E. Lenard 1894 herausgegeben, versucht er, die Mechanik als Nahwirkungstheorie zu begründen und gibt immer wieder die philosophische Diskussion

beeinflussende Einsichten. Andererseits muss er geradezu revolutionär auf seine Zeitgenossen gewirkt haben, wenn er auf die Frage, was die Maxwellsche Theorie sei, antwortete: »Die Maxwellsche Theorie ist das System der Maxwellschen Gleichungen.« Zu erkennen sind hier zwei wesentliche Ausprägungen der philosophischen Wahrheit. Einerseits der *Logik* folgend, sich erkenntnistheoretisch ausschließlich in der Übereinstimmung mit der objektiv wiedergespiegelten Realität konfrontiert zu sehen, und andererseits, *metaphysisch* sich in der Relation zwischen dem vom erkennenden Subjekt formulierten Aussage und dem Objekt selbst wiederzufinden.

Soviel zu Heinrich Hertz. Es ließen sich nun auch die anderen hier erwähnten Größen genauer ansehen. Dabei würde deutlich, dass bis in die 1960er Jahre das *studium generale* zur Grundausbildung eines jeden Studierenden gehörte. Es war verpflichtend, allgemeinbildende Vorlesungen zu den klassischen Gebieten Philosophie, Theologie, Naturwissenschaft, Medizin und Ökonomie zu hören. Die Studentenrevolten von 1968, da stehen besonders Paris, Berlin (West) und Frankfurt/M mit den Leitfiguren Jean-Paul Sartre, Jürgen Habermas und Ernst Jünger im Mittelpunkt, zielten auf ein neues Bildungsideal, den sozial engagierten, kritischen Bürger, der der Obrigkeit in allen Lebenslagen mit Widerspruch und Widerstand entgegentritt. Die Aufbaujahre in Westdeutschland waren zu Ende, die braune Vergangenheit noch nicht aufgearbeitet. Viele »reingewaschene« Altnazis saßen in vielen Bereichen des öffentlichen Lebens. Es wurde auf radikale Änderung gesonnen. Veränderungen machten an den Schulen und Hochschulen des Landes nicht halt.

Die gymnasiale Oberstufe wurde reformiert, *Leistungskurse* wurden geschaffen, die eher einer ersten »Fachausbildung« glichen. Das *studium generale* an den Hochschulen war nicht mehr verpflichtend, es verkümmerte oder entfiel ganz, ein neuer Zweig, die Soziologie, wurde zum Modefach der 1970er Jahre. In den Naturwissenschaften und technischen Studienrichtungen wurde verstärkt Wert auf eine gute Fachausbildung gelegt. Letzteres ist sicherlich wichtig, lässt aber einen wesentlichen Teil der menschlichen Bildung außen vor, die Auseinandersetzung mit den geistigen, ethischen und moralischen Grundlagen unserer Gesellschaft. Anstöße aus den Geisteswissenschaften gab es genug, sie verpufften aber schnell in den Curricula der MINT (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik)-Wissenschaften. Einzig die Mathematiker als Mittler

zwischen Geistes- und Naturwissenschaften und von der Logik herkommend, z. B. animiert durch den *Tractatus Logico-Philosophicus* von Ludwig Wittgenstein oder die *Principia Mathematica* von Alfred Whitehead und Bertrand Russel, fanden Zugang zu philosophischem Gedankengut.

Wo kommen wir her? Wo gehen wir hin? Ist unser Tun sachlich und moralisch gerechtfertigt? Wie steht es um die Ethik unseres Handelns? Diese Fragen werden für alle MINT-Wissenschaftler immer bedeutender. Wo waren sie, als in China oder im Iran der Zugang zum Internet eingeschränkt oder geblockt wurde? Oder im *Arabischen Frühling*, als 2011 z. B. in Ägypten oder in Syrien die Mobilfunknetze abgeschaltet wurden? Sicher, findige Köpfe haben Auswege über ausländische Server gefunden und Facebook hat einen unglaublichen Erfolg gefeiert. Hier muss auch an den Hochschulen im Studium der MINT mehr Bewusstsein geschaffen werden!

Der Autor hat diesen Faden aufgenommen und im Studiengang *Telematik* an der TH Wildau seine Studentinnen und Studenten im Seminar *Telekommunikation und Gesellschaft* mit der Philosophie konfrontiert. Dadurch werden sie motiviert, sich u. a. mit dem Sinn ihres Tun und Handelns und dem Sein als Ingenieur in dieser Gesellschaft auseinanderzusetzen. Für die meisten Studierenden ist dieser Ansatz zunächst sehr ungewöhnlich, geht es doch gar nicht um das bis dahin so erprobte Erlernen neuer Techniken und Verfahren. Am Ende des Semesters aber ist es nach ihrer Aussage – widergespiegelt in der den Studierenden allsemestrig abverlangten Evaluation – eine Bereicherung ihres Wissens und ihres Verantwortungsbewusstseins. Die dort gemachten Erfahrungen hätten sie nie für möglich gehalten und das neu erworbene Wissen möchten sie heute auch nicht mehr missen. Einen guten Einblick in das neue Denken ingenieurtechnischer Bildung spiegelt der Konferenzband *You will shape the Digital Society with Your Knowledge – Make it Happen!* an der TH Wildau wider (Eylert 2010).

## 10 Fazit

Die (neuen) Medien sind ohne die hervorragenden Leistungen der Nachrichtentechniker in den letzten rund 150 Jahren gar nicht denkbar. Sie haben die Grundlage für eine Entwicklung gelegt, die uns in die moderne Mediengesellschaft hineinkatapultiert hat. Vielfach wurden die neuen Medien von Menschen (z. B. Publizisten, Journalisten) übernommen und mit Inhalten gefüllt, die ihre Wurzeln in den Geisteswissenschaften haben. Für das erfolgreiche, zumindest aber gedeihliche Miteinander zum Wohle der Gesellschaft und ihrer Bildungsziele via neue Medien ist ein gutes Verständnis beider Bereiche notwendig. Junge Geistes- und Ingenieurwissenschaftler müssen also rechtzeitig an dieses Wissen und die Fähigkeiten, damit umzugehen, herangeführt werden. Zielführend handeln hier das Institut für Medientechnik an der Humboldt-Universität Berlin, das Institut für Medienwissenschaften an der Universität Erfurt und der Studiengang Telematik an der TH Wildau. Einerseits werden die Studierenden der Geisteswissenschaften behutsam an die Nachrichtentechnik herangeführt, sodass jede/r die Universität mit einem technischen Grundverständnis verlässt, andererseits werden Ingenieurstudierende mit der Philosophie vertraut gemacht und verlieren so die Scheu vor den Geisteswissenschaften. Damit wird beiden ermöglicht, über den eigenen Tellerrand zu schauen, ein höchst wünschenswerter Anspruch, der mehr Schule auch an anderen Hochschulen machen sollte.

## Literatur

- Deutsches Fernsehmuseum Wiesbaden (2010): Die Historie der »professionellen« Fernsehtechnik, <http://www.fernsehmuseum.info/vom-rundfunk-zum-fernsehen.html>, Zugriff: 28.11.2010.
- Eylert, B. (2005): The Mobile Multimedia Business.
- Eylert, B. (2010): You will shape the Digital Society with Your Knowledge – Make it Happen!, Academic Farewell.
- FV Sender Königs Wusterhausen e.V. (2011): Geschichte, <http://www.funkerberg.de/geschichte>, Zugriff: 03.11.2011.
- Glaser, H., Werner, T. (1990): Die Post in ihrer Zeit.
- Hertz, H. (1994): Festschrift anlässlich der Erforschung der elektromagnetischen Wellen vor 100 Jahren.
- International Telegraph Union (2011): History, [www.itu.int/en/about/Pages/history](http://www.itu.int/en/about/Pages/history), Zugriff: 03.11.2011.
- MDR (2011): Fernsehen der DDR: Geschichte, [www.mdr.de](http://www.mdr.de), Zugriff: 26.05.2011.
- Scrase, A. (2007): Evolution of 3GPP's Wireless Standards, Presentation, TFH Wildau, 19.11.2007.
- Wegner, R. (2008): Mobile TV – der lange Weg..., Vortrag, TFH Wildau, 10.11.2008.

**Autor**

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Bernd Eylert**  
Abteilungspräsident a.D.  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
beylert@th-wildau.de

# IT-Projekte im deutschen E-Government: IT-Projektmanagement zwischen Planung und Selbstorganisation

*Margit Scholl, Maika Büschenfeldt*

## Zusammenfassung

Die immer wiederkehrenden Probleme der Projektwirklichkeit in E-Government-Projekten belegen, dass dem Projektmanagement durch Vorabplanung und instruktive Intervention Grenzen gesetzt sind. Stark formalisierte und planungsdeterministisch ausgerichtete Entwicklungsmodelle sind bei starker Dynamik des sozialen Einsatzkontextes nicht die geeignete Lösungsstrategie zur Vermeidung des Scheiterns von (Software-)Projekten, sondern selbst Teil des Problems. Ein modernes, ganzheitliches, professionelles Projektmanagement sollte deshalb versuchen abzuwägen, wo eine gezielte Steuerung des Projektverlaufs und der Planungsvorgaben durch das Management noch gelten oder wo Entscheidungsbefugnisse an das Projektteam abgegeben werden sollten, um die nötigen Freiheiten für selbstorganisiertes Arbeiten zu schaffen, ohne dabei den Anspruch der Lenkung von Entwicklungsprozessen gänzlich aufzugeben.

## Abstract

The recurring problems encountered in realising e-government projects show that pre-planning and instructive intervention serve to set limits on project management. Where there are strong dynamics at work relative to the context of a (software) project's social application, highly formalized planning and deterministic models of development are not, in strategic terms, the most appropriate means of preventing its failure; in fact, they may even be part of the problem. Modern, holistic professional project management should therefore seek to assess whether management should control the project's progress and planning requirements or transfer decision-making powers to the project team in order to enable independent work, without giving up altogether the right to direct the processes of development.

## 1 Einleitung

Die Modernisierung von Staat und Verwaltung wird inzwischen maßgeblich durch den Einsatz und die Gestaltung moderner Informationstechnologien (IT) angetrieben und geprägt (Lucke 2005: 5) – mehr noch, IT wird zum »Motor für Veränderungen« und zur Triebfeder sozialer Innovationen in Staat und Verwaltung (Lucke 2005: 17). Anspruch des Projektmanagement ist es, Projekte so zu organisieren und zu steuern, dass die vorgegebenen Ziele innerhalb des gesetzten Zeit- und Kostenrahmens erreicht werden können. Die Einmaligkeit und Komplexität großer Entwicklungsprojekte stellen hohe Anforderungen an das Projektmanagement, weil nicht nur Innovatives geleistet werden muss, sondern die Komplexität des Vorhabens mit den vielen Teilprozessen viele Unsicherheiten und Projektrisiken birgt. So ist der Projektverlauf trotz dezidierter Projektplanung

und sorgsam ausgearbeiteter Vorgehensmodelle in der Regel nicht eindeutig vorhersehbar. Hinzu kommt, dass aufgrund der komplexen Rahmenbedingungen die Anforderungen bei Projektbeginn zumeist unklar oder im Projektverlauf instabil sind (Miebach 2007). Da der erfolgreiche Einsatz von IT als erfolgskritisch für die Modernisierung von Staat und Verwaltung gilt, steht das moderne IT-Projektmanagement unter großem Erfolgsdruck, während die Umsetzung von IT-Projekten ausgesprochen risikobehaftet ist. In Abgrenzung zum Versuch, die Unsicherheiten in IT-Projekten durch aufwändige Planungsprozesse und instruktive Eingriffe aufzufangen, versucht dieser Beitrag Elemente der Selbststeuerung als adäquate Strategie der Problembewältigung unter instabilen und komplexen Umweltbedingungen einzuführen und theoretisch zu untermauern. Grundlage bildet der systemtheoretische Ansatz der Kontextsteuerung von Helmut Willke, der im Fol-

genden auf die Grundprobleme des Managements komplexer IT-Projekte übertragen wird (Willke 1989; Willke 1996; Willke 1998). Grundidee dieses Ansatzes ist es, vorausplanende Elemente im Sinne einer vorge-dachten Rationalität durch Auftraggeber, Vorgesetzte oder Verfahren (Fremdsteuerung) mit bewusst eingeräumten Gestaltungsfreiräumen (Selbststeuerung) der involvierten Mitarbeiter zu verbinden.

In Kapitel 2 werden die besonderen Rahmenbedingungen der öffentlichen Verwaltung als Umwelt von IT-Projekten eingeführt und die Bedeutung von IT für die Modernisierung von Staat und Verwaltung herausgestellt. Kapitel 3 führt in die wiederkehrenden Grundprobleme von IT-Projekten (der öffentlichen Verwaltung) ein. Auf dieser Grundlage wird in Kapitel 4 die Kontextsteuerung als alternativer Ansatz der Steuerung in komplexen und instabilen Umwelten vorgestellt. Im Sinne eines Ausblicks befasst sich Kapitel 5 mit dem Ausloten der Möglichkeiten zwischen institutionellem Rahmen des Managements und kreativer Selbstorganisation der Projektteams in der öffentlichen Verwaltung und der Frage, ob eine solche auch anerkannt und gefördert werden kann.

## 2 Staat und Verwaltung als Umwelt von IT-Projekten

Hermann Hill definiert E-Government als »Durchführung von Prozessen der öffentlichen Willensbildung, der Entscheidung und der Leistungserstellung in Politik, Staat und Verwaltung unter sehr intensiver Nutzung der Informationstechnik«. Diese Definition betont das erhebliche Potenzial des E-Governments hinsichtlich Transparenz, Kooperation und Interaktion aller involvierten Akteure und macht damit gleichzeitig deutlich, dass der öffentliche Sektor in einer Phase des radikalen Umbaus steht. E-Government-Projekte sind deshalb keineswegs »nur« komplexe IT-Projekte, sondern gehen in ihrem Anspruch und ihrer Wirkung weit darüber hinaus, da sie in letzter Konsequenz zu einem Umbau der Gesellschaft beitragen. Dies wird auch in der Projektorganisation im Verhältnis von (Linien-) Management und (Projekt-)Mitarbeitern, nicht ohne Folgen bleiben. [1]

Für die Bundesregierung und die öffentliche Verwaltung des Bundes als Großauftraggeber von Modernisierungsprojekten hat der Einsatz von IT eine neue Stufe erreicht: Ohne IT gibt es keine Modernisierung des

Verwaltungshandelns, keine Verbesserung der Dienstleistung und Servicequalität sowie keine Steigerung der Effizienz und Effektivität. Die Entscheidung für IT führt jedoch keinesfalls automatisch zum Erfolg, da der erfolgreichen Umsetzung von IT-Projekten häufig die traditionellen Strukturen der Verwaltung entgegen stehen. Die Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik schreibt dazu: »Es ist nicht verwunderlich, dass die durch sehr kurze Innovationszyklen geprägte (IT-)Branche in der eher durch Beständigkeit geprägten Verwaltung auf eine gewisse Zurückhaltung stieß« (Roygall-Grothe 2010). Als erschwerend erweist sich dabei, dass traditionelles Verwaltungshandeln weniger an Leistungen und Ergebnissen orientiert sei, »sondern an Regeln und Verfahren in der Tradition ihrer hierarchischen Organisationsstrukturen und der funktionalen Arbeitsteilung« (Benedix 2009). Ausgehend von der Kritik an den zu starren Strukturen der Verwaltung wurde bereits durch den Leitbildwechsel der Prozessorientierung eine größere »Kundenbindung« in der öffentlichen Verwaltung erreicht. Notwendig wurde diese Form der Reorganisation durch Aufgaben, die mehr und mehr quer zu den traditionellen Verwaltungsabläufen stehen und veränderte Formen der Zusammenarbeit forderten. Dabei hat sich auch das Selbstverständnis der Verwaltung immer mehr von der Ordnungsbehörde in Richtung eines Dienstleisters entwickelt. Kommunen bezeichnen sich inzwischen als Bürgerkommunen und richten Dienstleistungszentren ein (Benedix 2009: 19). Der IT kommt dabei eine wichtige Rolle »als Instrument der Reorganisation« zu, die eine »Verbesserung interner Verwaltungsabläufe« ermöglicht und neue Kommunikationswege zwischen Verwaltung und Kunden erschließt (Seidel 2009). Insgesamt wird in dieser IT getriebenen Entwicklung eine deutliche Tendenz der Auflösung determinierender Abläufe zugunsten flexiblerer Strukturen sichtbar. Dennoch findet dieser Trend in den bereits vorhandenen Strukturen seine Grenzen. Das gilt insbesondere für die Bindung von Verwaltungshandeln an Recht und Gesetz, die Neuorientierungen in den legalistischen Anforderungen des Verwaltungshandelns begrenzt (Benedix 2009).

Bund, Länder und Kommunen arbeiten bereits daran, die strukturellen, technischen und rechtlichen Voraussetzungen für ein einheitliches E-Government zu schaffen. Der seit April 2010 etablierte IT-Planungsrat [2] hat im September 2010 dazu eine neue nationale E-Government-Strategie beschlossen [3]. Das war eine mehr als notwendige Maßnahme, um die deutsche E-Govern-

ment-Stagnation im EU-Vergleich zu überwinden.[4] Im Vorfeld wurde dazu das Grundgesetz geändert. Es verankert nun mit Artikel 91c GG die Informationstechnik als eine der bedeutsamsten Infrastrukturen des 21. Jahrhunderts und schafft die rechtlichen Voraussetzungen für eine lückenlose und medienbruchfreie elektronische Kommunikation zwischen allen deutschen Behörden. Das für 2009 bis 2011 geltende Investitionsprogramm des Bundes von 500 Millionen Euro ist fast vollständig ausgegeben bzw. festgelegt und kam offenbar über 400 Unternehmen zugute.[5]

Aktueller Stand und notwendige Strategien insbesondere für ein *wirtschaftsorientiertes E-Government* wurden auf der Fachkonferenz »Wirtschaft und Verwaltung im Netz« diskutiert, die am 4. und 5. Oktober 2011 in Berlin stattfand.[6] Der aktuelle Stand des E-Governments in Deutschland verweist darauf, dass 40 Prozent der Deutschen, die im Internet aktiv seien, auch E-Government-Angebote nutzten, und nicht nur ein Mehr von E-Government-Angeboten gefragt ist, sondern Akzeptanz, Transparenz und Qualität von bestehenden Verwaltungsservices für Bürger und Unternehmen weiter zu erhöhen seien (Roygall-Grothe 2011). E-Government muss nach Cornelia Roygall-Grothe »in die Fläche gebracht werden«. Es seien dazu in etwa 3.500 Schriftformerfordernisse allein im Bundesrecht zu ändern, die der elektronischen Kommunikation im E-Government im Wege ständen und durch andere Verfahren zwar nicht ersetzt, aber ergänzt werden müssten. Im Forum A betonte dazu Martin Brüggemeier die Wichtigkeit, »dass Gesetze von Anfang an in Kenntnis und unter Beachtung des Verwaltungsvollzugs gemacht würden« und forderte desweiteren ein »Easy Government« (Brüggemeier 2011).

### 3 Probleme des IT-Projektmanagements

Das Bundesministerium des Innern (BMI) beschreibt die Projektwirklichkeit öffentlicher IT-Vorhaben als Problem rasch ansteigender Komplexität und konkurrierender Beziehungen der Projektzielgrößen wie Leistung, Zeit und Ressourcen.[7] Die Steigerung der Komplexität und des damit verbundenen Aufwands wird auf höhere Qualitätsanforderungen, zunehmenden Funktionsumfang, eine größere Anzahl von Beteiligten sowie die Integration von Alt-Verfahren und andere IT-Verfahren zurückgeführt (Ditzen 2009). Dieser Trend dürfte sich in den letzten zehn Jahren noch verstärkt haben, so-

dass die Umsetzung von IT-Projekten zunehmend als kritisch und risikobehaftet einzuschätzen ist. Viele Autoren sehen deshalb ein professionelles Projektmanagement (PM) mit einer standardisierten und einheitlichen Vorgehensweise als den Schlüsselfaktor für die erfolgreiche Umsetzung von IT-Projekten an. Vor allem bei Großprojekten mit hohem Finanzvolumen, langen Laufzeiten und einer großen Anzahl von Beteiligten wird ein Mangel an professionellem Management als Ursache für katastrophale Fehlsteuerungen gesehen, die bis zum Projektabbruch führen können.

Vollständige Anforderungen sind ein elementarer Sachgegenstand für den Projektbeginn und eine zielorientierte Planung, die jedoch selten erfüllt sind und immer wieder zu Missverständnissen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern führten. So zeigen die bei Lamberts (2009) dargestellten Ergebnisse einer Studie aus dem Jahre 2004 unklare Ziele und unklare Anforderungen als Hauptursache für das Scheitern von Projekten. Es folgen fehlende Management-Unterstützung, eine mangelnde Projektmanagement-Methodik, Ressourcenmangel und mangelnde Qualifikation bzw. mangelndes Engagement. Die Ermittlung exakter Anforderungen fordert den beständigen Dialog zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern und ein möglichst vollständiges Wissen um die Ziele, Rahmenbedingungen und Einflussgrößen des Projektes. Nach Erfahrungen der Autorinnen sehen sich einerseits viele Auftraggeber zumindest anfangs nicht in der Lage, ihre spezifischen Anforderungen klar und präzise zu formulieren, oder gehen sogar fälschlicherweise davon aus, dass es Aufgabe des Auftragnehmers sei, diese zu definieren. Andererseits gilt die *frühzeitige* Klärung der Anforderungen an Technik, Sicherheit und Qualität als Voraussetzung für die vertragliche Ausgestaltung, bestimmen Lieferumfang, Projektstätigkeiten und den Projekterfolg. Grundproblem bleibt, dass die Abschätzung des Aufwands und der Kosten häufig zu einem Zeitpunkt erfolgen muss, an dem man die Anforderungen und die Komplexität des Projektes noch gar nicht vollständig erfassen *kann*.

Ein weiterer Problembereich liegt in der unzureichenden organisatorischen Einbettung und mangelnden Akzeptanz in der Umsetzung von IT-Projekten der öffentlichen Verwaltung. So bemängelt der Bundesrechnungshof den unzureichenden Know-how-Transfer in der öffentlichen Verwaltung und beklagt hinsichtlich der extern Beteiligten u. a. das fehlende Steuerungs-Know-how der öffentlichen Hand. Der Bun-

desrechnungshof bestätigt in seiner Rückschau auch die fehlende Strategie der öffentlichen Verwaltung im Umgang mit Freistellungen, dem Vorhalten von Kompetenzen und der Qualifizierung des Projektpersonals. Nach wie vor fehlt eine angemessene Berücksichtigung von Technikkompetenz in der Ausbildung der Verwaltungsmitarbeiter (Ditzen 2009).

Die bislang noch ausstehende Ausprägung und Stärkung von Projektkompetenz bestätigt sich in den Ergebnissen einer Langzeitstudie von Gröger (2004), bei der Führungskräfte aus der deutschen Industrie, aus Dienstleistungsunternehmen und der öffentlichen Verwaltung befragt wurden. Der Studie zufolge wurden nur 13% der Projektarbeit als Wertsteigerung, 87% hingegen als Wertvernichtung angesehen. Die Wertvernichtung durch Projektarbeit führt Gröger (2004) auf eine unzureichende Projektkompetenz zurück und fordert diese »stärker in den Fokus der Bemühungen des Topmanagements zu rücken«. Doch selbst wenn das Projektmanagement einen hohen Stellenwert besitzt, bedeutet dies keineswegs, dass das Topmanagement einen hohen Anteil seiner Arbeitszeit in projektverbundene Aktivitäten investiert, wie die Ergebnisse der Studie der European Business School (EBS) in Kooperation mit der Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement (GPM) aus dem Jahr 2008 zeigen (EBS 2008). In dieser Studie gelten die Kompetenz und das Engagement der *Projektmitarbeiter* als größte Stärke. Eine weitere Studie der GPM in Zusammenarbeit mit der PA Consulting Group bestätigt dies und hält ebenfalls fest: »Kommunikation, Zieldefinition und die Qualifikation der Mitarbeiter bestimmen am häufigsten den Erfolg (oder Misserfolg) der ausgewählten Projekte.« (Engel 2008)

#### 4 Fremd- und Selbststeuerung im IT-Projektmanagement

IT-Projekte lassen sich als einmalige und zielorientierte Vorhaben mit definiertem Anfang und Ende kennzeichnen. Ziele markieren die erwünschten Ergebnisse der Projektarbeit. Ihre wichtigste Funktion liegt in der Orientierung und Handlungskoordination. Da der Projektverlauf in der Regel nicht eindeutig vorhersehbar und damit auch nicht vollständig im Vorwege planbar ist, steht die Projektsteuerung für den Versuch, den Ablauf der Projektaktivitäten in einer gewünschten Weise zu beeinflussen, sodass die gesetzten Ziele innerhalb des vorgesehenen Kostenrahmens erreicht

werden können (Breisig 2010; Willke 1998). Das Verhältnis von Steuerung und Planung und die Einschätzung der unterschiedlichen Managementstrategien, erschließt sich aus den leitenden Koordinationsmodellen. Helmut Willke unterscheidet idealtypisch zwei Leitmodelle der Handlungskoordination, die nicht nur für spezifische Aufbau- und Ablaufstrukturen der Organisation, sondern auch für unterschiedliche Typen der Steuerung stehen: *Hierarchie* »als allgemeines Modell der ungleichrangigen, fremdbestimmten und zentralisierten Koordination« und *Demokratie* als Modell »der gleichrangigen, selbstorganisierten und dezentralen Koordination« (Willke 1998: 89 f.). Als Strategie des Projektmanagements steht Hierarchie für eine feste Struktur der Arbeitsteilung, in der Planung, Ausführung und Zuständigkeiten klar voneinander getrennt sind. Kontrolle, Planungs- und Weisungsbefugnis verlaufen entsprechend der hierarchischen Rangfolge von oben nach unten. Aus der Perspektive der ausführenden Projektmitarbeiter dominiert damit die Fremdsteuerung durch Auftraggeber, Vorgesetzte oder Verfahren. Für die Projektmitarbeiter ist dies mit eher geringen Entscheidungsspielräumen in der Projektarbeit verbunden. In einem demokratischen Projektmanagement hingegen dominiert Selbststeuerung im Sinne einer dezentralen und gleichrangigen Verteilung der Entscheidungsfähigkeit und -befugnis. Da die festen Grenzziehungen zwischen Über- und Unterordnung, abhängiger und unabhängiger Arbeit sowie Planung und Ausführung fehlen, verbleibt die Handlungsautonomie weitestgehend bei den ausführenden Projektarbeitern.

In der Gegenüberstellung beider Koordinationsmodelle fällt auf, dass die Stärken und Schwächen beider Modelle miteinander korrespondieren. Es wird deutlich, dass Stabilität und Orientierung in einem Spannungsverhältnis zur Flexibilität und Innovationskraft stehen und dass beide Modelle dieses Spannungsverhältnis in ihren Stärken und Schwächen verkörpern.

So bietet ein hierarchisches Projektmanagement zwar Stabilität und Orientierung, gilt aber wohl gerade deshalb als unflexibel, bevormundend und innovationsfeindlich, während sich die Demokratie als kreatives und flexibles Modell bewährt, aber auch der Befürchtung Nahrung bietet, dass die Freiheiten radikal-demokratischer Kooperation im Chaos münden und Projekte dem Diktat unqualifizierter Laien unterworfen werden. Das demokratische Modell weist zwar einen geringen Steuerungs- und Planungsaufwand auf, stellt aber hohe Anforderungen an die Qualifikationen

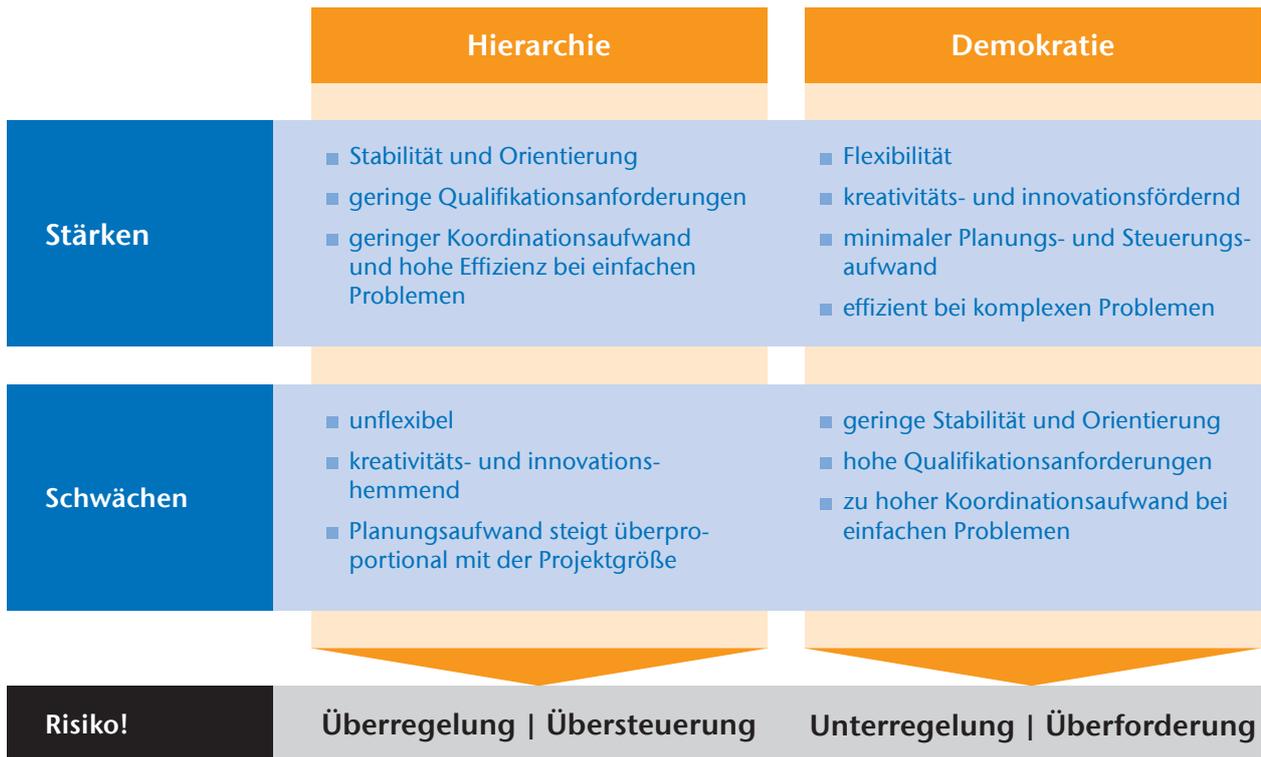


Abb. 1: Stärken und Schwächen des hierarchischen und demokratischen Koordinationsmodells

und Erfahrungen der beteiligten Akteure. Fehlen die zur Selbststeuerung notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen auf der ausführenden Ebene (Projektmitarbeiter), wird die Zurückhaltung in den Vorgaben leicht zur Überforderung. Im hierarchischen Modell ist dieses Problem weniger virulent, weil formale Regeln, rigide Planung und instruktive Intervention jene Stabilität und Orientierung bieten, die es gestatten, auch gering qualifiziertere oder unerfahrene Projektmitarbeiter zu beschäftigen. Durch die Trennung von Planung und Ausführung sind in diesem Modell Erfahrungen, personale Kompetenzen und Qualifikationen nur im Management notwendig, nicht aber auf der ausführenden Ebene – ob damit allerdings die geforderte Projekt- und Produktqualität tatsächlich erreicht werden kann, sei dahingestellt. Es ist in diesem Modell auch viel leichter, bewährtes Prozess- und Methodenwissen zu konservieren und über Vorgehensmodelle, Richtlinien, Methodenbeschreibungen, Handlungsanweisungen etc. weiterzugeben. Mangelnde Projekterfahrung und geringe Qualifikation sind bei einem guten Methodenrepertoire, guter Planung und zielführender Intervention durch das Management grundsätzlich unproblematisch. Dafür ist ein hierarchisches Projektmanagement mit dem Projektrisiko der Übersteuerung bzw. Überregelung verbunden. Symptomatisch dafür ist die aus der beobachtbaren Projektwirklichkeit ableitbare Erkennt-

nis, dass die Wahrscheinlichkeit des Scheiterns in engem Zusammenhang mit der Komplexität der Projekte steht. Dabei gilt, je aufwändiger die Projektplanung ist, desto größer ist das Risiko des Scheiterns (Dietrichs 2004: 5f.; Chaos Report 2004). Hier kommt zum Tragen, dass der Aufwand für die Planung und das Management des Projektverlaufs überproportional zur Projektgröße ansteigt und damit selbst einen Beitrag zur Unüberschaubarkeit und Komplexität der Projekte leistet.

Mit Bezug auf die Koordinationsmodelle hängt die Einschätzung einer angemessenen Strategie im konkreten Umgang mit den wiederkehrenden Problemen in IT-Projekten davon ab, wo die Ursachen für das Scheitern vieler Projekte zu suchen sind, in einem zu starken oder zu geringen Reglement der Fremdsteuerung. Elemente der Fremdsteuerung sind auch Vorgehensmodelle, die mit dem Anspruch entwickelt werden, für die immer wiederkehrenden Probleme der Softwareentwicklung wiederholbare Lösungskonzepte anzubieten. So stellen Moll u. a. (2004) fest, dass 50 Prozent aller Unternehmen ISO-zertifizierte Vorgehensmodelle oder Quasi-Standards einsetzen und dennoch 74 Prozent aller Software-Projekte nicht uneingeschränkt erfolgreich abgewickelt werden können. Sie folgern daraus, dass »die Umsetzung dieser Standards in der industriellen Praxis entweder nicht den gewünschten Erfolg bringen oder nicht wirklich stattfinden« (Moll 2004: 425f.).

Softwareprojekte können somit scheitern, weil die bereits entwickelten Prozesse, Werkzeuge, Methoden und Standards nicht angewendet werden oder im Gegenteil das entwickelte Instrumentarium nicht geeignet ist, um den gewünschten Erfolg zu bringen.

Systemtheoretische Denkansätze verweisen mit dem Hinweis auf die *Kontra-Intuitivität* (Willke 1996; Willke 1998) des sozialen Kontextes auf die letzte Option mit dem Hinweis, dass die Ursachen und Wirkungen in komplexen Projekten nicht linear-kausal, »sondern räumlich und zeitlich, sachlich und kognitiv variabel und verwickelt verbunden« sind (Willke 1998). Das Problem unklarer Anforderungsdefinitionen gehört damit zum Wesen von IT-Projekten, da die starke Abhängigkeit zwischen IT-Einsatz und sozialem Kontext eine präzise, eindeutige, widerspruchsfreie und stabile Anforderungsdefinition gar nicht zulässt. Softwareentwicklung schließt in dieser Perspektive die Auseinandersetzung mit der eigenwilligen Dynamik sozialer Systeme ein und trägt dem Umstand Rechnung, dass exakte Anforderungsspezifikationen und detaillierte Planungsvorgaben häufig nur eingeschränkt oder unter Umständen gar nicht möglich sind. Stark formalisierte und planungsdeterministisch ausgerichtete Entwicklungsmodelle wären bei starker Dynamik des sozialen Einsatzkontextes dann nicht die geeignete Lösungsstrategie zur Vermeidung des Scheiterns von Softwareprojekten, sondern Teil des Problems. Deutlich wird dies, wenn man bedenkt, dass Methoden der Komplexitätsbewältigung und Kontrolle in stark formalen (und damit wiederholbaren) Entwicklungsmodellen, wie Spezialisierung, Planung, Controlling, Entwurf, Dokumentation und Vertragswerken auch den Aufwand steigern und damit selbst Komplexität erzeugen. Ein modernes, ganzheitliches, professionelles Projektmanagement setzt deshalb dort an, wo Vorgehensregeln und Planungsdeterminismus nicht greifen oder gar versagen und ein Vorgehensmodell Lücken lassen muss.

Das eigentliche Risiko einer plandeterminierten Steuerung besteht darin, dass vorgedachte Lösungen nicht zu den Problemen und Anforderungen eines dynamischen und komplexem Umfeldes passen. Hier zeigt sich, dass die plandeterminierte und zentralisierte Steuerung im Projektalltag häufig nicht mehr zu leisten vermag, was einst als ihre Stärke galt, »nämlich Entlastung und Effizienzicherung zu gewährleisten« (Breisig 2010: 23). Die Alternative liegt in Konzepten der Selbststeuerung, die darauf setzen, dass Projektmitarbeiter anfallende Probleme und Anforderungen flexibel und autonom in

Eigenregie zu lösen vermögen. Dennoch ist Steuerung durch Zielvorgaben und Planung nicht nur restriktiv, sondern macht Dinge häufig erst möglich. Nach wie vor ist die effektive und effiziente Zusammenarbeit vieler Menschen in großen Projekten mit komplexen Aufgabenstellungen nur durch Elemente der Planung und formale Strukturen denkbar. Hinzu kommt, dass der institutionelle Rahmen die Berücksichtigung formaler Vorgaben erfordert. Die eigentliche Frage ist damit, wo die sinnvolle Grenze zwischen Fremd- und Selbststeuerung verlaufen sollte.

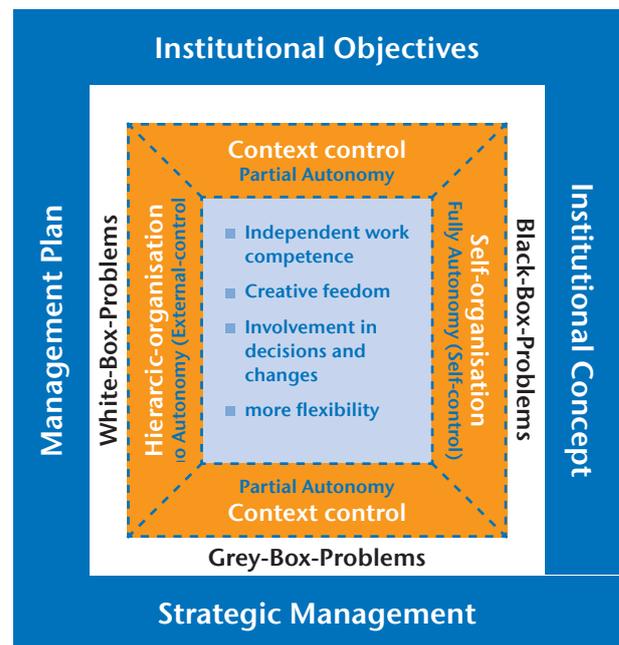


Abb. 2: Mögliche Steuerung in der Organisation: Plandeterminierte Vorgaben bilden den äußeren Rahmen (blauer Bereich), über Kontextsteuerung (gestrichelter Rahmen) könnten Rahmenbedingungen problembezogen die Arbeitspotenziale der Projektteams steuern, bis hin zum einzelnen Projektmitarbeiter (das Individuum ist im Mittelpunkt der Abbildung zu denken). Die Abbildung entstand als eigenständige, zusammenfassende Interpretation des Buches von Breisig (2010) unter Berücksichtigung der Ausführungen von Willke (1996).

In der Systemtheorie wird der Balanceakt zwischen Fremd- und Selbststeuerung unter dem Begriff der Kontextsteuerung als Mischform beider Steuerungstypen, d. h. der Fremd- und Selbststeuerung konzeptualisiert. Grundidee ist, dass der Grad einer planenden Einflussnahme von der Beschaffenheit der zu behandelnden Probleme abhängig gemacht wird. Die Einschätzung der Angemessenheit von Formalismen und Planung wird damit abhängig vom Grad der Problemkomplexität. In Anlehnung an Hellmut Willkes Interventions- theorie lassen sich grob drei Problemtypen unterscheiden (Willke 1996: 211ff.):

- *White-box Probleme* sind von einfacher Beschaffenheit, da die Umwelt klar strukturiert, transparent und stabil ist. Eine exakte Planung ist hier problemlos möglich, da Ursache und Wirkung in einem linear-kausalen Zusammenhang stehen und die Reaktion auf Einflussnahmen vorhersehbar (intuitiv) ist.
- *Grey-box Probleme* präsentieren sich als Grauzone durchschaubarer und nicht durchschaubarer Strukturen. Planung ist hier eingeschränkt möglich, bleibt aber von Unsicherheiten begleitet.
- *Black-box Probleme* stellen den schwierigsten Fall dar, da die Umwelt komplex und instabil ist. Eingriffe und Vorgaben lösen *kontra-intuitive*, d. h. nicht vorhersehbare Reaktionen aus. Die Unsicherheit ist hier sehr groß, da unklar bleibt, wie sich Eingriffe oder Steuerungsversuche auswirken.

Im ersten Fall bietet die exakte Ausarbeitung einzelner Prozessschritte und stark formalisierter Entwicklungsmodelle große Vorteile, weil sie eine klare Struktur für die abgestimmte und arbeitsteilige Abarbeitung der einzelnen Projektphasen bietet und eine gute Planung ermöglicht. Ein Vorgehen dieser Art funktioniert jedoch nur, wenn sich analytische und synthetische Phasen klar voneinander abgrenzen lassen, d. h. wenn sich Anforderungen, Leistungen und Abläufe in der Planungsphase auch präzise beschreiben lassen. Die in Kapitel zwei und drei beschriebenen Rahmenbedingungen und Probleme in der Umsetzung von E-Government-Projekten in Deutschland lassen aber weder auf eine einfache Problembeschaffenheit, noch auf eine stabile Umwelt schließen. Die IT getriebene Modernisierung von Staat und Verwaltung kommt in Deutschland einer Revolution gleich, die einen tiefen Eingriff in die bisherigen Strukturen der Verwaltung und Politik darstellt und vielschichtige Interessen betrifft. Da diese Eingriffe das Handeln in Politik und Verwaltung nicht nur optimieren, sondern auch radikal verändern, ist mit der Umsetzung von E-Government-Projekten auch soziale Innovation im Sinne des Umbaus von Staat und Gesellschaft verbunden.

Die Entwicklung von E-Government-Projekten der Verwaltung wird deshalb nicht nur flexibel auf Unsicherheiten, wechselnde Anforderungen und unterschiedliche Interessenlagen zu reagieren haben, sondern auch Raum für Innovationen bieten müssen. Die Praxis des Projektmanagements in der öffentlichen Verwaltung wird deshalb mit dem zweiten und dritten Problemtyp zu kämpfen haben. Die Kontextsteuerung bietet hier die Möglichkeit, den Unsicherheiten durch

eine Zurückhaltung in der Planung zu begegnen. Die Funktion des Managements und der Projektsteuerung wird sich auf das Setzen von Rahmenbedingungen beschränken, um damit den nötigen Raum für »die produktiven Selbststeuerungskräfte« zu schaffen (Breisig 2010: 23). Das darf nicht bedeuten, dass sich das (Top-) Management der öffentlichen Verwaltung seiner Verantwortung entzieht. Vielmehr bedeutet Kontextsteuerung das bewusste Setzen von Rahmenbedingungen für erfolgreiche Projektteams, das strategische Schaffen von Freiheiten für eine selbstorganisierte und dennoch zielorientierte Arbeit. Der Anspruch auf Lenkung von Entwicklungsprozessen und die Verantwortung seitens des Managements wird dabei nicht völlig aufgegeben. In der neueren Managementliteratur und der Unternehmensorganisation wird ein Umdenken in diese Richtung bereits erkennbar. Zwischen den Polen radikal dezentraler Koordination und des Planungsdeterminismus zeichnen sich seit Jahren folgende Tendenzen ab (siehe dazu auch Willke 1989):

- der Abbau hierarchischer Ebenen und die Verlagerung von Kompetenz und Verantwortung in autonome Arbeits- oder Projektgruppen,
- die wachsende Bedeutung flexibler Strukturen zulasten stabiler Strukturen,
- die wachsende Bedeutung integrativer Mechanismen und Rollen,
- der Wandel unternehmerischer Leitungsaufgaben zur Stützungsfunktion für selbstorganisierte Prozesse.

Hinsichtlich der öffentlichen Verwaltung in Deutschland bleibt die Notwendigkeit festzuhalten, dass die Entwicklung von E-Government mit der Entwicklung einer *strategischen* Ausrichtung des Projektmanagements mit einer Kontextsteuerung verbunden sein muss.

## 5 Ausblick auf Ansätze einer Reform für E-Government-Projekte

E-Government-Projekte dürften ein fester Bestandteil der öffentlichen Verwaltung bleiben und in Zukunft eine immer bedeutendere Rolle spielen. Ein Ansatz der Kontextsteuerung könnte helfen, den typischen Problemen der Umsetzung von IT-Projekten zu begegnen, stellt aber gleichzeitig einen radikalen Bruch mit dem traditionell bürokratischen Aufbau der Verwaltung dar. Problematisch bleibt, dass die Selbststeuerung hohe Anforderungen an die Mitarbeiter stellt und die umge-

benden Organisationsstrukturen dieses auch zulassen müssen. In dieser Hinsicht ist die öffentliche Verwaltung noch schlecht gerüstet. Mit Bezug auf die Funktion des Managements stellen sich dabei die folgenden Fragen:

- Wird Wesentliches für innovative Projekte durch das Management der öffentlichen Verwaltung in seiner Innenstruktur tatsächlich erreicht?
- Gelingt es dem Management, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass Projektteams gegebene Ziele selbstständig erreichen können?
- Werden organisatorische und emotionale Hürden tatsächlich abgebaut?
- Stärkt die Führung die Projektmitarbeiter und motiviert es diese mit Vertrauen und Unterstützung?

In Beantwortung dieser Fragen wird deutlich, dass hier noch erheblicher Handlungsbedarf besteht. Festzuhalten ist zunächst, dass es in der öffentlichen Verwaltung und in Unternehmen eine deutliche Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis gibt. Bolte u. a. (2008: 19) führen dazu aus, dass Projektarbeit »als außerordentlich selbständige, kreative, kooperative und kommunikative Arbeit mit hohen Autonomiespielräumen« gilt, die »tatsächliche Ausgestaltung, organisatorische Verankerung und Arbeitsweise einer Projektgruppe (...) jedoch von Unternehmen zu Unternehmen und auch von Projekt zu Projekt stark variieren«. Annegret Bolte weist ferner darauf hin, dass die Theorie zur optimalen Projektarbeit und die Praxis in den Unternehmen oftmals weit auseinanderliegen und die entscheidende Frage nach den tatsächlichen Handlungsspielräumen durch die Selbstorganisation in den Projektteams nach wie vor offen bleibt.

Dies spiegelt sich auch im Forschungsbedarf wider, den eine GPM-Studie (Spang 2009) auf der operativen Ebene hinsichtlich des Ressourcenmanagements, des Störungs- und Krisenmanagements sowie der Mitarbeitermotivation ausweist. Auf der Integrationsebene ist im Hinblick auf unseren Beitrag bemerkenswert, dass das Team- und Kommunikationsmanagement zwar Interesse genießt, eine optimale Anwendung in der Praxis jedoch noch nicht erfolgt ist. Auf der strategischen Ebene sehen die Experten Forschungsbedarf in der Beurteilung der strategischen Bedeutung von Projekten und der organisationalen Strategieentwicklung. Im Personalbereich wird der Forschungsbedarf weniger im Personalmanagement aber deutlich in der Personalentwicklung gesehen. Sogar bezogen auf Grundelemente der Projektarbeit wie dem Projektmanager werden Bedarfe

formuliert, vor allem im Bereich Führungsstil und Führungskompetenz. Auch für die Arbeitswissenschaften als Element des Projektmanagements wird Forschungsbedarf angemeldet, zumal dieser in der Literatur – laut Studie – noch nicht so häufig thematisiert wurde.

Für wichtig halten wir deshalb, dass das Management die Aufgabe der institutionalisierten Rahmensetzung wahrnimmt und die Voraussetzung für die *kreative* Arbeit der Projektleitung und des Projektteams *bewusst* schafft. Dazu müssten innovative E-Government-Projekte auf allen Verwaltungsebenen – Bund, Länder, Kommunen – als *Chefsache* begriffen werden. Chefsache meint im Sinne der Kontextsteuerung, dass das Management der öffentlichen Verwaltung einen Rahmen für das *kreative* Arbeiten der Projektteams setzt, ohne sich der eigenen Verantwortung zu entziehen, und damit diesen Rahmen *sichert*. Verantwortung und Kompetenz werden in autonom agierende Teams verlagert, deren Rücken durch die Projektleitung und das Management freigehalten werden. Dies würde die notwendigen Handlungs- und Gestaltungsspielräume schaffen, um *innovative* Lösungen zu finden und den Unsicherheiten in komplexen IT-Projekten zu begegnen. Es macht IT-Projekte flexibel und schafft Akzeptanz, ohne den Anspruch der Lenkung durch das Management aufzugeben. In diesem Sinne hätte das Management der öffentlichen Verwaltung als öffentlicher Auftraggeber die Aufgabe, die Institutionalisierung eines professionellen Projektmanagements mit u. a. einer einheitlichen Dokumentation, einem gezielten Multiprojektmanagement (MPM) und einer schlüssigen Auswahl der Projekte und Zuordnung der Mitarbeiter sowie einer überlegten Kompetenzübertragung an die Projektleitung zu sichern. Ein modernes MPM müsste dabei nach Wischhusen (2010) auf einem System basieren, das *zeitgemäße, integrierte Managementmethoden* nutzt. Die Gefahr an unzureichend organisatorischer Einbettung und mangelnder Akzeptanz ist damit allerdings noch nicht aus dem Weg geräumt. Vielmehr sollten solche Aspekte durch eine *vorausschauende* und *intensive* Projektvorbereitung mit klarer, ganzheitlicher Zieldefinition unter reflektierender Berücksichtigung der sog. Stakeholder und Risikoanalysen mit Präventivmaßnahmen berücksichtigt werden. Dies erfordert allerdings Zeit, deshalb erscheint es entscheidend, dass sich der öffentliche Auftraggeber seiner eigenen Rolle bewusst wird und wissen sollte, welche Kompetenzen intern vorzuhalten sind, um seine Beteiligung und Kontrollfunktion annehmen zu können.

Die Verlagerung von Autonomie und Gestaltungsspielräumen in die Projektteams erfordert deutliche Veränderungen in den verwaltungstypischen Aufgabenprofilen und Berufsbildern. Ziel dieser Veränderungen wird sein, die Mitarbeiter so vorzubereiten und zu schulen, dass diese den Anforderungen an Selbstständigkeit, technischer Kompetenz, Flexibilität, Verantwortung, Koordinations- und Kommunikationsfähigkeit gerecht werden können. Zusätzlich muss dafür Sorge getragen werden, dass auch hinreichende Personalkapazitäten zur Verfügung stehen. Nach unseren Erfahrungswerten gelingt es gerade in Zeiten des ständigen Personalabbaus im deutschen öffentlichen Dienst immer weniger, die nötigen qualifizierten Ressourcen für temporäre Projekte zur Verfügung zu stellen. Projekte werden in öffentlichen Verwaltungen nicht selten »nebenbei« gemacht, erhalten so vom Management nicht die notwendige Bedeutung und führen bei Engagement der Projektleitung und der Mitarbeiter zu erheblichen Mehrbelastungen des Projektteams, ohne dass dies tatsächlich vom Management honoriert wird. Hinzu kommt die Frage, welche Kompetenz der Projektleitung zugesprochen wird? Wenn es sich nicht um politisch motivierte Projekte handelt, die eher zu einer reinen Projektorganisation und Weisungsbefugnis der Projektleitung führen, bleibt im Verwaltungsalltag organisatorisch i. d. R. alles wie es ist und die Verwaltungsmitarbeiter werden *zusätzlich* zu ihrer Verwaltungstätigkeit zu Projektleitern – und zwar *ohne* Weisungsbefugnis und tatsächlich zugesprochene Kompetenz und ohne eine entsprechend rechtzeitig durchgeführte Qualifizierung. Hier kann sicherlich ebenfalls ein Grund für das Scheitern von kleineren und mittelgroßen Projekten der öffentlichen Verwaltungen in Deutschland vermutet werden. Nur bei ganz großen Projekten wird die Weisungsbefugnis bisher beachtet.

Als Konsequenz müsste das (Top-)Management der öffentlichen Verwaltung in Deutschland seine internen Projektteams in vielfältiger Weise konsequent stärken, ihnen Zeit und Kompetenzen einräumen sowie die Entwicklung eines neuen Fähigkeitsprofils unterstützen, dessen Ausgestaltung mit dem Begriff »Kontextsteuerung« im engen Zusammenhang steht.

## Anmerkungen

- [1] Bemerkenswerte Erfahrung der E-Government-Projekte der ersten Stunde (Jahre 2000 – 2005) war, dass sie »Chef-Sache« sein müssen, d. h., dass das Top-Management der öffentlichen Verwaltung eine für den Erfolg der Projektarbeit begünstigende Umweltbedingung setzen muss. Siehe: E-Government Handbuch, Online-Version [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/EGovernment/EGovernmentHandbuch/OnlineVersion/onlineversion\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/EGovernment/EGovernmentHandbuch/OnlineVersion/onlineversion_node.html), Zugriff 30.10.11.
- [2] Informationen zum IT-Planungsrat finden sich auf der Website der Beauftragten der Bundesregierung für Informationstechnik, [http://www.cio.bund.de/cln\\_093/DE/Ueber\\_uns/IT-Planungsrat/it-planungsrat\\_node.html](http://www.cio.bund.de/cln_093/DE/Ueber_uns/IT-Planungsrat/it-planungsrat_node.html), Zugriff 18.01.2011.
- [3] Nationale E-Government-Strategie: Beschluss des IT-Planungsrats vom 24. September 2010, [http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Aktuelles/nationale\\_e\\_government\\_strategie\\_beschluss\\_20100924\\_download.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Aktuelles/nationale_e_government_strategie_beschluss_20100924_download.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff 08.01.2011.
- [4] Vgl. hierzu die Abbildung nach [http://lh4.ggpht.com/\\_3uCQVvx80II/TAqslZ3EVYI/AAAAAAAAACp4/bauAudsco0/egovernment-entwicklung-2010.jpg](http://lh4.ggpht.com/_3uCQVvx80II/TAqslZ3EVYI/AAAAAAAAACp4/bauAudsco0/egovernment-entwicklung-2010.jpg), Zugriff 16.01.2011.
- [5] IT-Investitionsprogramm – Wichtiges Etappenziel erreicht: [http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2011/20110114\\_it\\_investitionsprogramm.html](http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2011/20110114_it_investitionsprogramm.html), Zugriff 08.01.2011.
- [6] [http://www.CIO.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2011/20111026\\_fachkonferenz\\_wirtschaft\\_und\\_verwaltung.html](http://www.CIO.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2011/20111026_fachkonferenz_wirtschaft_und_verwaltung.html), Zugriff 26.10.2011.
- [7] Dies geschah 2001 auf Nachfrage des Bundesrechnungshofs (BRH) nach »Verbesserungspotentialen bei IT-Großprojekten« bzw. bei »Software-Entwicklungsprojekten«.

## Literatur

- Benedix, J. u. a. (2009): Herausforderungen mit neuen Organisationsformen meistern. In: *Innovative Verwaltung*, Ausgabe 11/12, 19-22.
- Bolte, A. u. a. (2008): Die alltägliche Last der Kooperation – Abstimmung als Arbeit und das Ende der Meeting-Euphorie, edition sigma, Berlin.
- Breisig, T. (2010): Unternehmenssteuerung – eine konzeptionelle Einführung. Ansätze – Methoden – Akteure, edition sigma, Berlin.
- Brüggemeier, M. (2011): »Easy Government« – Bürokratieabbau im Verwaltungsvollzug durch IKT. Beitrag und Präsentationsfolien im »Fachforum A: Prozesse zwischen Wirtschaft und Verwaltung«, Fachkonferenz »Wirtschaft und Verwaltung im Netz«, 4. und 5. Oktober 2011, Berlin, <http://www.dihk.de/branchen/informations-und-kommunikationsbranche/e-government/e-government/wirtschaft-und-verwaltung-im-netz/fachforum-a>, Zugriff: 29.10.2011.
- Chaos Report (2004): Standish Group.
- Dietrichs, H. (2004): Komplexitätsreduktion in der Softwareentwicklung – Ein systemtheoretischer Ansatz. Books on Demand, Norderstedt.
- Ditzen, U. (2009): Verbesserungspotentiale bei der Umsetzung von (IT-) Projekten. Bericht über eine Querschnittsuntersuchung des Bundesrechnungshofes 2005-2008, Präsentation im BAKöV IT-Forum »Projektmanagement und IT-Bund«, 13.06.2009 in Berlin.

- EBS (2008): Potentiale und Bedeutung des Projektmanagements aus der Perspektive des Topmanagements. Studie der European Business School EBS in Kooperation mit der GPM, [http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user\\_upload/Know-How/Studienergebnisse\\_Top-Management.pdf](http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user_upload/Know-How/Studienergebnisse_Top-Management.pdf), Zugriff: 17.02.2011.
- Engel, T. u. a. (2008): Projektmanagement Studie 2008 – Erfolg und Scheitern im Projektmanagement, Gemeinsame Studie der GPM und der PA Consulting Group, [http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user\\_upload/Know-How/Ergebnisse\\_Erfolg\\_und\\_Scheitern-Studie\\_2008.pdf](http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user_upload/Know-How/Ergebnisse_Erfolg_und_Scheitern-Studie_2008.pdf), Zugriff 17.02.2011.
- Gröger, M. (2004): Projektkompetenz: Mangelhaft. Stolperstein auf dem Weg zum Unternehmenserfolg, [http://www.twinn.de/leadership04/pdf/groeger\\_pbm.pdf](http://www.twinn.de/leadership04/pdf/groeger_pbm.pdf), Zugriff: 17.02.2011.
- Hill, H. (o. J.): eGovernment – Mode oder Chance zur nachhaltigen Modernisierung der Verwaltung?, Speyer, <http://www.dhv-speyer.de/hill/Publikationen/E-Gov.pdf>, Zugriff: 08.01.2011.
- Lamberts, R. (2009): Projektmanagement in der öffentlichen Verwaltung. In: Becker, L.: Projektführung und Projektmanagement, Symposium Publishing GmbH.
- Lucke von, J. u. a. (2005): E-Government-Forschungsplan: Handlungsfelder für eine neue Strategie in Deutschland. Gesellschaft für Informatik (GI), Fachbereich Rechts- und Verwaltungsinformatik Fachausschuss Verwaltungsinformatik (VI), Bonn.
- Miebach, B. (2007): Organisationstheorie, Problemstellung – Modelle – Entwicklung. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Moll, K.-R. u. a. (2004): Erfolgreiches Management von Software-Projekten. In: Informatik-Spektrum.
- Rogall-Grothe, C. (2010): Potenziale des E-Governments gemeinsam nutzen. In: eGovernment Kompendium 2011 – IT-Referenzbuch für den Öffentlichen Sektor, Vogel Business Media, Würzburg.
- Rogall-Grothe, C. (2011): Keynote zum aktuellen Stand des E-Governments in Deutschland und Auszug auf Video, Fachkonferenz »Wirtschaft und Verwaltung im Netz«, 4. und 5. Oktober 2011, Berlin, <http://www.dihk.de/branchen/informations-und-kommunikationsbranche/e-government/e-government/wirtschaft-und-verwaltung-im-netz>, Zugriff: 29.10.2011.
- Seidel, A. u. a. (2009): Zukunftsreport Moderner Staat 2009 – Prozessmanagement im Jahr 2020. In: Special Innovative Verwaltung, Ausgabe 11/12, 2009.
- Spang, K. u. a. (2009): GPM-Studie 2008/2009 zum Stand und Trend des Projektmanagements, Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V. (GPM), Universität Kassel, Fachgebiet Projektmanagement, [http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user\\_upload/Know-How/00-Gesamt-Studie-GPM-Juli\\_2009.pdf](http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user_upload/Know-How/00-Gesamt-Studie-GPM-Juli_2009.pdf), Zugriff: 17.02.2011.
- Willke, H. (1989): Controlling als Kontextsteuerung – Zum Problem dezentralen Entscheidens in vernetzten Organisationen, In: Eschenbach, Rolf (Hg.): Supercontrolling – vernetzt denken, zielgerichtet entscheiden. WUV, Wien.
- Willke, H. (1996): Systemtheorie II. Interventionstheorie, Lucius & Lucius, Stuttgart.
- Willke, H. (1998): Systemtheorie III. Grundzüge einer Theorie der Steuerung komplexer Sozialsysteme, 2. ed., Lucius & Lucius, Stuttgart.
- Wischhusen, J. (2010): Anforderungen an ein modernes Multiprojektmanagement in der Bundesbehörde des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Master Thesis an der Paritätischen Akademie gGMBH.

## Autoren

### Prof. Dr. Margit Scholl

Fachbereich Wirtschaft Verwaltung und Recht  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
margit.scholl@th-wildau.de

### Dr. Maika Büschenfeldt

Fachbereich Wirtschaft Verwaltung und Recht  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
maika.bueschenfeldt@th-wildau.de

# A software architecture for intelligent facility management based on complex event processing

Ralf Vandenhouten, Ralph Holland-Moritz

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag präsentiert einen Architekturvorschlag für ein intelligentes Management-System, das Daten mit Hilfe von künstlicher Intelligenz auswertet. Die Architektur bedient sich dabei des Complex Event Processing, um eine hohe Flexibilität bei der Verknüpfung der einzelnen Komponenten zu erreichen. Die Komponenten und deren Zusammenspiel werden am Beispiel eines Gebäudemanagementsystems illustriert.

## Abstract

This article presents an architectural suggestion for an intelligent management system which evaluates data using artificial intelligence. The architecture uses complex event processing in order to gain high flexibility when connecting the individual components. As an illustration of the components and their interaction a facility management system is used as an example.

## 1 Intelligent Management System

An intelligent management system can be divided into four groups of components. These groups are input components, intelligent components, data converters and reporting components as it can be seen in Figure 1. A facility management system is used as an example of such a system. In this environment the input components are sensors which provide input data for the intelligent system. Sensors are defined as technical components measuring one or more physical or chemical properties or material type of goods in their environment. The measured property is called a feature or attribute of a sensor and has a specific value at a given time.



Fig. 1: Components in a simple architecture

The reporting components, forming the output of the intelligent management system, are generated reports with status information or schematic representation like ground plans of the building with connected state indicators. The reporting component is the interface for the facility manager or security agent, giving him an overview of the events inside the building or location.

Between input and output components there is an interlayer consisting of intelligent components. These intelligent components evaluate the input data coming from the events and generate output data as result of the evaluation process with the help of their knowledge. The intelligent components can be divided into two types depending on how the knowledge is stored or gained. These two types are the learning components and the knowledge-based components.

A learning component is able to gain knowledge from changing findings and to draw conclusions from simulation or normal operation. The learning component is applicable for event sequences which are unknown or not describable.

Under knowledge-based components we understand systems which evaluate new statements with the help of a knowledge base. The knowledge base is formed out of statements which are defined as rules, logic statements or semantic connections. With the help of this component changes in the operational application can be evaluated by means of a rule base, defined by a so called expert. For evaluating the statements of the knowledge base and a subsequent conclusion a rule interpreter is used which interprets the facts by means of predefined rules. Knowledge-based components work well for the reasoning of events by means of a knowledge base consisting of elementary rules. It can be used where states of the system are known a priori.

Different types of intelligent components need different types of input data and provide different types of output data. Some intelligent components have their own event memory, others don't. The ones without memory need a system state copy every time they are executed. To connect the input data from the input components with the intelligent systems and the output data from the intelligent systems with the output components we need data converters for input and output conversion.

## 2 Requirements

In an intelligent management system with different intelligent components there are requirements to ensure flexibility and other non-functional requirements.

The first non-functional requirement is the requirement of parallel processing. Under parallel processing the parallel execution of the intelligent components is understood. That means that the components should work independently from each other. In an intelligent management system the focus is on time dependant events which have to be evaluated time-critically. Because of their different behavior the intelligent components can evaluate events in different speed. Parallel processing therefore means that one component is independently from another in the sense of not having to wait for the other's termination.

When dealing with different intelligent components it is previously unknown how these components work together. It cannot be determined whether component »A« and »B« evaluate before »C« and if »C« uses the output of »A« and »B« or whether they evaluate parallel or in another way. Thus the intelligent components cannot be connected in a fixed way. This means that a loose coupling is needed for connecting input and output of the intelligent components.

In order to be not restricted to specific intelligent components and to be able to further develop the intelligent system or extend the system with new intelligent input or output components a requirement of the system is to be easily extensible. This means that the system should be extendable by other components with little effort and without changing basic components.

## 3 Solution

For connecting different components together with loose coupling a possibility is to use the observer pattern. With this behavioral pattern there are two central types of objects called subject and observer. In the example of a facility management system the subjects would be sensor events and the observers would be the intelligent components. Another form of this pattern is known as publish-subscribe which focuses on a publisher which would be the event generator and on the subscriber which would be again the intelligent component (Gamma et. al. 2004). To facilitate the subject from the publisher to the subscriber a middleware is needed for registering the subscriptions and for receiving and forwarding or distributing the subjects.

For realizing the loose coupling in the form of publish and subscribe two related approaches arise: message-orientated and event-based middleware. With message-orientated middleware (MOM) the communication between the different components is made by abstract messages with the help of an interlayer (Heinzl et. al 2005). For ensuring a defined access an interface definition was defined called Java Messaging Service (JMS). Known implementations are Apache ActiveMQ, JBoss Messaging and OpenJMS. With JMS we have to kinds of roles a client can play. This is the message producer and the message receiver. A server called JMS-Provider acts as a broker between the clients. To achieve a loose coupling between the clients the delivery of the clients works with queues or topics under which a message can be published or subscribed.

Message-based solutions are usually complete middleware systems. Middleware is often designed for the operation of a distributed system on a high abstraction layer and thus generates additional overhead in communication. In addition they offer more features which are beyond the pure communication (Heinzl et. al 2005). According to this the available implementations of JMS are heavyweight. For allowing a lightweight implementation a lower abstraction layer for the message communication has to be seeked for, besides the resignation of additional unnecessary features. As a solution there is the communication on a lower abstract level by means of events instead of messages.

The simplest solution to realize the communication by means of events is to implement the observer pattern with the help of regular Java structures like event queues. This solution means additional implementa-

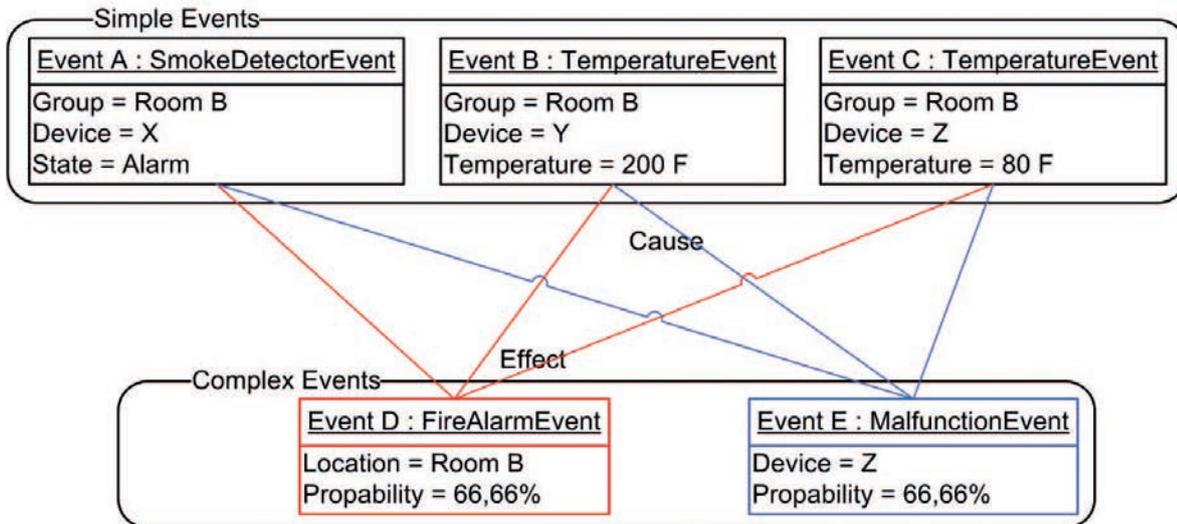


Fig. 2: Relationship between simple and complex events

tion cost and involves the danger of error sources. In particular, the observer pattern is inadequate for messaging in distributed systems with an RPC middleware like R-OSGi (Vandenhouten et. al. 2009). An alternative solution of using events for the communication between local components is to use an event-orientated architecture also known as Event-Driven Architecture (EDA). Connected with EDA is the software technology for the realization of EDAs called Complex Event Processing (CEP). As CEP, besides the possibility to communicate by means of events, offers additional features which support further aspects of the intelligent system CEP is the preferred choice for the communication layer of the intelligent system.

### 3.1 Event-Driven Architecture and Complex Event Processing

The Event-Driven Architecture (EDA) represents a software architecture pattern where events take center stage. These events can occur inside or outside the system and are published to all interested parties of the system by a proper mechanism (Bruns et. al. 2010).

With the centric treatment of events EDA decisively differs from the Service-Orientated Architecture (SOA) where functions take center stages which are offered as services. In this case one or more distributed applications communicate with help of provided services which forms a SOA (Barry 2011). Despite the different approaches or rather because of this fact both architectures can be combined. Thus an EDA can be integrated into a SOA (Charles et. al. 2010).

Besides EDA, which represents a general concept as event-orientated design pattern, the Complex Event

Processing (CEP) exists as a concrete technology for event processing which can be considered a core element of an EDA.

The event processing which exists since more than 50 years is a subject of the computer engineering which gains more and more importance. Started as a method for changing threads in a processor by means of special events, events in the event processing are considered more general today. Thus in today's event processing more abstract events like sending a message or changes on the financial market like a purchase or sale of a share are processed. The basis of the today's event processing forms the discrete event simulation of the early 1950s. The idea was to simulate hardware control systems or natural phenomena with the help of a simulation language. In this connection events were generated which effected the generation of new events. After the simulation the emerged event chain had to be analyzed, which matches the today's idea of event processing. A second area, which decisively forwarded the development of the event processing, is the development of the packet-orientated network technology in the late 1960s. The resulting TCP/IP protocol and the OSI model which divides communication in differently abstracted layer plays a central role in the development of the complex event processing (Luckham 2007).

*Events:* In event processing events can represent any kind of occurring activities. Thus the »Event Processing Technical Society« (EPTS), which is a community with an interest on event processing, defines an event as follows: »Anything that happens, or is contemplated as happening.« (Luckham et. al. 2008) As examples the EPTS cites the following:

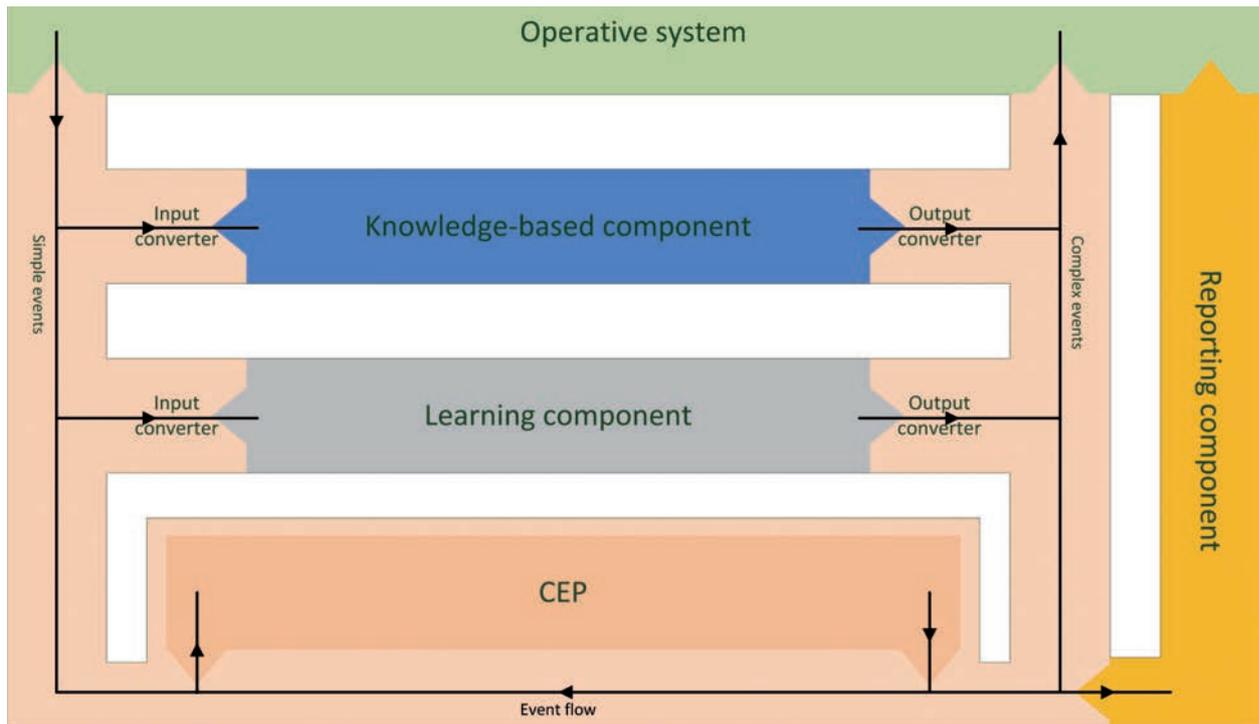


Fig. 3: Example architecture using CEP

- A financial trade
- An airplane lands
- A sensor outputs a reading
- A change of state in a database or finite state machine
- A key stroke
- A natural occurrence such as an earthquake

A definition of a mapping of a real event in the information technology as so-called event object, event message or event tuple is defined by the EPTS as follows: »An object that represents, encodes or records an event, generally for the purpose of computer processing.« (Luckham 2007)

Another definition of an event in the information technology is given by David C. Luckham: »An event is an object that is a record of an activity in a system. The event signifies the activity. An event may be related to other events.« (Luckham 2001)

### 3.2 Complex Events

According to Luckham an event can be associated with another event. When these events are merged the resulting abstract event is called a complex event. David C. Luckham defines a complex event as follows: »A complex Event is an aggregation of other events, called its members.« (Luckham 2001)

Events can be associated in different kinds. The most important types of relationships are the time, the causality and the aggregation (Luckham 2001).

The time-dependent relationship of events means a relationship of events related to their temporal occurrence. Thus different events can occur with a temporal offset or together. The causal relationship between events means the dependency of an event to another event that occurred before. If a subsequent event occurs because of other events then these events are causally associated. When different sub events are merged then the relationship between the events is called aggregation. The resulting aggregated event forms a complex event which represents an abstract image of the sub events. An example of aggregated complex events can be seen in Figure 2.

### 3.3 CEP as middleware

Because of the fact that Complex Event Processing allows the distribution of events to a registered receiver CEP will be used as middleware or rather communication channel for the single intelligent components of the intelligent system. Thus the components, respectively their input converters, register themselves as receivers of elementary and complex events. After the evaluation of the incoming events the components publish the evaluation results as complex events to the CEP system. Thus a steady flow of events at different abstraction layers arises. Through the loose coupling of the components by CEP the event flow through the single intelligent components is not limited as you can see

in Figure 3. This way a component can use the result of another component and the resulting event can also be used as input of a third component and so on.

For reporting the results of the evaluation which exist as events in the CEP system the presentation component registers itself as a receiver of the events to be displayed. Through the steady event flow in the CEP system in form of elementary and abstract or complex events, respectively, a real-time view of the complex state of the intelligent system through all abstraction layers is possible.

CEP used as middleware meets the requirement stated in Chapter II. It offers parallel processing of events through its event processing engine because parallel processing of many events is a basic need of CEP in general. Loose coupling is realized with CEP acting like a central anonymisation layer between the different components of the intelligent system. The only entities that are known to the components are events which act as communication channel between the single components and the CEP engine itself. Figure 4 illustrates the relationship between two components with the help of CEP.

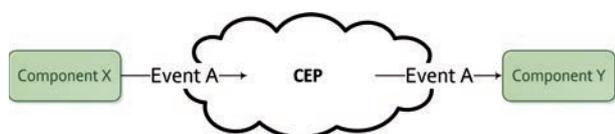


Fig. 4: Loose coupling through CEP

### 3.4 Other roles of CEP

As already mentioned the different intelligent components need and produce different types of data. Thus input and output converters are needed for every single intelligent component. These converters could be implemented by means of programmatic structures. With its capabilities to merge, group and aggregate events in dependency of time or other attributes CEP is predestinated for event conversion. This way converters can be implemented in CEP once and be reused by different components.

Besides other features CEP offers methods of evaluating events. When simple events are associated to each other in the form of generating complex events then the resulting event can be seen as a conclusion from the simple events. Thus CEP can be used as intelligent component reasoning from simple to complex events.

## 4 Conclusion

An architecture of an intelligent management system has been presented that consists of input components, intelligent components, and reporting components, where the components are connected via converters. CEP can be employed as the backbone of such an architecture, supporting the components by providing various types of event related services. It allows for loose coupling, extensibility and parallel processing. With its event processing capabilities it can also be used to implement converters for the different types of intelligent components and act itself as an intelligent component.

## Bibliography

- Barry, D. K. (2011): Service-oriented architecture (SOA) definition, [http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented\\_architecture\\_soa\\_definition.html](http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented_architecture_soa_definition.html), cited: 05.09.2011.
- Bruns, R., Dunkel, J. (2010): Event-Driven Architecture: Softwarearchitektur für ereignisgesteuerte Geschäftsprozesse. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Charles, O., Schalk, M., Hollunder, B. (2010): CEP meets SOA: Komplexe Ereignisse bringen Mehrwert in SOA-Infrastrukturen. In: OBJEKTSpektrum, 2010, vol. 5, 28-33.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. (2004): Entwurfsmuster: Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software. Addison-Wesley, Munich, Germany.
- Gualtieri, M., Rymer, J. R. (2009): The Forrester Wave™: Complex Event Processing (CEP) Platforms, Q3 2009, Forrester Research, Inc.
- Heinzl, S., Mathes, M. (2005): Middleware in Java: Leifaden zum Entwurf verteilter Anwendungen – Implementierung von verteilten Systemen über JMS – Verteilte Objekte über RMI und CORBA. Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, Germany.
- Luckham, D. C. (2001): The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems. Addison-Wesley, Boston, MA, USA.
- Luckham, D. C. (2007): A Short History of Complex Event Processing. Part 1: Beginnings, <http://complexevents.com/wp-content/uploads/2008/02/1-a-short-history-of-cep-part-1.pdf>, cited: 05.09.2011.
- Luckham, D. C., Schulte, R. (2008): Event Processing Glossary –Version 1.1, <http://complexevents.com/wp-content/uploads/2008/08/epts-glossary-v11.pdf>, cited: 05.09.2011.
- Vandenhouten, R., Kistel, T. (2009): Aus der Entfernung – Verteilte Dienste mit R-OSGi. In: iX Magazin für Professionelle Informationstechnik, 2009, vol. 9, 142-146.

## Authors

**Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten**

Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-359  
ralf.vandenhouten@th-wildau.de

**Ralph Holland-Moritz, M. Eng.**

Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-616  
ralph.holland-moritz@th-wildau.de

# A model-driven concept for the automatic integration of legacy protocols to distributed component-oriented software systems

Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel

## Zusammenfassung

Die Implementierung von Kommunikationsprotokollen zu externen Systemen ist eine wichtige Aufgabe, welche häufig in Softwareprojekten zu realisieren ist. Dieser Artikel ist ein Ideenpapier, welches die Komponenten bisheriger Implementierungsstrategien und deren Probleme beschreibt. Der Artikel führt die wesentlichen Techniken zur Protokollimplementierung ein und stellt diese im Kontext der modelgetriebenen Softwareentwicklung dar. Zum Schluss wird eine Methode mit ASN.1 und SDL vorgestellt, welche die automatische Generierung von Manager-Schnittstellen für die Protokolle von Geräte-Agenten ermöglicht und dabei den Einsatz in verteilten komponentenbasierten Systemen erlaubt.

Der Artikel beschreibt die Zwischenergebnisse des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten MOSES-Projektes (Modellgetriebene Software-Entwicklung von vernetzten Embedded Systems). In dem Projekt konzentrieren sich die Autoren auf die Bereiche Medizin- und Gebäudetelematik, worin sie besondere Erfahrungen besitzen.

## Abstract

The implementation of communication protocols is an important development task that appears frequently in software projects. This article is a vision paper that describes the components of the currently available implementation strategies and problems that arise. The article introduces the main existing protocol engineering techniques and puts them into the context of model driven software development. At the end a methodology is introduced for the automatic generation of manager interfaces of Device Agent protocols for the use in a distributed component oriented environment, using ASN.1 and SDL.

This article describes the preliminary results of the MOSES project (model-driven software engineering of distributed embedded systems) which is funded by the German ministry of Education and Research (BMBF). In this project the authors are concentrating on medical and facility management areas where they have particular experiences.

## 1 Introduction

The communication between systems is a frequent requirement of development projects. In different vertical industry sectors the interconnection to different external devices (Device Agents) is often requested. These Device Agents have more or less proprietary communication protocols and are sometimes rather old. An example in the hardware area is the serial connector standard RS232 (EIA 232) which was originally developed in the 1960s and is still widely used in many industry systems, even though successor technologies like USB or FireWire (IEEE 1394) have technical advantages. This situation is also applicable to the software application protocols (Legacy Protocols) that are used. There are various reasons for the long life-cycle of com-

munication systems in the industry sector. Some of these are:

- The systems need to be compatible with older systems.
- The product life-cycle of industry systems is relatively long, e. g. an installed fire alarm system in an office building cannot be easily replaced.
- The hardware environment of the embedded systems has limitations for the support of newer protocol stacks.
- The development of a protocol extension (i.e. a new feature) is sometimes much cheaper than introducing a new protocol.

There are two reasons that custom protocols will continue to be used. The first is that manufacturers produce specific protocols for their applications and the second

is that specific protocols are often technically advantageous.

On the other hand it is necessary to effectively develop connectors to Device Agents in a cost-effective way and to integrate them into existing distributed systems. Also there exists much research about the automatic protocol definition and implementation, but they are less or non-integrable in the context of distributed component-oriented software development. In this article we introduce an approach for the model-driven development of manager software connectors to external Device Agents. Therefore we first give a short overview on the history of protocol engineering and highlight the concepts that are useful for a model-driven approach. In section 3 we examine how current developments in the MDD area have to be appraised in our context and draw an outlook in section 4 how these concepts can be adapted to component oriented software engineering.

## 2 Concepts of Protocol Engineering

The area of protocol engineering has been extensively researched. The first efforts of Protocol Engineering were already done in the late 1960ies and '70ies, so Protocol Engineering looks back at a relatively long history. The article of Bochmann (Bochmann et al. 2010: 3197–3209) provides a good overview of the history of Protocol Engineering. It summarizes the different development stages of the current protocol stacks and formalism techniques that were successfully introduced and those that were not widely accepted. In this section we give a short summary of this development and outline important aspects for the current development in this area.

The first link protocols that were developed in the late 1960ies were redesigned at the beginning of the '70ies. In this redesign bit-oriented framing and sequence numbering were introduced. This work concludes with the development of the X.25 protocol. Another aspect of several research projects at this time was packet switching which resulted in the development of the well-known ARPANET, which were later adopted for the TCP/IP protocol. The development of many application protocols during the '70ies leads to the initiative of harmonizing the interworking between such systems. This initiative was the OSI standardization project at ISO, which was started in 1977. One of the main outcome of the OSI project was the layered architecture design of protocol descriptions.

The most important OSI-Layer for Device-Agent protocol implementation is the application layer 7, because most external devices describes their communication protocol on that layer and rely on specific lower layer protocols (e. g. IP, Serial). Generally a communication protocol can be seen as a set of digital data that is transferred on different states. As of (Grimm 2009) digital data are constituted by the following parameters:

1. Logical structure
2. Raw data
3. Presentation
4. Digital Encoding

For a formal description of these parameters the Abstract Syntax Notation One (ASN.1) was developed. ASN.1 was developed during the OSI standardization process for the description of the OSI protocols and allows the definition of primitive types and data structures of application layer protocols. A key advantage of ASN.1 is that it not only describes the logical structure, raw data and presentation of protocol messages, but also the encoding rules for transforming the messages into transferable byte data. ASN.1 describes a set of common encoding rules which are used for different purposes. The most frequently used examples of these encoding rules are:

- BER – The Basic Encoding Rules uses the TLV (Type, Length, Value) approach to encode the data. An important advantage of Basic Encoding Rules is that they allow extension and different versions of protocols, as each protocol item is identified by its type and length. For example Google Protocol Buffers, that we introduce later, uses the TLV approach to encode the data and to guarantee protocol compatibility. This advantage comes at the cost of a higher overhead required by the Encoding rules. Therefore the PER were introduced.
- DER – The Distinguished Encoding Rules together with CER (Canonical Encoding Rules) are basically the same as BER with some restrictions on the encoding. DER is mainly used in cryptography such as for the encoding of the X.509 Certificates.
- PER – Packed Encoding Rules were developed for producing compact transfer syntax. They are mainly used in the mobile communications area.
- XER – XML Encoding Rules produce XML output for the specified data.

The encoding rules BER, DER, CER are the standard encoding rules of ASN.1, PER and XER are additional encoding rules. However, other encoding rules for ASN.1

can be defined by using the Encoding Control Notation (ECN). ECN is particular useful to describe the Encoding Rules of legacy protocols. ASN.1 and their Encoding Rules are supported by many software tools of different manufacturers. A list of ASN.1 tools (mostly commercial) can be found on the ITU-T website (ITU 2011).

Another important ITU standard for protocol engineering is the Specification and Description Language (SDL). It allows the specification of the behavior of external systems and can be used together with ASN.1. Both, ASN.1 and SDL, have gained much acceptance in the telecommunications sector.

### 3 Model Driven Technologies

Besides the formal protocol engineering techniques, mainly driven by the telecommunications sector, which led to the development of standards like ASN.1, SDL and others, there exist other technologies that allow an easy development of individual protocol implementations. Those technologies enable the efficient encoding and decoding of structured data into a specific format that can be used to implement a protocol (e. g. for a client-server application). Two popular examples are Google Protocol Buffers (Google 2011b) and Apache Thrift (Apache 2011). These »message definition languages« can also be used for message generation in an RPC environment. They allow the abstract definition of protocol messages (PDUs) and the automatic generation of executable programming code (e. g. Java, C#, C++). Both technologies are widely used. Google Protocol Buffers is used for many internal Google Web protocols and files, the Thrift project that is now hosted by Apache was formerly developed by Social Network Provider Facebook.

In this article we want to compare different implementation aspects of ASN.1 tools and other technologies like Google Protocol Buffers. Therefore we created a »simple Employee example« entity. The Employee entity can be used by different applications (e. g. a web application for managing the vacation accounts, a time logging system) and their respective protocols. The Employee entity has the following attributes:

1. Employee number
2. Title and name
3. Date of hire
4. Name of spouse
5. List of children

```
Employee DEFINITIONS ::= BEGINEXPORTS;

PersonnelRecord ::= [APPLICATION 0] IMPLICIT SET {
    name      Name,
    title     [0]IA5String,
    number    EmployeeNumber,
    dateOfHire [1]Date,
    nameOfSpouse [2]Name,
    children  [3]IMPLICIT SEQUENCE OF ChildInformation
}

ChildInformation ::= SET {
    name      Name,
    dateOfBirth [0] Date
}

Name ::= [APPLICATION 1] IMPLICIT SEQUENCE {
    givenName IA5String,
    initial   IA5String,
    familyName IA5String
}

EmployeeNumber ::= [APPLICATION 2] IMPLICIT INTEGER

Date ::= IA5String

END
```

Listing 1: Description of the data structure in ASN.1

The listings show the defined data structure of this Employee entity a) with an ASN.1 tool (Listing 1) that was taken from Objective Systems and b) with Google Protocol Buffers (Listing 2).

```
package employee;

message PersonnelRecord {
    optional Name          name = 1;
    optional string       title = 2;
    optional EmployeeNumber number = 3;
    optional Date         dateOfHire = 4;
    optional Name         nameOfSpouse = 5;
    repeated ChildInformation children = 6;
}

message ChildInformation {
    optional Name          name = 1;
    optional Date         dateOfBirth = 2;
}

message Name {
    optional string       givenName = 1;
    optional string       initial = 2;
    optional string       familyName = 3;
}

message EmployeeNumber {
    optional int64        value = 1;
}

message Date {
    optional string       value = 1;
}
```

Listing 2: Description of the data structure with Google Protocol Buffers

The listings show the definition of a PersonnelRecord that contains different subtypes like EmployeeNumber, Name or ChildInformation. The corresponding tools allow the generation of Java source code from these abstract message definition.

The figures below show the class diagram of the generated source code in Java.

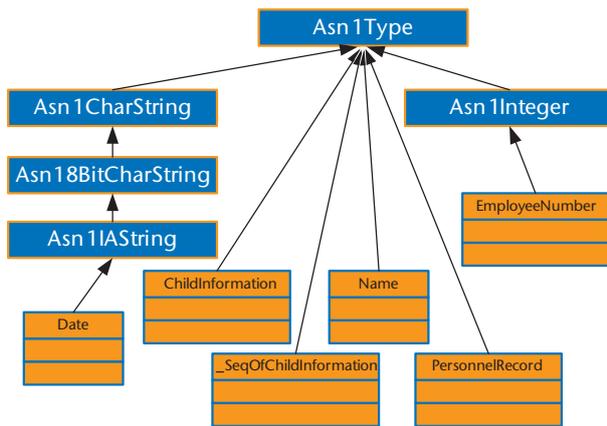


Fig. 1: Description of the data structure in ASN.1

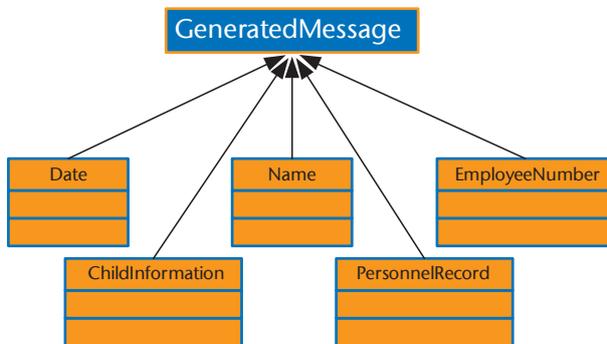


Fig. 2: Description of the data structure with Google Protocol Buffers

Aside from the encoding aspects, Figure 1 and Figure 2 show that the class structures of the generated classes are similar. The classes are derived from super classes which provide basic functions for encoding and decoding the messages. These super classes (blue color in the class diagram) are part of a Jar-Library of the corresponding generation tool. The polymorphism here is a fairly strict coupling of object oriented data representation and their encoding/decoding. This coupling makes the classes less flexible and their reuse as data objects rather limited. To use these classes in the business logic, adapter classes or other code generation techniques are required. A better reuse can be reached by generating POJO-classes. A POJO is an acronym for Plain Old Java Object and is a class that does not have dependencies to external libraries or other conventions. This is a key issue which is not addressed properly in currently available tools.

In the next section we want to highlight some aspects that are relevant in component-oriented environments.

## 4 Component-Oriented Development

Beyond object-oriented design patterns (Gamma et al. 2009) Component Systems have gained much more acceptance in the software industry in the past decade. Many of these component-oriented concepts are explained in (Szyperski 1999). One pioneer in this area is the Java Component Framework OSGi which is standardized by the OSGi Alliance (OSGi Alliance 2011). OSGi specifies techniques to separate software modules into different bundles that communicate through defined services. Each bundle has its own lifecycle which makes OSGi systems very flexible. The defined services can be accessed locally or from a remote system (Vandenhouten et al. 2009: 142-146).

Another important paradigm is the »Inversion of Control« (IoC) by Dependency Injection (DI) design principle. Dependency Injection allows for the separation of object definition and its creation/wiring at runtime. In the context of OSGi different DI-Frameworks like Spring (Spring Source 2011), Google Guice (Google 2011a) or OSGi Declarative Services are used.

These technologies have led to more flexible, scalable and better unit-testable software systems. However, this flexibility, especially the lifecycle behavior of OSGi Bundles and Services, comes at the cost of more complex system integrity. This means that although the single components are better unit-testable, the whole system has more integrity states and is more difficult to test. In the past years these concerns have been addressed by research projects in the modeling area. SDL plays an important role, as it provides methods to model state behavior. However the automated generation of component oriented application code for distributed systems from model description is an open challenge task. In the context of the automated generation of protocol implementations, as introduced in section 1, the research task can be divided into three main categories:

1. Define a way for the description of data structures and encoding of application layer protocols. ASN.1 is important as it exactly provides methods for this; however, it does not make any assumptions about the structure (such as patterns in Gamma et al. 2009) of the generated code since it generally depends on the implementation of the ASN.1 compiler. These assumptions and transformations must be defined.
2. Describe the communication behavior of the external Device Agent systems using finite state machine models. This can mainly be done with SDL and UML.

A research question concerns modeling the business aspects of the protocol. This means that the real business application that communicates with the device does not need to know all internal aspects and states that the protocol defines. A method to hide these aspects must be developed.

- Integrate the generated application code into component systems so that it can be accessed via defined services. To achieve this, OSGi provides several features (e. g. bundling and service definition). The result should be a Device Bundle that exposes its business logic via Services and Connectors. For example, the Generation of Software Connectors is described in (Bures et al. 2008: 138-147). Another aspect is the use of those Components in a distributed environment. For these implementations restrictions are required in order to deploy these Components in a distributed environment.

To realize these tasks, it is not generally necessary to completely re-implement existing ASN.1- or SDL-Tools, but to provide extensions for the model transformation and code generation.

## 5 Example Implementation

An example how this methodology can be applied, is the implementation of a manager device for an IEEE-11073 compatible agent device. The ISO/IEEE 11073 is a family of standards for medical device communication. Two important standards are described in (Health Informatics 2004a) (Domain Information Model – i.e. the data model of the IEEE-11073 standard) and (Health Informatics 2004b) (Application profile and Communication). In the following we will put the implementation of an IEEE-11073 manager device in the context of the three main tasks listed above. Step 1 is to describe the Domain Information Model of this standard with ASN.1. These data description can also be used to generate business logic objects. These business objects should be POJO's if possible. In Step 2 the communication behavior of the IEEE 11073 standard has to be modeled. The Communication Model of this standard defines the sub-protocols ACSE (Association Control Service Element), CMDISE (Common Medical Device Information Service Element and extension of CMISE – Common Management Information Service Element) and ROSE (Remote Operation Service Element) that are all OSI protocols.

The communication behavior of the IEEE-11073 is an aggregation of these sub-protocols. Also these sub-protocols can be hidden to the business application layer. Business functions are exposed via Services in a Component System (Step 3). Communication errors whether or not they internally rely on ACSE, CMDISE, ROSE or lower layer protocols, are exposed via Service errors that can result in a service deregistration from the component system.

Figure 3 shows the modules of the proposed solution. Here the protocol logic is modeled with existing ASN.1 and SDL tools. An upper Service layer will integrate this protocol logic into the Business logic and Middleware. The Service Layer also maps the Business logic objects to the protocol objects and ensures the interaction.

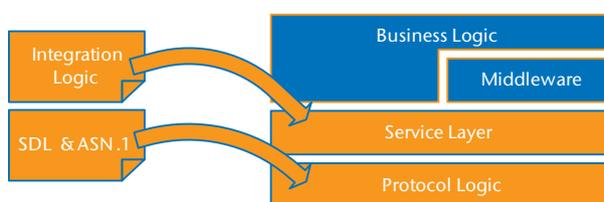


Fig. 3: Modules of the proposed solutions

The composition of these steps provides a more effective methodology for the implementation of the relatively complex IEEE-11073 standard. The availability of better modeling tools, especially in the Eclipse area (Eclipse Foundation 2011), provides a good basis to achieve this. For example, this enables the development of domain specific languages (DSL) that allow for additional descriptions of transformation procedures etc.

## 6 Conclusion

The development tools that are available do not allow for the automated development of software connectors to industrial systems (Device Agents). In this article we introduced a basic concept to refine the development on the basis of standards that are widely used in the telecommunications sector. The goal of these research efforts is a more simplified and natural development process for engineering the protocol implementation of manager connectors to external Device Agents.

## Bibliography

- Apache (2011): Apache Thrift Project Website, <http://thrift.apache.org>, cited: 31.05.2011.
- Bochmann, G.v., Rayner, D., West, C.H. (2010): Some notes on the history of protocol engineering. In: *Comput. Netw* 54, 3197–3209.
- Bures, T., Malohlava, M., Hnetyuka, P. (2008): Using DSL for Automatic Generation of Software Connectors. In: *Composition-Based Software Systems, 2008. ICCBSS 2008. Seventh International Conference on Composition-Based Software Systems*, 138–147.
- Eclipse Foundation (2011): Eclipse Project Website, <http://www.eclipse.org>, cited: 31.05.2011.
- Gamma, E., Riehle, D. (2009): *Entwurfsmuster. Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software*. Addison Wesley, München.
- Google (2011a): Google Guice Project Website, <http://code.google.com/p/google-guice>, cited: 31.05.2011.
- Google (2011b): Google Protocol Buffers Project Website, <http://code.google.com/p/protobuf>, cited: 31.05.2011.
- Grimm, R. (2009): *Digitale Kommunikation*. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Health Informatics (2004a): Health Informatics –Point-of-Care Medical Device Communication –Part 10201: Domain Information Model (2004). In: *ISO/IEEE 11073-10201:2004(E)*.
- Health Informatics (2004b): Health Informatics –Point-of-Care Medical Device Communication –Part 20101: Application Profile –Base Standard (2004). In: *ISO/IEEE 11073-20101:2004(E)*.
- ITU (2011): ITU ASN.1 Tools, <http://www.itu.int/ITU-T/asn1/links/index.htm>, cited: 31.05.2011.
- OSGi Alliance (2011): Official Website, <http://www.osgi.org>, cited: 31.05.2011.
- Spring Source (2011): Spring Framework Website, <http://www.springframework.org>, cited: 31.05.2011.
- Szyperki, C. (1999): *Component software. Beyond object oriented programming*. Addison Wesley, Harlow, England.
- Vandenhouten, R., Kistel, T., (2009): Aus der Entfernung. Verteilte Dienste mit R-OSGi. In: *iX Magazin für professionelle Informatik* (12), 142–146.

## Authors

### **Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten**

Fachgebiet Telematik  
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-359  
[ralf.vandenhouten@th-wildau.de](mailto:ralf.vandenhouten@th-wildau.de)

### **Thomas Kistel, M. Eng.**

Fachgebiet Telematik  
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-615  
[thomas.kistel@th-wildau.de](mailto:thomas.kistel@th-wildau.de)

# Will Terrorist Attacks on Air Cargo Have an Impact on World Trade? <sup>[1]</sup>

Thomas Biermann

## Zusammenfassung

Luftfracht stellt einen wichtigen Teil des zivilen Luftverkehrs dar und spielte eine zentrale Rolle für das Wachstum des Welthandels im Zeitalter der Globalisierung. International tätige Terroristen sind sich mittlerweile dieser Bedeutung bewusst und griffen 2010 von Jemen aus den Luftverkehr erstmals direkt über die Luftfracht an. In diesem Beitrag werden die Besonderheiten der Luftfracht unter dem Blickwinkel der Gefahrenabwehr diskutiert. Es zeigt sich, dass trotz verschärfter Sicherheitsmaßnahmen ein Restrisiko verbleibt – doch könnte ein Überziehen der Sicherheitsanforderungen noch größere Schäden durch ein Abwürgen der Welthandelsströme bewirken.

## Abstract

Air Cargo forms a significant part of civil aviation and played a central role in the growth of world trade in the era of globalisation. International terrorists have become aware of this importance and launched their first direct attack from Yemen in 2010. In this paper the characteristics of air cargo in regard to security issues will be discussed. It can be shown that a certain amount of risk remains in spite of improved protection strategies, but tightening security restrictions too much could have an even worse impact by strangling world trade flows.

## 1 Introduction

Terrorism has been a serious issue for civil aviation since the 1960ies and entered worldwide public awareness in the 1970ies. The events of September 2001 resulted in a severe global tightening of security regarding passengers. Despite a range of creative attempts by terrorists (including hidden bombs in soft drink bottles, shoes and underpants) international aviation has until now dealt successfully with this threat.

But the authorities as well as the general public tend to neglect the vulnerability of the second important part of the aviation business: air cargo. This sector can easily be identified as a new inviting target for attacks. In 2010 the last-minute detection of two bomb packages aboard commercial aircraft showed that terrorists finally have become aware of this angle – forcing security experts to develop innovative solutions in the face of new risks.

Air Cargo forms a backbone of world trade. As airborne logistics are extremely sensitive to disturbances by complicated and time-consuming procedures, protection poses a difficult problem. A specific strategy against terrorist threats has to be built up keeping se-

curity needs and the economic benefits of free-flowing world trade in a reasonable balance.

## 2 The Air Cargo Business

### 2.1 Air Cargo in Early Aviation History

Even inside the aviation industry most people are hardly aware of the fact that their business actually began with the transport of goods, starting with mail flights in the USA as early as 1910 with regular routes taken up 1918 in the USA and 1919 in Europe (Wensveen 2007). After World War I some dismissed fighter pilots bought out-of-service planes to offer fast transport for letters, documents and small parcels. Their planes made of strings and textiles were not equipped for passengers – and who would have dared to take a ride in such a flimsy construction anyway? It took some years until the mid 1920ies and a new generation of aircraft specifically designed for commercial use in passenger transport to get off the ground (Biermann 1986).

During World War II aircraft proved to be a powerful and reliable mode of transport for people and military goods. They could be used to carry tons of payload over

very long distances, which was especially important for the US forces fighting on two fronts far away from the mainland. After the war the Berlin airlift operations in 1948/49 helped to overcome the blockade of the city by Soviet block authorities, American and British forces flew in 15000 tons of food, fuel and clothing per day for a period of eleven months.

Ten years later the first long-range airliners with jet engines entered service – giving birth to the modern air cargo business. With a jet it is possible to fly at much higher altitudes (10 – 15 000 m) than with a propeller, making the cruise more comfortable as the plane is travelling above the clouds and winds. But these aircraft need a pressurized cabin to keep crew and passengers alive. As the pressure inside is higher than outside a considerable amount of stress has to be taken by the fuselage, which must be constructed as a cylindrical tube to minimize the danger of air leakages and breaking seams. A deck for passenger seats has to be installed, leaving unused space underneath. Airlines offer this space for cargo transport to generate extra revenue on flights already paid for by the passengers (Morrell 2011).

## 2.2 Air Cargo in the Wide-Body Age

Up to the 1970ies air cargo was still very expensive and an option only for shippers with an absolute priority on speed (Chiavi 2005) like emergency deliverance (important spare parts for example), perishables (fresh seafood) or extremely valuable goods (works of art). In 1970 the first wide-body aircraft took up commercial service. With a cross-section diameter of 6,50 m – in comparison to less than 4 m in a conventional narrow-body model – the Boeing 747 could seat up to ten passengers in one row giving a total capacity of more than 500 seats. Increasing the fuselage diameter increased the belly space underneath the main deck significantly.

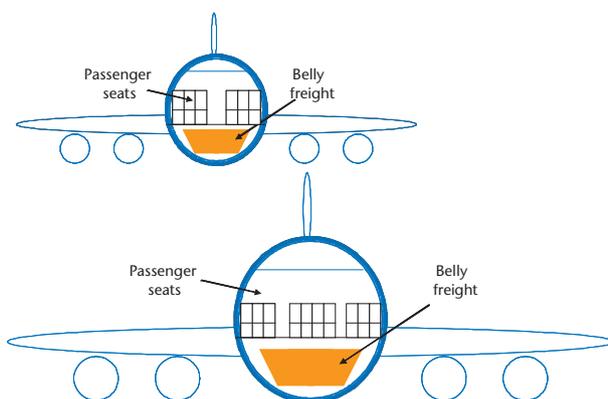


Fig. 1: Belly Freight – Narrow-Body and Wide-Body Aircraft

With wide-body aircraft dominating the intercontinental routes the additional supply of air cargo capacity brought the freight rates down to a level at which air transport could compete successfully with sea shipping. In several markets the demand was big enough to allow pure freighter operations in an all-cargo version of the Boeing 747 with a payload capacity of 100 tons. As a third option the so-called combi version featured passenger seats in the front section of the plane and an additional cargo compartment in the back of the main deck with a special side cargo door (Morrell 2011).

## 2.3 Air Cargo and Globalisation

In spite of a steep decline of air cargo rates since the introduction of wide-body aircraft – they are now less than half the amount in real terms in comparison to 1969 (Boeing 2010) – sending a container by air still is up to ten times more expensive than maritime transport. But taking into account the capital cost of the inventory taking the slow route aboard a ship shippers will profit by choosing air cargo whenever their goods have a high value per kilogram, for example electronics, machinery and even toys and fashionable textiles (Reinhold et al. 2011). The modal split share of air cargo in international trade regarding tonnage still looks tiny (2 %), but its share of the value of transported goods is 35 – 40 % of the total international trade turnover (WTO data given by Pompl 2007).

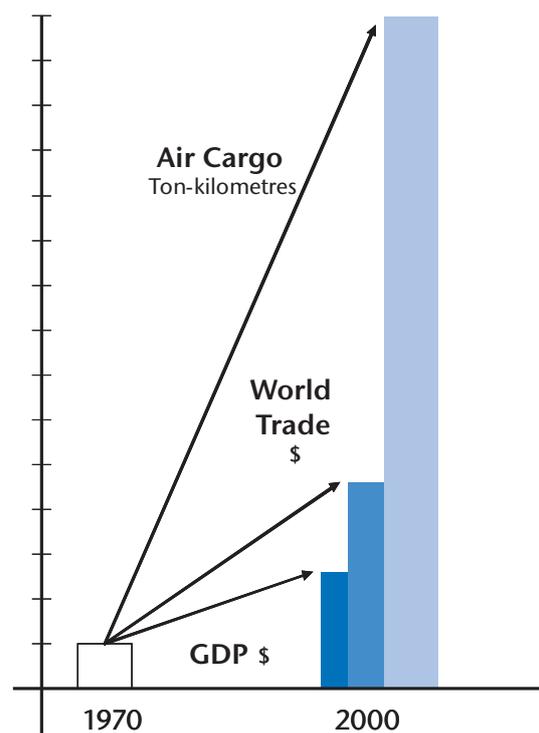


Fig. 2: Relative Growth GDP/World Trade/Air Cargo

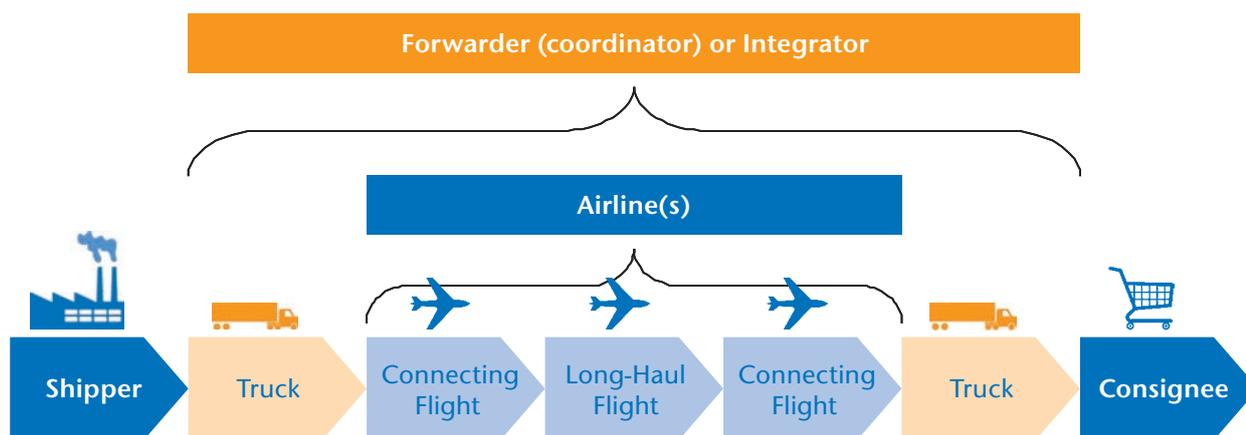


Fig. 3: The Air Cargo Transport Chain

According to World Bank statistics in the 30 year period 1970 – 2000 world GDP (gross domestic product) grew by 154 % (price adjusted \$), the trade volume by 355 % (dito) and the air cargo volume (measured in freight ton-kilometres) by 1395 % (Kasarda et al. 2004). For the future we may expect air cargo traffic volume to triple again in the next 20 years with the highest growth rates in the markets to/from and inside Asia (Boeing 2010).

The majority of airlines with a long haul network carry belly freight in their passenger planes and some also operate all-cargo aircraft (e. g. Lufthansa, Air France, Cathay Pacific). There also exists a number of independent cargo airlines flying freighters exclusively (e. g. Cargolux, CAL, Jade). Integrators offering transport chains including ground transport and distribution (as UPS, FedEx, DHL and TNT) have specialized on fast and reliable regular express transport of parcels which can be handled by one man alone without special equipment – their average shipment weight is only 5.3 kg. For many customers in manufacturing and services these integrators figure as a main element in their just-in-time logistics (Boeing 2010).

### 3 Aviation and Terrorism

#### 3.1 Moving Targets

Aircraft share a curious fate with other new modes of transport in history: they attracted the attention of criminals as soon as the general public started to get aboard. Prohibition-time gangsters in the USA were early adaptors of light airplanes for smuggling or escaping. Hi-jacking of an airplane – getting illegitimate access by violently disposing of the original owners – was

first observed in a revolution in Peru in 1931. Entering the flight-deck of an airliner with a weapon and forcing the pilot to change his course became rather common from 1958 onwards. About five incidents per year were recorded until 1967 and grew to 38 in 1968 and a historic peak of 82 cases in 1969. Until 1977 the average annual number of »sky-jackings« was an astonishing 41 per year (www.wikipedia.com).

This phenomenon is easy to understand by thinking from a »black hat« point of view, as an airliner has a high symbolic value. The passengers will usually comprise a certain number of high-status people and therefore can be used as »bargaining chips« if taken hostage. Because during flight an aircraft (especially a pressurized jet) is extremely vulnerable to damage, even small a handgun forms a convincing threat aboard.

#### 3.2 Motivation and Opportunity

The motives for a hi-jacking include frustrated employees and desperate lunatics (Schiehll 2002), but political motives play a major role in most cases in aviation. During the Cold War a hi-jacked plane crossing the Iron Curtain was regarded as a propaganda victory by the receiving country. US planes were taken over and redirected to Cuba, but there were Cuban fugitives as well diverting planes to the United States, where they could hope to be celebrated as heroes. A similar situation was observed in the China/Taiwan conflict (www.airdisaster.com). From 1968 onwards the Israeli national airline El Al became a prime target for Palestine terrorist attempts. The main objective at that time was to use aircraft, passengers and crew in exchange for imprisoned comrades in Israel or Europe.

The bargaining position of the terrorists is strongest while the aircraft is airborne. The aviation security

experts across the world therefore agreed to a common strategy stipulating that the safest way to deal with »sky-jacking« was to instruct the crew to fulfil all requests of armed offenders until the aircraft was safely sitting at an airport – any airport. Code words were distributed to flight crews and air traffic controllers to signal high-jacking details via normal in-flight communication routines without the perpetrators' knowledge. After landing the security forces would negotiate for the freedom of the hostages while preparing a surprise counter-attack with special troops and a fair chance to save innocent life. Famous counter-attack/rescue operations in Entebbe (Uganda) by Israeli in 1976 and Mogadishu (Somalia) by German special forces in 1977 demonstrated the viability of this approach ([www.aviation-safety.net](http://www.aviation-safety.net)).

### 3.3 Total Destruction

Total destruction of an aircraft en-route by a bomb hidden in the luggage compartment in a suitcase primed to explode at a certain time or altitude also has a sad long history starting with a suspected gangland murder in 1933. But today in this type of crime the motive usually also is a political one. Recent bombings or attempted bombings were performed by Palestine terrorists or their supporters targeting Israel and its allies, mainly the USA. The destruction of a Pan American Boeing 747 with 270 victims in the airspace above Lockerbie (Scotland) in 1988 is the best known example. But terrorists from India and North Korea have also managed to bring down airliners in a spectacular manner 1985 and 1987 respectively ([www.aviation-safety.net](http://www.aviation-safety.net)).

Counter-measures against a bomb in the luggage-department or a carry-on bag were developed mainly by Israeli security experts. Their starting point was a strict policy that no suitcase should travel aboard without its rightful owner sitting in that aircraft and probing whether a third party had an opportunity to hide an explosive device in a suitcase. Passengers travelling to or from Israel have to endure an intensive interview with officers specially trained to observe involuntary facial »microexpressions« before checking in their suitcases. Screening bags and people by X-Ray (and by hand in case of suspicion) is international standard procedure now, but Israeli security agents also put every bag into a decompression chamber to cause an eventual pressure-directed device to ignite. In spite of being the number one target for decades no El Al aircraft has come to harm from a terrorist attack since 1970.

### 3.4 The Last Resort: Suicide Attacks

The chosen counter-counter strategy of the terrorists looks like a pretty desperate effort to the rational European: the suicide attack. Clutching your enemy and going down with him has no precedence in Western warfare – except in some rare instances where the heroes did not have a realistic survival alternative anyway. The history of planned voluntary suicide attacks in modern times has been restricted to the Kamikaze pilots in Japan during the last stages of World War II – besides some isolated cases of madmen running amok in the hope of being killed in the course of their action.

Until 2001 security experts in Western countries regarded the suicide attack as an option only for a small number of half-crazy people without education and no future job or status perspectives against easy-to-reach targets on the ground. The high-tech arena of international aviation was regarded as practically immune against the approach of a farm boy with a rucksack filled with explosives and nails. Common wisdom maintained that a clever terrorist would always look for an escape route for himself – a suicidal terrorist by definition was a nitwit unable to get near a promising target. Even in a highly hierarchical organized and religiously motivated extremist group a well trained intelligent warrior would be much too valuable to waste in a kamikaze-like assault.

In September 2001 this conviction was shaken, as a group of 19 jihadists hi-jacked four airliners in the USA simultaneously and transformed them into weapons by flying two of them into the World Trade Centre in New York City and one into the Pentagon building in Washington, D.C., losing the fourth (also re-directed towards Washington, D.C.) to a surprise recapture attempt of passengers resulting in a crash in an open field in Pennsylvania.

This dramatic multiple hit pattern shattered the dogma that a sophisticated terrorist will never operate without an escape route. Intelligent suicide bombers with specialist training (e. g. in piloting) formed a threat against which no remedy was known (Brown 2010). Fortunately no further attacks of the 2001 calibre have occurred. In the last decade several suicidal attempts against aviation failed or were prevented because the perpetrators proved to be not up to their task – restoring some reputation to the »suicidal-simpleton«-dogma. The shoe-bomber of December 2001 aboard an American Airlines flight from Paris to Miami unsuccessful-

fully tried three times to light up the explosive material hidden in his footwear until the cabin crew stopped him (www.aviation-safety.net).

## 4 How to Cope with Terrorism in Aviation

### 4.1 Three Walls

Aviation nowadays is protected by three »city walls«. First there is a general police look-out for any kind of potential terrorists by telephone surveillance or recruiting informers. The middle wall is the entrance control to the sensitive areas at the airport and the inner wall is the citadel inside the airplane: the reinforced door to the flight deck (possibly watched by armed air-marshals) forms the last barrier to a World-Trade-Centre type of attack.

The most important aviation-specific defence measure is the second one: sealing off sensitive airport areas. There is a well guarded borderline between the »air-side« (the airfield and parts of the terminal as for example departure gates) and the uncritical »land-side«. Passing into the air-side area is feasible only at specific transfer points, where passengers, crews and airport workers will be checked for weapons or components which might be transformed into weapons later. Goods will also be examined, for example duty free merchandise or food and beverages for onboard consumption or airside bars and lounges.

This check is done by scanner machines leading to manual »frisking« only if a suspicious article is identified, for example the telltale silhouette of a handgun or a knife. The watchers are also on the lookout for a cluster of articles which might be the components necessary to construct a bomb: a triggering device, a source of energy for the ignition, the connecting wires and of course the explosive material itself, which on its own is fiendishly difficult to detect – especially in the very small amounts deemed sufficient to destruct an aircraft in flight (less than 100 g in the case of high performance military material). Passengers may be monitored by hidden cameras to detect unusual behaviour due to nervousness, sometimes sniffer dogs trained to find explosives will be deployed.

### 4.2 A Bottleneck Problem

In any case such a security checkpoint forms an irritating bottleneck, slowing the flow of passengers and

giving headaches to airport planners and airline managers. There is a debate whether the survey technique known as profiling should be used in this context: concentrating search efforts on persons belonging to a demographic group with an above average probability of terrorist activism (say young men with dark eyes) would speed up the process, as non-suspicious travellers (elderly ladies of fair complexion) could pass through a fast-line with just a quick perfunctory check.

But in Europe and North America this kind of passenger profiling is hardly used in practice: it could be regarded as an unjust discrimination against the selected demographic/ethnic group, leading to anger and frustration – and thus maybe even aiding the recruitment of new terrorists. On the other hand profiling is mistake-prone: terrorists can pay innocent-looking people to carry weapons to an air-side waiting room while the suspicious-looking attackers themselves enter the sensitive area »clean« and then take over the material.

But profiling in regard to behaviour rather than to demographic criteria can be helpful. A passenger booked on an intercontinental flight with a one-way ticket paid in cash and without any luggage probably deserves a closer look. Watching out for very nervous persons can also give hints towards the need of closer inspection, thus detecting not only potential terrorists but also drug-smugglers or criminals on the run. A suicide-bent jihadist is not a cool professional gangland killer, but rather a semi-deranged desperate expecting to go to his paradise in the next few hours – he will be under considerable and detectable psychic stress.

## 5 Air Cargo in the Terrorists Focus

### 5.1 Why Attack Cargo?

Generally air-side sealing at the airport has proved quite effective, although it is troublesome and sometimes humiliating for the travelling public. Strike attempts against civil aviation have been in decline, but due to its symbolic value an airliner still is a most attractive target for terrorists. But there is a door still slightly open for sabotage: air cargo. Contrary to public perception not all cargo pieces aboard an airplane – even a passenger plane – have undergone a security check by the authorities in the past (Gehrke 2010).

Smuggling an explosive device aboard an airplane via the cargo hold has distinct advantages from the terrorist viewpoint:

- the perpetrator will be far away from the explosion, with a good chance of getting away undetected,
- the barriers to access are easier to surmount than the strict protection measures in passenger traffic, because there are many parties involved in transport and transfer,
- with hundreds of packages of different sizes, forms, weights, origins and destinations consolidated on a pallet or in a container the sheer volume of material makes it almost impossible to examine them all.

On the other hand one cannot know exactly on which flight a consignment will travel, so it is hard to specify a target and to prime a time-bomb accordingly. An explosion in an airport warehouse would be a disappointing counter-climax from the terrorist point of view. Assaulting aviation from the cargo angle requires diligent planning and some knowledge about this business.

## 5.2 A Wake-Up Call in 2010

In October 2010 two parcels containing computer printers with explosives hidden in the toner cartridge were sent from Yemen to addresses in Chicago. They were intercepted – the first at a UK airport and the second in Dubai – after security forces had a tip-off from a turncoat informer. The terrorists probably had checked out the routes such packages would take by sending some goods in September and following their path via Internet-tracking (Gebauer 2010).

Air cargo carriers and integrators offer their customers tracking of their relevant shipments: by using a special password the customer can get a sneak view into the cargo carriers computer-system and gain detailed information in which phase of the voyage his parcel is at the moment (e. g. »truck-to-the-airport«, »warehouse«, »airplane«, »truck-from-the-airport«, »final destination«).

The Yemen incident proved to be a wake-up call for security authorities in Europe and the USA. A catastrophe was avoided by luck alone: even after the information on the bomb had been acquired it proved difficult to stop its progress. When it was finally retrieved in East Midlands airport in Great Britain the experts were at first unable to find the explosives hidden in the dusty material in the toner cartridge. »Just in case« they disjointed the cartridge from the printer thus unwittingly defusing the bomb set to explode three hours later. After this incident air cargo security gained high priority status. As is often the case in dramatic near-misses many ideas for improvement were offered. But most of them would not work at all, work only against a threat

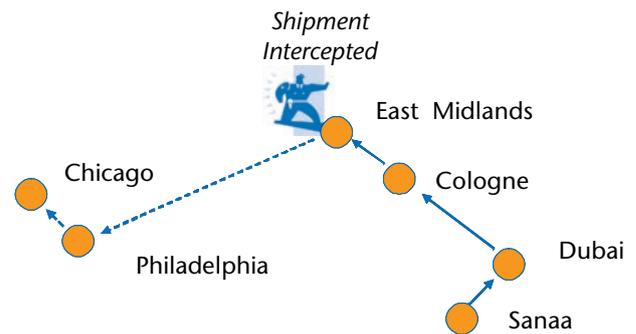


Figure 4: Route of first Yemen Air Cargo Bomb (dotted line: planned further route)

exactly identical to the Yemen incident, or would disrupt air cargo and world trade in a manner even worse than a successful hit had done. Some politicians for example suggested a general ban of cargo in a passenger plane belly (Gebauer 2010).

## 6 Assessing Risks in Air Cargo

### 6.1 Security Relevant Characteristics

Analysing the security risks in air cargo we may profit from the lessons learnt in passenger transport. But actually there is only one thing that passengers and cargo have in common: both are transported in aircraft. In most other aspects the transport of cargo is quite a different kind of business (Otto 2005):

- Cargo needs a parallel flow of information (freight bill in paper or as a data set) with the physical goods (the shipment itself), whereas passengers are intelligent agents knowing their way by carrying the necessary information with them (memorized flight schedule, ticket);
- Cargo has to be handled and carried for each transaction, passengers walk to/from the plane on their own;
- Cargo has its customers only at the point of origin and/or destination (sender and consignee), in passenger transport the customer is also the »item in transport«;
- Cargo comes in very different forms (sizes, weights, need of temperature control or special care as dangerous goods or living animals), passengers are quite homogenous in comparison and can be fitted in one standardized »loading unit« – the seat;
- Cargo shipments often are bundled in pallets or containers, so that a small parcel is hard to identify

and isolate, individual passengers on the other hand will always be identifiable;

- Cargo will travel on its pre-determined path, the customer will not change his plans after sending his shipment, passengers are flexible and may decide to change their connections at any point during their trip;
- Cargo is tolerant against changes of flights and routings by the carrier, passengers will have to be persuaded to change their plans if the airline so desires;
- Cargo is almost exclusively a business-to-business venture, in passenger services you have to deal with companies – sending business travellers – as well as individual consumers or consumer groups in the case of leisure travel (Otto 2005).

## 6.2 Profiling Shipments

Air cargo security could be achieved without seriously disrupting international trade flows – at least in theory: if a thorough check of the documentation is realized, there is no need to inspect the physical goods if the integrity of the shipment can be guaranteed in every stage of the journey – ensuring that it contains exactly what the documentation claims.

In this business-to-business environment the vast majority of transactions will be done by a relatively small number of major customers. Routine shipments delivered by trustworthy partners (companies, forwarders) can be regarded as safe, as far as it is assured that these shippers have taken all the necessary precautions to protect their merchandise against third-party manipulation. Air cargo customers with a certified security system – called »known shippers« – can have their container units and shrink-wrapped palettes accepted without closer inspection (Elias 2007). Of course a monitoring of their security systems by the authorities will be necessary and regular checks of samples will be performed, but the bulk of shipments may flow without time-consuming physical screening. Only packages brought in by customers not in the »known shipper« database have to be examined in detail.

In air cargo profiling of shipments can be done without damaging the dignity of demographic groups by discrimination. This can be illustrated by default in the Yemen incident: why would someone send office equipment from this country (which does not manufacture any) to Jewish institutions in the USA? Nobody thought of asking this simple common-sense question as the parcels were accepted.

Airlines could install computer program screening their airway bills with an algorithm designed to detect suspicious patterns and so identify candidates for a closer look by human experts at the documentation and an X-ray device at the physical goods. Programs of this kind are already available in other areas of security: credit card companies for example detect sudden changes of behaviour in the card use pattern of their individual customers and take this as an indicator of theft or fraud. But this idea seems stymied by the fact that documentation in air cargo is still predominantly done in paper and not in electronic form (Ehrler 2011).

## 6.3 Ensuring Integrity

A parcel bound to travel aboard a plane goes a long way without much chance of close observation. Traditional security measures were focussing on the danger of theft – someone taking something out of the shipment. But in our context the main danger is that of someone putting something in – a bomb. Putting all merchandise in a locked container and wrapping all open palettes with shrinking foil is common practice. Special seals will also be applied, »electronic seals« using RFID-technology are becoming very popular. But as weight is an issue in aeronautics, an air cargo container is a lightweight construction and not a fortified vault, so a chance for tampering will remain.

There is an additional risk to integrity: in Europe a huge amount of air cargo is transported by trucks, as only wide-body aircraft offer sufficient capacity for carrying it. The long-range routes served by these aircraft are concentrated on a small number of big airports like Frankfurt, Amsterdam or Paris. To offer a convenient »cargo product« all over the country the airlines operate »road feeder«-services: shipments can be delivered to a local airport to be transported by a truck operated under the responsibility of the airline (with a »flight number«) to the main airport, where it is transferred to the long haul-service. Usually there is no threat to cargo integrity »in-flight« as long as a real airplane is the mode of transport. But if a container is accepted as air cargo and then has to travel 200 km on the road it can be the object of manipulation, if a truck driver takes a break or is an accomplice in the felony.

Securing integrity of the shipments by physical inspection before transferring it into a safe air-side warehouse is a time-consuming difficult task, so all the participants in the transport chain have tried to avoid it, for example by using the »known shipper«-regulation.

In the last few years new machines have become available for physical screening by X-ray or similar technology up to »drive-through«-solutions, where trucks can pass under a special X-ray equipped arc ([www.rapiscan-systems.com](http://www.rapiscan-systems.com)). In the near future we may expect that all cargo items will be put to the same screening that carry-on-bags have to undergo at the airport.

#### 6.4 Employees as a Risk Factor

The gravest danger in security is the inside job – the participation of a member of the »victim organisation« in the crime. The probability of such an occurrence might be low, but the consequences would be very severe. In passenger services the risk of employee participation in terrorist acts should be negligible: ground crews – for example at the check-in gates – have to work with a lot of communication between team members as well as customers. It is not very probable that the smiling airline staffer giving out the boarding pass will smuggle a bomb into a suitcase the passenger just handed over. A terrorist playing the role of a loyal employee in this environment is rather hard to imagine.

The situation is quite different in cargo operations: all items have to be moved and will be stored for hours or even days. This puts up a hazard not only during the journey to the airport but also inside the perimeter. There is a lot of manual labour to be done – and in a seasonal business many part-time helpers are involved. Why not persuade an employee with access to the goods to hide a little something in a container? It is a well known (although not widely published) fact that criminal gangs are quite successful in infiltrating air cargo operations where valuable and easy to conceal merchandise can be got at. Maritime ports and some international airports have a long tradition as hotspots for organized crime ([www.mafiatoday.com](http://www.mafiatoday.com)).

Terrorists might entrap a bona-fide worker into cooperation by bribe or blackmail. They could also apply for jobs with an appropriate set of forged (or even real) papers. Of course there are screening processes for all people aspiring to work inside an airport, but until now this has not been a very diligent check for low-level cargo workers never bound to come near the airplanes.

Infiltrating an air cargo facility in preparation for an attack still looks a realistic scenario. In most European countries it would not be too difficult to find suitable individuals with a clean curriculum vitae and let them work innocently for several months until they know their ways around and the time has come to place an

explosive device. Stricter screening of applicants is not a solution, because the political, social and ethical problems discussed in regard to profiling of passengers arise also if you look at employees. A young Muslim student sporting a big beard is looking for a summer job as a forklift operator in air cargo – should the human resource department turn him down just on the basis of general suspicion of bad intent?

## 7 Conclusions and recommendations

Fast and reliable intercontinental transport for people and goods today is a main prerequisite for global trade. In the past the obstacles to world trade have been technological (slow and fragile means of transport in the early days of ocean shipping) or administrative (duties and import restrictions). By overcoming these obstacles the world has gained huge economic benefits. They are endangered by terrorist threats – and by the risk of over-tightening the security reigns out of fear. International air passenger travel shows us that an acceptable balance between freedom to travel and security can be found despite a high level of menace.

Because almost everybody has some personal experience of travel benefits and drawbacks, passenger air transport easily caught the attention of the public and the media. On the other hand people hardly ever spent a thought on air cargo. In the last few years the growth of global trade has made it much more visible – but unfortunately also to the wrong people: today terrorists are aware of the option to strike civil aviation by placing a bomb in the air cargo flow. The scheme originating from Yemen in 2010 failed – not because security measures were functioning well, but due to happenstance in form of an insider tip-off.

In passenger air transport a high level of protection against hi-jacking and bombing was implemented by a coordination of international effort. In air cargo it should also be possible to build up a workable security system without killing off the business model and therefore encumbering global trade. A dedicated global security system has to be designed with the specifics of international air cargo in mind. But in cargo as well as in passenger services the solution will not be found by just improving technology, the human factor still poses the highest risks.

We may assume that after the Yemen incident terrorists will have evaluated the outcome and are planning

a fresh attempt against a promising target – say a long-range passenger aircraft with a US or maybe European or Israeli flag. Sadly we have to live with a cruel arms race between terrorists and security, but fortunately security has scored far better in the long run – so far. But it is quite probable that the »other guys« are preparing for their next strike right now.

## Author

**Prof. Dr. Thomas Biermann**

Vorstandsvorsitzender des WIT – Wildau Institute of Technology/  
Wildau Technical University of Applied Sciences  
Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
thomas.biermann@th-wildau.de

## Endnotes

- [1] This paper is based on presentations given by the author at the EBES Conference in June 2011 in Istanbul and the GARS-WIT Air Cargo Workshop in Wildau in October 2011.

## References Literature

- Biermann, T. (1986): Die Bedeutung des Luftverkehrs der »sechsten Freiheit« für den Wettbewerb im Luftverkehr. Düsseldorf.
- Chiavi, R. (2005): Airfreight Development Supporting the Strategy of Global Logistics Companies. In: Delfmann et al.
- Delfmann, W., Baum, H., Auerbach, S., Albers, S. (2005): Strategic Management in the Aviation Industry. Aldershot.
- Ehrler, V. (2011): Beyond Supply-Chain Optimisation: Implications of Electronic Documentation on the Air Cargo System. GARS-WIT Air Cargo Workshop, Wildau 2011.
- Gehrke, T. (2010): Sicherheitsrisiko Luftfracht in der Passage. MBA-Master Thesis, Wildau.
- Maurer, P. (2006): Luftverkehrsmanagement. 4th ed., München.
- Morrell, P. (2011): Moving Boxes by Air. Aldershot.
- Otto, A. (2005): Reflecting the Prospects of an Air Cargo Carrier. In: Delfmann et al.
- Pompl (2007): Luftverkehr. 5th ed., Berlin – Heidelberg – New York.
- Reinhold, A., Becker, A., Phleps, P. (2011): Air Cargo 2030+ – Between Globalisation, Customer Behaviour and Environmental Regulations. GARS-WIT Air Cargo Workshop, Wildau.
- Szöbb, U. (2011): Sicherheitsrisiko Luftfracht. MBA-Project Work (unpublished), Wildau.
- Wensveen, J. (2007): Air Transportation. 6th ed., Aldershot.

## References Internet/World Wide Web

- Boeing World Air Cargo Forecast (2010), [www.boeing.com](http://www.boeing.com), cited: 01.11.2010.
- Brown, L. (2010): New Technology Can Dramatically Enhance Security and Thwart Terrorist Attacks, [www.airliners.net](http://www.airliners.net), cited: 05.02.2010.
- Elias, B. (2007): Air Cargo Security – CRS Report for Congress, [www.fas.or](http://www.fas.or), cited: 05.01.2011.
- Gebauer, M. (2010): World Scrambles to Tighten Air Cargo Security, [www.spiegel.de](http://www.spiegel.de), cited: 02.11.2010.
- Kasarda, J., Green, J. (2004): Air Cargo – Engine for Economic Development, [www.tiaca.org](http://www.tiaca.org).
- Shiell, C. (2002): Motives of Monsters, [www.airliners.net](http://www.airliners.net).



# Nachhaltiges Projektmanagement am Beispiel der Einführung von Enterprise Resource Planning-Software

Bertil Haack

## Zusammenfassung

Obwohl »Nachhaltigkeit« beinahe schon ein Modewort ist, gibt es bisher nur sehr wenige Anstrengungen in Richtung auf ein nachhaltiges Projektmanagement. Der vorliegende Beitrag dient dazu, einen praktikablen Vorschlag für nachhaltiges Projektmanagement am Beispiel der Einführung von Enterprise Resource Planning-Software (ERP) zu entwickeln. Darin wird das klassische Projektmanagement in zwei Schritten zum nachhaltigen Projektmanagement ausgeformt. Das Ergebnis kann auf andere als die betrachteten Projekte übertragen werden.

## Abstract

»Sustainability« is nearly a buzzword. Nevertheless activities concerning sustainable project management are few in number. With regard to the implementation of Enterprise Resource Planning Software (ERP) this paper offers a feasible proposal for sustainable project management. Starting with classical project management two steps are necessary to get the sustainable project management concept which can also be transferred to other types of projects.

## 1 Einleitung

Die Forderung, nachhaltig zu agieren, wird mittlerweile in nahezu allen beruflichen und sehr vielen privaten Bereichen aufgestellt. Abgesehen davon, dass Nachhaltigkeit damit bedauerlicherweise auch den Charakter eines Modeworts und Trends gewonnen hat, stellt sich die Frage, wie Nachhaltigkeit in der Praxis realisiert werden kann. Diese ist im Bereich des Projektmanagements bisher eher nur rudimentär beantwortet worden (vgl. etwa Sustainable-Project-Management 2011).

Der vorliegende Beitrag dient dazu, einen praktikablen Ansatz für nachhaltiges Projektmanagement am Beispiel der Einführung von Enterprise Resource Planning-Software (ERP) zu entwickeln.

Dazu wird zunächst die Ausgangsposition der Überlegungen geklärt (Kapitel 2). Anschließend wird das klassische Projektmanagement skizziert und in zwei Schritten zum nachhaltigen Projektmanagement ausgeformt (Kapitel 3 bis 5). Die Ausführungen enden mit einer Diskussion des vorgeschlagenen Projektmanagementkonzeptes (Kapitel 6).

## 2 Ausgangsposition

Projekte sind nahezu allgegenwärtig in der beruflichen Praxis, sodass systematisches Projektmanagement mehr und mehr als kritischer Erfolgsfaktor betrachtet werden muss, der wesentlich zum erfolgreichen Agieren und Überleben von Unternehmen am Markt beiträgt (vgl. etwa Köster 2010: xxii; Kerzner 2006: xix).

Dies gilt auch und gerade für den Bereich der in Unternehmen erforderlichen IT-Systeme und dort insbesondere für die Einführung von SAP als *dem* Vertreter von ERP-Systemen weltweit (Gartner Group 2011): »Alle etablierten SAP-Beratungsunternehmen beherrschen gleichermaßen die Einführung der ERP-Software SAP bei ihren Kunden. Sehr gutes Projektmanagement ist daher ein wichtiges Differenzierungskriterium eines SAP-Beratungsunternehmens, um sich langfristig am Markt behaupten zu können.« (Schulz 2011) Entsprechend wird hier das Augenmerk auf das Projektmanagement bei der Einführung von SAP gerichtet.

## Projekt (DIN 69901: Durch Einmaligkeit der Bedingungen gekennzeichnetes Vorhaben)

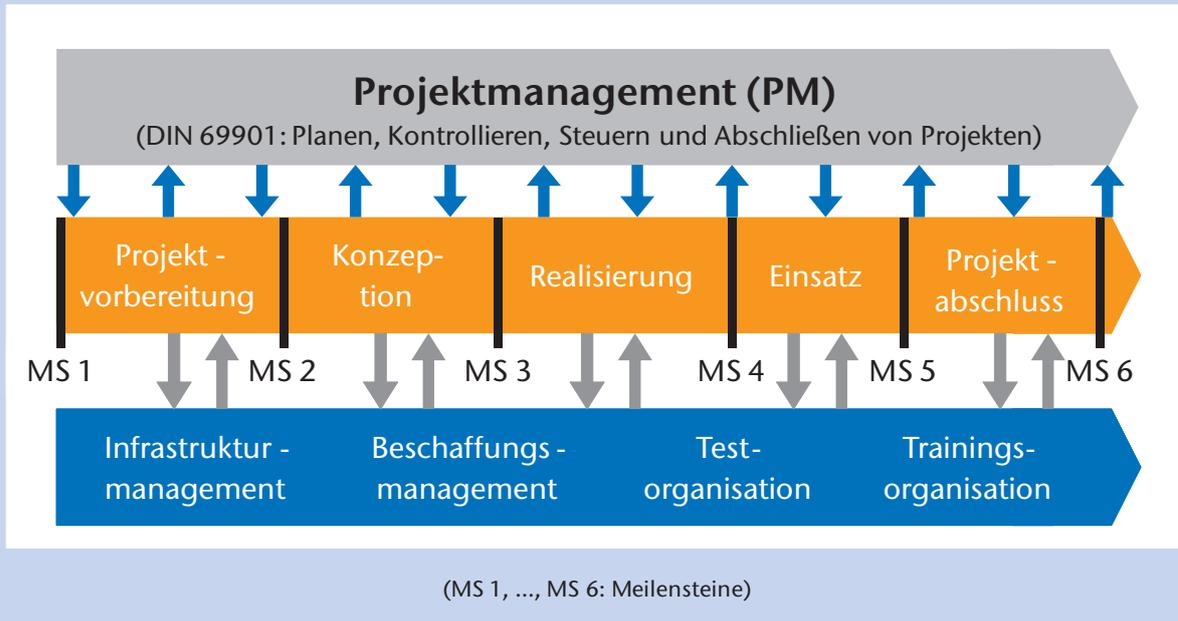


Abb. 1: Allgemeines Phasenmodell für Projekte (eigene Darstellung in Anlehnung an Gadatsch 2008: 49)

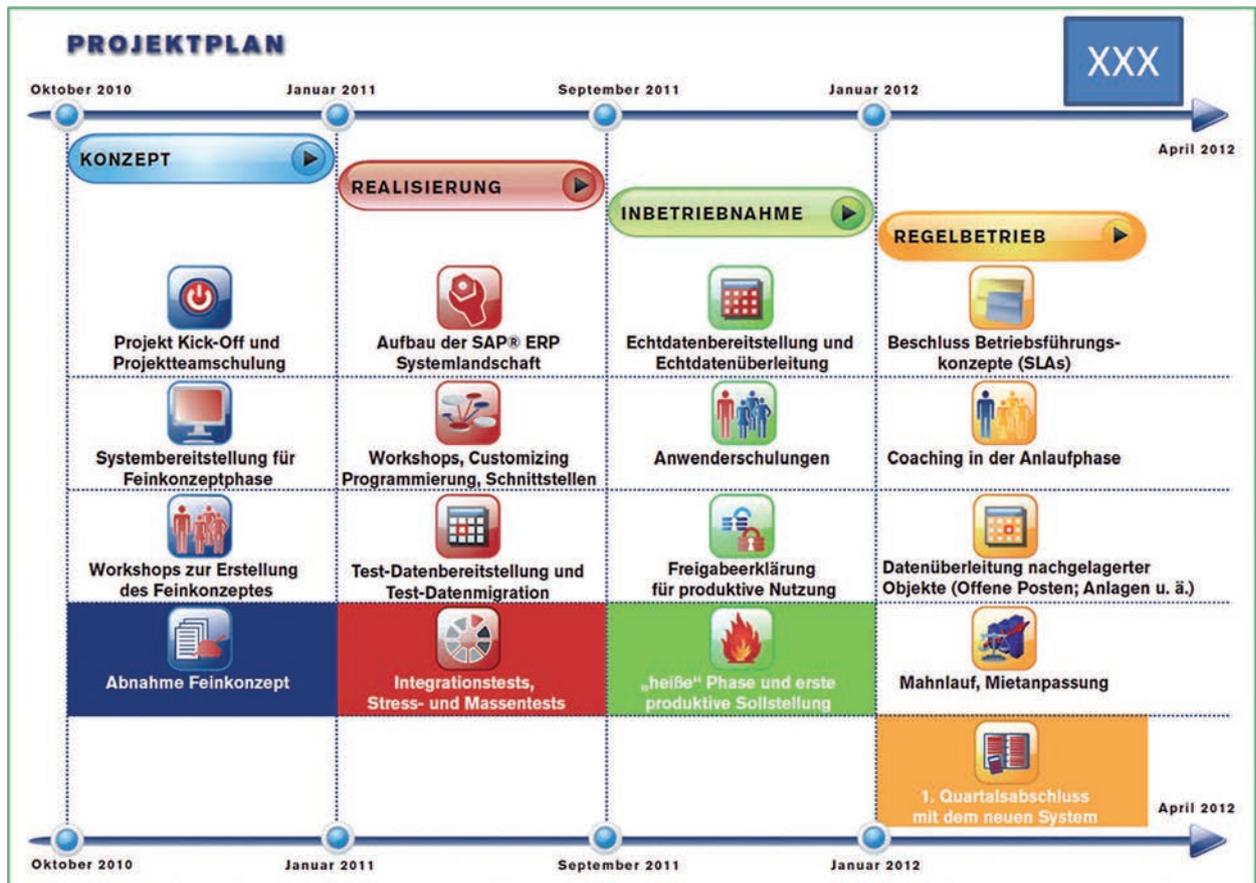


Abb. 2: Projektplan zur Einführung von SAP im Liegenschaftsbetrieb XXX (PROMOS consult 2011)

### 3 Klassisches Projektmanagement bei der ERP-Einführung

Die Implementierung von ERP-Software in einem Unternehmen ist ein durch die Einmaligkeit seiner Bedingungen gekennzeichnetes Vorhaben, erfüllt also die Kriterien für ein Projekt gemäß DIN 69901 (Beuth 2011) und kann durch ein Vorgehen entsprechend Abbildung 1 realisiert werden.

In der Praxis stellt sich dieses Vorgehen etwa wie in Abbildung 2 dar. Hierbei handelt es sich um den Projektplan per Februar 2011 der PROMOS consult zur Einführung von SAP bei einer größeren Liegenschaftsverwaltung XXX (Name auf Wunsch anonymisiert) in der Bundesrepublik Deutschland. Die PROMOS consult selbst, Kooperationspartner der TH Wildau, gehört zu den Marktführern in Deutschland im Bereich der Einführung und des Betriebs von SAP-Systemen.

Dieser Projektplan verweist auf die klassischen Projektmanagementziele:

- Ressourcen/ Kosten
- Zeit
- Leistung

Eine bestimmte Leistung soll im Rahmen eines festgelegten Budgets in einer vorgegebenen Zeit erbracht werden (s. Abbildung 3).

### 4 Erweitertes Projektmanagement bei der ERP-Einführung

SAP selbst schlägt mit dem sogenannten Accelerated SAP (ASAP) ein etwas komplexeres Phasenmodell zur SAP-Einführung vor. Dieses unterscheidet sich vom klassischen Phasenmodell (Abbildung 1) bzw. vom Ansatz der PROMOS consult (Abbildungen 2 und 3) vor allem dadurch, dass es drei weitere Dimensionen aufzeigt, mit denen Projektmanagemententscheidungen im Wechsel wirken:

- Program Management
- Risk Management
- Quality Management

Projektmanager müssen danach auch die Beziehungen ihres Projekts zu anderen Vorhaben im Unternehmen wie beispielsweise Organisationsprojekte zur Veränderung von Geschäftsprozessen, die möglichen Projektrisiken und das Qualitätsmanagement bewusst in ihre Überlegungen und Entscheidungen einbeziehen (s. Abbildung 4).

Ein in diesem Sinne erweitertes Projektmanagement muss also mindestens sechs Zieldimensionen in Einklang bringen. Gleichwohl weist es in Bezug auf die eingangs gestellte Frage nach wie vor ein wesentliches Manko auf: ein Projektmanagement gemäß dem klas-

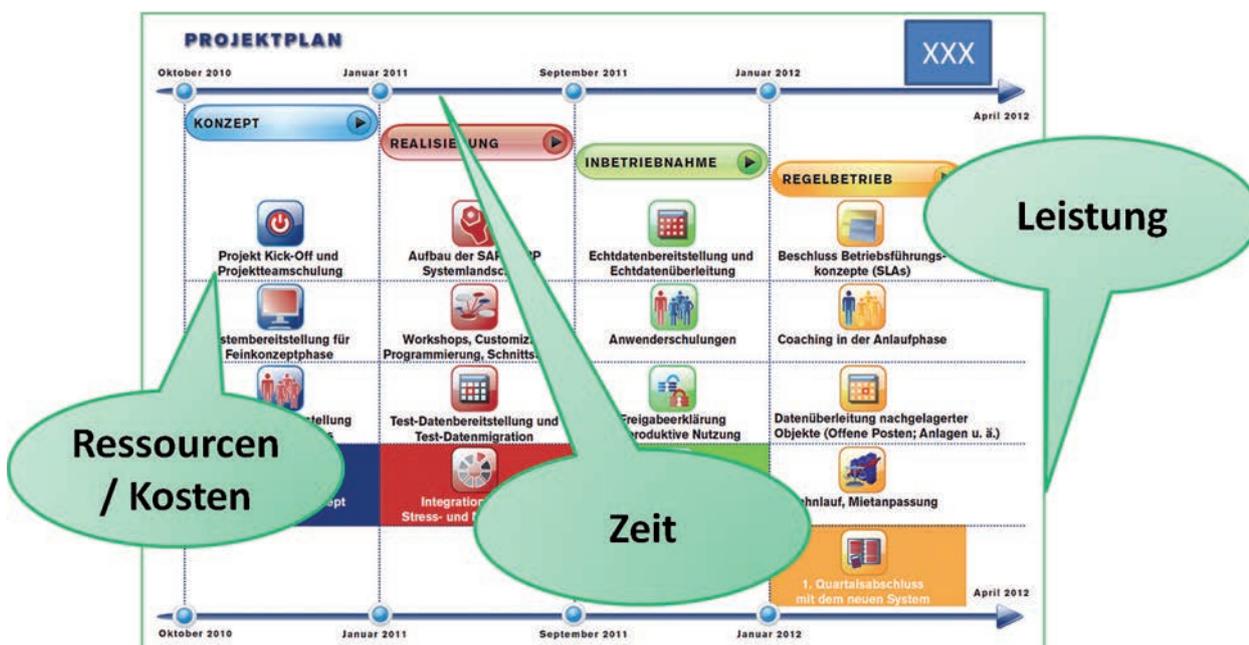


Abb. 3: Klassische Projektziele bei der SAP-Einführung im Liegenschaftsbetrieb XXX (eigene Darstellung in Anlehnung an PROMOS consult 2011)

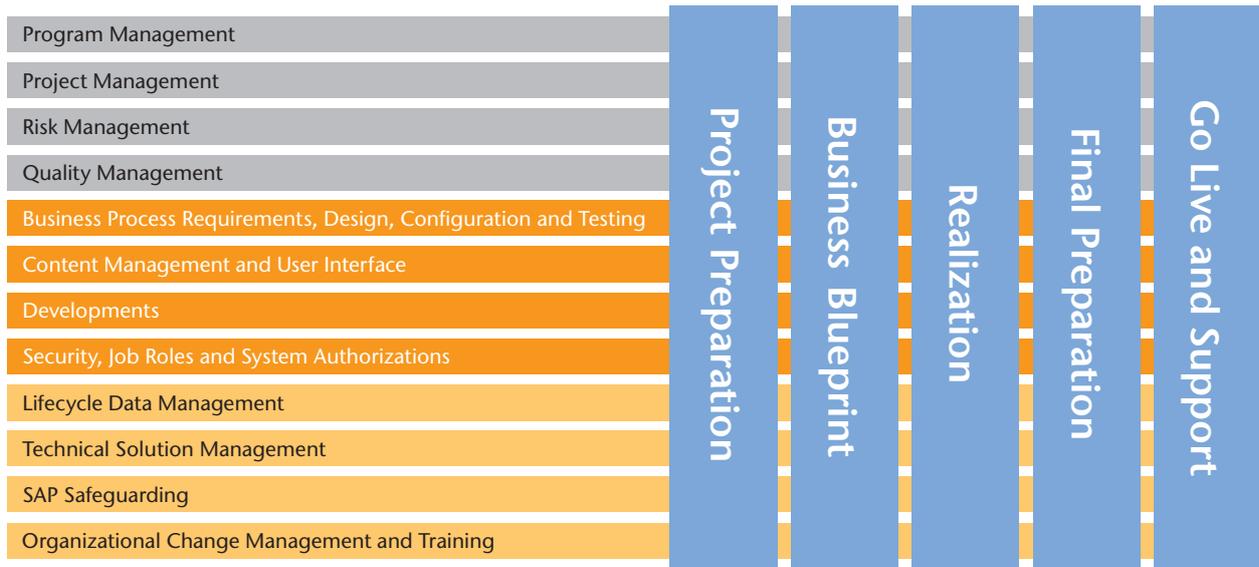


Abb. 4: Projektmodell Accelerated SAP (ASAP) der SAP AG (eigene Darstellung in Anlehnung an Stöckmann 2011 und Becker et al. 2008: 336ff.)

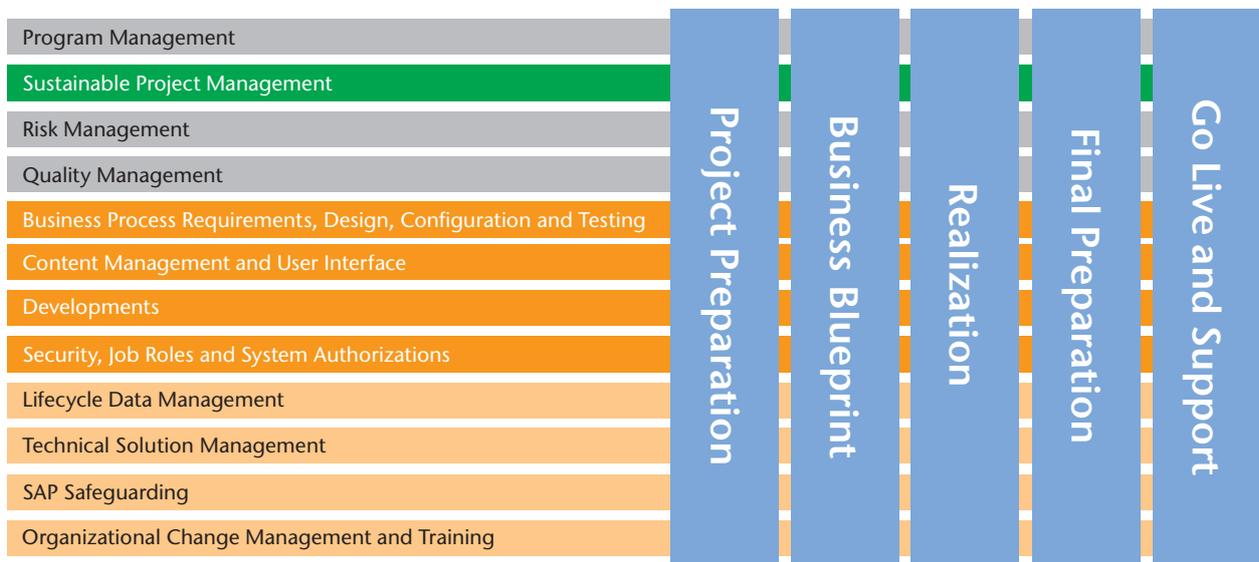


Abb. 5: Projektmodell Accelerated Sustainable SAP (AS²AP) (eigene Darstellung in Anlehnung an Stöckmann 2011 und Becker et al. 2008: 336ff.)

sischen und dem erweiterten Projektmodell nimmt Umweltauswirkungen des Handelns kaum in den Blick – ein Sachverhalt, der nicht zuletzt durch die Erfahrungen des Autors aus über 20 Jahren Projektarbeit im IT-Umfeld bestätigt wird!

Gerade die klassischen Zieldimensionen führen dazu, dass der Fokus des Projektmanagements auf das Projektende ausgerichtet ist. Es kommt darauf an, die Projektvorgaben einzuhalten und die gewünschte Leistung zur richtigen Zeit zu erbringen, ohne den finanziellen Rahmen für das Projekt zu sprengen.

Fragen wie etwa die nach der Vermeidung von Emissionen aufgrund von Dienstreisen oder die nach der Reduktion von Ressourcenverbräuchen werden zumin-

dest im IT-Bereich in der Regel ebenso selten gestellt wie die nach den Auswirkungen des Projektergebnisses auf die Umwelt.

Dabei zeigt beispielsweise die Diskussion der Klimaschädlichkeit von Google-Anfragen (eCommerce 2011), dass jede Nutzung von IT-Systemen Auswirkungen auf die Umwelt hat. Diese sind durch das Design der Projektlösung so weit wie möglich zu reduzieren. Das kann nur in der Projektlaufzeit geschehen, da die Projektlösung in eben jener Zeit entwickelt wird und damit Konsequenzen für deren Nutzung im Anschluss an das Projekt festgelegt werden. Entsprechend ist eine Ausweitung der Zieldimensionen des Projektmanagements auf den Komplex »Nachhaltigkeit« erforderlich.

## 5 Nachhaltiges Projektmanagement bei der ERP-Einführung

Um diese Erweiterung leisten zu können, ist zunächst das Verständnis von »Nachhaltigkeit« (»sustainability«) zu klären. Hier hat sich die Sicht der Brundtland-Kommission durchgesetzt: »Im übergreifenden Sinne bewertet ›Nachhaltigkeit‹ gegenwärtiges Denken und Handeln unter dem Gesichtspunkt, die Lebenssituation der heutigen Generationen zu verbessern, ohne die Zukunftsperspektiven der kommenden Generationen zu verschlechtern. [...] Ziel [...] ist die Sicherstellung und Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeit. Diese bedingen einander [...] und können nicht ›teiloptimiert‹ werden.« (Deutscher Bundestag 2004)

Damit bedeutet die Einbeziehung von Nachhaltigkeit in das Projektmanagement, die Zielstellungen

- ökonomische Nachhaltigkeit,
- ökologische Nachhaltigkeit und
- soziale Nachhaltigkeit

simultan mit den vorab genannten sechs Projektmanagementdimensionen zu berücksichtigen und mit jenen zu harmonisieren.

Entsprechend wird vorgeschlagen, das Projektmodell ASAP zur SAP-Einführung, wie in Abbildung 5 dargestellt, um den Aspekt sustainability zum Projektmodell Accelerated Sustainable SAP (AS<sup>2</sup>AP) zu ergänzen und so den gesuchten Ansatz für ein nachhaltiges Projektmanagement am Beispiel der Einführung von Enterprise Resource Planning-Software (ERP) zu liefern.

Konkrete Maßnahmen derart nachhaltigen Projektmanagements können beispielsweise darin bestehen, so weit möglich

- Green IT als Hardware-Basis für den Betrieb der ERP-Lösung auszuwählen,
- Projektteams aus lokal in der Nähe des Projektorts ansässigen Mitarbeitern zu bilden,
- Dienstreisen durch Telefon- oder Videokonferenzen zu ersetzen sowie
- Ausdrucke von Unterlagen zu vermeiden oder mindestens zwei Seiten auf ein Blatt zu drucken.

## 6 Diskussion

Offenbar bietet Accelerated Sustainable SAP (AS<sup>2</sup>AP) konkrete Maßnahmen, wie Nachhaltigkeit in das Projektgeschehen einbezogen werden kann. Gleichwohl stellt sich die Frage, ob es für diese Ideen wie für den Einsatz von Green IT und die Nutzung von Videokonferenzen eines Modells wie AS<sup>2</sup>AP bedarf. Diese Frage kann auch so formuliert werden, ob die beschriebene Einbeziehung von Nachhaltigkeit in das Projektmanagement eine triviale oder eine nicht-triviale Ausweitung des ursprünglichen Ansatzes ASAP und damit auch des klassischen Projektmanagements darstellt. Hierauf ist zum aktuellen Zeitpunkt keine abschließende Antwort möglich. Dazu sind weitere Forschungsaktivitäten erforderlich. Die Anstrengungen seitens der Sustainable Project Management-Initiatoren, den Projektmanagement-Standard PMBoK um Nachhaltigkeitsaspekte zu ergänzen (Sustainable-Project-Management 2011), geben Anlass für vorsichtigen Optimismus.

Unabhängig davon hat AS<sup>2</sup>AP eine gewisse Komplexität und einen Umfang, die die Anwendung des Projektmodells zumal in weniger problematischen Projektumfeldern wie vielleicht bei der SAP-Einführung in einem kleineren Unternehmen in Frage stellen. Die Erfahrung zeigt, dass auch ausgereifte Projektansätze in der Praxis häufig als zu schwer zu handhaben, zu zeitintensiv o. ä. eingeschätzt und entsprechend zurückhaltend eingesetzt werden. Hier gilt, dass das Projektmodell in jedem Einzelfall sinnvoll taylorisiert, d. h. auf die Projektbelange zugeschnitten, werden kann und soll.

Darüber hinaus ist es notwendig, sich Gedanken zur Werkzeugunterstützung für AS<sup>2</sup>AP zu machen. Es ist also noch zu klären, welche Tools erforderlich und geeignet sind, die Ausrichtung von Projekten auf ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsziele zu unterstützen.

Schließlich stellt sich die Frage, ob die vorliegenden Gedanken auch auf andere Projekte in anderen Bereichen übertragen und Nachhaltigkeit damit zum Gegenstand jedes Projektmodells werden kann. Das kann bejaht werden, da die Ausführungen keine Einschränkungen diesbezüglich aufweisen.

## Literatur

- Becker, J., Kugeler, M., Rosemann, M. (Hg.) (2008): Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Springer Verlag, Berlin.
- Beuth (2011): Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 1: Grundlagen. <http://www.beuth.de/langanzeige/DIN-69901-1/de/113428320.html>, Zugriff: 10.08.2011.
- Deutscher Bundestag (2004): Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: Nachhaltigkeit. Der aktuelle Begriff 06/2004, 6. April 2004, Berlin.
- eCommerce (2011): Google als Klimasünder beschuldigt. <http://www.e-commerce-magazin.de/ecm/news/google-als-klimasuen-der-beschuldigt>, Zugriff: 10.08.2011.
- Gadatsch, A. (2008): Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis. Eine Einführung für Studenten und Praktiker, Vieweg Verlag, Wiesbaden.
- Gartner Group (2011): Gartner Says Worldwide Business Intelligence, Analytics and Performance Management Software Market Grew 4 Percent in 2009, <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1357514>, Zugriff: 10.08.2011.
- Kerzner, H. (2006): Project Management – A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (NJ).
- Köster, K. (2010): International Project Management. SAGE Publications Ltd, London.
- PROMOS consult (2011): Projektplan der PROMOS consult GmbH zur Einführung von SAP im Unternehmen XXX. PROMOS consult, Berlin.
- Schulz, V. (2011): Interview. Geschäftsführer der PROMOS consult GmbH, Berlin.
- Stöckmann (2011): Vorgehensmodelle zur Einführung von ERP Software: AcceleratedSAP (ASAP) und Accenture Delivery Methods (ADM). [http://www.iwi.uni-hannover.de/lv/seminar\\_ws06\\_07\\_de/Stoekmann/files/pdf.pdf](http://www.iwi.uni-hannover.de/lv/seminar_ws06_07_de/Stoekmann/files/pdf.pdf), Zugriff: 10.08.2011.
- Sustainable-Project-Management (2011): Sustainable Project Management. <http://www.sustainable-project-management.org/cms/>, Zugriff: 10.08.2011.

## Autor

**Prof. Dr. Bertil Haack**  
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-914  
 bertil.haack@th-wildau.de

# Ein Wiki-basiertes Dokumentationssystem für das Qualitätsmanagement der Hochschule

*Jascha Silbermann, Andrea Schmid*

## Zusammenfassung

Zum verbesserten Management der umfangreichen Prozessdokumentation wurde an der Technischen Hochschule Wildau [FH] im Rahmen des fortlaufenden TQM-Prozesses (TQM – Total Quality Management) ein Dokumentationssystem für das Qualitätsmanagement auf Wiki-Basis aufgebaut. Die Organisation der Prozessdokumentation wurde im Zuge dessen von einem Datei-basierten auf einen Wiki-basierten Ansatz umgestellt. Sämtliche Inhalte wurden in das neu geschaffene TQM-Wiki migriert. Der Aufbau des TQM-Wiki erstreckte sich über ca. sechs Monate und umfasste die Phasen Vorlauf, Aufbau und Abschluss, die Gesamtarbeitszeit belief sich auf ca. 250 – 300 Stunden. Zur technischen Realisierung des Prozessdokumentationssystems wurde die freie Software DokuWiki verwendet. Das TQM-Wiki ermöglicht die kollaborative Verwaltung und effiziente Nutzung der Qualitätsmanagementdokumentation durch alle Beteiligten. Die Kommunikation über Hochschulprozesse wird transparent und bezieht die Hochschulangehörigen ein. Die Dokumente liegen im HTML-Format vor und können in weitere Standardformate exportiert werden. Der Aufwand für eine Vielzahl häufig durchzuführender Veränderungsprozesse wurde durch den Wiki-basierten Ansatz deutlich reduziert.

## Abstract

The TH Wildau [FH] is the first German Technical University of Applied Sciences to have started a total quality management (TQM) approach based on the norms ISO 9001 and PAS 1037. The university's office for total quality management has over the last nine months implemented a new wiki-based quality management documentation system (QMDS) with the goal of improving the storage, structuring, management and dissemination of the entirety of the university's quality management documentation. This new system is completely web-based and will provide a better user experience not only for university staff and students, but also allow the office for quality management to continually improve the quality management documentation with relative ease. The differences between the formerly used file-based system and the newly constructed wiki-based organization and the work flows in use with both approaches are compared and contrasted. In conclusion the wiki-based approach is found to be the more efficient one, as process complexity can be shown to be greatly reduced across a range of standard tasks.

## 1 Einleitung

### Qualitätsmanagement an der TH Wildau [FH]

Die Technische Hochschule Wildau [FH] hat als erste Hochschule Deutschlands ein Qualitätsmanagement-system nach den Normen ISO 9001 und PAS 1037 aufgebaut, welches im Sommer 2009 erfolgreich zertifiziert wurde (TH Wildau 2009). Das Qualitätsmanagementsystem strukturiert die Hochschulprozesse und legt Verantwortlichkeiten und Dokumentationsanforderungen fest (TH Wildau 2009: 1.4). Die Prozessdokumentation wurde ursprünglich als Sammlung von ca. 100 Microsoft Word Dokumenten aufgebaut, die als

PDF-Dateien konvertiert und auf der Website der TH Wildau [FH] veröffentlicht wurden.

Die Verwaltung der Prozessdokumentation obliegt dem Büro für Qualitätsmanagement, einer Stabsstelle der Hochschule. Die Qualitätsmanagementbeauftragte (QMB) der Hochschule ist zuständig für die Aufrechterhaltung, Pflege und Weiterentwicklung des Qualitätsmanagementsystems. Da im Sinne des umfassenden und gelebten Qualitätsmanagements alle Hochschulangehörigen der Organisation in die QM-Prozesse einzubinden sind, berät die QMB die Hochschulbereiche in Qualitätsfragen und koordiniert notwendige Anpassungen des Qualitätsmanagementsystems.

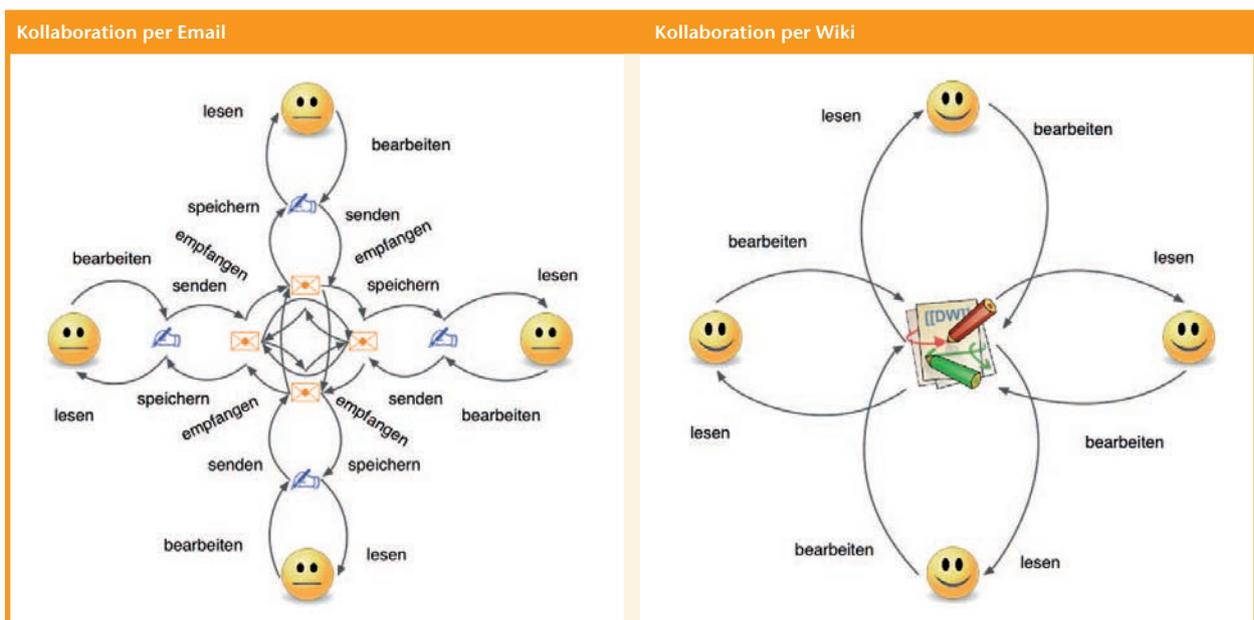
Die Ziele der Einführung des TQM-Wiki sind eine transparente Kommunikation über Hochschulprozesse auf einer strukturierten und leicht bedienbaren Plattform und die Einbindung einer benutzerfreundlichen Arbeitsplattform für die normgerechte Prozessdokumentation. Alle Hochschulangehörigen können sich einen Überblick über die Dokumentation verschaffen und an der Optimierung der Hochschulabläufe mitarbeiten. Für Prozessverantwortliche dient das TQM-Wiki als Arbeitsplattform, um eigene Prozesse zu verbessern. Für Akkreditierungen und Auditierungen bietet das TQM-Wiki einen übersichtlichen Einblick in die Dokumentation des Qualitätsmanagementsystems der Technischen Hochschule Wildau [FH].

### Kontinuierliche Verbesserung und kollaborative Veränderungsprozesse

Qualitätsmanagement-Dokumente der Prozessdokumentation unterliegen kontinuierlichen Verbesserungsprozessen im Sinne der ISO Norm 9001 (ISO 9001: 2008, 8.5). Ändern sich Vorgaben oder die Bedingungen vor Ort, so müssen Prozesse angepasst und die Veränderungen in der Prozessdokumentation reflektiert werden. Dabei ist zu beachten, dass zur Protokollierung der Änderungen alle Versionen eines Dokuments aufbewahrt werden müssen. Ferner sind diese Versionen so zu kennzeichnen, dass auch in Zukunft nachverfolgt

werden kann, welche Version zu welchem Zeitpunkt gültig war.

Für gewöhnlich müssen alle Änderungen zwischen mehreren interessierten Parteien wie Verwaltung, Auditoren und Qualitätsmanagementbeauftragten abgestimmt werden, was einer nichtlinearen Kommunikation bedarf und einen hohen koordinativen Aufwand auf Seiten des Qualitätsmanagements verursacht. Der herkömmliche Ansatz besteht darin, Microsoft Word Dokumente per E-Mail zu verschicken, die gespeichert, bearbeitet und wiederum per E-Mail versandt werden. Dies führt schon bei wenigen Beteiligten zu einer großen Anzahl von verschiedenen Versionen eines Dokumentes und damit schnell zu einer nur noch schwer zu überblickenden Menge an Informationen. Da im extremen Fall alle Beteiligten jede Version an alle anderen Beteiligten schicken, wächst die Anzahl an Dokumentenversionen quadratisch mit der Anzahl der beteiligten Personen. Dieses Wachstum ergibt sich zwingend aus dem Datei-basierten Ansatz, kann jedoch durch die Wahl eines Wiki-basierten Ansatzes weitgehend aufgelöst werden, wie in Abbildung 1 dargestellt ist (vgl. Wilson 2008). Datei-basiert werden pro Bearbeitungsschritt bis zu  $N(N-1)$  Versionen erzeugt (quadratisches Wachstum), Wiki-basiert jedoch nur  $N$  Versionen (lineares Wachstum).  $N$  bezeichnet die Anzahl der Beteiligten.



#### Quellen:

- [http://www.wikinomics.com/blog/uploads/frowning\\_email.jpg](http://www.wikinomics.com/blog/uploads/frowning_email.jpg)
- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Face-smile.svg>
- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Face-plain.svg>
- [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dokuwiki\\_logo.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dokuwiki_logo.svg)

Copyright © 2011 Jascha Silbermann  
Creative Commons *by-sa*  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

Abb. 1: Dateibasierter und Wikibasierter kollaborativer Veränderungsprozess

## Wiki- und webbasierte Systeme

Wiki ist ein Ansatz zum kollaborativen Arbeiten mit Informationen, welcher zuerst von Ward Cunningham beschrieben wurde. Cunningham et al. (2002) identifizieren als charakteristische Eigenschaften von Wiki, dass

- die Inhalte in einem speziellen Textformat, der Wiki Syntax, vorliegen,
- an den Inhalten webbasiert kollaborativ gearbeitet werden kann (s.u.),
- Inhalte leicht neu erstellt und untereinander verknüpft werden können.

Neben den eigentlichen Inhalten gelten diese zentralen Punkte auch für die Organisationsstruktur der Inhalte und die Dokumentation der Struktur. Wikis sind damit selbstdokumentierende Systeme. Ein modernes Wiki legt bei jeder Änderung von Inhalten automatisch eine neue Revision an. Änderungen an Inhalten sind somit für die Zukunft dokumentiert. Ferner erlaubt die automatische Versionierung das Rückgängigmachen ungewollter Änderungen.

Um das Wiki-Konzept einzusetzen, bedarf es einer speziellen Software, der sogenannten Wiki-Engine. Diese wird auf einem Standard-Webserver (z. B. Apache) installiert und stellt damit die Wiki-Funktionalitäten unter einer Webadresse zur Verfügung. Auf Basis der Wiki-Engine wird dann das jeweilige Wiki für die Organisation implementiert, in unserem Fall das TQM-Wiki. Die Implementierung umfasst den Aufbau von Strukturen, z. B. von Bereichen im Wiki und das Einpflegen der Inhalte.

Web-basierte Systeme eignen sich hervorragend für den Einsatz in heterogenen Systemen, wie sie in akademischen Einrichtungen anzutreffen sind (Silbermann 2010). Im Gegensatz zum traditionellen Client-Server-Modell, bei der Klienten Software auf den Anwenderrechnern installiert wird, benötigen Web-basierte Systeme nur einen Browser für die interaktive Kommunikation zwischen Anwender und Server. Web-basierte Systeme bieten die folgenden Vorteile:

- Es ist keine Installation spezieller Software auf Seite der Anwender notwendig.
- Die Benutzer interagieren mit dem System durch den ihnen vertrauten Browser.
- Alle Inhalte werden über eine URL angesprochen; sie erhalten dadurch eine Identität und können untereinander verlinkt werden.

## 2 Das TQM-Wiki

### Organisationsstruktur der Inhalte

Das TQM-Wiki beinhaltet die gesamte prozessspezifische Dokumentation der Technischen Hochschule Wildau [FH]. Dazu zählen insbesondere das Hochschulhandbuch mit den Prozessdokumentationen, welches über 60 Abschnitte umfasst. Hinzu kommen rund 30 Prozessbeschreibungen (PB) und Prozesschecklisten (PCL) sowie weitere 30 Flowcharts (Flc) und Formulare (Fbl, vormals »Formblätter«).

Jedes der genannten Dokumente hat im TQM-Wiki einen festgelegten Ort, der sich eindeutig aus dem internen Namen des Dokuments erschließt. So befindet sich beispielsweise der Artikel 1.4 der Prozessdokumentation im Wiki unter »:prozessdoku:1.4«, die Prozessbeschreibung PB 3.1.1 unter »:prozessdoku:pb:3.1.1«. Diese kurzen Pfade bilden also ein Dokument im Wiki eindeutig ab und werden benutzt, um Wikiseiten untereinander zu verknüpfen.

Neben der prozessspezifischen Dokumentation enthält das TQM-Wiki Seiten zu häufig referenzierten Dokumenten der ergebnisspezifischen und externen Dokumentation. Diese Seiten enthalten für gewöhnlich nicht den gesamten Inhalt der Dokumente, sondern weiterführende Informationen, insbesondere Weblinks zu Inhalten auf externen Websites. Dieser Ansatz ermöglicht die konsistente Verknüpfung externer Dokumente und erlaubt, bei Bedarf (z. B. Veränderung der URL eines externen Dokuments) die Änderung nur einmal vorzunehmen, unabhängig davon, wie oft auf das Dokument verwiesen wird. Das bedeutet, dass der Aufwand für die Prüfung des Dokuments auf Änderungsbedarf von linear (jedes Dokument muss überprüft werden) zu konstant (gleicher Aufwand unabhängig vom Umfang der Dokumentation) verringert wird.

Es ist Konvention im TQM-Wiki, dass jedes Dokument, welches ein eigenes internes Kürzel hat – wie z. B. PB 1.4, BbgHG – mit dem internen Kürzel und einem benutzerfreundlichen Titel dargestellt wird. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Inhalte des Wiki mit Pfadangabe und Beschreibung.

Bereich (Struktur)	Inhalt	Beschreibung
:handbuch	Hochschulhandbuch	Das Hochschulhandbuch enthält die Beschreibung des Qualitätsmanagementsystems der Hochschule und legt die Struktur der Prozessdokumentation fest.
:prozessdoku	Prozessspezifische Dokumentation	Die prozessspezifische Dokumentation umfasst die Prozessbeschreibungen und Prozesschecklisten sowie Flowcharts und Formulare.
:th	Aufzeichnungen	Ergebnisspezifische Dokumentation wie Studien- und Prüfungsordnungen und Amtliche Mitteilungen.
:codex	Sammlung von Normen und Gesetzen, externe Dokumentation	ISO 9001, PAS 1037, Hochschulrahmengesetz, Brandenburgisches Hochschulgesetz etc.
:extern	Externe Behörden, Partner und Kunden	Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur, Kultusministerkonferenz, Akkreditierungsrat, Deutsche Gesellschaft für Qualität etc.
:datei	Dateien	Abbildungen und Flowcharts, die im Wiki eingebunden sind.
:entwurf	Entwürfe	Entwürfe der prozessspezifischen Dokumentation.
:tqm	Büro für Qualitätsmanagement	Interner Bereich, umfasst die Wiki-Administration, Verbesserungsprojekte und Publikationen.
:wiki	Mehr über das Wiki	Meta-Seiten wie Index und Hilfe.

Tab. 1: Übersicht der Inhalte und deren Struktur im TQM-Wiki (Auswahl)

### Revisionen und Zugriffsrechte

Alle Wikiseiten unterliegen der automatischen Revisionskontrolle. Das bedeutet, dass von jedem Dokument bei einer Änderung durch einen Benutzer eine neue Version angelegt wird. Alle Änderungen werden verfolgt und lassen sich bei Bedarf leicht rückgängig machen. Zum einen nimmt dieses Verfahren neuen Benutzern die Angst, Inhalte bei unsachgemäßer Nutzung zu zerstören, zum anderen wird so die Versionierung der QM-Dokumente realisiert. Die Unterschiede zwischen zwei Revisionen lassen sich auf Knopfdruck anzeigen. Das macht ein aufwändiges manuelles Vergleichen zweier Versionen eines Dokumentes unnötig.

Um die QM-Dokumente vor ungewollten und unautorisierten Zugriffen zu schützen, wurden Zugriffsrechte festgelegt, wie in Tabelle 2 dargestellt (Schreibrechte schließen Leserechte mit ein).

Bereich	Rechte		
	Manager	Mitwirkende	Anwender
:prozessdoku	Lesen (Schreiben nur QMB)	Lesen	Lesen
:datei	Schreiben	Lesen	Lesen
:entwurf	Schreiben	Lesen	Kein Zugriff
:tqm	Schreiben	Kein Zugriff	Kein Zugriff

Tab. 2: Zugriffsrechte der Benutzer auf ausgewählte Bereiche

Durch die abgestufte Rechtevergabe ist sichergestellt, dass der Nutzerkreis der Wiki-Inhalte möglichst groß ist, während der Kreis derjenigen Benutzer mit Schreibrechten auf das Minimum beschränkt wird. Die offiziellen Dokumente der Prozessdokumentation können nur mit Authentifizierung durch die Qualitätsmanagementbeauftragte verändert werden. Das Datum der letzten Änderung und der Vermerk, durch wen die Änderung erfolgte, werden auf jedem Dokument angezeigt.

Tabelle 3 schlüsselt die Rollen im TQM-Wiki nach Benutzergruppen auf. Die Inhalte des TQM-Wiki werden vom Büro für Qualitätsmanagement verwaltet. An den Änderungsprozessen können weitere Personen aus der Hochschulverwaltung und Externe, z. B. Auditoren, mitwirken. Die Anwender des TQM-Wiki sind sämtliche Mitglieder der TH Wildau [FH], also Studierende, Lehrkräfte und Verwaltungspersonal. Der Wiki-Admin hat Lese- und Schreibrechte auf alle Bereiche des Wiki und agiert auf Weisung der Qualitätsmanagementbeauftragten.

Rolle	Benutzergruppe
Admin	Wiki-Admin (von QMB beauftragt)
Manager	TQM-Büro: QMB und TQM-Mitarbeiter
Mitwirkende	Verwaltung und Externe
Anwender	Mitglieder der TH Wildau [FH]

Tab. 3: Rollen und Benutzergruppen im TQM-Wiki

### Aufbau des TQM-Wiki

Das TQM-Wiki wurde auf einem vom Hochschulrechenzentrum der TH Wildau [FH] bereitgestellten Server installiert (Apache Webserver auf CentOS). Dieser Server ist aus dem hochschulinternen Netz unter der Adresse <http://tqm.th-wildau.de> zu erreichen, jedoch vom Internet abgeschottet. Somit ist die hochschulinterne Prozessdokumentation vor unberechtigten Zugriffen weitgehend geschützt, ohne dass sämtlichen Benutzern ein eigener Zugang eingerichtet werden muss.

Zur technischen Realisierung wurde die Wiki-Engine DokuWiki in der Version 2010-11-07a »Anteater« verwendet (Gohr 2011). Diese zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität sowie eine einfache Bedienung und Administration aus und umfasst standardmäßig die bisher dargestellten Features für den Aufbau des TQM-Wiki wie Revisionierung und Zugriffsverwaltung.

Zusätzliche Softwarekomponenten, sogenannte Plugins, wurden ausgewählt und installiert, wie in Tabelle 4 dargestellt ist. Dazu zählen insbesondere die Plugins dw2pdf und bookcreator, mit denen sich PDF-Dateien aus Wiki-Seiten erstellen lassen, sowie odt, welches eine Wiki-Seite als OpenOffice-Dokument exportiert und discussion, welches eine Kommentarfunktion für Seiten bereitstellt (DokuWiki Plugin Verzeichnis).

Plugin	Funktion
bookcreator	Mehrere Wiki-Seiten zu einem PDF-»Buch« zusammenfassen.
discussion	Kommentare auf Wiki-Seiten von Nutzern sammeln und zentral erfassen.
dw2pdf	Eine PDF auf Basis einer beliebigen Wiki-Seite erstellen. Das Design der erstellten Dateien spiegelt das Layout der Druckversion des Hochschulhandbuches wieder und lässt sich bei Bedarf leicht anpassen.
odt	Eine beliebige Wiki-Seite als OpenOffice Dokument (ODT-Datei) exportieren. Das Layout der Dateien ist zentral beschrieben und lässt sich bei Bedarf ändern.

Tab. 4: Ausgewählte Plugins und deren Funktion

### Projektverlauf

Der zeitliche Ablauf des Aufbaus ist in Abbildung 2 dargestellt. Die **Vorlaufphase** umfasste die generelle Abschätzung der Machbarkeit sowie die Auswahl und das Testen der benötigten Softwarekomponenten (Plugins).

Die **Aufbauphase** machte den Großteil der geleisteten Arbeit aus. In dieser Phase wurden sämtliche Inhalte der Prozessdokumentation ins TQM-Wiki überführt. Dazu wurde aus den vorliegenden Dateien im Portable Document Format (PDF) die textuelle Information unter Zuhilfenahme des frei verfügbaren Tools pdf2text (Xpdf) exportiert. Die dabei entstehenden Plain text-Dateien wurden im Anschluss manuell in Wiki-Seiten

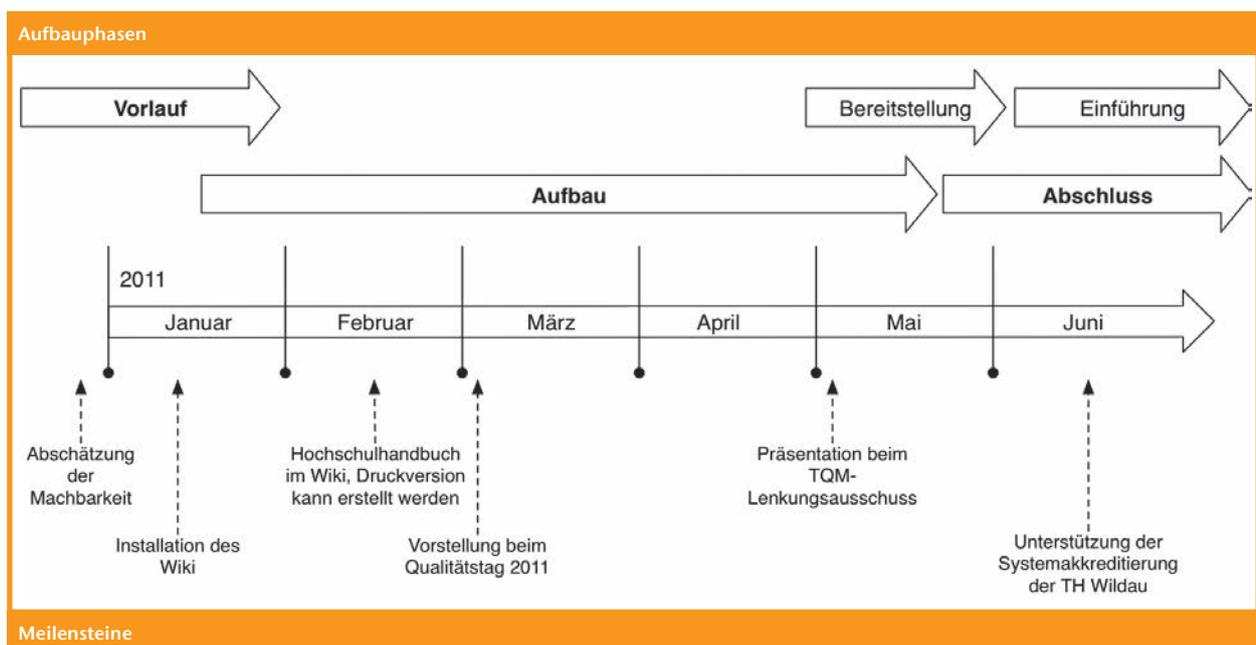


Abb. 2: Aufbau des TQM-Wiki

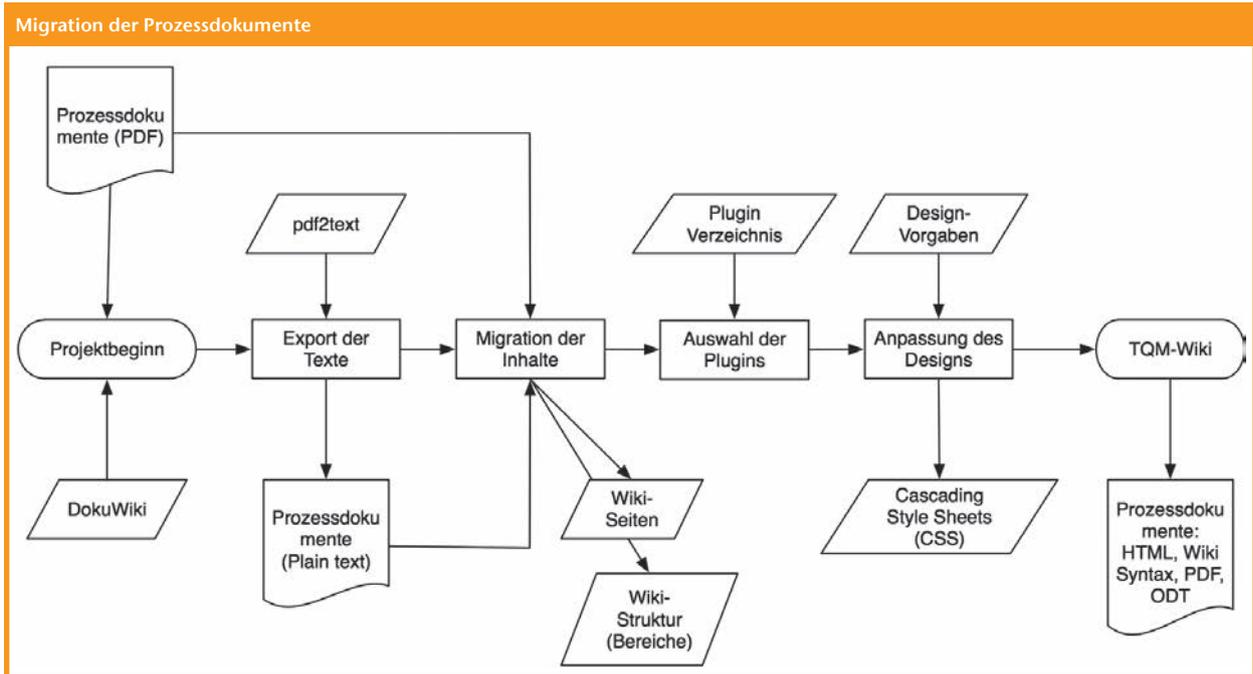


Abb. 3: Migration der Prozessdokumentation

umgewandelt, wobei die Gliederung der Dokumente übertragen wurde. Als visuelle Richtlinie diente hierzu wiederum die ursprünglichen PDF-Dateien (siehe Abbildung 3).

Parallel zum Import der Inhalte wurde die zentrale Organisationsstruktur des TQM-Wiki ausgeformt (vgl. Tabelle 1). Die Ausformung der Struktur zielt darauf ab, die Inhalte des Wiki möglichst effizient zu erfassen und diese logisch und leicht nachvollziehbar zu ordnen. Eine gute Strukturierung der Inhalte ist von zentraler Wichtigkeit für die spätere Nutzbarkeit und sollte wohl durchdacht sein, da sich die einmal gewählte Struktur im Nachhinein nur mit erheblichem Aufwand verändern lässt.

Die **Abschlussphase** umfasste die Veröffentlichung des TQM-Wiki im internen Netz der TH Wildau [FH] und die Bereitstellung des internen Bereichs für die Mitarbeiter des TQM-Büros sowie deren Einarbeitung. Insbesondere schloss dies die Erstellung der Benutzerkonten und der in den Tabellen 2 und 3 dargestellten Rollen und Berechtigungen ein. In einem Pretest wurde das Feedback ausgewählter Nutzergruppen eingeholt. Nach der hochschulweiten Einführung bietet das TQM-Wiki nun die Möglichkeit der kontinuierlichen Rückmeldung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu den Prozessen der Hochschule. Die Abschlussphase erstreckt sich über den Aufbau des TQM-Wiki hinaus und war zum Veröffentlichungszeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

### 3 Schlussfolgerung

Mit dem TQM-Wiki wurde eine neue Plattform zum verbesserten Management der Qualitätsdokumentation der TH Wildau [FH] geschaffen. Die Hochschule benutzt nicht als einzige Institution hierfür einen Web-basierten Ansatz. So benutzte Kaewborisut (2005) den Begriff Qualitätsmanagement-Dokumentationssystem für einen Web-basierten Ansatz. Zur Implementierung wurde jedoch keine Wiki-Engine eingesetzt, sondern eine eigene MySQL + PHP-Lösung. Aber auch Wiki-basierte Systeme zur Verwaltung von QM-Dokumentationen sind bereits im Einsatz und werden kommerziell angeboten (Biersack 2009).

Es ist zu erwarten, dass der Einsatz von Wikis in privaten Unternehmen wie in öffentlichen Einrichtungen weiterhin zunehmen wird, da Wikis viele Probleme der traditionellen Datei-basierten Ansätze des Managements von Dokumentensammlungen auflösen. Hierfür sind Wikis insbesondere durch ihre Eigenschaften der automatischen Revisionierung, des Web-basierten kollaborativen Arbeitens und der Verwendung von Standardformaten prädestiniert.

#### Nutzen, Effizienz und Zukunftsträchtigkeit

Das TQM-Wiki erlaubt den Mitarbeitern des Büros für Qualitätsmanagement, kollaborativ an Dokumenten zu arbeiten und diese den Anwendern in einem einheitlichen Web-basierten Format zur Verfügung zu

stellen. Dabei wird eine höhere Effizienz und schnellere Veröffentlichung von Änderungen erreicht, als es vormals möglich war. Die automatische Revisionskontrolle schafft Sicherheit für zukünftige Auditierungen und macht Änderungen nachvollziehbar.

Da nur die QMB die Qualitätsmanagement-Dokumente freigeben kann, wird den Anwendern stets die aktuelle Version eines Dokumentes präsentiert. Anwender können die gesamte Dokumentation durchsuchen, bestimmte Seiten als Lesezeichen im Browser speichern und als OpenOffice- und PDF-Datei exportieren. Ferner können Anwender Kommentare auf Seiten hinterlassen und damit direkt ein Feedback geben und Vorschläge äußern.

Durch die strikte Trennung von Inhalt, Struktur und Darstellung der Wiki-Seiten lässt sich eine sehr viel höhere Zukunftsfähigkeit der QM-Dokumentation erreichen. Die Darstellung der Dokumente sowie der Druck-, OpenOffice- und PDF-Versionen ist separat über Cascading Style Sheets (CSS) definiert und lässt sich bei Bedarf relativ einfach anpassen. Über eine zentrale Änderung kann das Erscheinungsbild aller Dokumente angepasst werden. Das separate Öffnen, Verändern, Abspeichern, Konvertieren, Archivieren und Hochladen sämtlicher Dokumente wird unnötig. Der Aufwand, welcher selbst bei einfachen Änderungen des Layouts, wie dem Einfügen eines neuen Logos, entsteht, wird dadurch von linear auf konstant gesenkt. Tabelle 5 stellt die mit Hilfe des TQM-Wiki erreichte Verringerung des Aufwands von Veränderungsprozessen dar.

Veränderungsprozess	Aufwand	
	Datei-basiert	Wiki-basiert
Kollaborative Änderung an Dokumenten	quadratisch: die Anzahl an Versionen wächst quadratisch mit der Anzahl an Beteiligten	linear: die Anzahl an Versionen wächst linear mit der Anzahl der Beteiligten
Prüfung des Änderungsbedarfs von Dokumenten bei Änderungen der externen Dokumentation	linear: jedes Dokument muss einzeln überprüft werden	konstant: die Menge an Dokumenten mit Änderungsbedarf ist bekannt
Änderungen am Layout von Dokumenten	linear: jedes Dokument muss einzeln geändert werden	konstant: eine Änderung für alle Dokumente

Tab. 5: Datei- und Wiki-basierter Aufwand von Veränderungsprozessen

## Weitere Informationen

Die Website WikiMatrix enthält Informationen zu über 100 verschiedenen Wiki-Engines und stellt mittels einer ausgeklügelten Vergleichsfunktion die Unterschiede zwischen gewählten Engines übersichtlich dar (WikiMatrix). Weitere Informationen zur Entwicklung des TQM-Wiki finden sich auch online auf den Seiten des Erstautors (Silbermann 2011).

Diese Publikation wurde im TQM-Wiki kollaborativ erstellt und mit den dargestellten Methoden exportiert. Sämtliche Elemente, wie Tabellen, Abbildungen, Textformatierung etc., konnten im Wiki problemlos abgebildet werden.

## Literatur

- Biersack, M. (2009): Wikis im Unternehmen: Qualitätsmanagement, Wissensmanagement & Co., Vortrag, [http://www.espresto.de/media/pdf/Wikis-im-Unternehmen-Qualitaetsmanagement-Wissensmanagement-und-Co\\_090922.pdf](http://www.espresto.de/media/pdf/Wikis-im-Unternehmen-Qualitaetsmanagement-Wissensmanagement-und-Co_090922.pdf), Zugriff: 28.06.2011.
- Cunningham, W., Bo, L. (2002): What Is Wiki?, <http://wiki.org/wiki/cgi?WhatIsWiki>, Zugriff: 28.06.2011.
- DIN EN ISO 9001:2008 (2008): DIN Taschenbuch 226, 6. Auflage, Beuth Verlag, Berlin.
- DokuWiki (2011): Plugin Verzeichnis, <http://www.dokuwiki.org/plugins>, Zugriff: 28.06.2011.
- Gohr, A. (2011): DokuWiki, <http://www.splitbrain.org/projects/doku-wiki>, Zugriff: 28.06.2011.
- Kaewborisut, N. (2005): A web-based application to support quality management documentation system for a construction company. Thesis (M.Eng.), <http://library.ait.ac.th/search~/a?searchtype=a&searcharg=Noppadol+Kaewborisut>, Zugriff: 28.06.2011.
- Silbermann, J. (2011): TQM-Wiki, <http://documents.jascha.silbermann.name/reader/?p=tqm-wiki.de>, Zugriff: 28.06.2011.
- Silbermann, J. (2010): Information Management in the Molecular Biology Lab: Wiki and LIMS. Thesis (M.Sc.), <http://documents.jascha.silbermann.name/master-thesis/>, Zugriff: 28.06.2011.
- TH Wildau (2009): Hochschulhandbuch. [http://www.th-wildau.de/fileadmin/dokumente/hochschule/dokumente/formulare/Hochschulhandbuch\\_oeffentliche\\_Version.pdf](http://www.th-wildau.de/fileadmin/dokumente/hochschule/dokumente/formulare/Hochschulhandbuch_oeffentliche_Version.pdf), Zugriff: 28.06.2011.
- WikiMatrix (2011): Compare them all. <http://www.wikimatrix.org/>, Zugriff: 28.06.2011.
- Wilson, M. (2008): Email Versus Wiki Collaboration Graphic a Big Hit. <http://wilsonml.wordpress.com/2008/04/08/email-versus-wiki-collaboration-graphic-a-big-hit/>, Zugriff: 28.06.2011.
- Xpdf (2011): A PDF Viewer for X. <http://foolabs.com/xpdf/>, Zugriff: 28.06.2011.

## Autoren

**Jascha Silbermann,**

**M.Sc. Biosystemtechnik – Bioinformatik, B.Sc. Bioinformatik**

Büro für Qualitätsmanagement, TH Wildau [FH]

Forschungseinheit Molekularbiologie und funktionelle Genomik

Technische Hochschule Wildau [FH]

jascha.silbermann@th-wildau.de

**Andrea Schmid, Diplom-Psychologin**

Qualitätsmanagementbeauftragte

Leiterin der Stabstelle Qualitätsmanagement der TH Wildau [FH]

Technische Hochschule Wildau [FH]

aschmid@th-wildau.de

# New Polyurethanes with a polyurea matrix

Vladimir Peshkov, Gerhard Behrendt, Rozeta Evtimova, Michael Herzog

## Zusammenfassung

Basierend auf einem bereits veröffentlichten Syntheseweg (Peshkov 2011) für nanoskalige Harnstoff Dispersions Polyole (PHD) wurde ein neuer Typ von Polyurethanen mit einer Polyharnstoff Matrix entwickelt. Durch Umsetzung der PHD's mit Di- bzw. Polyisocyanaten wurden elastische Polyurethane mit hoher Härte erhalten. Die als Film präparierten Polyurethane wurden durch Zugprüfung und Dynamisch Mechanische Analyse (DMA) charakterisiert. Die Phasenstruktur ist abhängig von der Menge an Nanopartikeln, dem Isocyanatindex und dem Härtingsregime. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass die Nanopartikel, um einen typischen Nano-Effekt zu zeigen, von ähnlicher Größe sein müssen wie die Matrix, in die sie eingebettet sind. Die erhaltenen elastischen Polymere zeigen ungewöhnlich hohe Shore-D-Härten im Bereich von 70 und Zugfestigkeiten bis zu 47 MPa bzw. Bruchdehnungen von 7 %.

## Abstract

Based on a previously published (Peshkov 2011) synthesis route of nanoscale oligourea dispersion polyols (NODP) a new type of polyurethanes with a polyurea matrix was developed. Polyurethanes with high hardness and elasticity were prepared by reacting a formulation based on the NODP's and di- or polyisocyanates. The polyurethanes obtained as films were characterised by mechanical tests and dynamic mechanical analysis (DMA). The phase structure depends on the amount of nanoparticles present, the isocyanate index, and the mode of curing. It is suggested that nanoparticles have to be of similar size as the matrix into which they are embedded to show a typical nano-effect such as shown here. These elastic polymers show an unusual high Shore D hardness of some 70 and tensile strength up to 47 MPa at elongations at break of 7 %.

## 1 Introduction

Polyurethanes produced from NODP's are generally flexible foams and in some cases coatings. The micro-particles in the polyols are used as internal reinforcements to result in higher ball rebound properties and lower densities of the foams.

Polyurethanes are known to have a multiphase morphology due to the low solubility of the aromatic isocyanates residues in the polyol phase and the ability to form strong intermolecular interactions, especially hydrogen bonds (Hespe 1972). Not only linear polyurethanes are able to segregate into distinct phases but also crosslinked polyurethanes exhibit such behaviour (Behrendt 1983). In crosslinked polyurethanes the degree of phase segregation depends strongly on the crosslink density, the solubility of the phases, and on the molecular weight of the soft segment and its degree of branching.

Nanoscale fillers usually change the morphology of polymers to a great extent (Vaia 2002), but in general only inorganic nanofillers have been investigated so far. These nanocomposites are, thus, two-phase systems consisting of polymers loaded with high-surface-area reinforcing fillers (Vaia 2001). Organic nanofillers with particle sizes in the range of 5 to 100 nm have been rarely investigated.

Active nanofillers which can either react with one or more reactants or form physical bonds with structural units of the main chain have not yet been described. To achieve high load transfer between the filler and matrix the surface of the fillers is often functionalized, e. g. with a coupling agent (Brown 2005). Recently, a new synthesis route for new NODP's which contain between 5 and 20 wt% of oligoureas with dimensions of 20 to 400 nm has been described (Peshkov 2011). The oligourea particles exhibit on their surface as a result of the synthesis method free primary amino groups able to react with other suitable groups.

In this paper we report on the preparation of polyurethane polyureas by formulation of new NODP's with the optional use of certain additives and their reaction with polyisocyanates, the results of mechanical testing of these polyurethane polyureas obtained as films, and on the investigation of the structure of these polymers by dynamic mechanical analysis (DMA).

## 2 Materials and Methods

The synthesis of the polyols was performed as described in (Peshkov 2011). To prepare the film samples reactants were used after drying by rotational evaporator at 130 °C, 0.1 mbar for 3 h.

Before preparation of the polyurethanes, hydroxyl compounds and polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (pMDI) were carefully separately degassed at 100 °C at 0.1 mbar for 1 h before mixing. The NODP or the formulated polyhydroxyl compounds were reacted at room temperature with p-MDI, (Lupranat® M20) by hand mixing in aluminium beakers. After mixing, the mixture was degassed another time for at least 30 s. If the pot life of the reaction mixture was shorter than 120 s, 0.3 wt% of acetyl acetone were used as a reaction inhibitor to establish a pot life of 120 to 180 s. The acetyl acetone remains in the mixture, no further degassing was performed.

The reaction mixture was poured on siliconized release paper in front of a knife of a Matis Labdryer®. The knife is drawn slowly with a distance of 2 or 4 mm to the basic roll to give a film of 2 or 4 mm thickness and 25 to 25 cm area. The coated release paper is automatically introduced into the heating chamber and cured at 80 °C for 60 min. The film is automatically ejected from the Labdryer®. It is cooled to ambient temperature, recovered from the release paper and stored at ambient conditions for 14 d before further testing.

A Zwick Universal Testing Machine Z20 was used for the stress – strain measurements to obtain the tensile strength and elongation at break values. Shore A and D hardness was tested according to DIN 53 505.

DSC analyses were performed on a Netzsch DSC 204 employing a heating rate of 10 K/min.

DMA was carried out using a Myrenne ATM3 torsion pendulum at 1 Hz and a heating rate of about 1 K/min.

## 3 Results

For the polyurethanes produced the numeration of the polyols introduced in (Peshkov 2011) were used, extended by prefixed F.

The dominant effect of the urea structures is shown by the hardness of the poly(urethane urea) films. The Shore-D-hardness of the samples is in the range of 70 as shown in table 1.

Sample	Shore A	Shore D	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	DEG : DPG
F 1.1	97	68	23	1.2	100 : 1
F 1.2	98	74	42	3.4	90 : 10
F 1.4	96	70	47	3.5	70 : 30
F 1.5	96	75	45	3.9	60 : 40
F 1.6	98	75	38	2.0	50 : 50
F 1.7	99	70	38	4.4	40 : 60

Tab. 1: Shore-D-hardness of the poly(urethane ureas) of the NODP series with increasing amount of DEG in the solvolysis mixture and Lupranat® M20S

As known, at a hardness of more than 95 Shore A it is out of its measuring range. The Shore-D shows very high values for polyurethanes containing about 45 wt% of a long chain polyether alcohol. This proves the dominating effect of the oligourea domains in the polyurethane structure resulting in a very hard but elastic material. This unusual combination of mechanical properties can be explained by the morphology being dominated by the oligourea structures. The maximum hardness is found in polymers based on the NODP's of the smallest particles. Another effect is the incorporation of the polyether alcohols at least to a great extent into the oligoureas as a plasticizer. This model of plasticizing the oligourea phase could give the explanation of high hardness, high tensile strength, and high elongation at break with a maximum at sample F 1.7.

In this series of poly(urethane ureas) produced from the NODP's with systematic change of the DEG content the tensile strength increases from 23 MPa of the poly(urethane urea) prepared from the solely DEG containing solvolysis mixture to 42 MPa when adding only 10 wt% of DEG to the solvolysis mixture obtaining much smaller particles of the oligoureas (see table 2)

Sample	Shore D	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	$M_n$ of the polyethylene oxide
F 1.2	74	42	3.4	102
F 2.1	76	34	4.0	200
F 3.1	72	28	5.0	600

Tab. 2 Mechanical properties of polyurethane films prepared of NODP's with increasing chain length of the polyethylene oxide (DPG : PEG 90 : 10)

The strength value nearly remains constant in the poly(urethane ureas) of the mixtures increasing in the DEG content up to about 40 wt%.

The values of the poly(urethane ureas) made with DPG only show a low elongation at break in the range of 1 %. Increasing the DEG content leads to a sharp increase of the elongation values with a maximum in the poly(urethane urea) film produced with 60 wt% of DEG (sample F1.7). The mechanical properties will find their explanation in the morphological structure described in the forthcoming discussion. The smaller the particle size of the oligoureas incorporated into the polymer chain and their position as nanoscale fillers between adjacent chains and the higher the amount of DEG the higher is the degree of phase mixing. As seen from the shift of the main transition region to higher  $T_g$ , the better is the formation of the rigid segregated phase. A higher degree of phase mixing leads to less sharp phase boundaries enabling forces to be easier transmitted within the structure and hindering break. The better the flexible part of the soft domains is developed the higher is the elongation at break. In the case of the morphology of this type of polymers a greater part of the soft phase is incorporated into the rigid domains. This leads to a plasticizing effect in the polymer through the action of free polyether aggregates within the rigid domains.

Increasing the chain length of the polyethylene oxide shows a decrease in the mechanical characteristics like hardness and strength as depicted in table 3.

Sample	Shore D	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	$M_n$ of the polyethylene oxide
F 1.4	70	47	3.5	102
F 2.2	70	31	8.0	200
F 3.2	68	17	15.0	600

Tab. 3: Mechanical properties of poly(urethane urea) films prepared of NODP's with increasing chain length of the polyethylene oxide (DPG : PEG 70 : 30)

With increasing the molecular weight of the polyethylene glycol in the solvolysis mixture the effect of the morphological structure as deduced from DMA is reflected in the mechanical properties (see table 3).

The Shore D hardness gradually decreases as does the tensile strength. The elongation at break increases as well showing an increase in elasticity. When referring to the glass transition temperatures of the rigid phase as shown in figure 1, the gradual decrease of the  $T_g$  maximum and the broadening of the  $T_g$  region is obviously correlated to the decrease in strength, i.e. the effect of the nanoparticles, and the increase of the elongation at break, i.e. the better phase mixing.

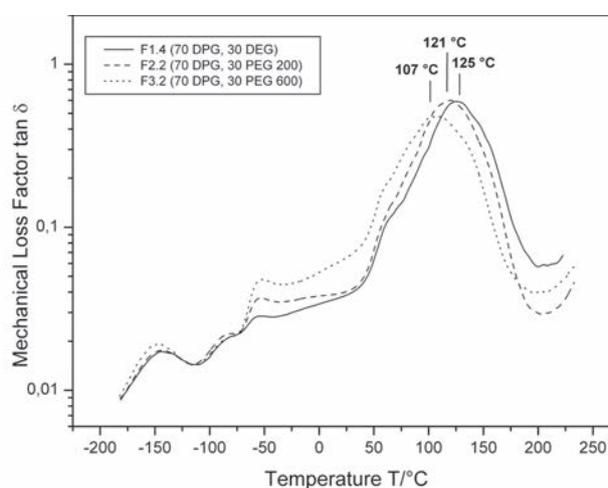


Fig. 1: Mechanical loss factor of polyurethanes based on NODP's with increasing molecular weight of PEG's and pMDI

When increasing the amount of the polyethylene glycols (PEG's) to a ratio of DPG : PEG of 70 : 30 the effects discussed based on the poly(urethane ureas) made at a ratio of 90 : 10 are strengthened. This is seen from the tensile strength decreasing from 47 to 17 MPa and simultaneously the elongation at break increasing from 3.5 % to 15 % showing that the formulation with PEG 600 is on the verge to a true elastomer.

Substituting the DPG by butane-1,4-diol and increasing the amount of DEG systematically, the effect of the DEG is smaller than in the case of DPG. Butane-1,4-diol as a chain extender is known to lead to the best possible molecular fitting of its rigid domains with MDI while in the case of DPG this fitting is interfered both by the chain length of the glycol and the methyl side groups. The data of this series as depicted in table 4 show a correlation of the mechanical properties to the composition of the poly(urethane ureas) in a similar way as in the series with DPG and DEG.

Sample	DEG (wt%)	Shore D	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Elastic (tensile) modulus (MPa)
F 6.5	10	70	34	2.0	1915
F 6.4	20	75	28	1.7	1830
F 6.3	30	72	29	2.0	1570

Tab. 4: Mechanical properties of polyurethane films prepared of NODP's with mixtures of butane-1,4-diol and DEG in the solvolysis mixture

The Shore D hardness is nearly constant which may be attributed to the better phase formation ability of the butane-1,4-diol. The elongation at break is nearly constant as well. The only larger differences are seen in the tensile strength with a marked decrease on increasing the DEG content more explicitly as in the DPG : DEG series.

In another series, the amount of flexible foam in the reaction mixture was varied and with this both the hydroxyl content, the concentration of polyether triol, the concentration of ethylene oxide blocks, and the concentration of oligoureas. The amount of oligoureas present in the NODP's increases from ca. 11 wt% to about 18 wt%. The mechanical properties of films produced from these NODP's with p-MDI under the same conditions employing a ratio of DPG : DEG of 40 : 60 are depicted in table 5.

The data of table 5 show the decrease in hardness and parallel the increase in elongation at break. In these poly(urethane ureas) the concentration of the oligoureas increases together with a slight increase of the content of polyether alcohol. Another effect is the loss of the stabilizing ability of the ethylene oxide of the DEG with decreasing its amount. Furthermore, the oligoureas tend to agglomerate to a greater extent at higher concentrations giving rise to larger particles and to an increasing instability of the systems. Finally, a NODP with 73 wt% of flexible foam (corresponding to approximately 21 % of oligoureas) could not be handled

anymore to produce polyurethanes from it as both the viscosity was too high for that purpose and the polyol tended to split into two phases. Any attempt to increase this amount in the system leads to larger oligourea particles both from reaction and through agglomeration.

The effect of the isocyanate index  $I_{\text{NCO}}$  as defined by  $I_{\text{NCO}} = \text{EQ}_{\text{NCO}} * 100 / \text{EQ}_{\text{OH}}$  in which  $\text{EQ}_{\text{NCO}}$  is the isocyanate equivalent and  $\text{EQ}_{\text{OH}}$  the hydroxyl equivalent was shown using NODP 1.7 with a combination of 60 wt% of DEG and 40 wt% of DPG in the solvolysis mixture. The stoichiometry of the poly(urethane urea) film F 1.7 was calculated using the hydroxyl number only (330 mg KOH/g, hydroxyl equivalent 170 g/equivalent). The amine number was determined to be 55 mg KOH/g. This amine number is a sum of all amines present in the mixture forming salts with perchloric acid in the course of the analytic determination. The amine number results from

- primary amino groups from the decomposition reaction mainly on the outer shell of the oligoureas and to a very small extent of monomers such as MDA,
- secondary amino groups both from the reaction being bond to the outer shell of the oligoureas and from some very small excess of the reagent DBA,
- tertiary amino groups from the catalysts originally present in the foam formulation and in end groups of substituted oligoureas.

Thus, it is the sum of the secondary aliphatic amines, the tertiary amine catalysts, primary aromatic amino groups, and the amino groups of the oligoureas. To calculate the reactive part (NH) towards isocyanates the amine number has to be decreased by subtracting the tertiary amines present in the NODP which was calculated to correspond to an amine number of 27 mg KOH/g thus giving an effective amine number of 28 mg KOH/g in case of this NODP. The recalculation of the isocyanate index corresponding to the total of reactive groups is consequently approximately 72. Based on the hydroxyl equivalent of 170 mg KOH/g formulations

Sample	Foam (wt%)	Calculated urea content (%)	Shore D	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Elastic (tensile) modulus (MPa)
F 1.7.5	53	11.1	80	39	2.0	2130
F 1.7.4	58	12.2	75	30	1.9	1880
F 1.7.0	63	13.3	70	38	4.4	1630
F 1.7.6	68	14.3	68	19	16	760
F 1.7.7	73	15.3	-	-	-	-

Tab. 5: Mechanical properties of polyurethane films made of NODP's with increasing amount of flexible foam in the solvolysate and p-MDI

Sample	Hydroxyl isocyanate index	Actual isocyanate index	Shore D hardness	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Elastic (tensile) modulus (MPa)
F 1.7.0	100	72	70	38	4.4	1630
F 1.7.105	105	75	70	34	4.8	1570
F 1.7.110	110	79	70	36	7.0	1140
F 1.7.115	115	83	70	32	2.4	1680
F 1.7.125	125	96	75	36	3.3	1860

Tab. 6: Mechanical properties of films with increasing isocyanate hydroxyl index

with higher indexes were developed and films cast. In table 6 some of the mechanical properties of these poly(urethane ureas) are presented.

An increase in the actual isocyanate index to 96 or a hydroxyl isocyanate index of 125 is still less than the stoichiometric amount of isocyanate to compensate for the total of reactive groups. An isocyanate index calculated on the hydroxyl number only will need 132 to meet the point of stoichiometry. These findings correspond to the results of the DMA showing even at the hydroxyl isocyanate index of 125 still a weak maximum in the range of  $-60$  °C.

The increase in isocyanate index has a lesser effect on the mechanical properties of the films. The Shore D hardness is increased only at nearly stoichiometric conditions, the tensile strength is constantly on a lower level than with the original formulation at an index of 72 confirming earlier results (Langenstraßen 2001). The elongation at break shows a tendency to decrease due to the higher amount of rigid domains and crosslinking, the modulus of elasticity (derived from tensile measurements) passes through a minimum at a hydroxyl isocyanate index of 110.

As presented in the DMA curves (see figure 2) the course of the  $\tan \delta$  is not fitting into the series of curves tending to be closer to the higher index poly(urethane urea) in the region between  $-30$  and  $+40$  °C showing a high degree of phase mixing. This is supported by the broader main transition region between  $+50$  and  $+150$  °C with the lower temperature shoulder shifted from  $65$  to  $78$  °C. This shows that in the low molecular weight glycol urethane phase are incorporated increasing amounts of the more rigid domains. Further, this leads to the assumption that at certain lower isocyanate indexes a better phase mixing is found and with an increasing isocyanate index the elastic properties of the films are not generally improved with respect to their mechanical properties.

In a first series of experiments the NODP's with mixtures of DEG and DPG having an oligourea content of 13.3 wt% were used to produce poly(urethane urea) films suitable for DMA measurements.

When increasing the percentage of DEG in the NODP from 0 to 60 wt% not only the viscosity of the resultant polyol decreases but also in the morphology of the poly(urethane ureas) changes were found (see figure 3).

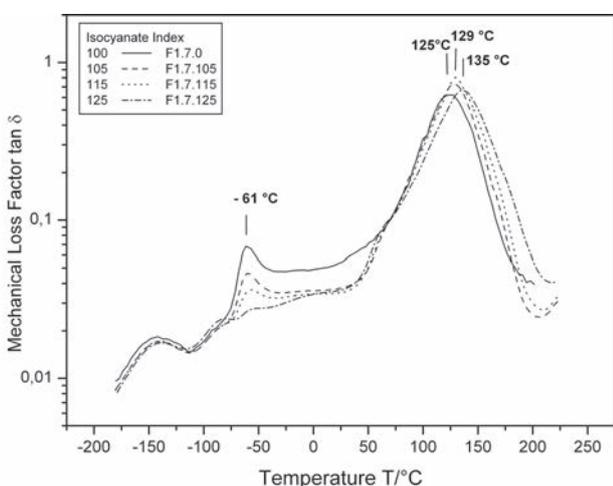


Fig. 2: DMA of polyurethanes based on an NODP with 60 wt% of DEG in the solvolysis mixture and increasing isocyanate index

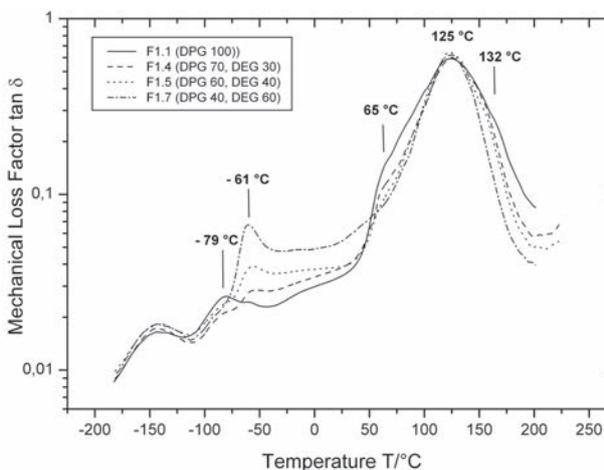


Fig. 3: Mechanical loss factor of polyurethane films produced from NODP's with variation of the DEG and DPG content in the solvolysis mixture and pMDI

The  $\tan \delta$  curves of the DMA show a decreasing height of the relative maximum at about  $-80^\circ\text{C}$  which is considered to be the  $\beta$ -transition. It decreases gradually and shifts slowly to lower temperatures. Simultaneously, a second low temperature maximum appears at about  $-60^\circ\text{C}$  and increases in intensity with increasing content of DEG. It is seen as a strong maximum at  $-61^\circ\text{C}$  in the mixture containing 60 wt% of DEG. This maximum is attributed to a free or only singularly bound polyether polyol phase in the polymer. Another but small maximum is observed at about  $-5^\circ\text{C}$  with decreasing intensity when increasing the amount of DEG. The slope of the loss factor curve decreases gradually becoming a parallel to the temperature axis at 60 wt% DEG in the NODP. A fourth maximum is observed in the region of  $65^\circ\text{C}$  usually as a shoulder. It is most pronounced in the poly(urethane urea) based on DPG as the solvolysis reagent and gradually disappears so that it is only a very weak shoulder in the poly(urethane urea) with 60 wt% DEG in the solvolysis mixture. This shoulder is attributed to a phase formed from DPG and p-MDI (the glass transition temperature of a sample produced only from DPG and MDI is found at  $68^\circ\text{C}$ ). The glass transition of the continuous phase is found between  $107$  and  $125^\circ\text{C}$ . The width of the maximum decreases with a slight shift to higher temperatures, or a weak shoulder on the high temperature flank of the loss factor curve occurs. When examining the samples after measurement, no changes or decomposition were observed so that the slight increase of the loss factor curve beyond  $200^\circ\text{C}$  has to be considered as a consequence of the crosslinked structure of the poly(urethane urea).

The percentage of the tertiary amine in the NODP is about 0.5 wt% which corresponds to an amine number of about 27 mg KOH/g. The amine number has to be reduced by this number to give the reactive amino groups. Considering this and the high reactivity of both primary and secondary amino groups towards isocyanate groups leads to the conclusion that the calculation of the stoichiometry only by the hydroxyl groups as determined by hydroxyl number analysis leads to understoichiometric ratios in the poly(urethane ureas) and, thus, to isocyanate indexes below 85.

The course of the  $\tan \delta$  curve between  $-50$  and  $+40^\circ\text{C}$  is explained by mixed phases of the short and long chain poly(ether urethanes). As described in the first paragraph, the dissolution ability of the polyol mixture for oligoureas increases with increasing DEG content so that with increasing the DEG content simultaneously

phase mixing increases. The transition temperature found in the range of  $-45^\circ\text{C}$  is, hence, attributed to the transition of the long chain polyether urethane phase while that characterized as a shoulder at  $+65^\circ\text{C}$  can be attributed to the  $T_g$  of the urethane based on DPG and p-MDI. The region between these two recognizable transitions is that of mixed phases of the various urethane group containing species with different chain lengths of the polyether chain and degrees of aggregation. The phase separation of urethanes of different chain lengths is never complete but in general some mixed phases occur.

The main transition at temperatures above  $100^\circ\text{C}$  is assumed to be based on that of the oligoureas which are the continuous phase and form part of the main chain as well as coil structures of high rigidity. The urea phase determines the molecular structure of the polymer and its  $T_g$ . The  $T_g$  of a fully developed continuous phase is higher than the curing temperature so that by further curing at higher temperature changes in structure and, consequently, in the DMA curves maybe assumed (fig. 4).

In the poly(urethane ureas) of these solvolysis products with p-MDI the effect of the chain length of the PEG has several effects on the properties of the poly(urethane ureas) and their DMA curves as shown in figure 2.

It can be seen from figure 2 that the peak height of the low temperature transition at about  $-60^\circ\text{C}$  increases with increasing molecular weight of the PEG. This suggests a better phase separation by DEG and a more extensive phase mixing by increasing the molecular weight of the PEG and a better solubility of the oligoureas in the polyethylene oxide segments. This is shown by the increase in the mechanical loss factor of the DMA of the poly(urethane urea) sample based on the NODP with PEG 600. The transition at  $65^\circ\text{C}$  is seen again as a shoulder. This shoulder is best represented in the curve of the sample prepared with DEG. Increasing the molecular weight of the PEG's leads to weaker shoulders in the  $\tan \delta$  curve and to a shift to higher loss factors. Since the amount of DPG present in the formulation is kept constant this supports the assumption that with increasing amount of ethylene oxide in the polyether chain or by increasing the block length of the polyethylene oxide in the polyether the tendency of phase mixing increases due to the better solubility of the rigid domains in the soft segment phase.

The  $T_g$  of the urea phase in the poly(urethane ureas) is shifted from  $125^\circ\text{C}$  with DEG in the NODP to  $107^\circ\text{C}$

with PEG 600 in the NODP. When increasing the molecular weight of the PEG's a weak high temperature shoulder appears above 130 °C which shifts from 165 °C in the sample made with DEG to about 130 °C in the sample made with PEG 600. Additionally, the normalized value of the storage modulus in the rubber plateau region decreases gradually to half of the maximum value when increasing the molecular weight of the PEG (figure 2).

The increase in molecular weight of the PEG's is mainly directed to a more intense phase mixing and a less sharp segregation of the soft and hard segment phases. As the phase segregation is hindered by the crosslinking in the rigid segments due to the isocyanate functionality of the p-MDI used (this is in the range of 2.85) the better solubility of the oligoureas present in the increased amount of ethylene oxide units in the polymer main chain leads to better phase mixing. The larger particle size of the oligoureas effects the phase behaviour as indicated by DMA much less than the structure of the polyols present. In this respect, the question »how nano are nanocomposites« (Schaefer 2007) has to be answered.

The increase in the isocyanate index leads actually to a more complete reaction of the hydroxyl compounds. As the index was calculated on the basis of the hydroxyl numbers only not taking into consideration the free amino groups being available on the oligourea particles it was shown on this way that the oligourea particles always take part in the reaction. Thus, they are active nanofillers which are built into the polymer chain. The shift of the  $T_g$  of the urea phase to higher temperatures and the increase in the level of the rubber plateau in the  $G'$  curves support this view. With a higher degree of conversion in the reaction of the isocyanate groups with both the hydroxyl and amine groups and the corresponding higher crosslink density a higher degree of phase separation in the low temperature region is produced not affecting a possible phase separation in the high temperature range. The high crosslink density expressed as a low  $M_c$  average value does not prevent phase separation. This maybe attributed to the large differences in the  $M_c$  values being in the range of 370 in case of two MDI molecules connected by one of the glycols and 4000 in case of the reaction of two polyether chains with an MDI molecule.

When subjecting a sample of the material produced with an isocyanate hydroxyl index of 125 (sample F1.7-125) to a second run in the DMA the DMA curves com-

pletely change (see figure 4). The original sample was cured at 80 °C for 1 h. After the first run in the ATM3 up to 230 °C with about 1 K/min it was »postcured« at a temperature higher than the  $T_g$  of 135 °C for about 120 min. The final temperature of 230 °C is surpassing the cleavage temperature of the urethane groups both of secondary and primary hydroxyl groups with aromatic isocyanates which is generally assumed to be in the range of 180 to 210 °C (Saunders 1967). This leads to the assumption that some of the urethane groups are cleaved above 200 °C in a reverse formation reaction and set free more isocyanate groups which in turn may further react. The result of such an assumption is seen in the loss factor curve (figure 4).

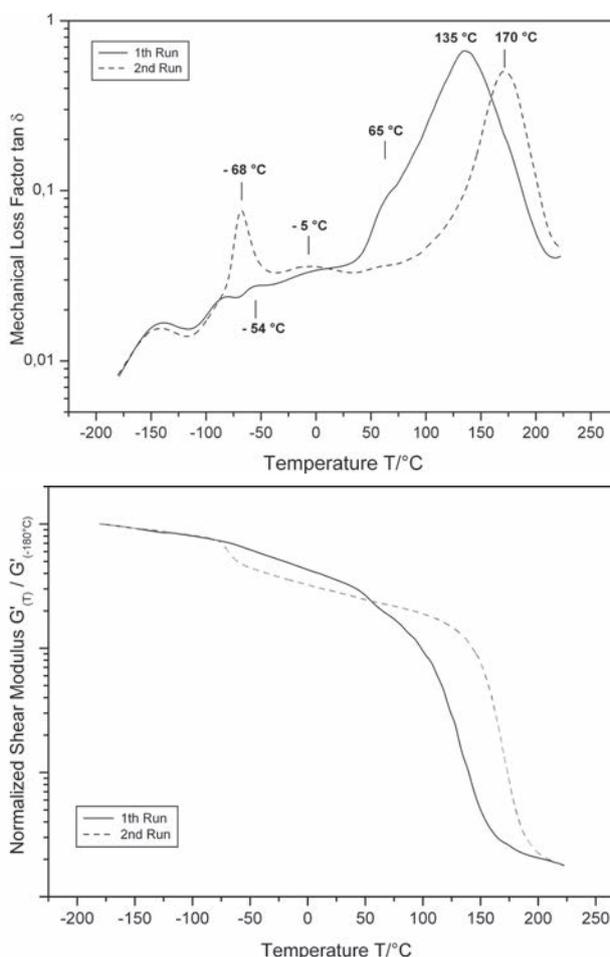


Fig. 4: First and second run of F 1.7-125 sample with isocyanate index 125 based on hydroxyl content, a) Loss factor, b) Storage modulus  $G'$

The loss factor curve of figure 4a shows the original  $T_g$  at -54 °C corresponding to that of the polyether urethanes which nearly vanishes in the second run. Instead, a  $T_g$  appears now at -68 °C being attributed to a free polyether alcohol phase as discussed above. A weak maximum appears again at -5 °C but more pronounced

in the post-cured sample showing a higher degree of phase mixing of the urethanes and a clearer effect of the more thermally stable short diol based polyurethanes. The shoulder at +65 °C is now a very weak maximum which shows that a glycol urethane phase is present to some extent. The glass transition region of the urea phase has but shifted from originally 135 °C to the high value of 170 °C and is less broad. This is a proof of a much higher crosslink density of the material being explained by two paths of reaction: (1) the urea groups formed on the surface of the oligourea particles of the continuous phase by reaction of free amino groups and isocyanate groups are stable throughout the thermal process and become dominant, (2) the originally present polyether urethanes are cleaved into polyether alcohol and isocyanate (reverse reaction of urethane formation) and the resulting isocyanates together with possibly available excess isocyanate groups react with themselves to form thermal stable isocyanurate groups by trimerisation. Both paths lead to higher crosslink density by thermally stable groups: the urea groups are known to be cleaved only at temperatures above 235 °C, the isocyanurate groups above 375 °C (Saunders 1967). The polymer structure is now determined by a continuous urea phase with some additional isocyanurate groups and the polyether alcohol as a plasticizer and some linear glycol urethanes as connecting structural units forming their own phases at +5 and 65 °C. This model is further supported by the increase of the absolute value of the loss factor in the high temperature region and by the shape of the storage modulus curve as shown in figure 4b.

## Discussion of results

NODP's are suitable to formulate flexible, semi flexible, and rigid polyurethanes, especially coatings on their basis. These NODP's when reacted with suitable diisocyanates or polyisocyanates result in polyurethanes with extraordinary properties (Peshkov 2006).

If such two component systems are reacted in the absence of foaming agents under film forming conditions coatings with exceptional high mechanical (e. g. tensile strength of more than 45 MPa at 8% elongation of break) and thermo-mechanical properties (the glass transition temperature can be extended up to 175 °C) at a Shore-D-hardness of 75 are obtained (Langenstraßen 2001) which maybe used as leather or textile coatings.

The NODP's synthesized as described by solvolysis of HR polyurethane foams (polyurethane polyureas) were reacted with polymeric MDI to give a new type of poly(urethane urea) with the oligoureas built into the main chain of the polymers and the polyureas - if present - forming active fillers arranged in the side chain together forming a continuous phase despite their low amount of some 10 to 16 wt%. Thus, the poly(urethane ureas) with a broad distribution of the molecular weight between crosslinks  $M_c$  in the urethane phase ranging between about 370 and 4000 D shows despite this crosslinking a distinct phase structure.

The most interesting areas are (1) in the low temperature region of the  $\tan \delta$  curves where it could be shown that despite a calculated isocyanate index of 100 based on hydroxyl groups at least part of the polyether alcohol is present in free form and did not react with the isocyanate. The  $T_g$  of polyether alcohols of molecular weight of about 5500 with about 13% of ethylene oxide endblocks was determined to be -67 °C, that of polypropylene ether triols of molecular weight 3000 to be -61 °C. The  $T_g$  of the urethanes based on MDI and both types of polyether alcohols are in the region of -46 to -44 °C. The polyether alcohol should, therefore, be free to such an extent as determined by the reaction conditions and the components involved and act as a plasticizing phase. When the poly(urethane ureas) are produced at rather low temperatures (mainly 80 °C) it is suggested that a free polyether alcohol phase is present in the samples and organized into a segregated phase. By heating the material to temperatures exceeding the originally found  $T_g$  this phase segregation is improving and leads to a much better structured polyether alcohol phase. It is suggested that this polyether alcohol phase is organized in the »free space« between the bulky oligourea particles of the continuous phase.

The second transition (2) was always found to be beyond 100 °C depending on the composition of the solvolysis mixture only. When higher amounts of ethylene oxide are present in the poly(urethane urea) the phase separation is hindered due to better solubility of the aromatic urea groups in the polyol mixture. Nevertheless, phase separation occurs in all poly(urethane ureas) produced to a more or lesser extent.

All of the poly(urethane ureas) produced were cured at 80 °C, i.e. below the main transition region. This leads to such a thermodynamic situation in the polymers that the polymer is frozen in before it could reach the energetic optimum. When heated above  $T_g$  of the

rigid phase movements of the structural units may occur again and lead to a re-formation of the structures, another degree of phase segregation and to other phases. In an experiment with two runs of the same sample this could be demonstrated. The poly(urethane urea) does not only reshape in its morphology but starts a set of reactions at temperatures above 200 °C even during short time intervals without showing any signs of thermal damage. In this second run it could be seen that the urethane groups at least partly cleave into hydroxyl and isocyanate compounds and the latter trimerize to form isocyanurate rings. The high thermal stability of both polyureas and isocyanurates with thermal decomposition temperatures higher than 240 °C is shown in a shift of the glass transition region from 135 to 170 °C, in other samples up to 185 °C.

Based on the results of the DMA investigations a model of the morphology formed in the poly(urethane ureas) based on the new NODP's is proposed: the aggregated oligoureas or polyureas present in the material form supermolecular aggregates of themselves without involvement of the urethanes or the soft segments. They form the continuous phase where the urethanes act as connecting »hinges« and the polyether polyol molecules as a plasticizing phase in the free spaces left by the bulky oligo- or polyureas. This is confirmed by the interpretation of the DMA curves. Thus, the polyether segments are not playing a considerable role in structure formation but are more or less a plasticizer in the aggregated rigid polyurea domains.

The question as asked in (Schaefer 2007) can be answered to some extent in case of macromolecular systems. Based on the calculation of the oligourea dimensions being of at least 8 nm the nanoscale particles cannot be smaller but have to be larger. The average of the oligourea length distribution of 4 to 6 structural units allows it to calculate the smallest particle size in the range of 20 nm. Some aggregation will occur also under mild or optimum conditions. Thus, the formation of the smallest aggregates are formed with a particle size to 60 nm and more by combining two or three of the smallest oligourea particles. Such aggregates are, thus, in the lower range of the average size of the oligourea particles. It is established by the investigation of mechanical properties and DMA that these have the greatest effect even at low concentration on the properties of the polymers formed. If decreasing the amount of the nanoparticles to 3.85 wt% (see figure 5) the  $T_g$  in the polyurethane polyurea is shifted to 93 C.

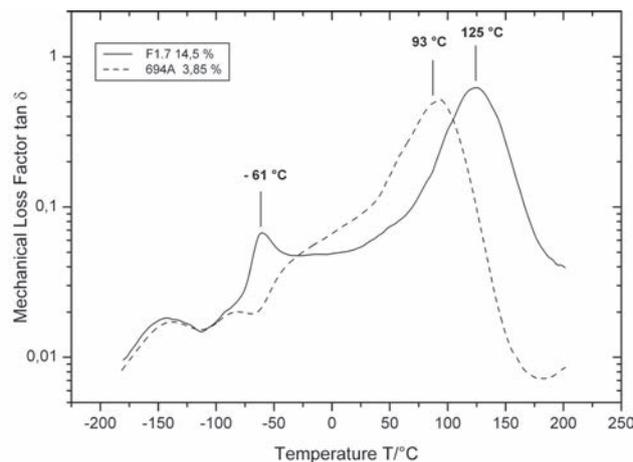


Fig. 5: Mechanical loss factor curves of samples with different oligourea content

Comparing the course of the loss factor  $\tan \delta$  of sample 694 (Hunger 2010) to the polymer 1.7 shows not only this shift of more than 30 K but also that the transition regions of the formerly defined structures are completely reshaped. The low temperature region at -61 °C is less pronounced, the transition of the poly(ether urethane) is incorporated into the flank, the interphase region is much stronger, the transition at +65 °C is weak, and no shoulder in the high temperature flank is to be seen. Thus, the model of the morphology developed and the results of the experiment described above let us assume that the effect of nanoparticles generally depends on the matrix into which they are embedded. In case of metals, several hundred of atoms need to form a nanoscale particle; in case of simple inorganic molecules at least some ten molecules are needed. In case of macromolecules such as in polymers they are themselves in the upper nanoscale range so that nanoscale particles in a lower range will have a distinct effect on material properties.

By comparing the poly(urethane ureas) with different content of oligoureas it was shown that the effect of increasing this content by about 10 wt% is much higher than it could be by only incorporating the same amount of urea groups by a typical aromatic diamine hardener (e. g. MOCA or MDA). In this case the increase in  $T_g$  would be less than 10 K under similar conditions and showing clearly that the effect observed is a result of the nanoscale oligoureas present.

These results answer the question of (Schaefer 2007) in such a way as in organic/organic (macromolecular) systems with strong interactions between the segregated phases the nanoparticles are allowed to be effective in a particle range up to more than 100 nm showing still a typical »nanoeffect«.

By curing the poly(urethane ureas) based on the new types of NODP's with the oligoureas in the range of 20 to 200 nm one is able to form only by applying different temperature regimes in the curing cycle more elastic or more rigid polymers. By increasing the temperature above the glass transition (e. g. to 180 °C) it is possible to obtain high temperature stable polymers with incorporated and via physical bonds fixed plasticizers. Such materials are valuable as specialty polyurethanes being used as coatings or high temperature resistant foams. A forthcoming publication will report on the use of these materials as coatings of leather and other substrates (Peshkov 2008).

### Acknowledgements

V.P. gratefully acknowledges support of BOSIG Baukunststoffe GmbH for gifts of polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (pMDI)

### Bibliography

- Peshkov, V., Evtimova, R., Herzog, M., Behrendt, G. (2011): New Synthesis Route for PHD Polyols. *Wissenschaftliche Beiträge* 2011, TH Wildau.
- Hespe, H., Meisert, E., Eisele, U., Morbitzer, L., Goyert, W. (1972): *Kolloid Polym. Z.*, 250: 797.
- Behrendt, G., Goering, H., Pohl, G. (1983): Effect of soft segment crosslinking on the properties of elastic polyurethanes. IUPAC MACRO '83, Bucuresti.
- Vaia, R. A. (2002): Polymer nanocomposites open a new dimension for plastics and composites. *The AMPTIAC Newsletter*, 6: 17-24.
- Vaia, R. A., Giannelis, E. P. (2001), *MRS Bull*, 26: 394-401.
- Brown, J. M., Anderson, D. P., Justice, R. S., Lafdi, K., Belfor, M., Strong, K. L., Schaefer, D. W. (2005): *Polymer*, 46: 10854-10865.
- Langenstraßen, R., Huth, H., Pohl, M., Schmidt, K.-H., Goering, H., Ivanyi, S., Behrendt, G. (2001): Coatings Prepared from Polyurethane Flexible Foam Recycling Polyols. Paper presented at Polyurethanes EXPO 2001, Salt Lake City.
- Saunders, J. H. (1967): Thermal Degradation and Flammability of Polyurethane Foams. In: *Cellular Plastics*, Natl. Acad. Sci. Publ. No. 1462, Washington, 123.
- Peshkov, V., Naber, B. W., Schmidt, K.-H., Behrendt, G. (2006): Verfahren zur Herstellung neuer, flammgeschützter Polyurethane. *DE-Anm. 10 2006 058 400.7* (07. 12. 2006).
- Schaefer, D. W., Justice, R. S. (2007): *Macromolecules*. 40:8501-8517.
- Hunger, H.-D. (2010): Sample 694 was provided by courtesy of H.-D. Hunger of Performance Chemicals GmbH.
- Peshkov, V., Klockemann, W. (2008): Neue Polyurethan-Beschichtungen. *EP-Anm. 10 2008 043 824.3* (20. 09. 2008).

### Authors

#### Dipl.-Ing. Vladimir Peshkov

University of Chemical Technology and Metallurgy  
8 Kl. Ohridski bul.  
1756 Sofia, Bulgaria  
T +359 2 6254 101  
peshkov@uctm.edu

#### Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Behrendt

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-591  
gerhard.behrendt@th-wildau.de

#### Prof. Dr. Rozeta Evtimova

University of Chemical Technology and Metallurgy  
8 Kl. Ohridski bul.  
1756 Sofia, Bulgaria  
T +359 2 6254 101  
evtimova@uctm.edu

#### Prof. Dr. rer. nat. Michael Herzog

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-332  
michael.herzog@th-wildau.de

# Schnelle Energiewende – bedroht durch Wutbürger und Umweltverbände?

## Protest, Beteiligung und politisches Risikopotenzial für Großprojekte im Kraftwerk- und Netzausbau

Marco Althaus

### Zusammenfassung

Die deutsche Energiewende erfordert einen massiven Aus- und Neubau von Kraftwerken auf fossiler wie regenerativer Energiebasis sowie den Netzausbau. Die Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren hat für Regierung und Wirtschaft hohe Priorität. Dem stehen wachsende Beteiligungsansprüche von Bürgern und Interessengruppen gegenüber. Standortwahl und Umweltschutz führen oft zu Kontroversen und Protesten mit beträchtlichem politischem Risiko. Der Beitrag erörtert Widerstands- und Konfliktpotenzial im Umfeld von Energieprojekten und bewertet die Ressourcen und Strategien der Umweltverbände, deren Verhandlungsposition durch ein Urteil des Europäischen Gerichtshofs im Mai 2011 gestärkt wurde.

### Abstract

Germany's about-face in energy policy, the »Energiewende«, requires massive extension and new construction of fossil and renewable fuel power plants, as well as grid and transmission line extension. Acceleration of planning and permission processes is a high priority for government and industry. It stands in contrast to growing citizens' and interest groups' demands for participation. Siting and environmental concerns often lead to controversies and protest with considerable political risk. The article discusses resistance and conflict potential in energy project environments and evaluates resources and strategies of environmental groups, whose negotiating position has been strengthened by a May 2011 European Court of Justice decision.

## 1 Einführung

Der Atomausstieg mag populär sein, die Anlagen, die die Nuklearmeiler ersetzen sollen, sind es nicht. Der Widerstand ist groß und wird wachsen, und er trifft in der Bevölkerung auf viel Verständnis. Das Tempo der Energiewende hängt aber am Tempo der Umsetzung von Kraftwerk- und Netzausbauprojekten. Politik und Wirtschaft setzen auf Beschleunigung. Diese ist schwer vereinbar mit wachsenden Ansprüchen an die Öffentlichkeitsbeteiligung. Zwei Akteure prägen die Ansprüche: lokale Bürgerinitiativen sowie professionell geführte Umweltverbände. Diese arbeiten in überregionalen Kampagnen zusammen. Das Urteil des Europäischen Gerichtshofs vom 12. Mai 2011 verhalf zudem der Verbandsklage im deutschen Recht zum Durchbruch. Damit wurden die Interventions- und Verhandlungsoptionen der Umweltverbände massiv gestärkt.

Der Beitrag erörtert anhand von Daten, Dokumenten und Literatur die Akzeptanzproblematik und das konflikthafte Projektumfeld, diskutiert Ressourcen- und Strategiefragen der Initiativen und Umweltverbände, und antwortet differenziert auf die Frage, ob sie die Energiewende bedrohen. Der Beitrag ist eine Erweiterung des Vortrags, den der Autor beim Kolloquium »Neuere Entwicklungen und Tendenzen im Wirtschaftsrecht und im Arbeitsrecht« des Fachbereichs Wirtschaft, Verwaltung und Recht am 23. Mai 2011 gehalten hat.

## 2 Großprojekte für die Energiewende

Als Reaktion auf die Katastrophe in den Kernreaktoren von Fukushima hat die Regierung Merkel die Energiewende ausgerufen. Der Ausstieg aus der Atomenergie wird forciert, die Energiebasis Deutschlands radikal verändert. Dies ist ein nationaler Kraftakt. In der Regie-

rungerklärung im Juni 2011 sprach die Kanzlerin von einer »Herkulesaufgabe«: Lastenverteilungskonflikte, Risiken für die Klimaschutzziele, Gefahren für Industriearbeitsplätze, das mögliche »Steigen der Strompreise in das sozial nicht mehr Erträgliche« und andere Aspekte mehr belegen, warum sie sogar von einer »Quadratur des Kreises« spricht (Merkel 2011: 12963).

Technisch bedeutet die Energiewende den Ausbau alter konventioneller Kraftwerke sowie alter Kraftwerke der erneuerbaren Energieerzeugung (Wind, Photovoltaik, Solarthermie, Biomasse u. a.), den Neubau konventioneller und EE-Anlagen sowie den Aus- und Neubau von Übertragungs- und Verteilernetzen, insbesondere Höchst- und Hochspannungsleitungen. Die Schwächen der Stromnetze sind ein besonderer Brennpunkt. Überlastung und Zusammenbruch sind reale Szenarien, insbesondere weil der Ausbau von Windkraftanlagen in Norddeutschland und vor der Küste fernab der Verbrauchszentren die Schwerpunkte der Stromübertragung verlagert.

Die Energiewende führt zudem zur klimapolitisch ungewollten und äußerst unpopulären Renaissance der Stein- und Braunkohleverstromung. Sie wird die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich erhöhen, wenn keine Ausgleichstechnologie eingesetzt wird. Eine solche wäre die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und unterirdische Speicherung (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS). Pilotprojekte haben jedoch lokale Proteste ausgelöst, die Umweltverbände lehnen CCS ab.

Zwar war die Energiewende stets zentrale Forderung der organisierten Interessen des Umweltschutzes. Das heißt aber nicht, dass der Bau klimafreundlicher EE-Anlagen bedingungslos unterstützt wird. Umweltverbände legen auch an sie harte Kriterien an. Sie verlangen eine Beteiligung und Abwägung aller Interessen. Unmissverständlich formuliert Torsten Ehrke, Bundesvorsitzender der Grünen Liga: »Es kann nicht unser Anliegen sein, dass sich der notwendige Ausbau der erneuerbaren Energien zulasten von Natur und Umwelt vollzieht.« Die Balance müsse gehalten werden, »damit nicht der sogenannte Wutbürger später eingreifen muss« (Hörr 2011). Ähnlich ist es beim Netzausbau, um EE-Anlagen anzubinden. So fordert der Naturschutzbund, dass die »Auswirkungen auf Mensch, Umwelt und Natur minimiert« und unnötige Neubaumaßnahmen vermieden werden (NABU 2009).

Die andere Seite warnt vor zu viel Bedingungen und Beteiligung. »Künftig können nicht mehr jeder einzelne naturschutzrechtliche Belang und jedes Anwohnerin-

teresse berücksichtigt werden«, schreiben von Daniels und Uibleisen, Anwälte der politisch einflussreichen Wirtschaftskanzlei Freshfields, markig in der *Financial Times Deutschland* zu Offshore-Windparks und Stromtrassen. Die Bürgerproteste würden »paradoxiertweise häufig angeführt von Atomkraftgegnern und erklärten Klimaschützern – ganz nach dem Motto: ›Wasch mich, aber mach mich nicht nass‹. [...] Die öffentliche Anhörung in den Genehmigungsverfahren, die eigentlich der behördlichen Sachverhaltsermittlung und dem Interessenausgleich dienen soll, wird von den Projektgegnern häufig dazu zweckentfremdet, das Vorhaben mit Verfahrenstricks gezielt zu verzögern. [...] Die Erfahrungen der Praxis zeigen, dass öffentliche Anhörungen (sogenannte Erörterungstermine) in Wirklichkeit wenig zur Befriedung beitragen. Eher reißen sie die Gräben noch tiefer auf.« (Daniels et al. 2011)

Die scharfe Rhetorik gilt der bedrohlichen Protestlandschaft im Windsektor. Rund 70 Bürgerinitiativen agieren in Deutschland gegen Windkraft; eine ähnlich hohe Zahl von Initiativen findet sich im Bereich des Netzausbaus. Die Hälfte der Initiativen hat sich zwischen 2007 und 2009 gegründet (Becké 2011).

Aus- und Neubau von Kraftwerken und Netzen sowie der Einsatz umstrittener Technologien erzeugen wie alle Großprojekte unweigerlich einen Knoten politischer und rechtlicher Konflikte mit diversen Interessen- und Anspruchsgruppen (Stakeholder), die über viele Jahre hinweg in komplexen Prozessen der Kommunikation, Beteiligung und des Projektmanagements bearbeitet werden müssen.

Diese politischen Anforderungen sind kein lokal begrenztes Dilemma. Das zeigt eine für die Industrieverbände erstellte Allensbach-Umfrage (2011). Danach haben 76 Prozent der Bevölkerung generell Verständnis für Proteste gegen Großprojekte. 71 Prozent meinen, dass Bürger zu wenig informiert und eingebunden würden (ebd.: 3). 83 Prozent haben etwa beim Bau von Hochspannungsleitungen Verständnis für Proteste und Verhinderungsversuche, 76 Prozent selbst dann, wenn diese Leitung Ökostrom transportiert und von der Bürgermehrheit befürwortet wird. Ein ordnungsgemäßes Planungs- und Genehmigungsverfahren ist den meisten Bürgern nicht genug, um Großprojekte zu legitimieren. 68 Prozent akzeptieren Proteste gegen bereits genehmigte Bauprojekte. 62 Prozent stimmen der Aussage zu: »Wenn Entscheidungen getroffen werden, die die Mehrheit der Bürger für falsch hält, müssen solche Beschlüsse auch im Nachhinein korrigiert werden.«

(ebd.: 7). Laut Allensbach wird der Nutzen großer Infrastrukturprojekte eher gering geschätzt. 64 Prozent halten die Energieinfrastruktur für gut oder sehr gut (ebd.: 4). 49 Prozent ist bewusst, dass mit der Energiewende größere Maßnahmen erforderlich werden. So gehen 85 Prozent von »großem Bedarf« bei erneuerbaren Energien aus. Nur 43 Prozent sehen ihn bei Energietrassen. Die Mehrheit sieht »wenig Bedarf« für neue konventionelle Kraftwerke (54 Prozent bei Gas-, 74 Prozent bei Kohlekraftwerken) (ebd.: 5). In der Nähe des Wohnorts würden 79 Prozent »Versorgungsanlagen für erneuerbare Energien« befürworten (konkret nach Windparks u. a. wurde nicht gefragt). Aber die Mehrheit würde in der Heimat den Bau von Energietrassen (51 Prozent), Gas- (64) und Kohlekraftwerken (81) ablehnen (ebd.: 7). (IfD Allensbach 2011)

Nachbarschaftskonflikte sind bei Großprojekten alles andere als neu. Schwerwiegend ist nach Claus und Dames (2011), dass sie sich immer mehr zu Grundsatzen ausweiteten. Und: »[D]er Kern der Auseinandersetzung verschiebt sich. Während bislang Verwaltung und Politik für die Gewinnung von Akzeptanz für Industrieanlagen verantwortlich waren, sind nun auch Unternehmen selbst in der Pflicht, für Transparenz und gute Nachbarschaft zu sorgen« (2011). Energiewendeprojekte werden, wenn der Vorhabenträger das ignoriert, politisch unberechenbar. Sie tragen damit das Risiko des politischen Scheiterns oder der Verzögerung um viele Jahre.

### 3 Beschleunigung, Bürokratie und Beteiligung

Die Energiewende forciert alte Konflikte über die Beschleunigung von Großprojekten. Die Wirtschaft lobbyiert für mehr Tempo und schlankere Genehmigungsverfahren, um private wie öffentliche Investitionen frei zu setzen. Der Ruf wurde gehört: Anfangs ausgelöst durch den ostdeutschen Aufbaubedarf, wurden für Verkehrsprojekte Beschleunigungsgesetze verabschiedet, zuletzt das Infrastrukturplanungsbeschleunigungsgesetz (2006). In dieser Linie steht das Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) von 2011. Entbürokratisierung und Beschleunigung sind wirtschaftspolitisch positiv besetzte Schlagworte. Sie sind aber Alarmsignal für Umweltverbände und Bürgerinitiativen. Denn lange Verfahren sichern ihnen Zugang. Mehr Tempo heißt dagegen,

- Verfahren schneller zum endgültigen Abschluss zu bringen und unumkehrbar zu machen;
- das Zeitfenster früher zu schließen, in dem Gegenargumente gesammelt und aufbereitet werden können;
- den Einsatz von Rechtsmitteln mit aufschiebender Wirkung zu beschneiden;
- weniger Spielraum für die Abwägung widerstreitender Belange, Interessenausgleich und Konsens;
- weniger Öffentlichkeit und weniger Transparenz.

Nach 20 Jahren Beschleunigungsgesetzen spricht Hubert Weiger, Vorsitzender des Umweltverbands BUND, von einem »Erosionsprozess der Bürgerbeteiligung« und »fortschreitender Entmündigung des Bürgers«. Er kritisiert insbesondere, dass Bürger nicht fortlaufend an Planungsverfahren beteiligt würden. Für Einwände seien ihnen enge Fristen gesetzt, der Projektträger könne seine Planung dagegen jederzeit ändern. Potenzial für mehr Tempo sieht er in früherer Beteiligung: »Je besser die Planung am Anfang ist, desto rascher kann sie realisiert werden.« Räumte man Bürgern mehr Rechte ein, nähme man den »Motzern« die Argumente (Becker 2011).

Einen »Mentalitätswandel bei der kommunikativen Begleitung von Großvorhaben« fordern auch Politik- und Wirtschaftsberater wie Shah und Karten (2011), die am kontroversen Projekt der Fehmarnbeltquerung mitwirkten. Bürger wollten »rechtzeitig und ehrlich einbezogen werden und auf Augenhöhe mit den Verantwortlichen agieren« (ebd.: 46). Sie mahnen: »Es gibt keine rein technischen Großprojekte.« Kommunikation müsse von Anfang an und auch finanziell in die Gesamtstrategie integriert werden. Projektträger dürften Beteiligungsprozesse nicht als »Konsensmaschine« missverstehen. »Das Ziel lautet Vertrauen, nicht Konsens«, denn dafür lägen die Positionen oftmals zu weit auseinander. Kritiker sollten »darauf bauen können, dass die Projektträger kompetent und auch willens sind, ihre Anliegen ernst zu nehmen und konkrete Verbesserungsvorschläge zu berücksichtigen«.

Gesetzestreue allein reiche nicht aus, denn: »Gesetzliche Vorgaben gelten stets nur für den rechtlichen Planungsprozess. Starten die Planer eines Projekts die Kommunikation rund um ihr Bauvorhaben erst dann, wenn sie die Planfeststellungsunterlagen einreichen, ist es meist schon zu spät. Denn zu diesem Zeitpunkt sind Änderungen nur noch schwierig zu integrieren, und auch die Kosten dafür sind hoch. All das führt dazu, dass die Projektträger immer weniger bereit sind, sich

auf die Wünsche betroffener Bürger und Umweltverbände einzulassen. Oft folgt daraus eine Konfrontation, die vor Gericht endet und viel Zeit und Geld kostet.« (2011: 47)

Stuttgart21 habe gezeigt, wie wichtig eine Kommunikation von Zwischenschritten sei, um die »böse Überraschung« der Bürger zu vermeiden. »Wenn hierzulande technische Pläne oder Ergebnisse veröffentlicht werden, dann in der Regel erst, wenn klar ist, dass sich daran nichts mehr ändern wird. In Skandinavien dagegen ist es üblich, dass Zwischenstände bei der Planung mit kommuniziert werden. Diese Praxis überrascht in Deutschland und erfordert einiges an Mut – vor allem, weil die Öffentlichkeit Veränderungen lieber als Korrektur vorheriger Fehler statt als natürlichen Teil einer optimierten Planung ansieht.« (Shah et al. 2011)

Frühe Beteiligung hält auch Stuttgart21-Schlichter Heiner Geißler für nötig. Das »obrigkeitsstaatliche Baurecht« stehe dem jedoch entgegen, es sei »Basta-Politik« (Wirner 2011). »In Deutschland läuft es doch immer so, dass am Anfang die Entscheidung steht, dann erst werden die Leute angehört [...] deswegen haben wir die Krawalle«, so Geißler (Bernard et al. 2011: 28).

Diese Kritik und die die Politik erschütternden Konflikte um Stuttgart21 konnte der Gesetzgeber 2011 beim Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) nicht mehr ignorieren. Durchsetzbar war dieses für die Energiewende wichtige Gesetz nur, weil es hohe Anforderungen an Transparenz und Öffentlichkeitsbeteiligung stellt. »Die Lektion, dass die Bürger bei so weitreichenden Entscheidungen einzubinden sind, hat die Bundesregierung inzwischen gelernt«, stellt Mahnke (2011) fest. »Das NABEG stellt den Versuch dar, möglichst viel Beschleunigung im Netzausbau bei einer weitestgehenden Öffentlichkeitsbeteiligung zu erreichen.«

Berlin will dadurch »möglichst umfassende Transparenz herstellen. Ziel ist es, größere Akzeptanz für den Leitungsausbau zu erreichen und den Netzausbau so zu beschleunigen« (Bundesregierung 2011). Bürger werden äußerst früh in die Planung für einzelne Stromtrassen einbezogen, Beteiligung wird auch über das Internet ermöglicht, Interessenträger dürfen umfassende Dateneinsicht verlangen. Für die Erweiterung bestehender Trassen, die auch paralleler Neubau heißen kann, gilt aber ein »vereinfachtes Verfahren« ohne diese Möglichkeiten. Neue Streitfälle und Akzeptanzprobleme sind wahrscheinlich. Umweltverbände warnen davor, dass Beschleunigungseffekte durch Gerichtsprozesse darüber, ob ein konkreter Fall vereinfacht behandelt werden

dürfe, wieder »aufgefressen« werden (Mahnke 2011).

Die Industrie weiß, dass der politische Wind sich gedreht hat und Beschleunigung nicht mit Verwaltungsmitteln um jeden Preis durchsetzbar ist. Der Bundesverband der deutschen Industrie (BDI), Bauverbände und andere warnen zwar wie früher vor Investitionsstau, Planungsunsicherheit, Technikfeindlichkeit und sinkender Wettbewerbsfähigkeit. Doch zeigt die BDI-Kampagne »Innovationsagenda« (ab August 2011), wie verunsichert die Industrie ist. Die Kampagne thematisiert den Mangel an Akzeptanz selbst und liefert auch das Stichwort Stuttgart21 dazu. Dafür wurde auch die erwähnte Allensbach-Umfrage beauftragt und publiziert. Grundsätzlich will der BDI zwar nicht am Primat der verbindlichen Rechtsentscheidung rütteln. Mit Blick auf Baden-Württemberg betont der BDI: »Eine Landtags- oder Kommunalwahl und wechselnde politische Mehrheiten dürfen nicht zur Auflösung einer Vereinbarung führen« (BDI 2011b). Doch betont der BDI, dass die Wirtschaft für »Akzeptanz« und »Transparenz« selbst verantwortlich ist: »Deutschland erlebt in jüngster Zeit einen verstärkten Trend zum bürgerschaftlichen Engagement. Politik und Wirtschaft müssen gemeinsam kommunikative Legitimationsprozesse initiieren – mit dem Ziel, in der Bevölkerung mehr Akzeptanz für Großprojekte zu gewinnen und Deutschland dauerhaft voranzubringen« (BDI 2011a: 2). Das betreffe explizit auch die Investitionen in erneuerbare Energien und Netzinfrastruktur, »um die politisch gewollte Energiewende Realität werden zu lassen«. Dafür sei ein »neuer Konsens« nötig (BDI 2011b).

Beteiligung und schnellere Planungsverfahren seien kein Widerspruch. »Die langwierigen Planungs- und Genehmigungsverfahren sind aus Sicht der Wirtschaft ein zentraler Grund für mangelnde Akzeptanz von Infrastrukturprojekten.« Bürger hätten ein Recht auf Information und Anhörung, doch finde dieser Prozess zu spät statt, sei deshalb auch zu teuer, ineffizient und bürgerfern. »Kürzere Genehmigungsphasen sind auch deshalb notwendig, weil sie für den Bürger leichter nachvollziehbar sind. Ein Projekt, bei dem sich alleine das Planfeststellungsverfahren über Jahre hinzieht, lässt sich am Ende des Verfahrens nur noch schwer vermitteln.« Damit nicht genug, thematisiert der BDI aktiv »neue Wege der Bürgerbeteiligung«, Formate unterschiedlicher »freiwilliger Dialogforen, die auch Vertreter von Bürgerinitiativen, Naturschutzverbänden, der Wirtschaft und der Kirche einbeziehen«. Ihre Stärke liege gerade darin, dass sie nicht Teil des gesetzlich vor-

geschriebenen Verwaltungsverfahren seien. Der BDI nennt Mediation, Planungsdialoge mit »ergebnisoffener Konsensfindung« sowie Internetangebote mit aktuellen Informationen und Beteiligungsmöglichkeiten (BDI: 2011c).

Insgesamt sind dies ungewöhnliche Signale, mit denen die Wirtschaft die öffentliche Meinung auf ihre Seite zu ziehen versucht. Sie scheinen im Vergleich zu früheren Positionen fast so radikal wie die Koalitionskehrtwende bei der Atomenergie. Solche Veränderungen sind selten in Spitzenverbänden wie dem BDI, der die komplizierte Meinungsbildung von 38 Branchenverbänden mit 100.000 Unternehmen moderiert. Umso bemerkenswerter ist, wenn die Industrie selbst den Scheinwerfer auf ihr Akzeptanzproblem richtet. Nun muss sie aber auch liefern.

#### 4 Wutbürger und »Nimby«

Proteste gegen Energieanlagen waren fast 40 Jahre lang auf die Atomkraft konzentriert. Gleichwohl gab es stets auch Widerstände gegen andere Großprojekte, gegen Kraftwerke und Leitungen, außerdem besonders bei der Verkehrsinfrastruktur. Proteste richten sich gegen Flughäfen, Autobahnen, Brücken, Bahntrassen und Kanäle. Protestiert wird gegen Fabriken und Industriegebiete, Müllverbrennungsanlagen und -deponien, gegen Freizeitparks, Factory-Outlet-Zentren, Hochhäuser, Gefängnisse oder Asylbewerberheime, Mobilfunkmasten oder McDonald's-Restaurants. Oder in München gegen die Olympiabewerbung (»NOlympia«).

Die breite Forschungsliteratur zu den sozialen Bewegungen, die ab den 1970er Jahre entstanden, erklärt die neueren Protestphänomene nur unzureichend. Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sind gleichermaßen irritiert über die Radikalisierung einer bisher protestfernen, staatstragenden, bürgerlichen Mitte. In diese Deutungslücke stößt der Begriff »Wutbürger«. In seinem vielbeachteten *Spiegel*-Essay erklärt Kurbjuweit (2011: 26) das Protestphänomen durch »Zukunftsvergessenheit« einer alternden Gesellschaft. Das »Verhältnis von denen, die viel vom Wandel haben, und denen, die wenig davon haben, wird immer ungünstiger für eine dynamische Entwicklung des Landes«, meint Kurbjuweit. Der Wutbürger denke nur an sich und die Gegenwart: »Deshalb beginnt sein Protest in dem Moment, da das Bauen beginnt, also die Unannehmlichkeit. Nun schiebt er das beiseite, was Bürgertum immer ausgemacht hat: Ver-

antwortlichkeit, nicht nur das Eigene und das Jetzt im Blick zu haben, sondern auch das Allgemeine und das Morgen. [...] Der Wutbürger hat das Gefühl, Mehrheit zu sein und die Lage besser beurteilen zu können als die Politik. Er macht sich zur letzten Instanz und hebelt dabei das gesamte System aus. Er versteht nicht oder will nicht verstehen, dass ein Sieg der Gegner von Stuttgart 21 jeden anderen Protest in Deutschland beflügelt. Fast jedes neue Kraftwerk, fast jede Hochspannungsleitung, fast jedes Windrad, fast jede Straße ist umstritten, weil sie nicht in Lebensgefühle passen oder Lebenslagen verändern.« (Kurbjuweit 2011)

Weitgehend bestätigt wird die journalistische Deutung durch das Göttinger Institut für Demokratieforschung. Es hat im Sommer 2011 am Protest gegen Stuttgart 21 und den Flughafen Berlin-Brandenburg Beteiligte, Vertreter von 52 Initiativen gegen Windräder und Freileitungen sowie die Teilnehmer einer Großdemonstration »Pro Erdkabel« in Hannover gegen Stromleitungen interviewt. Fazit der 2.000 Stellungnahmen: 70 Prozent der Befragten sind über 45 Jahre alt, 16- bis 25-Jährige stellen nur ein Prozent. »Heute beherrschen die jungen Rentner – damals [in den 1970ern] so gut wie gar nicht präsent – das Bild des Bürgeraufbegehrens« (Walter 2011). Fast 60 Prozent der Aktivisten hätten einen Hochschulabschluss. Sie seien weit überwiegend mit ihren materiellen Lebensumständen zufrieden, unzufrieden aber mit Politik und Parteien. Sie wollten als Betroffene politische Einflusskanäle wirksam nutzen: »Denn natürlich sind die Handlungsmotive der Bürgerproteste nicht rundum selbstlos. Sie werden nicht allein von der Sorge um den Bestand der Fledermäuse, rarer Biotope oder uralter Bäume angetrieben. Die umtriebigen Wortführer gegen Flughafenausbau, Windräder und Oberleitungen sind in bemerkenswert großem Umfang (über 90 Prozent) Grundstückseigentümer und Hausbesitzer. Sehr prosaisch formuliert: Die Immobilienwerte stehen auf dem Spiel, wenn Stromleitungen und bis zu 150 Meter hohe Windräder in einem bis dahin beschaulichen Kurort den Blick auf eine Caspar-David-Friedrich-Landschaft verstellen« (Walter 2011).

Auffallend sei auch die recht hohe Quote an Unternehmern und Selbstständigen. Der Ingenieur im Ruhestand sei ebenfalls typisch: Er sei nicht fortschrittsfeindlich, argumentiere aber mit technischem Wissen, um Stromtransporttechniken, die sein Umfeld bedrohen, zu verhindern (Walter 2011). Das Beispiel der Bürgerinitiativen gegen Windkraftanlagen und Stromtrassen zeige allerdings, dass die Wutbürger-Klischees

nicht immer zuträfen, hält Becké (2011) fest. Die Initiativen agierten meist »äußerst maßvoll«, in »ruhigen Formen des Protestes« sowie »produktiver Vernetzung und Kontaktpflege mit Vertretern aus Politik und Wirtschaft«. Statt Demonstrationen gebe es Mahnwachen, Lichterketten und Unterschriftenaktionen. Sie bemühten sich, komplexe Themen für die breite Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Becké meint, die bürgerliche Mitte habe »keineswegs jedes Maß verloren«, ihre Ziele seien »größtenteils konstruktiv und vor allem lokal begrenzt, und ihr Empörungspotenzial scheint eher gering.« Sie überschätzten sich aber: »Sie schreiben sich ein extrem hohes Bedeutungsmaß zu und sind überzeugt, als unabhängiger und objektiver Informationslieferant an einer wichtigen Schaltstelle zwischen Politik und Wirtschaft zu sitzen. Je kleiner dabei die Initiative ist, desto höher wird auch der eigene Einfluss bewertet.« (2011)

Ein Teil der Protestphänomene lässt sich mit dem Sankt-Florians-Prinzip verbinden (»Heiliger Sankt Florian, verschon mein Haus, zünd andre an«). Die Grundhaltung zu Großprojekten ist: Allgemein ja, aber nicht hier und nicht auf meine Kosten. International wird vom Nimby-Syndrom gesprochen, als Akronym für »Not in my back yard.« Dazu ist vor allem in den USA eine veritable Nischenliteratur entstanden, einschließlich Büchern spezialisierter Berater, wie man in einer von »Nimbyismus« geprägten Lokalpolitik navigieren (Thomsett 2004), mit welchen Kampagnentechniken man »Nimby-Kriege« führen (Saint et al. 2009) oder »den Nimby-Drachen erlegen« soll (Inhaber 1998). Über das US-Phänomen fasste bereits Glaberson (1988) das zusammen, was in den jüngsten deutschen Wutbürger-Analysen gesagt wird. Die Nimby-Bewegung bestehe nicht aus Eiferern, sondern aus einer wachsenden Zahl von Lehrern, Vorstadtangestellten und Unternehmern, die in Kommunalgremien oder Bürgerversammlungen auftauchen und sich zeitlich begrenzt organisierten: »Nimbys are noisy. Nimbys are powerful. Nimbys are everywhere. Nimbys are people who live near enough to corporate or government projects – and are upset enough about them – to work to stop, stall or shrink them. Nimbys organize, march, sue and petition to block the developers they think are threatening them. They twist the arms of politicians and they learn how to influence regulators. They fight fiercely and then, win or lose, they vanish.« (Glaberson 1988)

Glaberson stellte fest, die Bürger wollten Wachstum, aber nur abstrakt, nicht in ihrer Nähe. Er bezog sich auf

das aus der ökonomischen Theorie bekannte Dilemma konzentrierter Kosten und diffusen Nutzens: Die Nachteile für die unmittelbaren Nachbarn sind groß, der direkte Nutzen aber klein. Die Frage sei, ob Tausende kleiner Nimby-Siege noch Platz lassen für jene Anlagen, die der Wirtschaft und Allgemeinheit gemeinsam zugute kämen.

Die Motivationslage der Aktivisten entscheidet darüber, mit wem ein Vorhabenträger sinnvoll einen berechenbaren Dialog mit Erfolgsaussicht führen kann. Die Nimby-Haltung »nur bitte nicht hier« ist keine Totalopposition. Gruppen, die den Projektbedarf nicht grundsätzlich bestreiten, mögen nicht immer konstruktiv sein, aber sind kompromissfähig, wenn sie ernst genommen werden, wenn sie ein Stück Kontrolle über das Verfahren gewinnen und Anpassungen möglich sind. Anders sieht es aus, wenn Gruppen eine kompromisslose, ideologische Haltung einnehmen und ihr Ziel nicht die Beilegung, sondern die Eskalation der Konflikte ist. Entweder sie verweigern sich oder sie kapern und sabotieren Verhandlungen, Mediationen und Beteiligungsverfahren. Im ersten Fall kann man von Verhandlungsdemokratie sprechen, im zweiten von Verhinderungsdemokratie. Für Politiker, die in dieser Gemengelage als Vermittler oder ehrlicher Makler einen Interessenausgleich herbeiführen und befrieden möchten, ist die Radikalisierung und Polarisierung riskant: Sie werden stark unter Druck gesetzt, um sich sofort dafür oder dagegen auszusprechen. In diesem Freund-Feind-Schema gibt es keine Mittelposition.

## 5 Überregionale Kampagnen

Natürgemäß haben Bürgerinitiativen kleine Reichweiten. Lockere Strukturen und ein enger Fokus als Ein-Punkt-Gruppen unterscheiden sie von Umweltverbänden. Kommunikation und Interessenvertretung können koordiniert, kaum aber zentral und hierarchisch gesteuert werden. Eine engere Kooperation entsteht eher auf Landesebene, etwa bei Windkraftgegnern oder Erdkabel-Initiativen, die sich gegen Freileitungen wenden.

Dennoch sind Bürgerinitiativen fähig, sogar internationale Netzwerke zu bilden. So zählt die European Platform Against Windfarms (EPAW 2011) 500 Unterzeichnerorganisationen aus 22 Ländern, darunter 72 deutsche (u. a. Bundesverband Landschaftsschutz, Gegenwind). In Totalopposition will die EPAW den

»Kampf gegen die Errichtung industrieller Windkraftanlagen« führen. Ihre Position ist, dass »diese unstete und unkontrollierbare Energie kein einziges Problem der Menschheit löst« und »Windkraftanlagen den Menschen, der Wirtschaft, den Staatsfinanzen und der Umwelt nichts anderes als beträchtliche Schäden zufügen« (EPAW 2011).

Auch wenn etwa die Anti-Windkraft-Initiativen ein erhebliches Medienecho erhielten, kam es bisher nicht zu bedeutenden überregionalen Kampagnen gegen regenerative Energien. Eine andere Dimension erreicht die Opposition gegen den Aus- und Neubau von Kohlekraftwerken. Hier sind wohlorganisierte und gut finanzierte Kampagnen zu beobachten, die lokale Initiativen mit den Stärken professionell geführter Umweltverbände verkoppeln und bundesweit einen Kampf um die politische Agenda und die öffentliche Meinung führen – mit Erfolg, wie man an der Allensbach-Umfrage ablesen kann. Energiekonzerne werden ebenso belagert wie Stadtwerke.

Führende Umweltorganisationen wie BUND und NABU, Greenpeace oder Robin Wood arbeiten systematisch und kampagnenförmig gegen Kohlekraftwerke. Die Kampagnen haben das Ziel, lokale Großprojekte zu verhindern, zugleich aber das Ziel, eine national konsequente Klimaschutzpolitik durchzusetzen. Zusätzliche Wirkung erreichen sie durch ihre Bündnispolitik in der Klima-Allianz Deutschland. 2007 zunächst für zwei Jahre gegründet, setzte sie ihre Arbeit nach der Bundestagswahl 2009 und zum Kopenhagener UN-Klimagipfel fort. Sie hat über 110 Mitglieder. Die mit zwei Hauptamtlichen besetzte Geschäftsstelle ist beim Forum Umwelt & Entwicklung in Berlin angesiedelt. Die wesentlichen Ressourcen liegen bei den Mitgliedern. Dazu gehören Umweltverbände (BUND, NABU, WWF), Wirtschaftsverbände erneuerbarer Energien, Verbraucher- und Jugendverbände, Gewerkschaften (IG BAU), Kirchen, Hilfsorganisationen (Oxfam, Brot für die Welt, Misereor). Die Allianz vertritt so 10 Millionen Menschen. Die Breite soll signalisieren, dass die Anliegen »aus der Mitte der Gesellschaft« kommen. Die Allianz finanziert sich aus Mitgliedsbeiträgen (400 – 10.000 Euro) und Zuschüssen etwa der European Climate Foundation. Schwerpunkte sind »politische Lobbyarbeit, das Anstoßen und Organisieren von Debatten zur aktuellen Energie- und Klimapolitik und gemeinsame Veranstaltungen und Aktionen«, etwa Klima-Aktionstage und der Alternative Energiegipfel (Klima-Allianz Deutschland 2010).

Der Kern ist seit 2008 die Anti-Kohle-Kampagne, die auf ein Moratorium für Kohlekraftwerkpläne hinwirkt. Die Kampagne betreibt die Internetpräsenzen [kohleprotest.de](http://kohleprotest.de), [stadtwerke-kohlefrei.de](http://stadtwerke-kohlefrei.de) und [keine-kohle-fuer-kohle.de](http://keine-kohle-fuer-kohle.de). Sie kooperiert mit der erfolgreichen Online-Kampagnenplattform [Campact.de](http://Campact.de). Großes Medienecho hatte die bundesweite »Kohlosaurus«-Aktionstournee, bei der ein fünf Meter großer, schwarze Luftballons ausstoßender Kraftwerkurm mit Dinosaurierkopf und -pranken durch Kohlekraftwerkstandorte reiste. Für die Mitglieder stellt die Allianz Positions- und Hintergrundpapiere, Studien, Präsentationen, Flyer, Argumente, Vorlagen und Kampagnenmaterialien zur Verfügung. Mit ihrer zentralen Kampagnenlogistik und Pressearbeit multipliziert und verstärkt die Allianz die Stimmen örtlicher Initiativen. Detailliert informiert die Kampagne online über die derzeit zehn geplanten, zehn genehmigten oder im Bau befindlichen Kraftwerke sowie über die 17 verhinderten oder zurückgestellten Projekte. Nicht nur Baustopps werden als Erfolge präsentiert (z. B. beim EON-Kraftwerk Datteln), sondern auch Projektänderungen: So schreibt sich die Kampagne den Verdienst zu, Vattenfall zum Verzicht auf ein Kohlekraftwerk in Berlin zugunsten eines Biomasse- und Gasprojekts getrieben und das Stadtwerke-Konsortium Trianel zum Verzicht auf ein Kohlekraftwerk in Krefeld bewegt zu haben, wo nun ein Gas- und Dampfturbinenkraftwerk errichtet werden soll (Klima-Allianz Deutschland 2011).

Doch schreibt die Allianz nicht nur eine Erfolgsstory. Unzufrieden mit schwach besuchten Demonstrationen, erwog der BUND einen Ausstieg. »Zudem empfanden einige Mitglieder die Klima-Allianz offenbar als Konkurrenz zum eigenen Verband«, konstatiert Kreuzfeld (2010). Eine Strategiedebatte setzte ein, in der vor »ritualisiertem Aktionismus« und dem »Schmoren im eigenen Saft« gewarnt wurde. Das Bündnis müsse zum »politischen Faktor« werden und Lobbying bei Entscheidungsträgern der deutschen Energiepolitik betreiben, hieß es aus dem Lager der Umweltverbände. Entwicklungsverbände sahen das anders: Das Bündnis solle »weiterhin als breit angelegter ›Verstärker‹ wirken« und auf den internationalen Klimaschutz orientiert sein. Die Befürworter nationaler, energiepolitisch fokussierter Lobbyarbeit setzten sich durch. Sie planen mehr Personal, höhere Mitgliedsbeiträge und eine Anhebung des Jahresetats auf 500.000 Euro (Kreuzfeldt 2010).

Die Klima-Allianz ist nur begrenzt ein strategisches Zentrum. Breite ist nicht gleich Schlagkraft, sondern be-

lastet Handlungs- und Strategiefähigkeit, Bindewirkung und Koordinationskraft. Sie spiegelt die in der Szene der Nichtregierungsorganisationen starken Fragmentierungsprozesse, Konflikte zwischen ressourcenstarken Profiverbänden und lockeren Grassroots-Initiativen, widersprüchlichen Strategieansätzen und die Tendenz, sich untereinander abzugrenzen und wieder »auf eigene Rechnung« zu arbeiten (Unmüßig 2011) wider.

## 6 Verbandsklage: Schlüsselinstrument der Umweltverbände?

Umweltverbände haben ein Portfolio politischer Instrumente an der Hand. Ob und wie sie zum Einsatz kommen, hängt von Strategie, Mitgliederbasis, Finanzen, hauptamtlichem Personal, Freiwilligenmanagement, Erfahrung und Vernetzung ab. Zu den Instrumenten zählen

- Medien- und Öffentlichkeitsarbeit einschließlich Aktionen und Kampagnen;
- Praktische Projekte (insbesondere im Naturschutz) und wissenschaftliche Studien;
- Bündnisse und Kooperationen mit anderen Organisationen, durchaus auch der Wirtschaft;
- Einwirkung auf und Mitarbeit in Wahlkämpfen;
- Stakeholder-Verhandlungen, in denen die Verbände bei Entscheidungen und Projekten auf freiwilliger Basis einbezogen werden, etwa von Unternehmen oder bei der informellen Bürgerbeteiligung durch Behörden;
- Lobbying, d. h. die direkte Einflussnahme auf Entscheidungsträger in (a) Gesetzgebungsverfahren und (b) bei der Rechtsumsetzung durch die Verwaltung; und
- gerichtliche Prozessführung.

Recht ist sowohl Gegenstand als auch Instrument der Lobbyarbeit. Die umweltrechtliche Kompetenz wird u. a. eingesetzt durch Hausjuristen als Sachverständige in Prozessen oder bei der Politik, durch Gerichtsverfahren begleitende Öffentlichkeitsarbeit (Litigation-PR), durch Unterstützung von Musterprozessen und durch Klagen als Betroffene, wenn der Verband etwa selbst ein Grundstück kauft. Verbände können Informationsfreiheit- und Umweltinformationsgesetze ebenso nutzen wie Informations- und Beteiligungsrechte im Planungs- und Baurecht. Teils werden sie wie Träger öffentlicher Belange behandelt. So gewonnene Informationen helfen den Einsatz von Rechtsmitteln vorzubereiten. »Sie

beschaffen sich von Vorhabenträgern Informationen nur zu dem Zweck, sie in Klagen zu verwenden«, kritisiert etwa der Wirtschaftsanwalt von Daniels (WIT/DIPA 2005).

Der politische Streit um die Verbandsklage wird seit über 30 Jahren geführt. Befürworter halten die Stellvertreterfunktion für alternativlos, da die Umwelt sonst keinen Anwalt habe (»fish can't go to court«). Sie argumentieren mit dem Wert der Demokratisierung und Bürgerbeteiligung sowie dem Vollzugsdefizit: Damit ist gemeint, dass Gesetze zwar beschlossen, aber von der Verwaltung wegen Mangel an Personal und Willen nicht umgesetzt werden. »So steht die Umweltverwaltung insbesondere bei größeren Vorhaben unter einem erheblichen politischen Druck, eine einmal projektierte Anlage zu genehmigen und durch Auflagen und Kontrollen nicht zu belasten«, begründet Wegener (2011: 364). Zugespitzt heißt es: »Ohne die Möglichkeit der Verbandsklage stünden weite Teile des Umweltrechts bald nur noch auf dem Papier« (Rath 2006: 6). Die Befürworter nennen die Verbandsklage eine Hilfe für »ein Verhandeln auf gleicher Augenhöhe« (Remmel 2006). Festzuhalten ist, dass das Verbandsklagerecht funktional zum politischen Korporatismus passt.

Zu den Gegnern der Verbandsklage gehörten stets Vertreter der Verwaltungsgerichte und Wirtschaftsverbände (Koch 2007: 371). Sie bestreiten die demokratische Legitimation der Umweltverbände, kritisieren den Bruch mit der Rechtstradition des Individualrechtsschutzes, warnen vor Instrumentalisierung und Überlastung der Gerichte. Auch wird kritisiert, dass Umweltverbände öffentliche Fördermittel erhielten, die indirekt Prozesse finanzieren. Schließlich schade die Verbandsklage dem Investitionsstandort. Das seien »gut gepflegte Vorurteile«, befindet Koch (2007: 376). Die Erfahrungen – auch im Ausland – lieferten »keine tragfähige Bestätigung für die vielfältigen Befürchtungen von Prozessfluten und anderen Dysfunktionalitäten im Rechtssystem« (ebd.: 376). Empirisch weist Schmidt (2008) in einer Studie über die naturschutzrechtliche Klagetätigkeit 2002 – 2006 (138 Klagen) nach, »dass die Naturschutzverbände ihre Klagerechte regelmäßig nur in ausgewählten Fällen mit guten Erfolgsaussichten nutzen und damit die Verbandsklage – ihrem Zweck entsprechend – gezielt als Instrument zum Abbau von Vollzugsdefiziten im Naturschutzrecht einsetzen« (ebd.: 545). Ihre Erfolgsquote liege bei 40 Prozent. An Verwaltungsgerichtsverfahren zu Großprojekten habe die Verbandsklage aber nur 0,02 Prozent Anteil. »Es

spricht daher viel dafür, dass die Realisierbarkeit von Infrastrukturvorhaben in Deutschland nicht ernsthaft in Frage steht« (ebd.: 553).

In der Rechtspraxis wirkt die Verbandsklage wenig dramatisch. Die kollektive Rechtsdurchsetzung, in der Verbände als Stellvertreter für Allgemeininteressen auftreten, ist im Naturschutzrecht von Bund und Ländern verankert (seit 2002 im Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG). Voraussetzung ist die staatliche Anerkennung als Naturschutzverband, was als Nadelöhr gilt. In den Ländern ist das Verbandsklagerecht teilweise ausgeweitet worden. Mit dem Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG 2006) des Bundes wurde eine EU-Richtlinie (2003/35/EG) umgesetzt, die wiederum auf der Aarhus-Konvention basiert, die die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten für Bürger und Umweltverbände erweiterte. Die Verbände erhielten ein Klage-recht, soweit sie damit Individualinteressen mit vertreten – es enthielt also keine Befugnis, altruistisch »für die Umwelt« zu klagen. Dennoch war es eine Option bei Genehmigungsverfahren für Industrie- und Infrastrukturprojekte. Die Wirtschaft befürchtete 2005/6 eine Klageflut, die aber nicht eintrat.

Die Verbandsklage blieb »Fremdkörper« im Recht, was sich in restriktiven Zulässigkeitsanforderungen und in beschränkter gerichtlicher Kontrolldichte widerspiegelte (Schlacke 2004). Andere Instrumente erschienen daher effizienter, also Öffentlichkeitsarbeit, Verhandlungen, Lobbying und Politikberatung als Sachverständige. Schon Anfang des Jahrzehnts war klar: Das Verbandsklagerecht ist kein Universalwerkzeug. Es hat eher die Wirkung »juristischer Nadelstiche« (Börnecke 2003). Fischer (2011) stellt heraus, dass die Umweltverbände weitgehend nur die Möglichkeit hatten, quasi als Nebenkläger die Rechte einzelner Betroffener mit zu vertreten: »Das führte zum einen dazu, dass Umweltgefahren nicht abhängig von ihrer Schwere in Verfahren Eingang fanden. Zentraler Prüfstein war das Vorhandensein einer subjektiven Betroffenheit, die tatsächlich schwerwiegenden öffentlichen Interessen blieben oftmals außen vor. Zudem verpflichtete es die Verbände, mit Einzelklägern zu paktieren, auch wenn man selbst in den Verbänden deren Motiven skeptisch gegenüber stand.« (Fischer 2011)

Als der BUND 2009 gegen das Kohlekraftwerk in Lünen klagte, wurde ihm zunächst die Klagebefugnis abgesprochen (BUND 2011b). Der BUND focht dies an und erreichte am 12. Mai 2011 ein Urteil des Europäischen Gerichtshofs, das Deutschland zur Änderung des

UmwRG verpflichtet, weil die Beschränkungen gegen EU-Recht und insbesondere gegen den Aarhus-Grundsatz des »weiten Zugangs zu Gerichten« verstoßen (EuGH, Rechtssache C-115/09). Mit sofortiger Wirkung können sich Umweltverbände bei Verbandsklagen etwa gegen alle Energieprojekte, die eine Umweltverträglichkeitsprüfung erfordern, direkt auf das Unionsrecht berufen.

Das Urteil hat viel Aufsehen erregt. Der BUND sieht das Urteil als »Meilenstein für mehr Bürgerbeteiligung und die Stärkung der Gemeinwohlinteressen bei industriellen Großvorhaben« (BUND 2011a). Der EuGH habe »der Verbandsklage endgültig zum Durchbruch verholfen«, meint Schoppen (2011: 2), »für Genehmigungen besteht deshalb ein erhöhtes Klagerisiko und weniger Planungssicherheit für Projekte.« Müller und Hofmann (2011) sagen voraus: »Die massive Stärkung des Klage-rechts der Umweltverbände dürfte großen Einfluss auf die zukünftige Genehmigungs- und Klagepraxis bei der Realisierung von umweltsensiblen Großanlagen haben.«

Vor dem EuGH argumentierte der Bund, Deutschland habe auch ohne Verbandsklage eine große materielle Kontrolldichte im Umweltrecht, ein hohes Schutzniveau für Betroffene. Das griff die EuGH-Generalanwältin im Schlussantrag auf: »Ebenso wie ein Ferrari mit verschlossenen Türen hilft jedoch eine intensive Kontrolldichte in der Praxis wenig, wenn das System als solches für bestimmte Kategorien von Klagen nicht zugänglich ist« (Sharpston 2011). Nach dem Urteil kommentierte Appel (2011), der EuGH habe »den Verbänden den Ferrari-Schlüssel in die Hand gegeben, was zu einem in Europa einzigartig hohen Schutzniveau führen dürfte.«

Die Zahl der Klagen dürfte steigen, »wenn auch wohl nicht dramatisch«, meint Henning (2011). Künftig würden auch kleinere und mittelgroße umweltrelevante Projekte beklagt werden. Aufwändigere Verfahren könnten jedoch dazu beitragen, die Akzeptanz den unmittelbar betroffenen Nachbarn der Großprojekte durch bessere Nachvollziehbarkeit zu stärken. Die Ausweitung der Klagerechte »könnte zwar die Energie-wende verschleppen – dürfte aber vielen Wutbürgern den Wind aus den Segeln nehmen«, analysiert ebenso Fischer (2011). Er meint: »Die durchweg positiven Reaktionen aus den Umweltministerien der Länder und aus Berlin auf das Urteil offenbaren, dass darin auch Chancen stecken. Denn durch die Klageberechtigung der Umweltverbände könnte diese Prozessseite endlich

eine gewisse Berechenbarkeit und höhere Glaubwürdigkeit bekommen. [...] [So] kann damit die Abwägung zwischen Umweltbeeinträchtigungen und Nutzen eines Bauprojekts vor den Augen der Öffentlichkeit stattfinden. Das mag zu mehr Klagen gegen Großprojekte führen, könnte jedoch dafür sorgen, dass nach dem Abschluss eines Prozesses auch die öffentlichen Proteste enden.« (Fischer 2011)

Rechtlich sind die meisten Beschränkungen für die Verbandsklage aus dem Feld geräumt. Das erlaubt die glaubwürdige Drohung mit der Ultima Ratio als äußerstem (nicht unbedingt letztem) Mittel. Das zwingt Projektträger und Behörden, am Verhandlungstisch zu bleiben. Verbandsklagen sind eine Machtdemonstration. Sie haben Signal- und Öffentlichkeitswirkung, auch für Mitglieder und Spender. Für betroffene Projektgegner werden die Verbände als Partner attraktiver, stellt Hofmann (2011) heraus: »Insgesamt wird die Stellung der Umweltverbände erheblich an Bedeutung gewinnen: Vorhabengegner können die Umweltverbände zwischenschalten, um ihre eigenen Rechtsschutzziele zu erreichen.«

Jedoch stößt der Einsatz der Verbandsklage auf praktische Grenzen. Umweltverbände leben von ihrer Reputation. Als verantwortungslose Blockierer dürfen sie nicht dastehen. Wer überreizt, gefährdet die eigene Glaubwürdigkeit und riskiert Kollateralschäden. Im Kontext der Energiewende ist sorgfältig abzuwägen: »[D]ie Verbände müssen nun ihr Selbstverständnis auf den Prüfstand stellen. Es ist eine Sache, nötige Umweltverträglichkeitsprüfungen und Gutachten einzufordern. Eine andere ist es, damit gezielt Bauprojekte verhindern zu wollen. Die Verbände müssen sich nicht auf eine Position zurückziehen, die jeden Eingriff in die Natur ablehnt. Das mag so manchem Molch zunächst nutzen, schadet aber letztlich dem Klima und der Umwelt insgesamt. Wer die Energiewende will, darf den Neubau von Starkstromtrassen, Windrädern und Biomasseanlagen nicht verhindern.« (FTD 2011)

Gut vorbereitete Verbandsklagen haben bisher hohe Erfolgsaussichten, aber keine Erfolgsgarantie. Zudem sind sie teuer. Prozesse dauern oft Jahre. Sie binden viel Personal. Zu tragen sind Anwalts- und Gutachterhonorare, Gerichtskosten und das Risiko von Schadenersatzforderungen, z. B. bei Bauverzögerungen. Für Harald Kächele, Vorsitzender der Deutschen Umwelthilfe und ehemaliger BUND-Landeschef in Berlin, ist Umsicht nötig: »Wir gewinnen meistens, aber wir klagen sehr selten, nur wenn die Risiken begrenzt sind und die

Chance zu gewinnen groß ist. Wir haben die Chance, Großunternehmen richtig weh zu tun. Die Verzögerung bei Projekten kann bei unseren Gegnern extrem ins Geld gehen. Aber davon haben wir unsere eigenen Anwälte noch nicht finanziert.« (WIT / DIPA 2005)

So darf nicht überraschen, dass bei Klagen die Tendenz zum Vergleich geht. So geschah es beim Bau der Nord Stream-Gaspipeline durch die Ostsee, beim Offshore-Windpark Nordergründe vor Wangerooge und beim Ausbau des Flughafens Lübeck (NDR Fernsehen 2011). Im Fall der Pipeline zogen die Verbände BUND und WWF ihre Klagen zurück, weil Nord Stream eine Naturschutzstiftung Deutsche Ostsee gründete und mit zehn Millionen Euro Kapital ausstattete. Im Vorstand und Beirat sind – neben Vertretern der Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern – BUND, NABU und WWF vertreten. Im Fall Nordergründe zog der BUND eine Klage zurück, nachdem der Betreiber 810.000 Euro an die BUND-nahe Stiftung Naturlandschaft zu spenden bereit war. In Lübeck verzichteten BUND und NABU auf ihre Klage gegen den Flughafenbau, nachdem der Flughafenbetreiber 2,5 Millionen Euro für die Stiftung Grönauer Heide zugesagt hatte (NDR Fernsehen 2011).

Diese Strategie ist umstritten. Kritiker sehen in diesen Kompromissen einen »Ablasshandel« und sind der Meinung: »Es geht ums Geld und es geht darum, dass man mit großen Firmen und der Politik im stillen Kämmerlein kungelt« (NDR Fernsehen 2011). Der Pipeline-Deal führte u. a. zu heftigem Streit im Landtag Mecklenburg-Vorpommern. Die CDU warf den Umweltverbänden »Käuflichkeit« vor: »Vielfach werden kleinere Maßnahmen, mit denen eine wirkliche Not von Bürgern behoben werden kann, durch das Verbandsklagerecht der Umweltorganisationen jahrelang behindert. Aber bei so großen Investitionen wie der Pipeline gibt es offensichtlich dann ganz andere Sichtweisen.« (Schneider 2011)

Die Verbände wiesen die Angriffe von Medien und Politik scharf zurück. Zum Pipeline-Deal sagte der BUND-Landesverband, er habe sich für eine Eingriffsverringerung und einen angemessenen Ausgleich eingesetzt. Eine Verhinderung des Projektes sei nie das Ziel gewesen. Anlass der Klage sei »eine skandalöse Genehmigung« der Behörden gewesen. Da die gerichtliche Überprüfung eine einjährige Verzögerung des Baustarts bedeutet habe, seien die Investoren an BUND und WWF herantreten. Ausgleichsmaßnahmen an der Ostsee im Wert von mehr als 20 Millionen Euro seien ermöglicht worden. Nach diesen vertraglichen Zusagen

seien die naturschutzfachlichen Ziele erreicht gewesen, so dass die Klage zurückgezogen werden konnte (BUND 2011).

## 7 Konklusion

Die Energiewende wird für Vorhabenträger politisch kein Spaziergang. Mehr denn je kommt es für die Projektmanager auf ein integriertes, strategisch und auf Dauer angelegtes Risiko- und Stakeholdermanagement an. Sie werden das latente Protestpotenzial ebenso berücksichtigen müssen wie die bereits organisierte Opposition. Um Akzeptanz werden sie in der Öffentlichkeit werben und kämpfen müssen. Das gilt für regenerative und konventionelle Kraftwerke ebenso wie für die Netze. Die höchstrichterliche Stärkung der Verbandsklagerechte bedeutet die Pflicht, auf Augenhöhe mit den Umweltverbänden zu verhandeln. Beschleunigungsgesetze alter Spielart würden gegen den Widerstand von Bürgerinitiativen und Umweltverbänden nichts beschleunigen, eher ließen sie Konflikte eskalieren. Vom Gesetzgeber ist, wie das Beispiel des NABEG zeigt, trotz des hohen Zeitdrucks für die Energiewende, keine einseitige Bevorzugung der Projektträger zu erwarten. Die Repositionierung des BDI zeigt ebenso: Der Schatten von Stuttgart21 ist lang. Alle Zeichen stehen auf mehr und frühere Bürger- und Verbändebeteiligung sowie mehr Transparenz.

Die Energiewende wird weder durch Bürgerinitiativen noch durch Umweltverbände fundamental bedroht. Sie stellen Forderungen, die schwer zu umgehen, wahrscheinlich teuer und aufwändig sind. In den meisten Fällen geht es jedoch um Anpassungen, nicht um Totalopposition. Eine Ausnahme stellen Kohlekraftwerke dar, die als »Klimakiller« dargestellt werden. Hier ist Ideologisierung zu beobachten, die Verhandlungslösungen kaum Spielraum lässt. Das instrumentelle Spektrum potenzieller Projektgegner zu unterschätzen, wäre ein Fehler. Eine Blockadewelle und Klageflut ist dagegen nicht zu erwarten. Dies erklärt sich sowohl durch eingeschränkte Ressourcen als auch durch die strategische Abwägung von Risiken, Glaubwürdigkeits- und Legitimitätsproblematik, Selbstverständnis und Strategie. Auch für sie sind Kooperation und Verhandlung oftmals die bessere Alternative.

## Literatur

- Appel, M. (2011): Umweltverbände im Ferrari des deutschen Umweltschutzes – Anmerkung zur Trianel-Entscheidung des EuGH, *Urt. v. 12.5.2011 – C-115/09. Natur und Recht*, 33 (6), 414-416.
- BDI (2011a): Investitionsprojekte vorantreiben, [http://www.bauindustrie.de/media/attachments/BDI-InvestitionsAgenda\\_27\\_Juni\\_2011\\_small.pdf](http://www.bauindustrie.de/media/attachments/BDI-InvestitionsAgenda_27_Juni_2011_small.pdf), Zugriff: 14.09.2011.
- BDI (2011b): Lange Verfahren hemmen Investitionen, <http://www.investitionsagenda.de/node/306/145>, Zugriff: 13.09.2011.
- Becké, A. B. (2011): »Wutbürger?«, <http://www.demokratie-goettingen.de/blog/%E2%80%99Ewutburger%E2%80%9C/>, Zugriff: 16.09.2011.
- Becker, J. (2011): Vom Wutbürger zum Mutbürger: Umweltverband fordert stärkere Beteiligung der Öffentlichkeit bei Großprojekten, <http://www.neues-deutschland.de/artikel/187799.vom-wutbuerger-zum-mutbuerger.html>, Zugriff: 20.05.2011.
- Bernard, A., Heidtmann, J., Luef, W. (2011): Gut, dass Sie da sind! *Süddeutsche Zeitung Magazin* (13), 20-30.
- Börnecke, S. (2003): Gekämpft wird diesmal anders – auf beiden Seiten. *Frankfurter Rundschau*, 35.
- BUND (2011a): Erklärung in eigener Sache: Der BUND ist und bleibt unbestechlich!, [http://www.bund-mecklenburg-vorpommern.de/themen\\_und\\_projekte/ostseeschutz/ostseepipeline/erklaerung/](http://www.bund-mecklenburg-vorpommern.de/themen_und_projekte/ostseeschutz/ostseepipeline/erklaerung/), Zugriff: 05.09.2011.
- BUND (2011b): Mehr Bürger- und Klagerechte gegen Großprojekte: EuGH-Entscheidung zum Kohlekraftwerk Lünen, [http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/klima\\_und\\_energie/20110512\\_klima\\_energie\\_hintergrund\\_eugh\\_luenen.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/klima_und_energie/20110512_klima_energie_hintergrund_eugh_luenen.pdf), Zugriff: 02.09.2011.
- Bundesregierung (2011): Grünes Licht für Ausbau der Stromnetze, <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2011/06/2011-06-06-energie-wende-ausbau-stromnetze.html>, Zugriff: 13.09.2011.
- Claus, F., Dames, S. (2011): Industriepolitik, <http://www.dialoggestalter.de/themen/aktuelle-themen/industriepolitik.html>, Zugriff: 03.09.2011.
- EPAW (2011): Über uns, [http://epaw.org/about\\_us.php?lang=de](http://epaw.org/about_us.php?lang=de), Zugriff: 10.09.2011.
- Financial Times Deutschland (2011): Klägliches Verfahren. *Financial Times Deutschland*, 1.
- Fischer, K. (2011): Anklage im Namen der Fledermaus, <http://www.wiwo.de/politik-weltwirtschaft/anklage-im-namen-der-fledermaus-466200/>, Zugriff: 02.09.2011.
- Glaberson, W. (1988): Coping in the Age of ‚Nimby‘, <http://www.nytimes.com/1988/06/19/business/coping-in-the-age-of-nimby.html>, Zugriff: 02.09.2011.
- Henning, B. (2011): Erweiterung der Klagerechte anerkannter Umweltverbände – Chance auf mehr Umweltschutz oder Investitionshindernis? *Neue Juristische Wochenschrift NJW* (38), 2765-2769.
- Hofmann, H. (2011): Höhere Hürden für industrielle Großanlagen. *Energie & Management*.
- Hörr, S. (2011): Engagement, bevor der Wutbürger eingreift, <http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2011/0603/sonderthema/0022/index.html>, Zugriff: 02.09.2011.
- Inhaber, H. (1998): *Slaying the NIMBY dragon*. Transaction, New Brunswick und London.

- Klima-Allianz Deutschland (2010): Wer wir sind: Aktivitäten, <http://www.die-klima-allianz.de/wer-wir-sind/aktivitaeten>, Zugriff: 04.09.2011.
- Klima-Allianz Deutschland (2011): Erfolge für Kohlekraftwerksgegner, <http://kohle-protest.de/erfolge0/>, Zugriff: 11.09.2011.
- Koch, H.-J. (2007): Die Verbandsklage im Umweltrecht. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht NVwZ (4), 369-379.
- Kreutzfeldt, M. (2010): Strategie der Klima-Allianz: Lobbyismus statt Aktionismus, <http://www.taz.de/!49421/>, Zugriff: 05.09.2011.
- Kurbjuweit, D. (2011): Der Wutbürger. Der Spiegel (41), 26-27.
- Mahnke, E. (2011): Energiewende-Gesetze: Networking beschleunigt, <http://www.klimaretter.info/politik/gesetze-zur-energie-wende/9259-gesetze-zur-energie-wende-networking-beschleunigt>, Zugriff: 13.09.2011.
- 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: 02.09.2011.
- Müller, S., Hofmann, H. (2011): EuGH weitet Klagerecht von Umweltverbänden deutlich aus, <http://www.oppenhoff.eu/presse/newsletter/article/newsletter-umweltrecht-mai-2011.html>, Zugriff: 20.08.2011.
- NABU (2009): Netzausbau und -anpassung zur Integration Erneuerbarer Energiequellen – NABU-Grundsätze, [http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/nabu-grunds\\_tze\\_netzausbau\\_090401.pdf](http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/nabu-grunds_tze_netzausbau_090401.pdf), Zugriff: 09.11.2011.
- NDR Fernsehen (2011): Tauschgeschäfte – Umweltverbände ver-raten Ideale, [http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/menschen\\_und\\_schlagzeilen/umweltverbaende101.html](http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/menschen_und_schlagzeilen/umweltverbaende101.html), Zugriff: 02.09.2011.
- Rath, C. (2006): »Klarer Verstoß gegen EU-Recht«. taz, die Tageszeitung, 6.
- Rommel, J. (2006): Umfassende »Verbandsklage« heißt: Naturschutz auf gleicher Augenhöhe! Die Grünen im Landtag NRW, Zugriff: 15.05.2011.
- Saint, M., Flavell, R. J., Fox, P. F. (2009): Nimby wars: the politics of land use. Saint University Press, Hingham, Mass.
- Schlacke, S. (2004): Rechtsschutz durch Verbandsklage: Zum Fortentwicklungsbedarf des umweltbezogenen Rechtsschutzsystems. Natur und Recht, 26 (10), 629-635.
- Schmidt, A. (2008): Verbandsklagen im Naturschutzrecht und Realisierung von Infrastrukturvorhaben – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Natur und Recht, 30 (8), 544-553.
- Schneider, M. (2011): Harter Vorwurf gegen Umweltverbände, [http://www.welt.de/print/die\\_welt/wirtschaft/article12872113/Harter-Vorwurf-gegen-Umweltverbaende.html](http://www.welt.de/print/die_welt/wirtschaft/article12872113/Harter-Vorwurf-gegen-Umweltverbaende.html), Zugriff: 05.09.2011.
- Schoppen, C. (2011): EuGH stärkt Klagerechte der Umweltverbände, [http://www.luther-lawfirm.com/download\\_aktuelles\\_de/220.pdf](http://www.luther-lawfirm.com/download_aktuelles_de/220.pdf), Zugriff: 02.09.2011.
- Shah, T., Karten, I. (2011): Wege aus der »Dagegen-Falle«. Politik & Kommunikation, 42-43.
- Sharpston, E. (2011): Beteiligung der Öffentlichkeit an bestimmten umweltbezogenen Plänen und Programmen: Schlussanträge der Generalanwältin Eleanor Sharpston vom 16.12.2010. In: Rechts-sache C-115/09. Natur und Recht, 33 (1), 72-80.
- Thomsett, M. C. (2004): Nimbyism: navigating the poitiics of local opposition. Center Line, Arlington, Va.
- Unmüßig, B. (2011): NGOs in der Klimakrise: Fragmentierungsprozesse, Konfliktlinien und strategische Ansätze, <http://www.boell.de/oekologie/gesellschaft/oekologie-gesellschaft-ngos-in-der-klimakrise-11001.html>, Zugriff: 01.11.2011.
- von Daniels, G., Uibelesen, M. (2011): Die Kehrseite des Turbo-Ausstiegs aus der Kernkraft, <http://www.ftd.de/politik/deutschland/:deutscher-sonderweg-die-kehrseite-des-turbo-ausstiegs-aus-der-kernkraft/60037743.html>, Zugriff: 13.09.2011.
- Walter, F. (2011): Studie über »Wutbürger«: Alt, stur, egoistisch, <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/0,1518,784664,00.html>, Zugriff: 08.09.2011.
- Wegener, B. (2011): Die europäische Umweltverbandsklage. Zeitschrift für Umweltrecht ZUR (7-8), 363-368.
- Wirner, S. (2011): »Die Leute waren zu Recht wütend«, <http://www.drehscheibe.org/interview-mit-heiner-geissler.html>, Zugriff: 03.09.2011.
- WIT/DIPA (2005): Bewahren, blockieren, bauen lassen? Großprojekte der Wirtschaft zwischen Verhandlungs- und Verhinderungs-Demokratie, <http://www.marcoalthaus.de/resources/Bericht+Grossprojekte+Veto-Demokr.pdf>, Zugriff: 05.09.2011.

## Autor

**Prof. Dr. Marco Althaus**

Sozialwissenschaften

Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht

Technische Hochschule Wildau [FH]

T +49 3375 508-341

marco.althaus@th-wildau.de

# 3D-Fernsehen – Top oder Flop? Eine Marktanalyse

*Jenny Baumann, Sarah Bruhs, Yelena Bryantseva, Ekaterina Chmyreva, Marie-Christin Ernst, Anne Frischbier, Katharina Fritsch, Mario Glowik, Lisa Lippert, Bo Ma, Thuy Nguyen und Nathalie Sroka*

## Zusammenfassung

Nach Einschätzungen mehrerer Firmen aus der Unterhaltungselektronik während der »Internationalen Funkausstellung« (IFA) in Berlin 2010 und 2011 erwartet die Branche für die Zukunft vielversprechende Wachstumsraten für Fernsehgeräte mit integrierter 3D-Technologie. Diese relativ optimistische Prognose wurde zum Anlass genommen, eine Marktstudie mit dem Ziel durchzuführen, das Marktpotenzial für Fernsehgeräte mit 3D-Technologie zu untersuchen. Insgesamt wurden 261 Personen aus dem Raum Berlin-Brandenburg befragt, um Rückschlüsse auf deren Kaufbereitschaft für 3D-Fernsehgeräte ziehen zu können. Die empirischen Daten aus den Fragebögen wurden mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS (Version 19) ausgewertet. Die Forschungsergebnisse sind im vorliegenden Artikel zusammengefasst.

## Abstract

According to estimates from several firm executives in consumer electronics as announced during the »Internationale Funkausstellung« (IFA) in Berlin in 2010 and 2011, the market for TVs with integrated 3D technology indicates very promising growth rates for the future. This relatively optimistic forecast was taken as an opportunity to initiate a field research project. Research activity targets to investigate the market potential for TV sets with 3D-technology. A total of 261 people from the Berlin-Brandenburg region were interviewed. Data allow deductions about market potentials for 3D TVs in the future. The empirical data were analyzed using the statistical program SPSS (version 19). Research outcomes are summarized in this paper.

## 1 Einführung

Initiiert von teilweise euphorischen Umsatzprognosen einiger Hersteller bzw. einschlägiger Marktforschungsinstitute während der Internationalen Funkausstellung 2010 und 2011 in Berlin, verfolgt die vorliegende Studie im Wesentlichen das Ziel, die sehr positiven Prognosen der Industrie für die kommenden Jahre in Bezug auf die Marktentwicklung von 3D-Fernsehgeräten zu hinterfragen. Aus diesem Grund wurde auf der Basis von Instrumenten der qualitativen Marktforschung eine Feldanalyse konzipiert. Mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens sind unter anderem Marktpotenziale, Kaufbereitschaft und Preissensibilität von potentiellen Nachfragern untersucht worden. Im Zuge der empirischen Studie wurden insgesamt 261 Personen, vorwiegend im Raum Berlin-Brandenburg im 1. Halbjahr 2011 persönlich interviewt. Der Fragebogen umfasst

sowohl offene als auch geschlossene Fragen. Im Zuge der Befragung wurde mit einer 7-wertigen Likert-Skala gearbeitet.

Im ersten Teil des Artikels werden Marketinginstrumente, insbesondere in ihrer Relevanz für die Konsumgüterindustrie, vorgestellt. Daran knüpft ein Überblick über die Entwicklung maßgebender Fernsehgerätektechnologien an. Im zweiten Teil folgt die empirische Datenauswertung aus der Umfrage in Hinblick auf Markenpräferenzen, eine Marktsegmentierung nach Kaufpreis und Geschlecht, bevorzugte Fernsehgerätektechnologien (z. B. LCD, Plasma) und Erfahrungen sowie Kaufbereitschaft. Abschließend werden auf Basis der gesammelten Erkenntnisse beeinflussende Faktoren für die 3D-Marktentwicklung sowie Empfehlungen für eine zukünftige Marktpositionierung herausgestellt.

## 2 Zum Begriff der Marketinginstrumente

Das Spektrum der Marketinginstrumente umfasst die Produkt-, Preis-, Kommunikations- und Distributionspolitik (Kotler 2003: 16). Ein Produkt kann einen materiellen (Funktionalität eines TV-Gerätes) wie auch immateriellen Wert (Reputation) haben. Der integrierte Produktwert wird somit zum zentralen Aspekt für das Marketing, da eine Differenzierung zu den Wettbewerbern allein durch die Funktionalität nur schwer realisiert werden kann (Runia et al. 2007: 128; Meffert et al. 2006: 392; o.V. 2011a). Die ganzheitliche Umsetzung der zur Verfügung stehenden Marketinginstrumente hat einen entscheidenden Einfluss auf die erfolgreiche Umsetzung der avisierten Marketingziele.

Das Ziel der Produktpolitik liegt daher in der Entwicklung von funktional und qualitativ hochwertigen Gütern. Außerdem beinhaltet die Produktpolitik wesentliche Eigenschaften, ausgerichtet an den Bedürfnissen der Nachfrage, unter Berücksichtigung der durch den Wettbewerb gegebenen Randbedingungen sowie den wichtigen Faktoren Zeit und Kosten (Wöhe 2005: 485f.).

Für eine erfolgreiche Preispolitik sind neben den internen Faktoren (Kosten) auch die externen Rahmenbedingungen (Kunden, Marktpreise) relevante Größen (Runia et al. 2007: 181). In Bezug auf die Preispolitik werden im Wesentlichen zwei Ansätze unterschieden. Zum einen die klassische Preistheorie, die sich mit dem Absatzpreis auf vollkommenen Märkten beschäftigt. In einem vollkommenen Markt wird ein idealer Zustand angenommen, bei dem alle Anbieter und Nachfrager nach ökonomischen Grundsätzen handeln (Steurer 2009: 6). Der zweite Ansatz, die praxisorientierte Preispolitik, beschäftigt sich mit der Optimierung des Absatzpreises auf unvollkommenen Märkten, welche in der Realität anzutreffen sind. Dabei kann der Preis entweder über den marktbasieren oder den kostenbasierten Preisansatz bestimmt werden. Im Zusammenhang mit dem marktorientierten Ansatz gibt es unter anderem die Penetrationsstrategie, bei der Neukunden durch relativ niedrige Preise gewonnen werden. Bei der Skimmingstrategie wird unmittelbar nach der Produkteinführung ein relativ hoher Preis verlangt, um die Amortisationsdauer der Produkte zu verkürzen (Meffert 2006: 553; Runia et al. 2007: 181f.). Die Skimmingstrategie wird vor allem für anspruchsvolle technologische Produkte, mit denen ein Innovationsvorsprung gene-

riert werden soll, genutzt (Runia et al. 2007: 182). Ziel der Preispolitik ist daher unter anderem die strategische Gewinnmaximierung, um beispielsweise zukünftige Forschungs- und Entwicklungskosten finanzieren zu können (Wöhe 2005: 509f.).

In der Kommunikationspolitik werden neben der Unternehmenskultur auch neue Produktentwicklungen sowie die Preiswürdigkeit und die Bezugsquellen eines Produktes vermittelt (Wöhe 2005: 543). So wird in gesättigten Märkten neben der bekannten Unique Selling Proposition (USP), welche das Alleinstellungsmerkmal eines Unternehmens beschreibt, vor allem die Unique Advertising Proposition (UAP) innerhalb der Kommunikationspolitik genutzt. Dadurch soll die emotionale Alleinstellung des Produktes beim Kunden erzeugt und die werbliche Einzigartigkeit des Produktes betont werden (Runia et al. 2007: 223f.).

Die Distributionspolitik betrachtet sowohl die räumliche und zeitliche als auch die quantitative und qualitative Verfügbarkeit von Produkten. Unabhängig davon, ob es sich um eine direkte oder indirekte Distributionspolitik handelt, muss das Gut also am Ort der Nachfrage und unabhängig vom Zeitpunkt der Produktion verfügbar sein. Andererseits gilt es auch, bedarfsgerechte Mengen und gegebenenfalls Leistungsbündel sicherzustellen. Ebenso umfasst die Distributionspolitik die Planung von Transportmitteln und Transportwegen sowie Lagerstandorten und Lagerkapazitäten. Ziel ist hierbei die Optimierung des Absatzweges (Wöhe 2005: 564; Runia et al. 2007: 195).

Der Einsatz der beschriebenen Instrumente des Marketing-Mix ist sowohl untereinander als auch auf die jeweilige Marktsituation abzustimmen. Speziell die Konsumentengüterindustrie ist durch immer kürzer werdende Produktlebenszyklen gekennzeichnet. Dies trifft auch auf den Bereich der Fernsehgeräte zu, auf deren unterschiedliche Technologien im Folgenden kurz eingegangen wird.

## 3 Technologie und Technologielebenszyklen

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts reduzierten die meisten TV-Gerätehersteller, wie beispielsweise Sony, Philips, Panasonic und Sharp, ihre Produktion von Röhrenfernsehgeräten (Hetzel 2006). Die charakteristische Kastenform, die Größe sowie das Gewicht waren die Hauptgründe für die Umorientierung der Nachfrager

von konventionellen Röhrengeräten hin zu Flachbildfernsehern mit ansprechendem Design. Im Ergebnis wurden im Jahre 2006 in Europa mehr Flachbildgeräte als konventionelle Röhrenfernseher verkauft (Karnellos et al. 2006). Flachbildschirme funktionieren in der Regel auf Basis der Plasma- oder LCD-Technologie.

### LCD-Technologie

Die Abkürzung LCD steht für Liquid Crystal Display (Flüssigkristallbildschirm) und die Funktionsweise dieser Technologie ist vergleichsweise kompliziert. Das Display besteht aus zwei dünnen Glasscheiben, deren Oberflächeninnenseiten mit einem speziellen polarisierenden Material überzogen sind (Elektrodenschicht). Zwischen den Glasscheiben befinden sich sogenannte Flüssigkristalle, die sich abhängig von der Stromzufuhr unterschiedlich verhalten: Sie können lichtdurchlässig oder lichtundurchlässig sein (o.V. 2011b).

Die Vorteile dieser Technologie liegen in dem geringen Stromverbrauch, dem flimmer- und verzerrungsfreien Bild, der relativ guten Helligkeit und einer maximalen Pixel-Anzahl. Vor allem im Monitorbereich sind LCD-Geräte meist auch wegen ihrer geringen Einbautiefe und ihres Gewichts besonders beliebt (o.V. 2011b).

LCD-Geräte haben aber auch einige technologisch bedingte Schwächen: LCD-Bildschirme beinhalten häufig schädliche Stoffe wie beispielsweise Cadmium, was einer gesonderten Entsorgung bedarf. Die Geräte sollten keinesfalls allzu extremen Temperaturen ausgesetzt werden, da sie vor allem bei Frost beschädigt werden können. Weiterhin zählen die eingeschränkte Farbwiedergabe (LCD-Fernseher stellen eher die Farbe Dunkelgrau als Schwarz dar) und die Abhängigkeit der Bildqualität vom Betrachtungswinkel zu den relevanten Nachteilen (o.V. 2011d; o.V. 2011e).

### Plasma-Technologie

Der erste funktionsfähige Plasmabildschirm wurde bereits im Jahre 1964 von Donald L. Bitzer und H. Gene Slottow entwickelt. Jedoch erst über dreißig Jahre später, nämlich 1997, brachte das japanische Unternehmen Pioneer die ersten Plasmabildschirme in Fernsehgeräten auf den Markt (o.V. 2011f). Die Hersteller bewerben vor allem drei Eigenschaften der Plasmatechnologie: ein im Verhältnis zur LCD-Technologie geringerer Preis, die maximale Auflösung und ein besserer Kontrast (o.V. 2011g). Weitere Vorteile der Plasmatechnologie sind zum einen der sowohl vertikal als auch horizontal ausgeprägte Blickwinkel – ohne Farb- und

Kontrastbeeinträchtigungen – und die relativ kurze Reaktionszeit der einzelnen Bildzellen. Insgesamt sinkt jedoch der Marktanteil der Plasmatechnologie von Jahr zu Jahr. 2007 waren unter 4,4 Millionen verkauften Flachbildfernsehern in Deutschland lediglich 500.000 Plasmageräte. Einer der Gründe liegt darin, dass Plasma-TVs bis zu 30 Prozent mehr Energie als LCD-Fernseher benötigen (Masiero 2007). Alles in allem hat aber die Einführung der Plasma- und LCD-Fernsehgeräte vor über zehn Jahren den Markt massiv verändert. Plasma und LCD entwickelten sich zu dominierenden TV-Technologien und immer neue Modelle wurden sukzessive eingeführt.

### 3D-Technologie

Nach den Aussagen führender Hersteller auf der Internationalen Funkausstellung 2010 und 2011 wird die 3D-Technologie in den kommenden Jahren den Markt bestimmen. Hier beruht die Funktionsweise auf dem Prinzip, dass der Mensch mit beiden Augen gleichzeitig verschiedene Bilder sieht. 3D-Effekte werden erreicht, indem das Bild in rote und grüne Bestandteile zerlegt wird, die dann in versetzten Positionen gezeigt werden. Um ein 3D-Bild für die Zuschauer zu erzeugen, tragen diese eine Brille, bei der eines der Gläser rot und das andere grün gefärbt ist. Damit wird erreicht, dass der gleiche Bildinhalt zweimal gleichzeitig gesehen wird, nur jeweils in unterschiedlichen Positionen durch das linke und rechte Auge. Auf diese Weise werden die roten und grünen Farben aufgrund der Schnelligkeit der Bildfolgen vom Auge gemischt wahrgenommen und somit ein dreidimensionales Bild im Kopf erzeugt (o.V. 2010a; o.V. 2011i; Pohl 2011).

Um ein dreidimensionales Bild im Gehirn entstehen zu lassen, existieren verschiedene Brillenvarianten. Bei einer sogenannten »Schutterbrille« handelt es sich um eine elektronisch gesteuerte Brille. Die Brillengläser werden (nach einer filmabhängigen Sequenz) abgedunkelt oder transparent geschaltet. Zusammen mit einem 3D-Film auf einem speziellen Fernsehgerät wird dann im Gehirn des Betrachters eine räumliche Wahrnehmung erzeugt. Der stereoskopisch aufgenommene Film, d. h. aus zwei Perspektiven aufgenommen, ist eine Voraussetzung für diese Technologie (Pohl 2011). »Polarisationsbrillen« unterscheidet man hauptsächlich an der Färbung der Brillengläser – transparent oder farbig. Bei beiden Ausprägungen beruht das Funktionsprinzip auf einer Filterung der einwirkenden Lichtwellen. Die transparenten Brillenfelder lassen nur Wellen aus

einem bestimmten Winkel zum menschlichen Auge durchdringen. Dabei unterscheiden sich die Durchlasswinkel zwischen der linken und rechten Seite. Als Resultat erhält ein Auge eine andere Perspektive auf das betrachtete Objekt als das andere Auge. Das menschliche Gehirn erzeugt aus diesen beiden Perspektiven ein 3D-Bild. Bei den farbigen Polarisationsfolien spielt zwar die Ausrichtung der einfallenden Lichtwellen keine Rolle, jedoch aber die Wellenlänge. Die Wahrnehmung von Farben für das menschliche Auge ist abhängig von den unterschiedlichen Wellenlängen. So hat die Farbe Rot eine andere Wellenlänge als die Farbe Blau. Die farbigen Brillengläser erlauben daher nur einer bestimmten Farbe zum menschlichen Auge durchzudringen. Typische Farbenpaare sind rot/blau oder rot/grün (o.V. 2011j).

Darüber hinaus arbeiten Hersteller an Möglichkeiten, die das 3D-Fernsehen ohne zusätzliche Brille ermöglichen: Bei einer Variante besteht der Bildschirm aus Lentikularlinsen. Hier wird das Prinzip der holografischen Bilder genutzt, bei denen beim Wechsel der Perspektiven zum Bildschirm das Objekt im Raum erkannt wird. Bei einer anderen Variante wird das Bild über ein gewölbtes Display dargestellt, um einen 3D-Effekt ohne eine spezielle Brille zu erzeugen (Pohl 2011). Die Entwicklung der bereits heute verfügbaren, brillenlosen 3D-TV-Lösungen hin zur Marktreife wird daher in den nächsten Jahren zum neuralgischen Punkt für den Durchbruch des 3D-Fernsehens werden.

## 4 Fernsehgerätehersteller im Überblick

Im vergangenen Jahr zeichnete sich unter anderem durch den erfolgreichen Kinofilm Avatar ein steigendes Interesse in Zusammenhang mit der 3D-Technologie für den Heimgebrauch ab (Marth 2010). Gegenwärtig gibt es unter allen TV-Geräte Produzenten drei Hersteller, die sich durch eine innovative Technologie und eine entsprechende Qualität von ihren Wettbewerbern differenzieren: Samsung, Sharp und Panasonic (o.V. 2011k).

Mit mehr als 77 Prozent Marktanteil lagen die 3D-TVs von Samsung im Jahre 2010 in Deutschland an der Spitze (Schäfer 2010). 3D-Fernseher von Samsung weisen ein ansprechendes Design sowie relativ viele Modellvarianten auf (Staudt 2010a). Neben Premium-Produkten im höheren Preissegment entwickelt das Unternehmen aktuell weitere Produktserien für die mittlere Preisklasse, um zukünftig verstärkt Massenmärkte erschließen

zu können und weitere Marktanteile zu gewinnen (Rößler 2011; Springer 2010).

Sharp präsentierte im Jahre 2010 den weltweit ersten 3D-LCD-Fernseher mit »Quattron Technologie«. Zu den ursprünglichen Grund-RGB-Farben (rot, grün, blau) ist noch eine vierte Farbe (gelb) hinzugekommen, was für eine verbesserte Farbwiedergabe sorgt (Staudt 2010a). Des Weiteren bietet Sharp nicht nur eines der besten 3D-Bilder bei Flachbildfernsehern, sondern bietet umweltschonende Produkteigenschaften, die im neuen AQUOS-Design integriert sind (Sharp Electronics 2010).

3D-Fernseher von Panasonic zeichnen sich durch eine gute Bewegungsschärfe, einem präzisen Kontrast sowie eine ausgezeichnete 3D-Effekt-Umsetzung aus (Staudt 2010a). Das Unternehmen vertreibt aktuell 3D-Geräte mit einer Bildschirmdiagonale von 42 bis 65 Zoll (o.V. n.d.).

## 5 Marktprognosen für 3D-TV-Fernsehgeräte

Der Absatz wird momentan durch 2D-Flachbildschirme bestimmt. 2D-Flachbildschirme weisen in den meisten westeuropäischen Ländern heute eine Haushaltsdurchdringung von über 70 Prozent auf (GfK Retail and Technology 2011: 7). Einer Studie der Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (GfU) zur Folge wurden im Geschäftsjahr 2010 deutschlandweit gerade einmal 178.000 3D-Fernsehgeräte verkauft. Legt man die Verkaufszahlen für Fernsehgeräte insgesamt in Deutschland mit 9,7 Millionen Stück im Jahr 2010 als Vergleichsmaßstab an, so ergibt sich für 3D-Fernseher ein Marktanteil bei Neuverkäufen von lediglich rund 1,8 Prozent (Sawall 2011).

Nach Einschätzungen der GfU und dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), ist das Marktpotenzial für 3D-Technologie in der Zukunft als außerordentlich positiv einzuschätzen. Gemäß einer im Vorfeld der Elektronikmesse IFA 2010 durchgeführten Studie wollen rund 41 Prozent der deutschen Konsumenten in den kommenden drei Jahren ein 3D-fähiges Fernsehgerät erwerben (Heller 2010). Dieser positiven Einschätzung folgend, prognostiziert auch die Consulting-Firma Goldmedia (Lehr n.d.) im Rahmen einer aktuellen Marktanalyse zum »3D-Home-Entertainment in Deutschland« einen rasanten Anstieg für 3D-TV-Geräte in den kommenden fünf Jahren.

Angesichts sinkender Gerätepreise wird bis Ende 2011 ein Verkauf von 900.000 3D-fähigen Fernsehgeräten prognostiziert. In 2015 sollen nach Goldmedia dann bereits rund 8,4 Millionen Haushalte in Deutschland, also knapp ein Fünftel aller Haushalte, mit einem 3D-Fernseher ausgestattet sein (Display Search 2010).

Qualitativ zufriedenstellende Endgeräte sind für eine Marktdurchdringung der 3D-Technologie erfolgentscheidend. Gleichzeitig muss auch ein korrespondierendes Programmangebot am Markt verfügbar sein. Hier liegt zudem eine weitere Herausforderung, denn aufgrund der zusätzlichen Kosten für spezielle 3D-Kameras und neue Regiekonzepte sind 3D-Produktionen immer noch deutlich teurer als zweidimensionale TV-Produktionen. Daher gibt es aktuell nur sehr wenige dreidimensionale TV-Inhalte im deutschen Fernsehen (Lehr n.d.). Zudem konzentrieren sich die Fernsehsender derzeit auf die einwandfreie Bereitstellung von HDTV (hochauflösendes Fernsehen) sowie den Ausbau eines entsprechenden HDTV-Programmangebots (Deutsche TV-Plattform 2010). Andererseits arbeiten internationale Gremien an einer Standardisierung für einzelne Spezifikationen der dreidimensionalen Fernsehübertragung, was der Verbreitung von 3D-TV neuen Aufschwung geben würde. Auch das Angebot für 3D-Kinoproduktionen auf Blu-ray-Datenträgern dürfte sich in den kommenden Jahren möglicherweise positiv entwickeln (Fachverband Consumer Electronics 2010).

Für die Zukunft ist folgendes Szenario vorstellbar: TV-Geräteproduzenten, welche die 3D-Funktionalität von Fernsehgeräten neben der Internetfähigkeit als wichtigstes Zusatzmerkmal identifiziert haben, werden in den kommenden Jahren verstärkt Geräte im mittleren Preissegment anbieten (GfU 2010: 1). Bedingt durch zunehmenden Preisdruck sowie eine größere Vielfalt an 3D-Inhalten wird sich das Konsumenteninteresse an 3D-fähigen TV-Geräten, Experteneinschätzungen zufolge, entsprechend positiv entwickeln. Für 2015 erwartet man daher einen weltweiten Absatz von 159,2 Millionen 3D-Fernsehern. Bei diesem Szenario muss berücksichtigt werden, dass die TV-Gerätehersteller 3D grundsätzlich zu einer festen Funktion (Zusatznutzen) in ihren Geräten machen und damit der Marktanteil an reinen 2D-Fernsehern zwangsweise reduziert wird (Karthaus 2011). Im nachfolgenden Abschnitt wird im Ergebnis einer empirischen Feldbefragung im Raum Berlin-Brandenburg das Meinungsbild zu Markenbild, Kaufpreis, TV-Technologie Präferenzen, Erfahrungen mit 3D-Technik und das potentielle Interesse für 3D zu-

sammengefasst. Hintergrund ist die Fragestellung, ob die relativ optimistischen Vorhersagen der Industrie in Bezug auf 3D derzeit im Markt reflektiert werden oder nicht.

## 6 Datenauswertung

Über zwei Drittel der befragten Personen haben beim Kauf eines neuen Fernsehgerätes klare Präferenzen bezüglich der Marke. Auffällig ist hier die Beliebtheit des Herstellers Sony: ca. 40 Prozent bevorzugen ein solches Gerät. Von den übrigen Personen mit einer klaren Markenpräferenz wählten rund ein Viertel die Marke Samsung. Philips erreicht einen Wert von ca. 14 Prozent. Darüber hinaus, allerdings mit Abstand, finden sich Panasonic, LG Electronics und Loewe in der Kategorie der beliebtesten Marken wieder (vgl. Abbildung 1).

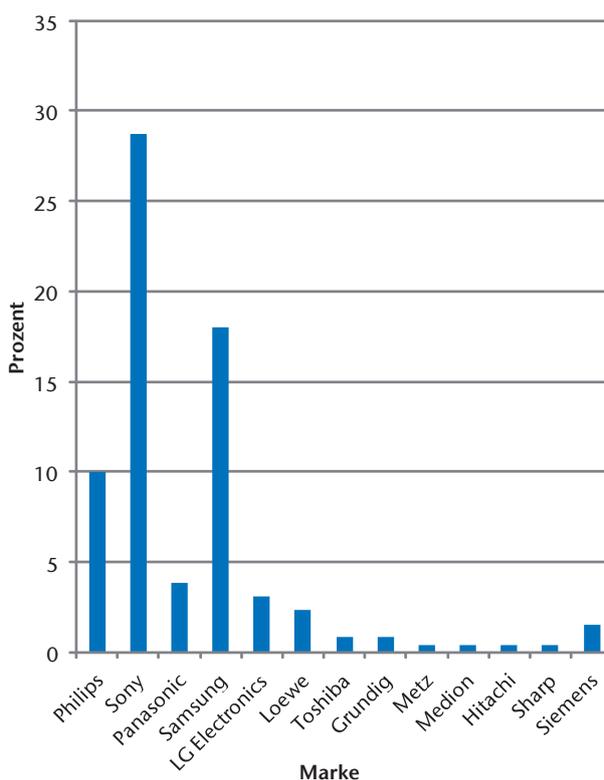


Abb. 1: Bevorzugte Marken in der Stichprobe (261 Fragebögen – Stand Juni 2011)

Die Auswertung des empirischen Datenmaterials hat ergeben, dass die Mehrheit der Befragten zwischen 600 Euro und 1.000 Euro für einen neuen Fernseher ausgeben würde (rund 55 Prozent). Interessante Ergebnisse liefert eine Gegenüberstellung der Antworten nach

geschlechterspezifischen Aspekten. Es ist deutlich zu erkennen, dass männliche Befragte offensichtlich eher dazu bereit sind, mehr Geld für ein neues Fernsehgerät auszugeben als die weiblichen Konsumenten. Die männlichen Befragten haben die Preisspanne »bis 1.000 Euro« am häufigsten genannt. Die Mehrzahl der weiblichen Teilnehmerinnen in der Studie würde nur »bis 600 Euro« in ein neues Gerät investieren. In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

		weiblich	männlich	Gesamt
maximaler Kaufpreis	keine Präferenz	11	8	19
	bis 200 Euro	6	6	12
	bis 400 Euro	12	2	14
	bis 600 Euro	28	20	48
	bis 800 Euro	18	25	43
	bis 1000 Euro	13	34	47
	bis 1200 Euro	10	13	23
	bis 1500 Euro	11	13	24
	bis 2000 Euro	4	8	12
	über 2000 Euro	4	8	12
<b>Gesamt</b>		<b>117</b>	<b>137</b>	<b>254</b>

Tab. 1: Maximaler Kaufpreis (männlich vs. weiblich)

In Bezug auf die präferierten Fernsehtechnologien dominieren, mit rund 60 Prozent, die LCD-Fernseher. Mit großem Abstand folgen Plasmafernseher (rund 16 Prozent). Acht Prozent der Befragten haben keine Prä-

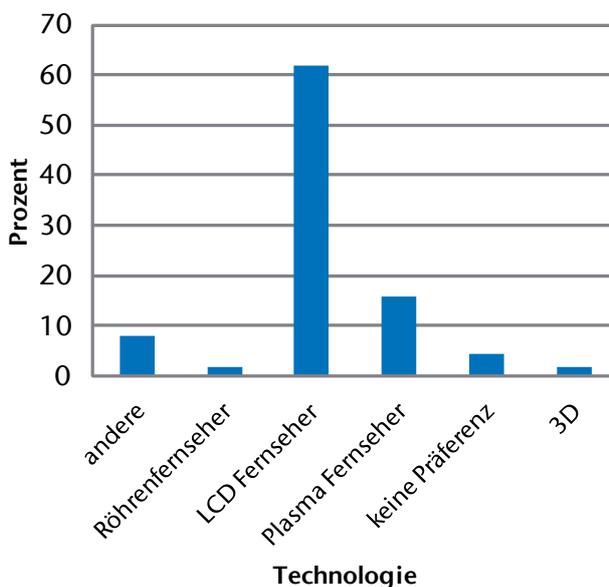


Abb. 2: Präferenzen in Bezug auf TV-Technologien

ferenz bezüglich der derzeit am Markt angebotenen Technologien. Besonders hervorzuheben ist das Ergebnis aber im Hinblick auf die 3D-Technologie. Lediglich rund 2 Prozent der Befragten gaben an, einen 3D-Fernseher gegenüber einem konventionellen 2D-Fernsehgerät zu bevorzugen (vgl. Abbildung 2).

Bezogen auf die Frage, ob und welche Erfahrungen bereits mit 3D-Fernsehern gemacht wurden, zeigt die Analyse der verwertbaren 164 Antworten deutlich, dass die Mehrheit der Befragten (123 Personen) zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch nicht mit der neuen Technologie in Berührung kamen. Lediglich rund neun Prozent (23 Personen) gaben bei dieser Frage ein positives Urteil ab, während rund sieben Prozent (18 Befragte) negative Erfahrungen mit der 3D-Technologie gemacht haben. Der relativ hohe Anteil negativer Erfahrungen sollte für die etablierten 3D-Fernsehgerätehersteller ein Warnsignal sein. Es ist daraus zu schließen, dass noch erhebliche Anstrengungen in der Produktweiterentwicklung notwendig sind (vgl. Tabelle 2).

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	positiv	23	8,8	14,0	14,0
	negativ	18	6,9	11,0	25,0
	keine Erfahrungen	123	47,1	75,0	100,0
	Gesamt	164	62,8	100,0	
Fehlend	keine Angabe	97	37,2		
<b>Gesamt</b>		<b>261</b>	<b>100,0</b>		

Tab. 2: Erfahrungen mit 3D-Fernsehgerätetechnologie

Für rund drei Viertel der Befragten kommt derzeit ein Wechsel von einem konventionellen 2D- zu einem 3D-fähigen Gerät nicht in Frage. Lediglich rund 25 Prozent der Befragten wären bereit, ihr momentanes Fernsehgerät gegen einen 3D-Fernseher zu tauschen (vgl. Tabelle 3).

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	ja	40	15,3
	nein	124	47,5
	Sub-Total	164	62,8
	keine Angabe	97	37,2
<b>Total</b>		<b>261</b>	<b>100,0</b>

Tab. 3: Ersatz von 2D- durch 3D-Fernseher

Von den insgesamt 119 verwertbaren Antworten aus der Stichprobe gaben 43 Befragte an, einen Mehrpreis von bis zu zehn Prozent für ein 3D-Gerät im Vergleich zu einem konventionellen 2D-TV akzeptieren zu wollen. Rund die Hälfte der befragten Personen (51 Teilnehmer) würde bis zu 20 Prozent höhere Anschaffungskosten für einen 3D-Fernseher akzeptieren. Ein signifikanter Rückgang der Kaufbereitschaft wird bei Mehrkosten von bis zu 30 Prozent oder darüber hinaus deutlich. Diese Aussagen verdeutlichen, dass die Konsumenten mit Zurückhaltung auf die 3D-Technologie reagieren. Somit kann die vorliegende Studie zumindest für den Raum Berlin-Brandenburg die eher optimistischen Einschätzungen der Industrie in Bezug auf die zukünftige Marktentwicklung der 3D-Technologie nicht bestätigen.

## 7 Fazit

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die Mehrheit der Befragten, zumindest in dieser Stichprobe, noch wenig Interesse für die 3D-Fernsehtechnologie entwickelt hat. Ein Kriterium für die zurückhaltende Kaufbereitschaft ist nach den Ergebnissen der Studie die Brille. Um den Marktdurchbruch von 3D zu erwirken, scheint es notwendig, dass die Industrie 3D-Fernsehen ohne eine subjektiv oder real (z. B. Brillenträger) als störend empfundene Brille ermöglicht. Außerdem müsste sich die Film- und Fernsehindustrie verstärkt dahingehend ausrichten, das Angebot an 3D-Inhalten für den privaten Haushalt auszuweiten.

Die Studie liefert darüber hinaus Erkenntnisse, dass die Mehrheit der Befragten Zusatzkosten bis maximal 20 Prozent des Kaufpreises für ein 3D-Gerät im Vergleich zu einem konventionellen 2D-Fernseher akzeptieren würde. Diese psychologische Grenze gilt es für die Hersteller im Rahmen ihrer Preispolitik zu berücksichtigen. Alarmierend ist aber der relativ hohe Anteil derjenigen mit negativen Erfahrungen bezüglich der 3D-Technologie. Wenn die Faktoren »3D-Brille«, Ausweitung des dreidimensionalen Filmangebotes, Produktperformance und Preis von den TV-Geräteherstellern nicht in entsprechendem Maße berücksichtigt werden, kommt die Studie zu dem Schluss, dass die vielversprechenden Marktprognosen der Industrie in Bezug auf die 3D-Technologie für die kommenden Jahre nicht realistisch sind.

## Literatur

- Deutsche TV-Plattform (n.d.): Arbeitsgruppen: 3D-HD-TV, <http://www.tv-plattform.de/de/arbeitsgruppen/3d-hd-tv.html>, Zugriff: 12.05.2011.
- Deutsche TV-Plattform (2010): Presseinformation: Top-Thema dreidimensionales Fernsehen beim 19. Symposium der Deutschen TV-Plattform in Berlin, <http://www.tv-plattform.de/de/oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen.html>, Zugriff: 12.05.2011.
- Display Search (2010): TV market analysis. IFA Conference Berlin, September 2010.
- Fachverband Consumer Electronics (2010): 3D-Spaß unter dem Weihnachtsbaum, [http://www.zvei.org/fachverbaende/consumer\\_electronics/nachrichten/archiv\\_2010/newsdetail/3d\\_spass\\_unter\\_dem\\_weihnachtsbaum/](http://www.zvei.org/fachverbaende/consumer_electronics/nachrichten/archiv_2010/newsdetail/3d_spass_unter_dem_weihnachtsbaum/), Zugriff: 12.05.2011.
- Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (GfU) (2010): IFA 2010: Trends der Consumer Electronics, <http://www.gfu.de/home/consumer/technologien.xhtml>, Zugriff: 07.05.2011.
- GfK Retail and Technology (2011): Pressemitteilung. Westeuropäische Märkte für technische Gebrauchsgüter im vierten Quartal 2010 stabil. Ergebnisse des GfK TEMAX® Westeuropa für das vierte Quartal und das Gesamtjahr 2010, [http://www.gfk.com/group/press\\_information/press\\_releases/007437/index.de.html](http://www.gfk.com/group/press_information/press_releases/007437/index.de.html), Zugriff: 12.05.2011.
- Heller, H. (2010): Elektronik Praxis. 3D Fernseher stoßen auf hohes Interesse, <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/marktzahlen/articles/276316/>, Zugriff: 06.05.2011.
- Hetzel, H. (2006): LG Philips beendet Ära des Röhren-Fernseher in Europa, [http://www.welt.de/print-welt/article197245/LG\\_Philips\\_beendet\\_Aera\\_der\\_Roehren\\_Fernseher\\_in\\_Europa.html](http://www.welt.de/print-welt/article197245/LG_Philips_beendet_Aera_der_Roehren_Fernseher_in_Europa.html), Zugriff: 26.05.2011.
- Karnellos, M., Greif, B. (2006): LCD-TVs verkaufen sich besser als Röhrenfernseher, [http://www.zdnet.de/news/wirtschaft\\_unternehmen\\_business\\_lcd\\_tv\\_s\\_verkaufen\\_sich\\_besser\\_als\\_roehrenfernseher\\_story-39001020-39149346-1.htm](http://www.zdnet.de/news/wirtschaft_unternehmen_business_lcd_tv_s_verkaufen_sich_besser_als_roehrenfernseher_story-39001020-39149346-1.htm), Zugriff: 23.05.2011.
- Karthus, O. (2011): Marktforscher: 3D-TV-Verkäufe legen 2011 um 463 Prozent zu, <http://www.hddaily.de/2011/05/10/marktforscher-3d-tv-verkaufe-legen-2011-um-463-prozent-zu-29021.html>, Zugriff: 12.05.2011.
- Kotler, P. (2003): Marketingmanagement. Prentice Hall International, New Jersey.
- Lehr, S. (n.d.): Home-Entertainment wird dreidimensional: Nach Kino und Gaming erobert 3D 2011 auch die mobilen Displays, 3D-TV-Inhalte bleiben hingegen spärlich, <http://www.goldmedia.com/aktuelles/trendmonitor-2011/3d-home.html>, Zugriff: 12.05.2011.
- Marth, M. (2010): Die Trends der Funkausstellung, [http://www.focus.de/digital/multimedia/ifa-2010/tid-19632/ifa-2010-die-trends-der-funkausstellung\\_aid\\_545669.html](http://www.focus.de/digital/multimedia/ifa-2010/tid-19632/ifa-2010-die-trends-der-funkausstellung_aid_545669.html), Zugriff: 05.06.2011.
- Masiero, M. (2007): Plasma oder LCD: Einkaufsberater Flachbild-Fernseher, <http://www.netzwelt.de/news/76803-plasma-lcd-einkaufsberater-flachbild-fernseher.html>, Zugriff: 20.04.2011.
- Meffert, H., Bruhn, M. (2006): Dienstleistungsmarketing: Grundlagen – Konzepte – Methoden (5. Auflage). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Niezijewski, A. (2011): Der Röhrenfernseher, <http://www.das-heimkino.com/html/rohrenfernseher.html>, Zugriff: 23.04.2011.
- o.V. (2010a): 3D Fernsehen, <http://www.hifi-regler.de/panasonic/3d-fernsehen.php?SID=2603f9ee64cd8516dfce95c28634c80c>, Zugriff: 21.05.2011.

- o.V. (2010b): 2010 Best of CES winner is Panasonic's 3D plasma TV, [http://ces.cnet.com/8301-31045\\_1-10431350-269.html%202011-05-18%2017:53](http://ces.cnet.com/8301-31045_1-10431350-269.html%202011-05-18%2017:53), Zugriff: 18.05.2011.
- o.V. (2011a): Der Begriff des Produktes, <http://www.teialehrbuch.de/Kostenlose-Kurse/Marketing/15240-Der-Begriff-des-Produktes.html>, Zugriff: 21.05.2011.
- o.V. (2011b): Was ist eigentlich LCD? <http://www.flimmerkisten.de/was-ist-eigentlich-lcd-lexikon-319.html>, Zugriff: 26.04.2011.
- o.V. (2011d): LCD-Fernseher Vorteile-Nachteile, <http://www.sed-fernseher.eu/lcd-fernseher-vorteile-nachteile>, Zugriff: 20.04.2011.
- o.V. (2011e): Vorteile Nachteile Plasma, <http://www.hifi.ch/vorteile-nachteile-plasma-lcd.html>, Zugriff: 20.04.2011.
- o.V. (2011f): Plasma Fernseher Geschichte, <http://www.sed-fernseher.eu/plasma-fernseher-geschichte>, Zugriff: 24.04.2011.
- o.V. (2011g): Plasmabildschirm, <http://www.hardware-aktuell.com/lexikon/Plasmabildschirm>, Zugriff: 20.04.2011.
- o.V. (2011i): Wie funktioniert 3D eigentlich? <http://www.3dtv-infos.de/index.php?id=16>, Zugriff: 21.04.2011.
- o.V. (2011j): 3D-Brillen, <http://www.3d-brillen.de/3d-brillen/>, Zugriff: 21.04.2011.
- o.V. (2011k): 3D gewinnt 2011 mächtig an Fahrt, <http://www.media-biz.de/video/news/3d-gewinnt-2011-maechtig-an-fahrt/304849>, Zugriff: 10.05.2011.
- o.V. (n.d.): 2011 – Welchen 3D Fernseher kaufen, <http://pagewizz.com/2011-welchen-3d-fernseher-kaufen/>, Zugriff: 18.05.2011.
- Pohl, T. (2011): 3D-Fernseher, <http://www.3dfernseher.tv/>, Zugriff: 10.05.2011.
- Rößler, M. (2011): 3D-Kauftipps: Für TV-Sparfüchse und Technik-Freaks, [http://www.chip.de/artikel/3D-Fernseher-TV-Ratgeber-und-Kaufberatung-fuer-3D-6\\_45828841.html](http://www.chip.de/artikel/3D-Fernseher-TV-Ratgeber-und-Kaufberatung-fuer-3D-6_45828841.html), Zugriff: 10.05.2011.
- Runia, P., Wahl, F., Geyer, O., Thewissen, C. (2007): Marketing: Eine Prozess- und Praxisorientierte Einführung (2. Auflage). Oldenbourg Verlag, München.
- Sawall, A. (2011): Erste 3D-TV-Verkaufszahlen für Deutschland veröffentlicht, <http://www.golem.de/1102/81187.html>, Zugriff: 12.05.2011.
- Schäfer, F. (2010): Samsung verteidigt Spitzenposition, TV-Hersteller: Samsung ist seit 5 Jahren »on Top«, <http://www.tvfacts.de/artikel/4062-tv-hersteller-samsung-seit-5-jahren-on-top.html>, Zugriff: 18.05.2011.
- Schonscheck, O. (2006): Der Fernseher: Die Geschichte eines treuen Freundes, <http://news.ideal.de/news/1515-der-fernseher-die-geschichte-eines-treuen-freundes/>, Zugriff: 05.05.2011.
- Sharp Electronics (2010): Sharp präsentiert weltweit ersten 3D-TV mit Quattron Technologie, <http://www.sharp.de/cps/rde/xchg/de/hs.xsl/-/html/25538.htm>, Zugriff: 18.05.2011.
- Springer, O. (2010): Top 10: Die aktuell 10 besten 3D Fernseher 2010, <http://news.preisgenau.de/top-10-die-aktuell-10-besten-3d-fernseher-2010-6487.html>, Zugriff: 18.05.2011.
- Staudt, M. (2010a): 3D Fernseher Vergleich & Test: Sony, Samsung etc. die 3DTV Liste, <http://www.3d-entertainment.net/3d-fernseher-vergleich-test-sony-samsung-etc-die-3d-tv-liste/10928>, Zugriff: 18.05.2011.
- Staudt, M. (2010b): 3D-Fernseher: Verkaufszahlen für Europa – 25.000 3D-TVs verkauft, <http://www.3d-entertainment.net/3d-fernseher-verkaufszahlen-europa/10801>, Zugriff: 10.05.2011.
- Stepanek, M. J. (2010): 3D-fähige TV-Geräte sind Ladenhüter – Mittleres Preissegment vernachlässigt, <http://www.pressemitteilungen-online.de/index.php/3d-faehige-tv-geraete-sind-ladenhueter-mittleres-preissegment-vernachlaessigt>, Zugriff: 10.05.2011.
- Steuerer, M. (2009): Die risikogerechte Prämie in der Kfz-Haftpflichtversicherung: Probleme der Preisgestaltung auf Märkten mit asymmetrischen Informationen. GRIN Verlag, München.
- Wöhe, G. (2005): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre (22. Auflage). Verlag Franz Vahlen, München.

## Autoren

**Prof. Dr. Mario Glowik**

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
mario.glowik@th-wildau.de

**Jenny Baumann**

**Sarah Bruhs**

**Yelena Bryantseva**

**Ekaterina Chmyreva**

**Marie-Christin Ernst**

**Anne Frischbier**

**Katharina Fritsch**

**Lisa Lippert**

**Bo Ma**

**Thuy Nguyen**

**Nathalie Sroka**

# Avoiding gender bias during measurement of individual research output of scientists – adaptation of an analytical concept developed for health care research

*Ulla Große, Martina Brandt*

## Zusammenfassung

Das im 7. Forschungsrahmenprogramm geförderte Projekt »Academic Careers Understood through Measurement and Norms« (ACUMEN) zielt auf die Aufhebung der Diskrepanz zwischen den breiter gewordenen sozialen und wirtschaftlichen Funktionen von Forschung und Lehre in allen Wissenschaftsbereichen und den gegenwärtig genutzten Kriterien für die karriererelevante Leistungsbewertung von Forschern. Um die Geschlechterdimension bei den sehr unterschiedlichen Forschungsaktivitäten aller Arbeitspakete des Projekts zu berücksichtigen, wurde ein methodologisch orientiertes Konzept, welches systematisch für die Gesundheitsforschung entwickelt wurde, in zwei Schritten auf den Forschungsgegenstand »Messung des individuellen wissenschaftlichen Outputs« übertragen. Der vorliegende Artikel fasst die wesentlichen – als relevant identifizierten und angepassten – Leitlinien zusammen. Diese werden mit Bezug auf Forschungskonzept, Forschungsdesign/-fragen, Methoden und Datenerfassung, Datenanalyse und Interpretation sowie Titel, Abstract, Diktion und Ergebnis-Visualisierung als wesentliche Schritte der Projektbearbeitung dargestellt. Unter Nutzung dieser Leitlinien des adaptierten Konzepts werden für die in ACUMEN geplanten Befragungen und Interviews modellhaft Fragen formuliert.

## Abstract

For the Framework Research Program 7 funded project »Academic Careers Understood through Measurement and Norms« (ACUMEN), addressing the current discrepancy between the broader social and economic functions of scientific and scholarly research in all fields of the sciences, social sciences and the humanities and the dominant criteria for evaluating performance by researchers, it was necessary to have a concept what allowed to substantiate the gender dimension during the different research activities. The present paper shows the steps adapting a methodological oriented concept, developed systematically for health care studies to the other subject. It summarizes some points identified as possibly relevant and adapted especially for surveys and the qualitative interviews to know more about measuring of scientific output of scientists. The deduced procedures and advices are structured with regard to the research concept, the research design/questions, the methods and data collection, the data analysis and interpretation just like title, abstract, diction and visualization of reports as several research project steps. By using the adapted concept were deduced model questions for surveys and interviews, which are planned by ACUMEN partners.

## 1 Introduction

More and more scientific based studies for policy and international organizations have to substantiate the dimension of gender. In contrast to the biological sex, referring to biological differences, gender describes the characteristics of the social construct that the society or culture attribute to women and to men. The gender dimension has to be taken into account particularly in the questions of presence, distribution of tasks, access

to resources (like time, money, mobility), exclusion, rules and values, also examples and overall concepts (Baer 2003).

If the gender dimension is missed, a gender bias may occur and affect negatively the data, interpretation and results of studies. This, of course, leads to risks in conclusions and decisions based on these research results. That is why knowledge about methods to avoid a gender bias is important. Bias avoiding methods are more and more one benchmark of quality in scientific research.

But how to substantiate the gender dimension during research activities? This was the question in the Framework Research Program 7 funded project »Academic Careers Understood through Measurement and Norms«. It addresses the current discrepancy between the broader social and economic functions of scientific and scholarly research in all fields of the sciences, social sciences and the humanities and the dominant criteria for evaluating performance by researchers (ACUMEN 2011).

In nearly all ACUMEN research questions of understanding processes of measuring and evaluating researchers performance and its impacts of careers of scientists the dimension of gender plays an important role. That's why it is important to find out detailed information about male and female scientists with all used and verified methods (webometric, bibliometric, peer review, ...) and to have conceptual assistance for all members of the European research collaboration, to do this. To give some conceptual assistance to all project partners one of the ACUMEN work packages deals with gender effects of evaluation specifically. The task was to find out gender bias identifying and avoiding procedures during the whole research process.

## 2 Findings from literature – dimensions of a gendered view

A literature search verified that there are a lot of findings about the representation of women and men in different research disciplines and career levels. These findings show the so called »gender gap«, in some cases named as »gender bias«, too. There are identified multiple reasons of this gender inequalities (overview: European Commission 2009) and several theories about factor combinations (e. g. Risberg et al. 2009; Abbuhl et al. 2010; Duberley/Cohen 2010; Elg/Jonnergard 2010; Winslow 2010; Morahan et al. 2011) just like concepts and tested models to overcome this unsatisfactory situation (e. g. Girves et al. 2005; Rose 2005; Bakken et al. 2006; Morrissey/Schmidt 2008; Mayer et al. 2010; Bird 2011).

It became clear, that a »gendered view« in research processes has at least two dimensions: To identify gender gaps in real proportions of women and men in the scientific world today and to avoid »self-produced« distortions in findings and conclusions.

As also in the scientific literature with regard to aca-

demical careers the terms »gender gap« and »gender bias« are used in very varied contexts and in a badly unspecific manner and because there are not usable conceptual models for practicing the gendered view within different research designs for measuring scientific output on individual level it was necessary to find a concept with methodological focus for use in the ACUMEN project.

## 3 Gender bias concept in health care studies as starting point

This concept was found in the field of Health care studies. For this research area Eichler and colleagues within some years developed an analytical concept of identifying gender bias and achieving gender bias free research results. (Fuchs et al. 2002) In the present paper we try to adapt this concept to the ACUMEN research subject, especially for the instruments of survey and qualitative interviews.

In the understanding by Eichler gender bias is a gender-linked bias effect of research results. Due to conceptual or methodical incorrectness may result distortion effects in gender aspects and lead to results differing from the reality.

Mainly based on works of Margrit Eichler (Eichler et al. 1999) three dimensions of gender bias are known. The first two dimensions were developed with reference to Ruiz (Ruiz/Verbrugge 1997). These three bias dimensions can occur simultaneously or singly and can be shortly described as follow:

- Overgeneralization  
(means the adoption of the experience or perspective of only one sex and applying it to both sexes, e. g. androcentrism, where the men are the norm, against which women are measured. It is important to state that gender bias may induce disadvantage not only for women, but also for men [1].)
- Gender insensitivity or gender blindness  
(e. g. decontextualism/ignorance of biological sex or social gender, assumption of equality of women and men)
- Double standards in evaluation  
(open and concealed; similar or identical characteristics or behaviors of women and men are evaluated or investigated in different ways – genders are treated as two completely separate groups without any common features or use of gender stereotypes)

The quality of research data without a gender bias can

reach different levels – from »sex counting« as the lowest level up to »gender competent data«. In the first case disaggregated data for women and men are collected and reported. It is important to state that the gender bias is one of several possible biases which can also arise with regard to age, disability, religion, ethnicity and so on (e. g. Eichler/Burke 2006). So the highest quality level results from additionally checking the influence of other characteristics as gender on the measured data, mostly gained by combining results of several studies.

#### 4 Adaption to the ACUMEN research subject »individual research output of scientists«

For the necessary adaption of the concept was used an two step approach. For each of the steps occurring in scientific studies – from planning up to reporting - firstly was done an at most theoretical generalization of the health care focused advices. Secondly was assessed the level of gender bias absence in the ACUMEN thinking at the whole and in the concepts of the different work packages.

Evaluation methodology aspects are relevant during the measurement of scientific output. Therefore additionally was searched, but not found a concept of avoiding gender bias in evaluation processes generally. Literature is focused mainly to gender mainstreaming needs (public policy concepts, organizational strategies) out of evaluations of whole research institutions.

Based on these findings were derived or developed indications with regard to the measuring and evaluation of scientific output at the individual level as the ACUMEN subject. The main results are as follows and were well accepted from the ACUMEN researchers group:

##### Research concept

ACUMEN research concept is an overall concept concerning both genders. In general it uses the same categories/categorization for male and female scientists, if they have equal attributes. At the same time the ACUMEN concept implies, that it may be important to have information specific for male and for female scientists, because of social or context dependencies.

The ACUMEN project design answers in negative to presumptions that determined human behavior patterns, qualities or attributes are linked to only one of the sexes (reification of gender stereotypes). This basic

conceptual approach requires that all work packages will take into consideration possible different findings for male and female researchers and search for answers or further research questions about reasons for differences found.

##### Research design/research questions

The standard that both sexes are represented adequately is targeted by the defined properties of the ACUMEN data set. At the same time it is a standard to use the same research perspective and research methods for both sexes.

The main aspect in research design is to ask the same question about men and women in the sense that it is possible to get valid information about both sexes. So one should avoid seeing universally one sex as the active and the other one as the passive within a research question. In such a case it should be explored, for example, the passive role of men and the active role of women.

Of course it is necessary to formulate additionally a specific question for one sex only if there are not equal conditions for both sexes. So in two work packages will be monitored if identified phenomena in peer reviewing or web presence concern both sexes in the same way or if they are more typical for women and men. In the last case it would be important to improve if different framework situations of female and male scientists are the reason for identified differences or not and to ask questions about these reasons if necessary to come to an appropriate interpretation. In every case it is necessary to make it clear if a question relates to both sexes or only to one sex.

It could be interesting in ACUMEN to know more about the input of single team members into the scientific output of the different team members. One the one hand this is a general question of measuring output on an individual level in the ACUMEN project. On the other hand it could be necessary to learn some more about the question if there are equalities or differences between female and male scientists' inputs (kind, amount, quality) and to take this into account during measurement and interpretation of individual performance (as indirect output) too. So, for example, one work package deals with the question of »visible and invisible work in the current peer review and evaluation systems«.

Within processes of measurement of research outputs at individual level it can be recommended to ask men and women questions about their access to necessary

or helpful resources, like mentoring, time, assistance to become a member of networks, finances, relevant information and so on. This data might be different for different career levels, disciplines and for the sexes. This is linked with the interesting question about the connection between the level of output and the efficiency of output.

### Methods and data collection

It is not suitable to define one sex as the standard for the other sex and thereby define questions that limit the spectrum of the possible answers. It is essential to formulate each question in such a way that the theoretical possible range is seized by answers. E. g. a question should not be, if women work as efficiently as man. It would be better to ask about the work style and to find out if there really are different styles and if one is more effective. To avoid the so called »paradox gynozentrism«, too – one should not use research questions that exclude men in areas which are usually regarded as particularly important for women. It is suitable to extend the research question in such a way that also the role of the men is considered. So it seems to be important to respect during evaluation of individual research output that people's life cycle consists of different phases and scientists with (little) children have to share their time between family and job in a special way. There would be given some good starting points with the ACUMEN data set of scientists with different ages.

Of course, it is necessary during the collection of data to differentiate between founded facts and opinions heard as answers from asked female scientists about male scientists and vice versa. By using coding procedures one has to take care that identical procedures of coding are used for female and male scientists. Procedures of coding mean to subsume empirical findings in categories or to subsume codings to theoretical models or core variables. One should take care that codings with the same meaning not are worded actively for men but passively for women.

### Data analysis and interpretation

Sex disaggregated data of all analyzed facts, groups and subgroups are the systematic basis to avoid gender bias during data interpretation.

During the interpretation one should take care to avoid overgeneralization of conclusions found for men or for women only, but to specify the conclusion to the relevant sex. Important is a precise description without

any accusation. Furthermore, data should not be interpreted using one sex as the norm. So sometimes it is helpful to take over the view having women as norm to detect incorrect standardizations with men as the norm. Of course within the interpretation of information out of interviews answers of women and men have to be treated equally.

To make it sure that equal facts and results for men and women are not rated or interpreted in a different way without a real reason, one can reflect his results to find out if there are possibly preconceptions or stereotypes about rules, performance or reactions of each of the sexes. For instance, the exploration of web data done in ACUMEN will probably lead to different data for men and women scientists. For the interpretation, it is necessary to have reliable knowledge about the user behavior, user habits and preferences. During the interpretation it should be taken into account that – although gender roles and gender identities have evolved historically and are socially important – they are not necessary, not natural and not preferable. So it could be helpful to ask in interviews men and women from the different actors groups about their experiences with hindering effects out of gender roles (actual or expected).

It was shown that some situations or ongoings may have different implications for women and men. Often women have other self-esteem and self-concept or a higher level of self-criticism, which has to be taken into account. This may be relevant for the realization and interpretation of interviews planned in ACUMEN just like for the measurement of outputs of male and female scientists in general.

### Title, abstract, diction and visualization of reports

Naturally the methodical concept to avoid gender bias of data, findings and conclusions has consequences for title, abstract, diction and figures of publications and presentations too. So it is important to use verbalizations without gender bias, even under the restriction of very limited number of words. It would be useful for literature research to know from the title, abstract and key words if the subject was analyzed or with any sensibility to gender differences.

Male and female researchers should be pictured fittingly (also in the corresponding figures and tables, of course), regarding their relevance for the research subject. So should be proved, if continuously one sex is named before the other one if in sentences both are

named. In statements and evidences about only one sex this should be pointed out clearly. It should be checked if the grammatical treatment regarding the active or passive verb form is equal for both sexes. («Male scientists make career«, »Female Scientists are supported to make career.«). If ACUMEN work packages lead to new knowledge about women researchers' output or careers this should be clearly named and discussed in perception with (inappropriate) gender clichés. It is important not to reproduce gender clichés uncritically. For example, work life balance is not a question for women only.

## 5 First application of the adapted concept

In the ACUMEN project surveys and semistructured interviews are important methods to get more information about the implications of peer review decisions of research funding organizations (of the European Research Council or in selected countries) or e. g. to identify how researchers are using the web to promote their scientific career and to disseminate their scientific advances. By using the adapted concept were deduced model questions for surveys and interviews, which are prepared by project partners, like for example:

- Do all members in your team/institution have equal access to resources necessary or helpful to create scientific output, like mentoring, time, assistance to get member of networks, finances, relevant information and so on? Do you see any dependencies to different career levels or to researcher's sex?
- How do you access your own input supporting the scientific output of your team colleagues?. How do you access the input given by your team colleagues supporting your own scientific output? Do you feel that these inputs should be taken into account in the measurement of the individual performance?
- Do you have own experiences or knowledge about experiences with hindering effects to create scientific outputs? Do you see any connection to gender roles?

## 6 Resume

By a two step approach it was possible to adapt an analytical concept developed for health care research to another research subject – the measuring and evaluation of scientific output at the individual level. To avoid

systematic distortion effects during investigations in this subject one has to pay attention to possible risks during profiling of research questions, selection of subjects and methods, interpretation of results and verbalization. The adapted concept shows once more that the problem of gender bias has more than one dimension and thereby cannot be handled only by one method or action in a research process.

The results have some influence in the present ACUMEN literature review about the implications of different forms of gender bias for women's research careers and they will be refined by future findings out of the ACUMEN project.

### Acknowledgement

This work is financed by the European Commission, SIS-2010-1.3.3.1. Project full title: »Academic Careers Understood through Measurement and Norms«, project acronym: ACUMEN.

### Endnotes

- [1] Named as »paradoxial gynocentrism« – for instance if studies about single parents ignore single fathers.

### Bibliography

- Abuhl, S. et al. (2010): Examining Faculty Awards for Gender Equity and Evolving Values. *Journal of General Internal Medicine* 25(1), 57-60.
- ACUMEN (2011): <http://research-acumen.eu/>, cited: 21.07.2011.
- Baer, S., Enders-Drägässer, U., Kuhl, M., Krefß, B., Sellach, B. (2003): Gender Bias – ein zentrales analytisches Konzept. Frankfurt am Main und Berlin: Wissensnetz Gender Mainstreaming für die Bundesverwaltung, 104-108, <http://www.gender-mainstreaming.net/RedaktionBMFSFJ/RedaktionGM/Pdf-Anlagen/wissensnetz-komplettfassung,property=pdf,bereich=gm,rwb=true.pdf>, cited: 06.04.2011.
- Bakken, L.L., Byars-Winston, A. et al. (2006): Viewing clinical research career development through the lens of social cognitive career theory. *Advances in Health Sciences Education* 11(1), 91-110.
- Bird Sharon, R. (2011): Unsettling Universities' Incongruous, Gendered Bureaucratic Structures: A Case-study Approach. *GENDER WORK AND ORGANIZATION* 18(2), 202-230.
- Duberley, J., Cohen, L. (2010): Gendering career capital: An investigation of scientific careers. *Journal of Vocational Behavior* 76(2), 187-197.
- Eichler, M., Burke, M.A. (2006): The BIAS FREE Framework. A New Analytical Tool for Global Health Research. *CANADIAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH* 97 (1), 63-68.

- Eichler, M., Gustafson, D. L., Pompetzki, M. (1999): Moving toward equality: Recognizing and eliminating gender bias in health. Ottawa: Health Canada. In: Gustafson, D. L. (1999): *Toward Inclusionary Practices in the Education of Nurses: A Critique of Transcultural Nursing Theory*. The Alberta Journal of Educational Research 45 (4), 468-470.
- Elg, U., Jonnergard, K. (2010): Included or excluded? The dual influences of the organisational field and organisational practices on new female academics. *Gender and Education* 22(2), 209-225.
- European Commission (2009): Directorate-General for research, Directorate L - Science, Economy and Society. 2009. *Statistics and Indicators on Gender Equality in Science*.
- Fuchs, J., Maschewsky, K., Maschewsky-Schneider, U. (2002): Zu mehr Gleichberechtigung zwischen den Geschlechtern: Erkennen und Vermeiden von Gender Bias in der Gesundheitsforschung. *Blaue Reihe Berliner Zentrum Public Health* 2002/04, 31ff. (as the translated version of the never published original version: Eichler, M., Gustafson, D., Pompetzki, M. (1999): *Moving Toward Equality: Improving the Health of Canada's People, Recognising and Eliminating Gender Bias*. In: Health. Health Canada's training guide on gender equality. For Health Canada, <http://biasfree.org/history.html>, cited: 01.07.2011).
- Girves, J. E., Zepeda, Y. et al. (2005): Mentoring in a post-affirmative action world. *Journal of Social Issues* 61(3), 449-479.
- Mayer, A. P., Files J. A. et al. (2009): The Academic Quilting Bee. *Journal of General Internal Medicine* 24(3), 427-429.
- Morahan, P. S., Rosen, S. E. et al. (2011), The Leadership Continuum: A Framework for Organizational and Individual Assessment Relative to the Advancement of Women Physicians and Scientists. *Journal of Womens Health* 20(3), 387-396.
- Morrissey, C. S., Schmidt, M. L. (2008): Fixing the System, Not the Women: An Innovative Approach to Faculty Advancement. *Journal of Womens Health* 17(8), 1399-1408.
- Ruiz, T. M., Verbrugge, L. M. (1997): A Two Way View of Gender Bias in Medicine. *Journal of Epidemiology & Community Health* 51 (2), 106-109, from <http://www.springerlink.com/content/7t535r0v-20512kl5/>, cited: 09.03.2011.
- Risberg, G., Johansson, E. E., Hamberg, K. (2009): A theoretical model for analysing gender bias in medicine. *International Journal for Equity in Health* 8, 8.
- Rose, G. L. (2005): Group differences in graduate students' concepts of the ideal mentor. *Research in Higher Education* 46(1), 53-80.
- Winslow, S. (2010): Gender inequality and time allocations among academic faculty. *Gender & Society* 24(6), 769-793.

## Authors

### Dr. Ulla Große

Forschungsgruppe »Innovations- und Regionalforschung«  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-513  
[ulla.grosse@th-wildau.de](mailto:ulla.grosse@th-wildau.de)

### Dr. Martina Brandt

Forschungsgruppe »Innovations- und Regionalforschung«  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-512  
[martina.brandt@th-wildau.de](mailto:martina.brandt@th-wildau.de)

# Klimawandel als Kulturthema. Die Sicht einer Kulturwissenschaftlerin

Olga Rösch

## Zusammenfassung

Der Themenkomplex Klimawandel war traditionell ein Arbeitsgebiet der Naturwissenschaftler. Die verschiedenartigen Anpassungsprozesse, die durch Klimawandel in Gang gesetzt werden, führen allerdings zu starken sozio-kulturellen Wandlungsprozessen, die ihre Auswirkungen auf die Kulturgemeinschaften weltweit bereits in der Gegenwart haben. Für die Klimaforschung wird eine verstärkt interdisziplinäre Zusammenarbeit immer mehr zur Notwendigkeit, um die komplexen Klimawandelprozesse zu erfassen. In dem vorliegenden Beitrag sollen einige kommunikative Aspekte des Klimawandeldiskurses kurz angeschnitten werden, um aufzuzeigen, dass der durch Klimawandel bedingte Kulturwandel für die Kulturwissenschaft Anknüpfungspunkte bietet und sich zu einem Forschungsfeld der Zukunft entwickeln kann.

## Abstract

The complex of topics about climate change has been traditionally the domain of natural scientists. However miscellaneous processes of adaptation caused by climate change lead to deep socio-cultural transformations already impacting cultural communities worldwide. Climate research makes tightened interdisciplinary cooperation necessary in order to capture complex processes of climate change. The present article will address the communicative aspects of the climate change discourse to show that cultural change caused by climate change offers a link for the cultural studies and it may evolve into a field of research in the future.

## 1 Was hat Klimawandel mit Kultur zu tun?

Der Begriff Kultur als ein Glied der Assoziationskette zum Thema Klimawandel wird vermutlich nicht an der ersten Stelle stehen. Das ist auch gemeinverständlich, denn dank medialer Kommunikation verbindet man den Klimawandel zu Recht in erster Linie mit Bildern von Umweltkatastrophen und all seinen Folgen für Mensch, Tier und Erde. Eine weitere Assoziation wäre sicherlich der Bereich der Klimaforschung: Es sind Bilder von Naturwissenschaftlern, die Expeditionen zum Nord- und Südpol machen, die an ihren Computern die Ozonlöcher darstellen, diverse Graphiken zeigen und Prognosen für die Zukunft unseres Planeten treffen. Ein weiterer Aspekt des Themas Klimawandel wäre wahrscheinlich noch relativ schnell aufrufbar, nämlich die ökonomischen Folgen für die Volkswirtschaften, allem voran die Anpassungsprozesse aufgrund der neuen Ressourcenverteilung wie Trinkwasser, Energiequellen, nutzbarer Boden usw. Vor dem Begriff Kultur wird womöglich zunächst die beunruhigende Vorstellung von

der Völkerwanderung in Richtung Europa aufkommen. Solche Migrationsbewegungen würden bekanntlich eine stärkere Multikulturalisierung (zunächst statistisch gesehen) der ansässigen europäischen Kulturgemeinschaften zur Folge haben, eine Entwicklung, die unweigerlich zum Kulturwandel führt. Und somit sind wir beim Thema Kultur.

Wenn man über den Klimawandel nachliest und nachdenkt, so bekommt man das Gefühl, der Klimawandel samt Kulturwandel rollt auf uns unabwendbar zu. Ja, das tut er auch, selbst wenn die Prognosen über die künftigen Kataklysmen sich nur zur Hälfte bewahrheiten sollten. Die gefühlte Unabwendbarkeit scheint aber auch ihren guten Sinn zu haben. Sie »erleichtert« gewissermaßen den Wechsel der Gedankenrichtung: Nicht nur Maßnahmen gegen Erderwärmung sind von Nöten, sondern auch innovative Ideen zur Bewältigung von Folgen des Klimawandels.

Um hier von vornherein keine Missdeutung aufkommen zu lassen: Die Kulturwissenschaftler einschließlich der Interkulturalisten können den Klimawandel nicht stoppen und die Welt nicht retten. Aber in die

Analyse und Gestaltung von soziokulturellen bzw. sozioökologischen Anpassungsprozessen können sich die Kulturwissenschaftler durchaus sinnvoll einbringen und mit Forschungsbeiträgen den wissenschaftlichen Klimawandeldiskurs mitgestalten. Im Hinblick auf die Zukunft der gesellschaftlichen Entwicklungen kann die Kulturwissenschaft allerdings kaum auf eine ausgereifte theoretische und erprobte empirische Basis zurückgreifen. Aber es gibt zahlreiche Fragestellungen, die die Gegenwart des komplexen Klimawandelprozesses betreffen. In dem vorliegenden Beitrag sollen einige kommunikative Aspekte des Klimawandeldiskurses kurz angeschnitten werden, um aufzuzeigen, dass der durch Klimawandel bedingte Kulturwandel für die Kulturwissenschaft Anknüpfungspunkte bietet und sich zu einem Forschungsfeld der Zukunft entwickeln kann und muss.

## 2 Klimawandel als ein interdisziplinäres Forschungsthema

Das Thema Klimaforschung wird in der Gesellschaft im Großen und Ganzen als Domäne der Naturwissenschaften wahrgenommen. In der Wissenschaftslandschaft wird dieser Forschungsbereich als Klimatologie bezeichnet und gilt als eine interdisziplinäre Wissenschaft, die die Gesetzmäßigkeit des Klimas erforscht und sich dabei des Wissens und der Methoden anderer naturwissenschaftlicher Disziplinen wie Meteorologie, Geographie, Geologie, Ozeanographie und Physik bedient (Wikipedia 2011). Es fällt auf, dass diese Beschreibung des Begriffes Klimatologie in der Wikipedia das heutige Verständnis des Themenkomplexes Klima als System »Atmosphäre – Erde – Mensch (Erdsystem-Denken)« (Kappas 2009: 3 ff.) noch nicht erfasst. Das überrascht nicht, denn die Klimatologie als »globale Systemwissenschaft« im Sinne von Kappas nimmt erst Fahrt auf.

2007 veröffentlichte das Deutsche Exzellenz-Netzwerk Klima, Energie, Nachhaltigkeit (DENKEN 2007) des WBGU [1] ein Konzeptpapier unter dem Titel: »Wie organisiert man Forschung zum Klimawandel unter hohem Handlungsdruck?«, in dem bereits die Vernetzung der Forschung im nationalen und internationalen Kontext zum Klimawandel angemahnt wird, wobei auch Sozialwissenschaften eine kurze Erwähnung finden (DENKEN 2007: 6). Die Notwendigkeit einer disziplinübergreifenden Denkweise, die unter Interdisziplinä-

rität in der Klimaforschung ausdrücklich **auch die Zusammenarbeit von Natur- und Sozialwissenschaften** »als eine neuartige Herausforderung« der Zukunft (Kappas 2009: 5) versteht, wird in den neueren Publikationen viel deutlicher artikuliert. So konzipiert Kappas ein neues Lehrbuch »Klimatologie – Klimaforschung im 21. Jahrhundert – Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften«, in dem er einen von insgesamt drei Abschnitten des Lehrwerkes komplett dem Schwerpunkt »Wechselwirkungen von Klima, Mensch, Gesellschaft und Politik« widmet. Im Vorwort zum Lehrbuch formuliert er eigens ein dringendes Anliegen, die »harten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse mit weichen gesellschaftswissenschaftlichen bzw. ökonomischen Fragestellungen« (ebd.) zu vernetzen.

Dass eine solche Interdisziplinarität in der Realität des Zusammenwirkens von Natur- und Geisteswissenschaftlern infolge der jeweiligen fachlichen Sozialisation in unterschiedlichen akademischen Kulturen (im Sinne von Denkweise, Herangehensweise, Methodenverständnis bzw. Methodik und Materie selbst) sich diffizil gestalten kann (Rösch 2010), lässt sich z. B. auch aus den diesbezüglichen jahrzehntelangen wissenschaftlichen Debatten herauslesen (Snow 1959; Zimmerli 1990; Bachmeier/Fischer 1991). Die polemische Kraft der These des britischen Physikers Charles Percy Snow von 1959 über das »wechselseitige Nichtverstehen« scheint bis in die jüngste Vergangenheit zu reichen, wenn die »prinzipiellen epistemischen Differenzen« (Stichweh 2008) zwischen Natur- und Geisteswissenschaften immer wieder thematisiert werden. Auch wenn die interdisziplinäre Forschung problematisch sein kann, ist das innovative wie kreative Potential einer fachübergreifenden wissenschaftlichen Zusammenarbeit unbestritten.

In der Geschichte der Klimaforschung gab es schon viele interessante interdisziplinäre Entwicklungen. So entstand in den 1950er Jahren eine neue Disziplin – »Historische Klimatologie« – in einem Grenzgebiet zu den Naturwissenschaften, die sich für die Klimaschwankungen der vergangenen Jahrhunderte interessierte. So wissen wir heute viel mehr über die mittelalterliche Wärmeperiode, die sich von ca. 800 bis 1300 n.Chr. erstreckte, als die Insel Grönland noch grün war, und die »Kleine Eiszeit«, die von ca. 1300 bis 1900 n.Chr. andauerte. Im Vordergrund standen jedoch nicht die Ursachenforschungen, sondern die Rekonstruktion vergangener Klimaverhältnisse und »makroökonomische Wirkungen von Klimaschwankungen und Klimawandel« (Mauelshagen/Pfister 2010: 242).

Der globale Anstieg der Durchschnittstemperatur sowie des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre werden seit mehreren Jahrzehnten beobachtet und die menschliche Emissionstätigkeit als Ursache für die Veränderungen postuliert (Welzer et al. 2010: 9). Mittels statistischer Methoden wurden und werden weiterhin diverse Modelle berechnet (siehe z. B. Kappas 2009: 19 ff.) bzw. entworfen, die den Klimawandel mit all seinen negativen Folgen für die Umwelt voraussagen. Hitzewellen der letzten Jahre in Europa, heftige Hurrikans in den USA, starke Überschwemmungen, Erdbeben oder Dürren – das sind alles Bilder von Umweltkatastrophen, die uns im medialen Zeitalter sozusagen »postwendend« erreichen. Die vermehrte mediale Präsentation dieser Kataklysmen insbesondere im Vorfeld des Klimagipfels in Kopenhagen im Dezember 2009 führte dazu, dass der öffentliche Diskurs an Dramatik zugenommen hat. Dennoch führten die Bemühungen, die anvisierten »Dekarbonisierungsmaßnahmen« (Priddat 2010: 84 f.) während des Klimagipfels in Kopenhagen international vertraglich zu regeln, nicht zum gewünschten Erfolg.

In der Öffentlichkeit war das Thema Klimawandel bislang vordergründig als ein Luftverschmutzungsthema (Priddat 2010: 87) kommuniziert worden. Im Mittelpunkt standen seit den 1990er Jahren wie bereits oben erwähnt vor allem der anthropogene Charakter des Klimawandels und deren Folgen (Mauelshagen/Pfister 2010: 241 ff.), wobei die Fragen nach der Finanzierung der Folgen bzw. nach einem Finanzausgleich zwischen reich und arm immer mehr Raum bekamen. Die Diskussionen wurden sowohl unter Fachleuten als auch auf der politischen Ebene ziemlich technokratisch geführt.

Das Nichtzustandekommen des internationalen Dekarbonisierungsvertrages und des erhofften Geldtransfers hat sicherlich mehrere Ursachen, die vermutlich auch analysiert werden. Das als Misserfolg aufgefasste Ergebnis des Kopenhagener Gipfels scheint jedoch als eine Art »Vorschub« gewirkt zu haben, der den Blickwinkel in der interdisziplinären Klimaforschung erweiterte. Der Begriff **Kultur** wird zunehmend in den wissenschaftlichen Klimadiskurs einbezogen. So schreibt Priddat (2010: 95), übrigens ein Wirtschaftswissenschaftler: »CO<sub>2</sub>- und finanzbeschäftigt machen wir uns noch kein Bild über die *kulturellen* Prozesse, die mit dem Klimawandel einhergehen.«

Die aktuelleren Fragestellungen drehen sich also nun zunehmend um die soziokulturellen Implikationen von Klimawandel, d. h. was sind die Folgen für die

Gesellschaft, für die Kulturgemeinschaften? Die Soziologen meldeten sich schon mit Publikationen mit z. T. sehr dramatischen Titeln wie z. B. »Das Ende der Welt wie wir sie kannten. Klima, Zukunft und die Chancen der Demokratie« von Claus Leggewie und Harald Welzer (2009) zu Wort. Bei den Kulturwissenschaftlern [2], zu denen Interkulturalisten [3] auch gezählt werden, scheint der Themenkomplex Klimawandel bisher wenig Interesse geweckt zu haben bzw. man fühlt sich nicht wirklich davon angesprochen. Dabei gibt es im wissenschaftlichen Diskurs zum Klimawandel einige Fragestellungen, die aus kulturwissenschaftlicher bzw. interkultureller Perspektive durchaus erkenntnisbringend bearbeitet werden können und sogar bearbeitet werden müssen.

Für Kulturwissenschaftler ist das Thema Klimawandel zumindest aus drei Perspektiven ein interessantes Untersuchungsfeld:

- 1) Kulturvergleichende Perspektive, d. h. Untersuchungen zum Umgang mit dem Thema Klimawandel in verschiedenen Kulturen.
- 2) Kommunikative Perspektive: Analyse der kommunikativen Aspekte der interkulturellen Interaktionen im internationalen Projekt »Weltklimavertrag«.
- 3) Gesellschaftliche [4] Perspektive: Zusammenhang zwischen Klimawandel und Kulturwandel.

## 3 Das Thema Klimawandel als kulturwissenschaftliches Thema

### 3.1 Kulturvergleichende Perspektive

Der Klimawandel ist der breiten Bevölkerung vor allem durch eine stark frequentierte Thematisierung in den Medien als Problem bewusst geworden. Allerdings gestalten sich die diesbezüglichen medialen Diskurse von Land zu Land unterschiedlich. Als Beispiel soll hier nur ein kurzer Ausschnitt aus den Berichten zur Uno-Klimakonferenz in Kopenhagen vom Dezember 2009 angeführt werden, der in Deutschland in jenen Tagen zum medialen Ereignis schlechthin avancierte.

Die Bilder vom letzten Tag des Gipfels in Kopenhagen dürften noch in Erinnerung sein. Der deutsche Umweltminister, Dr. Norbert Röttgen, verlässt schweren Schrittes den Raum: abgekämpft, zerschlagen, enttäuscht. Ihm steht im Gesicht geschrieben: Der entscheidende »Weltrettungsversuch« ist gescheitert... Er reißt sich noch einmal zusammen und gibt vor der Kamera ein kurzes Interview, in dem seine Ohnmacht

zu spüren ist. Dieser mediale Auftritt unseres Umweltministers ist sicherlich keine vorsätzliche Inszenierung. In diesen Tagen ist der Kopenhagener Gipfel das Thema Nummer 1 in Deutschland. Der Erwartungsdruck, der in den deutschen Medien bereits im Vorfeld erzeugt wurde, war enorm: Wochenlang Umweltkatastrophen-Bilder aus aller Welt im Fernsehen, Unbehagen erzeugende Dämonisierung der Ursachen und vor allem der Verursacher (Clausen 2010: 100 f.) mit dem Ideologem der Schuld, auf die – im Geiste der christlichen Denktradition – eine Strafe folgen müsste, Demonstranten vor dem Gebäude während der Konferenz in Kopenhagen und fast stündliche Berichte über den Fortschritt der Verhandlungen.

Ein Blick in das russische Fernsehen am letzten Tag der Uno-Konferenz in Kopenhagen hat ein ganz anderes Weltbild ergeben. Neben vielen anderen Nachrichten aus dem Ausland kam auch die Information über das Ende des Kopenhagener Klimagipfels: Nüchtern wurde mitgeteilt, dass die Konferenz ergebnislos zu Ende gegangen ist. In den diesbezüglichen Kommentaren auf den russischen Internetseiten war ein leicht ironischer bis spöttischer Unterton über den Misserfolg nicht zu überhören, z. B.: »Kopenhagen: *Großalarm* hat nur teilweise geholfen« (RFI 2009a), oder »Das zu erwartende Debakel fand statt« (RFI 2009b).

Im russischen Diskurs über den Klimawandel ist es übrigens nicht verpönt bzw. es ist kein Verstoß gegen die »umweltpolitische Korrektheit« (Kuckartz 2010: 157), unter Berufung auf Ergebnisse der Historischen Klimatologie öffentlich den anthropogenen Charakter des Klimawandels grundsätzlich in Frage zu stellen sowie die positiven Folgen der Erderwärmung für die großen, dünn besiedelten Regionen in Sibirien auch positiv zu sehen, so jedenfalls die Äußerungen des Ministers für Bodenressourcen, Juri Trutnjew, im russischen Fernsehen vor ein paar Jahren.

Es besteht kein Zweifel, dass die Wahrnehmung des Klimawandels sowie das Wissen über die Prozesse durch Massenmedien stark gelenkt bzw. bestimmt werden. Laut einer Euro-Barometer-Studie, die im Auftrag der Europäischen Kommission unter der wissenschaftlichen Leitung von U. Kuckartz (2009) durchgeführt wurde, gibt es tendenziell ein Nord-Süd-Gefälle in der Wahrnehmung des Problems des Klimawandels: So zählen z. B. 82 % der Schweden und 65 % der Deutschen die Klimaerwärmung zu den größten Weltproblemen, während z. B. nur 33 % der Polen und 30 % der Portugiesen dem Problem eine so hohe Priorität

einräumen. Die Nord- bzw. Nordwest-Europäer fühlen sich laut dieser Studie auch besser über das Thema informiert als die Süd- und Südost-Europäer. Die Studie hat übrigens die in Klima-Diskursen oft geäußerte Annahme widerlegt, dass »Betroffenheit in besonderem Maße sensibilisiert und mobilisiert« (Kuckartz 2010: 148).

Angesichts der unterschiedlichen Wahrnehmung des Problems in den Ländern Europas nimmt es wohl kaum Wunder, dass das Bemühen um ein **gemeinsames Handeln** bei der Ausarbeitung des Vertrages zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in einem noch größeren internationalen Rahmen noch nicht vom Erfolg gekrönt wurde.

### 3.2 Kommunikative Perspektive

Der anvisierte Dekarbonisierungsvertrag wurde in Kopenhagen nicht unterschrieben und somit konnte die kooperative Global Governance als politisches Programm trotz Engagement ihrer Akteure nicht realisiert werden. Das »globalisierte Weltnetzwerk« erwies sich als »handlungsunfähig«, da die Lösung einer solchen »globalisierten sozialen Frage« eines souveränen »antwortfähigen Weltstaates« bedürfe, den es in der Form nicht gebe, so die Überlegung eines Soziologen (Clausen 2010: 101-102). Aus der Sicht der Interkulturalisten müsste bei der Ursachenforschung auch der kommunikative Aspekt unter die Lupe genommen werden. Die Frage könnte hier demnach lauten: Woran ist **das interkulturelle Projekt** namens Dekarbonisierungsvertrag in Kopenhagen gescheitert?

Es gehört bereits zum Lehrbuchwissen (z. B. Hoffmann et al. 2004), dass für den Erfolg eines internationalen Projektvorhabens entscheidend ist, ob es gelingt, eine **Interkultur** zu erzeugen. Unter Interkultur versteht man ein Interaktionsgeschehen, einen Prozess des reflektierten und expliziten »Aushandelns eines gemeinsamen dritten Handlungskontextes« (Bolten 2007: 139), »für das gänzlich andere Akzeptanzgrenzen, Konventionen und Handlungsroutinen gelten können als für die des kommunikativen Handelns innerhalb der Ausgangskulturen« (ebd.: 140). Angesichts der Tatsache, dass die Interaktionsbeteiligten jeweils von ihren »spezifischen kulturellen Kontextbedingungen wie z. B. politisch-rechtlichen Normen, sozialen Beziehungsdefinitionen, Wertesystemen, Formen der Sinnkonstruktion und der Tradierung kollektiver Wissensvorräte, Einfluss natürlicher Umweltgegebenheiten auf Technologie und Realitätserkenntnis« (Bolten 2007: 141) u. a. geprägt sind, ist es von besonderer Be-

deutung, die **Akzeptanzgrenzen** des anderen **nicht zu überschreiten**.

Aus der Praxis der interkulturellen Projektzusammenarbeit ist es hinlänglich bekannt, dass selbst bei gutem Willen viel Zeit, Kraft und innovative Ideen investiert werden müssen, um eine Interkultur zu entwickeln, die dann von allen Akteuren bis zum Abschluss des Projektes getragen wird. Wurde ein gemeinsamer Handlungskontext geschaffen, in dem die Akzeptanzgrenzen der Interaktionspartner verstanden wurden? Ist diesem kommunikativen Prozess in der Vorbereitung der Konferenz in Kopenhagen genügend Aufmerksamkeit geschenkt worden? Ein Vertrag ist ja lediglich die Dokumentation eines Verhandlungsergebnisses und steht am Ende eines Verständigungsprozesses.

Bei der Analyse des Ergebnisses des Kopenhagener Gipfels könnte noch mehreren Fragen nachgegangen werden:

- Wurde im Vorfeld des Gipfels eine grundsätzliche Kooperationsbereitschaft erreicht?
- Haben die Gipfelteilnehmer die gleichen Problemdefinitionen erarbeitet und haben sie mit gleichen Begrifflichkeiten operiert?
- Sind in der Problemwahrnehmung gleiche Emotionalität, d. h. hier gleiches Zukunfts-Angst-Niveau (wie das der Deutschen) und nicht nur vergleichbarer Wissensstand erreicht worden? Oder mit Worten von Clausen (2010: 104): Ist hier ein »einheitliches Katastrophenszenarium« überhaupt zu erreichen?
- Wurde die Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen in den gesellschaftlichen Entwicklungen der teilnehmenden Länder mit allen Konsequenzen für die Verständigungsprozesse im Vorfeld erkannt und wurden die damit verbundenen Probleme antizipiert?
- Wäre eine Interkultur in den Dimensionen eines Weltgipfels überhaupt möglich?

### 3.3 Gesellschaftliche Perspektive

Selbst wenn beim Kopenhagener Gipfel kein rechtsfähiger Vertrag entstand, so erbrachte die Konferenz einen politischen Konsens, der einer »Desillusionierung« gleich kommt (Priddat 2010: 82 f.). Der von Naturwissenschaft und Technikwissenschaft geprägte technokratische Ansatz in der Problemlösung, v. a. die **Mentalität der Machbarkeit**, setzte Prozesse in Gang, die offensichtlich mit der Logik der sozialen Prozesse, die kaum linear verlaufen, nicht einhergehen. Die Zuversicht, die Zukunft meistern zu können, eine Mentalität, die besonders in den modernen westlichen Kulturen

beheimatet ist, scheint in Veränderung begriffen zu sein. Sie wird sogar ziemlich ernüchternd in die Nähe des »dysfunktionalen Optimismus« (Ernst 2010: 132) gebracht. Damit einher geht auch die so genannte »Kontrollillusion«, von der es sich allmählich zu verabschieden gilt, meint A. Ernst (2010: 132), ein Fachmann für Umweltsystemanalyse. Er schreibt:

»Wir glauben in vielerlei Hinsicht, dass wir, wenn wir nur wollten und müssten, die Dinge schon regeln könnten. In diesem unbedingten und unkritischen Machbarkeitsbewusstsein liegt eine der Ursachen für den Glauben, dass Technologie alle Probleme der Menschheit lösen könnte.«

Dieses unkritische Machbarkeitsbewusstsein kommt auch darin zum Ausdruck, dass man glaubt, nahezu alles verstehen und erklären zu können. Deshalb sind Ergebnisse bzw. scheinbare Ergebnisse von Klimamodellen so schwer fassbar und können u. U. auch zu Fehlinterpretationen führen. Komplexe Phänomene, mit denen man praktisch keine Experimente zur Überprüfung von Hypothesen oder Modellen machen kann, widersetzen sich auch der etablierten naturwissenschaftlichen Methodik des kritischen Rationalismus. In komplexen Systemen gibt es oftmals keine kausalen Zusammenhänge zwischen den Systemparametern. Angesichts der Bedeutung der Problematik liegt es nahe anzunehmen, dass in der Klimaforschung ein Umdenken und in der Gesellschaft ein Wandel der Mentalität einsetzen wird.

Beim Mentalitätswandel geht es um einen Wandlungsprozess eines der vielen Strukturmerkmale der Kultur (Maletzke 1996: 42 ff.), d. h. um einen Kulturwandel zumindest in einem Teilbereich der Kultur. Wir können bereits feststellen, dass der Kulturwandel, der durch Klimawandel ausgelöst wurde, in einigen Bereichen z. T. schon eingetreten ist. Wir können ein gewachsenes Umweltbewusstsein v. a. in Nordeuropa feststellen. Man denke nur an die kleineren Sachverhalte wie Mülltrennung, strengere Umweltvorschriften, Energieeinsparungsmaßnahmen, Entwicklung von alternativen Energiequellen usw. Es hat sich bei uns inzwischen auch eine Art »umweltpolitische Korrektheit«, die sog. »Frames« (Lakoff/Wehling 2007) etabliert, wonach in der deutschen Öffentlichkeit ein bestimmter Druck existiert, »sich umweltfreundlich zu präsentieren und Besorgnis zu äußern« (Kuckarz 2010: 156).

Einige Anzeichen für kulturökologische Adaption (Priddat 2010: 92) sind bereits jetzt wahrnehmbar: Von neuen Pflanzen, Insekten, Schädlingen und Krankheiten aus dem Süden ist die Rede. Viel dramatischer

sind aber die Voraussagen für einen Wandel der »geotopologischen Identität« (ebd.) durch den Anstieg des Meeresspiegels, die Ausbreitung der Wüste und die Trinkwasserknappheit. In der Folge sind nicht nur die entwurzelten »Klimaverlierer«, sondern auch die vermeintlichen »Klimagewinner« mit den Problemen der ethnischen Mischung durch die Umsiedlung und Massenmigration konfrontiert (ebd.). Die Anzahl der Hungerflüchtlinge aus Afrika ist bereits gestiegen. Bei weiterer Zunahme von Flüchtlingsströmen wird dies enorme konfliktbehaftete kulturelle Prozesse mit allen Konsequenzen für die Gesellschaftssysteme in Gang setzen. Somit wird der Klimawandel in seiner Gesamtdynamik nicht mehr als »natürliches, sondern als ein kulturelles Phänomen« gesehen (Heidbrink 2010: 54).

#### 4 Interdisziplinäre Herausforderungen der Zukunft

Um die sozio-kulturellen Anpassungsprozesse zu verstehen und diese zu gestalten, wäre ein Kulturwandel im weitesten Sinne erforderlich. Nach Meinung von Priddat (2010: 92 f.) würde unsere Gesellschaft auch gar nicht umhin kommen, einen mentalen Wandel zu vollziehen, und zwar von der Idee der Naturbewältigung aus der Zeit der Industrialisierung hin zur kulturellen Wertschätzung einer intakten Umwelt als Werteorientierung (ebd.). Sicherlich werden neue Technologien, technische Produkte und Leistungen gebraucht, um die Umwelt zu schonen und das Leben neu zu organisieren. Es ist aber auch bekannt, dass kulturelle Anpassungen mehr Zeit als technologische Innovationen (Hunger/Wilkens 2010: 168) brauchen. Eine intelligentere internationale und interkulturelle Zusammenarbeit der Weltgemeinschaft wäre hier dringend geboten.

Es besteht inzwischen kein Zweifel mehr daran, dass der Klimawandel unsere Kulturen neu mischen wird (vgl. Priddat 2010: 94). Für diese Veränderungen in der Zukunft gibt es im Unterschied zu Natur- und Technikwissenschaften noch keine Prognosen, keine gesellschaftlichen Entwürfe, d. h. **keine Zukunftsmodelle aus der Sicht der Geisteswissenschaften**. Diesen Zustand findet der Züricher Wissenschaftsforscher M. Hagner (2010: 20 f.) als Desiderat und mahnt in seinem Aufsatz »Haben die Geisteswissenschaftler die Zukunft vergessen?« zu Recht an, sich in produktiver Weise mit der Zukunft zu beschäftigen. Geisteswissenschaften dürfen – mit Worten von Hilmar Hoffmann, des ehe-

maligen Präsidenten des Goethe-Instituts – »nicht nur nostalgische Kompensationen für die Verlufterfahrungen in der beschleunigten Modernisierung« (Hoffmann 1997: 4) liefern. Jedoch für eine Zukunftsforschung würde den Geisteswissenschaftlern/Kulturwissenschaftlern, die in ihren Forschungen eher vergangenheitszugewandt und bestenfalls gegenwartsorientiert sind, auch jede Methodologie fehlen.

Um diese (selbstkritische) Feststellung jedoch gleich ins rechte Licht zu rücken: In Bezug auf die Fähigkeit zur kritischen Selbstreflexion scheinen die Geisteswissenschaften/Kulturwissenschaften den Naturwissenschaften/Technik momentan um einiges voraus zu sein. Die Geisteswissenschaftler verfügen traditionell über »eine methodische Schulung, ... Gewohntes in Frage zu stellen« (Langewiesche 2003: 29). Während die Naturwissenschaften eher »messend-experimentierend« (Arnswald 2005: 124) und erklärend vorgehen, sind die Geisteswissenschaften »erzählende« (ebd.), reflektierende und interpretierende Wissenschaften. Sie teilen aber mit Naturwissenschaften und Technik »die wissenschaftlich gleiche Rationalität« (ebd.: 128) und verschaffen der Gesellschaft »das Wissen über sich selbst« (ebd.: 121). In dem kritischen Hinterfragen und dem Neu-Interpretieren von geschichtlichen und gegenwärtigen Entwicklungen, d. h. auch Überprüfen, ob wir wissen, was wir tun, sind die Geisteswissenschaften durchaus zukunftsorientiert.

Der Anspruch der modernen Geisteswissenschaften/Kulturwissenschaften müsste angesichts der globalen Veränderungen darin liegen, eine stärkere internationale, interkulturelle und interdisziplinäre (vor allem zwischen den »zwei Kulturen«, s. o.) Forschungsvernetzung anzustreben, neue Methodiken zu entwickeln und zu neuen Forschungsgebieten der Zukunft zu finden.

## Anmerkungen

- [1] WBGU – Akronym für »Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen«
- [2] Aufgrund eines erweiterten Verständnisses des Begriffes Kultur werden die Geisteswissenschaften neuerdings als Kulturwissenschaften verstanden (Kittsteiner 2004).
- [3] Mit dem Begriff »Interkulturalisten« bezeichnet man Experten für interkulturelle Kommunikation (Moosmüller 2005: 15 ff.).
- [4] Das Verständnis von Kulturwandel im Zuge der Globalisierung zeichnet sich durch Reflexion von Komplexität der gesellschaftlichen Prozesse aus. Für die diesbezüglichen Untersuchungen ist ein »theoretisch und methodisch ortloser Ausgangspunkt« charakteristisch (Robertson et al. 2000: 6). Die empirischen und theoretischen Bezüge der traditionellen Kulturwissenschaft allein vermögen die kulturellen Wandlungsprozesse nicht mehr im ausreichenden Maße zu begründen (Winter 2000: 12ff.). Deshalb ist hier von gesellschaftlicher Perspektive die Rede, die eine kulturwissenschaftliche Sicht mit einschließt.

## Literatur

- Arnswald, U. (2005): Die Geisteswissenschaften – unterschätzte Transmissionsriemen des gesellschaftlichen Wandels und der Innovation. In: Arnswald (Hg.): Die Zukunft der Geisteswissenschaften. Manutius Verlag Heidelberg, 111-162.
- Bachmeier, H., Fischer, E. P. (Hg.) (1991): Glanz und Elend der zwei Kulturen. Über die Verträglichkeit der Natur- und Geisteswissenschaften. Universitätsverlag Konstanz.
- Bolten, J. (2007): Einführung in die interkulturelle Wirtschaftskommunikation. Vandenhoeck & Ruprecht, UTB 2922, Göttingen.
- Clausen, L. (2010): Wohin mit den Katastrophen? In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 97-110.
- DENKEN (2007): Deutsche Exzellenz-Netzwerk Klima, Energie, Nachhaltigkeit, WBGU 327, [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/weitere/wbgu\\_DENKEN.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/weitere/wbgu_DENKEN.pdf), Zugriff: 01.10.11.
- Ernst, A. (2010): Individuelles Umweltverhalten – Probleme, Chancen, Vielfalt. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 128-143.
- Hagner, M. (2010): Haben die Geisteswissenschaftler die Zukunft vergessen? In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 20-32.
- Heidbrink, L. (2010): Kultureller Wandel: Zur kulturellen Bewältigung des Klimawandels. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 49-64.
- Hoffmann, H.-E., Schoper, Y.-G., Fitzsimons, C. J. (Hg.) (2004): Internationales Projektmanagement. Interkulturelle Zusammenarbeit in der Praxis. Beck-Wirtschaftsberater, Deutscher Taschenbuchverlag, München.
- Hoffmann, H. (1997): Die Welt ist Text – Die Entwicklung der Wissensgesellschaft braucht Kultur- und Geisteswissenschaften. In: Prospekt 3/1997, 3-5.
- Hunger, B., Wilkens, W. (2010): Architektur und Städtebau im Spannungsfeld von klimakultureller Prägung und sozialökonomischer Entwicklung. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 161-179.
- Kappas, M. (2009): Klimatologie. Klimaforschung im 21. Jahrhundert – Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, <http://www.springer.com/spektrum+akademischer+verlag/geowissenschaften/geowissenschaften+%C3%BCbergreifend/book/978-3-8274-1827-2>, Zugriff: 01.10.11.
- Kittsteiner, H. D. (Hg.) (2004): Was sind Kulturwissenschaften? 13 Antworten, Sammelband Wilhelm Fink Verlag, München.
- Kuckartz, U. (2009): Globaler Klimawandel und Gerechtigkeit: Einstellung und Verhalten der BürgerInnen in Deutschland und Europa (»Euro-Barometer-Studie« von 2008), <http://www.klimabewusstsein.de/dateien/Hamburg09.pdf>, Zugriff: 01.10.11.
- Kuckartz, U. (2010): Nicht hier, nicht jetzt, nicht ich – Über die symbolische Bearbeitung eines ernststen Problems. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 144-160.
- Lakoff, G., Wehling, E. (2007): Auf leisen Sohlen ins Gehirn. Verlag Carl Auer Systeme, Heidelberg.
- Langewiesche, D. (2003): Wozu braucht die Gesellschaft Geisteswissenschaften? Wie viel Geisteswissenschaften braucht die Universität? In: Keisinger, F., Seischab, S. (Hg.): Wozu Geisteswissenschaften? Kontroverse Argumente für eine überfällige Debatte, Frankfurt/Main, 29-42.
- Leggewie, C., Welzer, H. (2009): Das Ende der Welt wie wir sie kennen. Klima, Zukunft und die Chancen der Demokratie, S. Fischer Verlag, Frankfurt/Main.
- Maletzke, G. (1996): Interkulturelle Kommunikation zwischen Menschen verschiedener Kulturen. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Opladen.
- Mauelshagen, F., Pfister, C. (2010): Vom Klima zur Gesellschaft: Klimageschichte im 21. Jahrhundert. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 241-269.
- Moosmüller, A. (2000): Die Schwierigkeiten mit dem Begriff Kultur in der Interkulturellen Kommunikation. In: Alsheimer, R., Moosmüller, A., Roth, K. (Hg.): Lokale Kulturen in einer globalisierenden Welt. Perspektiven auf interkulturelle Spannungsfelder, Münchener Beiträge zur Interkulturellen Kommunikation, Bd. 9, Waxmann Verlag, München/Münster/New York, 15-31.
- Priddat, B. P. (2010): Klimawandel: Das Ende der geopolitischen Identität. In: Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York, 81-96.
- RFI (2009a): Radio France Internationale. Russische Internet-Seite: Страница русской редакции Международного французского радио RFI. »Копенгаген: аврал помог лишь частично« <http://ru.euronews.net/2009/12/19/salvaged-climate-deal-fails-to-impress/>, veröffentlicht am 19.12.2009, Zugriff: 30.09.11.
- RFI (2009b): Radio France Internationale. Russische Internet-Seite: Страница русской редакции Международного французского радио RFI. »Ожидаемый провал состоялся« [http://www.rfi.fr/actu/articles/120/article\\_4963.asp](http://www.rfi.fr/actu/articles/120/article_4963.asp), veröffentlicht am 19.12.2009, Zugriff: 30.09.11.
- Robertson, C. Y., Winter, C. (2000): Vorwort. In: ders. (Hg.): Kulturwandel und Globalisierung, [http://www.zak.kit.edu/img/Kulturwandel\\_und\\_Globalisierung.pdf](http://www.zak.kit.edu/img/Kulturwandel_und_Globalisierung.pdf), Zugriff: 30.09.2011.

- Rösch, O. (2010): Das Lehrgebiet Interkulturelle Kommunikation für Studierende der nicht-geisteswissenschaftlichen Studiengänge an der TFH Wildau. In: EB, Oliver (Hg.) (2010): Das Andere lehren – Handbuch zur Lehre Interkultureller Handlungskompetenz. Waxmann Verlag, Münster, 71-83.
- Snow, C. P. (1959): Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. Verlag Klett, Stuttgart.
- Stichweh, R. (2008): Natur und Geisteswissenschaften. Die zwei Kulturen? Eine Korrektur. In: FAZ, 20.12.2008, 7.
- Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (2010): KlimaKulturen. In: ders. (Hg.), 7-19.
- Welzer, H., Soeffner, H.-G., Giesecke, D. (Hg.) (2010): KlimaKulturen. Soziale Wirklichkeit im Klimawandel, Campus Verlag, Frankfurt/New York.
- Wikipedia (2011): Artikel »Klimatologie«, <http://de.wikipedia.org/wiki/Klimaforschung>, Zugriff: 01.10.11.
- Winter, C. (2000): Kulturwandel und Globalisierung. Eine Einführung in die Diskussion. In: Robertson, C. Y., Winter, C. (Hg.): Kulturwandel und Globalisierung, [http://www.zak.kit.edu/img/Kulturwandel\\_und\\_Globalisierung.pdf](http://www.zak.kit.edu/img/Kulturwandel_und_Globalisierung.pdf), Zugriff: 30.09.2011.
- Zimmerli, W. Ch. (Hg.) (1990): Wider die »Zwei Kulturen«. Fachübergreifende Inhalte in der Hochschulausbildung, Springer Verlag, Berlin u. a.

## Autorin

**Prof. Dr. phil. Olga Rösch**  
 Interkulturelle Kommunikation  
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
[olga.roesch@th-wildau.de](mailto:olga.roesch@th-wildau.de)  
[www.th-wildau.de/roesch/](http://www.th-wildau.de/roesch/)

# Eventmarketing – Prosumtionstheoretische Implikationen zur Erweiterung der Theoriebildung eines innovativen Kommunikationsinstruments

Frank Sistenich, Katrin Böckler

## Zusammenfassung

Klassische Massenkommunikation erreicht relevante Zielgruppen bei fortschreitender Werbedichte und wachsenden Reaktanzreaktionen von Konsumenten nicht mehr hinreichend. Unternehmen setzten daher heute auf innovative Kommunikationskonzepte, um Marketingbotschaften zu senden. Neue Konzepte wie das Open SourceMarketing integrieren den Konsumenten aktiv in Vermarktungs- und Absatzprozesse und können Botschaften authentischer und glaubwürdiger transportieren. Konsumenten beteiligen sich somit aktiv an den Wertschöpfungsprozessen von Unternehmen. In der Literatur wird diese Integration als »Prosumtion« bezeichnet, die verschiedene Ausprägungen kennt. Der vorliegende Beitrag zeigt auf, welche Rolle der Prosument im Eventmarketing einnimmt. Eventmarketing als modernes Kommunikationsinstrument zeichnet sich durch seine Dialog- und Interaktionsorientierung aus. Während eines Marketingevents werden Konsumenten aktiv über die konative Verhaltensebene in die Eventinszenierung einbezogen. Die Ansätze der Prosumentenforschung eignen sich daher, die Eventforschung theoretisch sinnvoll zu ergänzen und zu erweitern.

## Abstract

Traditional mass communication is no longer sufficient to reach customer target groups. Therefore modern instruments of marketing communication have been developed in recent years. One prominent example is the case of event marketing. Due to its characteristics of interaction the theoretical framework can be extended by the approach of Tofflers prosumtion theory. Prosumtion is a leading trend since the 80ies and well recognized in marketing theory in the field of product-, price and distribution policy. For the framework of event marketing theory prosumtion is an especially valuable asset to enhance important theory building.

## 1 »Der Aufstieg des Prosumenten« nach Alvin Toffler (1980)

Der amerikanische Soziologe und Futurologe Alvin Toffler beschreibt 1980 in seinem Buch »The Third Wave« den Wandel der Gesellschaft (Toffler 1980: 16). Toffler prognostiziert eine neue, hoffnungsvolle Epoche der Menschheit, in der die bestehende Industriegesellschaft mit ihren Wertvorstellungen in Bezug auf Familie, Kirche und Staat von einer neuen Zivilisation abgelöst wird. Der Autor teilt die Menschheitsgeschichte zur Entwicklung und Beschreibung des neuen Zivilisationsstatus in drei Epochen bzw. sogenannte Veränderungswellen ein, die jeweils variierende Tätig-

keitsprofile von Produzent und Konsument aufweisen und im Fokus seiner Betrachtung liegen.

Die erste Welle beginnt bei Toffler mit dem Entstehen der Landwirtschaft, ausgelöst durch die Agrarrevolution ca. 8.000 v. Chr. (Toffler 1980: 24-25). Während dieser Epoche »konsumierten die Menschen, was sie selbst produzierten« (Toffler 1980: 273). Toffler spricht hier von »Produktion für den Eigenverbrauch« (Toffler 1980: 273), also einer Produktion, die zum Zweck der Selbstversorgung betrieben wird. Konsument und Produzent kamen demnach in Personalunion (Hellmann 2010: 16) und als geschlossenes Ganzes vor (Toffler 1980: 49). Es handelte sich folglich um eine »Verzahnung der beiden Tätigkeitsprofile **Produzent** (...) und

**Konsument** (...) [ die] den Neologismus **Prosument**« bilden (Hellmann 2010: 17).

Im Zuge der Industriellen Revolution gegen Ende des 17. Jahrhunderts folgte eine zweite, industriell geprägte Welle (Toffler 1980: 25, 273). Diese zweite Innovationswelle schuf eine gespaltene Wirtschaftsform, die für die Trennung von Produktion und Konsumtion sowie für eine damit einhergehende Ausbreitung der Märkte steht (Toffler 1980: 51). Die Produktion diente nun kaum noch dem Eigenverbrauch, sondern vornehmlich der Befriedigung der Nachfrage auf einem Markt bzw. der industriellen »Produktion für den Markt«. Im Rahmen dieser Entwicklung teilt Toffler die Wirtschaft in zwei Sektoren ein.

Sektor A – der Prosumtionssektor – umfasst die unbezahlte Arbeit und somit den Bereich der »Produktion für den Eigenverbrauch«. Sektor B – der Produktionssektor – beinhaltet die bezahlte Arbeit, also die Produktion von Gütern und Dienstleistungen für den Markt. Als produktiv bzw. ökonomisch relevant galt nur die Arbeit in Sektor B, womit der Prosument vorerst in Vergessenheit geriet (Toffler 1980: 273).

Toffler betrachtet diese Entwicklung der damaligen Gesellschaftsordnung kritisch und geht z. B. davon aus, dass dadurch die Ausweitung des Produktionssektors und eine damit verbundene Expansion der Marktwirtschaft, eine aggressive Erwerbsethik, die mit Erfolgsdruck einhergeht und sich negativ auf das Leben der Menschen auswirkt, zu verzeichnen ist. Die Lösung für dieses Problem sieht der Autor in einem ausgeglichenen Verhältnis beider Sektoren, welches in der folgenden Innovationswelle zustande kommen soll (Toffler 1980: 386-387).

Während der dritten Welle – dem Zeitalter des Prosumenten – rückt der Prosument wieder ins Zentrum des wirtschaftlichen Lebens (Toffler 1980: 281). Toffler sieht Anzeichen für diesen Umbruch während der 1970er Jahre. Zu diesem Zeitpunkt stellt z. B. die Pharmaindustrie Schwangerschaftstests zur Selbstuntersuchung zur Verfügung (Toffler 1980: 272). Als weitere Indikatoren für eine neue Veränderungswelle benennt er verschiedene Beispiele, die zeigen, dass immer mehr Tätigkeiten aus dem Sektor B – der bezahlten Arbeit – in den Sektor A abwandern (Toffler 1980: 272, 276-281). Folglich werden Güter und Dienstleistungen wieder für den Eigenverbrauch produziert. Mit dem Aufstieg des Prosumenten wird es zu einer Auflösung des Marktes kommen (Toffler 1980: 289). Die daraufhin neu entstehende Zivilisation wird sich »lebhafter voneinander

unterscheiden [...] und ein höheres Maß an Individualität an den Tag legen« (Toffler 1980: 390). Es wird ein ausgeglichenes Verhältnis von Arbeit und Freizeit sowie ein menschliches Miteinander im Mittelpunkt stehen (Toffler 1980: 390).

## 2 Soziologie des Prosumenten – Ein Tätigkeitsprofil nach Hellmann (2010)

Toffler geht davon aus, dass sich die Tätigkeitsprofile von Konsumenten und Produzenten zunehmend annähern, vermischen und wechselseitig ergänzen (Hellmann 2010: 26). Ungeklärt bleibt bei Toffler jedoch, wo Konsumtion aufhört und wo Prosumtion beginnt (Hellmann 2010: 25). Zur Abgrenzung des Prosumentenbegriffs untersucht Hellmann (2010: 26) daher die Tätigkeitsprofile des Konsumenten und Produzenten näher, um darauf aufbauend das Profil des Prosumenten systematisch herzuleiten.

Ausgangspunkt für Hellmanns Herangehensweise ist die Annahme, dass sich Konsumenten in der Publikumsrolle und Produzenten in der Leistungsrolle des Wirtschaftssystems befinden (Hellmann 2010: 26).

Publikumsrollen sind primär auf einen Leistungsempfang ausgerichtet. Konsumenten befinden sich in der Publikumsrolle des Wirtschaftssystems und zeichnen sich demzufolge durch ein vorwiegend passives Verhalten aus. Dazu scheint ein aktiver Konsument, wie Toffler ihn beschrieben hat, widersprüchlich zu sein. Jedoch hat die Forschung gezeigt, dass Konsumenten nicht generell passiv agieren, beispielsweise zeigt sich bei der Rezeption von Massenmedien, dass ein gewisses Maß an Aktivität vorhanden sein muss, da reine Passivität eine Nullrezeption zur Folge hätte (Hellmann 2010: 27; Stauff 2004: 67).

Leistungsrollen sind primär auf eine Leistungserbringung ausgerichtet. Produzenten befinden sich in der Leistungsrolle des Wirtschaftssystems und zeichnen sich demzufolge durch ein aktives Verhalten und den Faktor Arbeit aus (Hellmann 2010: 30). Daher stellt Hellmann verschiedene Definitionen von Arbeit vor, um herauszustellen, wann jemand arbeitet, und er resümiert: »Hat etwas Gebrauchswert für jemanden, [...] handelt es sich um eine Leistung, und wurde diese Leistung von jemandem extra hergestellt, hat diese Person dafür gearbeitet« (Hellmann 2010: 33). Demnach wird »immer dort gearbeitet, wo [...] am Ende eines Herstellungsprozesses eine bestimmte Sach- oder Dienstleis-

tung für irgendjemanden Gebrauchs- und ggf. auch Tauschwert besitzt« (Hellmann 2010: 35).

Hellmann leitet aus Tofflers Ausführungen und seiner systematischen Verortung des Prosumenten sowie dessen Tätigkeitsprofil folgende Definition ab: »Prosumtion liegt immer dann vor, wenn zur Herstellung einer Sach- oder Dienstleistung, die vor allem für die Eigenverwendung gedacht ist und von daher ihren Gebrauchswert bezieht, ein Beitrag geleistet wird, ohne den der Herstellungsprozess unabgeschlossen bleibt, unabhängig davon, ob für diese Leistung bezahlt werden muss oder nicht« (Hellmann 2010: 36).

Prosumtion lässt sich folglich nur dadurch vom aktiven Konsum abgrenzen, dass »der Herstellungsprozess bei Entzug der Prosumtionsaktivitäten zu keinem Abschluss käme, während der Herstellungsprozess im Falle des Entzugs einer Konsumtionsaktivität davon unberührt bliebe« (Hellmann 2010: 36). Demnach kann nicht von Produktion, sondern es muss von Prosumtion gesprochen werden, wenn jemand größtenteils für sich selbst arbeitet und dabei Gebrauchswert schafft.

### 3 Implikationen aus Hellmanns Ansatz für die moderne Eventforschung

Die Ausführungen Hellmanns können auch anhand der Tätigkeitsprofile von Eventteilnehmern und -veranstaltern nachvollzogen werden. Zwar handelt es sich beim Eventmarketing um ein Kommunikationsinstrument (Zanger/Sistenich 1996: 233ff; auch Bruhn 2010: 204), dennoch scheint es sinnvoll, die erlebnisorientierte Vermittlung von Marketingbotschaften in diesem Rollenverhältnis zu betrachten. Dies begründet sich einerseits in der Tatsache, dass in der Literatur besonders der soziologische Ansatz der Rollentheorie für eine theoretische Fundierung des Eventmarketings fruchtbar scheint (Sistenich 1999). Andererseits kommen auch während eines Marketingevents Publikums- und Leistungsrollen zum Tragen.

#### 3.1 Tätigkeitsprofil des Eventteilnehmers

Publikumsrollen sind primär auf einen Leistungsempfang ausgerichtet und zeichnen sich durch ein vorwiegend passives Verhalten aus (Hellmann 2010: 27). Eventteilnehmer befinden sich während eines Events in einer Publikumsrolle. Bezogen auf das Eventmarketing zeigt sich jedoch anhand der Charakteristika von Marketingevents, dass die Rolle der Eventteilnehmer nicht

generell passiv ausgelegt ist. Eventteilnehmer werden ferner über die Verhaltensebene in die Eventinszenierung einbezogen (Zanger/Sistenich 1996: 235) und beteiligen sich dementsprechend aktiv an dem Event. Die Teilnehmer treten folglich aus ihrer klassischen Publikumsrolle, die durch passives Zuschauen geprägt ist, heraus.

Restriktiv kann in diesem Zusammenhang festgehalten werden, dass sich Eventteilnehmer auch passiv verhalten können und sich lediglich auf das Zuschauen beschränken. Dies verdeutlicht z. B. die *Adidas Streetball Challenge*. Einerseits beteiligten sich Eventteilnehmer aktiv über die konative Verhaltensebene an dem Marketingevent, indem sie während des Events Basketball spielten (Eventteilnehmer als Spieler) und so in die erlebbare Markenwelt eintauchten. Andererseits wurden sie dabei von einem teilnehmenden Publikum begleitet, das sich lediglich auf das Zuschauen beim Event beschränkte (Eventteilnehmer als Zuschauer). Spieler und Zuschauer können als Eventteilnehmer betrachtet werden. Dies verdeutlicht, dass auch beim Event, ähnlich wie bei der von Hellmann beschriebenen Konsumtion, die Teilnahme passiv sowie aktiv sein kann.

#### 3.2 Tätigkeitsprofil des Eventveranstalters

Leistungsrollen sind primär auf eine Leistungserbringung ausgerichtet (Hellmann 2010: 30). Eventveranstalter befinden sich während des Events in der Leistungsrolle und zeichnen sich demzufolge durch ein aktives Verhalten aus. Dem Eventveranstalter obliegt der Eventmarketingprozess, welcher aus der strategischen und operativen Vorbereitung, der Durchführung sowie der Nachbereitung besteht (Zanger 2010: 6). Während des eigentlichen Marketingevents übernimmt der Eventveranstalter z. B. die Begrüßung der Teilnehmer, setzt die Inszenierung der Ereignisse um oder koordiniert das Interaktionsangebot an die Eventteilnehmer. Außerdem werden »dem Adressaten (Kunden, Händler, Meinungsführer, Mitarbeiter) [im Rahmen des Marketingevents] firmen- oder produktbezogene Kommunikationsinhalte erlebnisorientiert vermittelt[t]« (Zanger 2010: 5). Der Eventveranstalter kann bei den einzelnen Prozessschritten auch auf Dienstleister zurückgreifen und z. B. eine Eventagentur zur Vorbereitung beauftragen. Im Falle der *Adidas Streetball Challenge* trat *Adidas* dominant als Veranstalter auf (Nufer 2007: 108) und übernahm bei der »Durchführung [...] die Projektleitung, die Kommunikation und die Personalausstat-

tung« (Nufer 2007: 109). Aufgaben aus dem Bereich der Logistik wurden von externen Partnern übernommen (Nufer 2007: 109).

### 3.3 Tätigkeitsprofil des Event-Prosumenten

Aufbauend auf den Tätigkeitsprofilen von Konsumenten und Produzenten entwickelt Hellmann eine Definition des Prosumenten. Aus seinen Ausführungen kann eine Definition von Prosumtion im Eventmarketing hergeleitet werden. Betrachtet man auf Basis von Hellmanns Begriffsabgrenzung der Prosumtion den Eventteilnehmer als Prosumenten und überprüft dessen Tätigkeitsprofil, so betätigen sich Eventteilnehmer als Event-Prosumenten, wenn sie sich aktiv über die Verhaltensebene an einem Marketingevent beteiligen und das Interaktionsangebot nutzen. Folglich wird der passive Zuschauer eines Events nicht als Event-Prosument bezeichnet.

Eine weitere Möglichkeit zur Prosumtion im Eventmarketing stellt die aktive Beteiligung des Eventteilnehmers am Eventmarketingprozess dar. Hier ist beispielsweise vorstellbar, dass sich Teilnehmer an der operativen Planung von Events beteiligen, indem sie an der Konzeption der Eventideen mitwirken. Denkbar wäre z. B., dass Fans des Lifestyle-Getränks *Red Bull* Anregungen für neue Events liefern, die die Botschaft »Red Bull verleiht Flügel« erlebbar machen. Im Rahmen der operativen Umsetzung ist denkbar, dass Event-Prosumenten an der Vorfeldkommunikation des Events mitwirken und ihr Umfeld über interessante Events informieren.

Event-Prosumenten können sich weiterhin an der Durchführung des Events beteiligen. Auf dieser Ebene wird die Eventkonzeption umgesetzt. Dies beinhaltet z. B. alle geplanten Aktionen des Events, wie »Moderatenauftritte, Showacts, Auszeichnung von Preisträgern« usw. (Zanger/Drengner 2009: 206). Eventteilnehmer können als Prosumenten auftreten, indem z. B. während des *Red Bull Cliff Diving*-Events der Sieger des letzten Contests den neuen Sieger auszeichnet. In diesem Fall wird die Siegerehrung folglich nicht vom Eventveranstalter durchgeführt, sondern obliegt einem Eventteilnehmer. Allerdings handelt es sich nur um Prosumtion im Eventmarketingprozess, wenn die Prosumtionsaktivität vor allem für die Eigenverwendung gedacht ist. Für die Event-Prosumenten des *Red Bull Cliff Diving*-Events, bedeutet dies, dass vor allem die Darstellung des eigenen Lifestyles als Motiv angesehen werden kann.

Abschließend können Eventteilnehmer sich auch an der Nachbereitung von Events beteiligen. Im Nachfeld werden z. B. »Videos und Bilder der Veranstaltung durch Außendienstmitarbeiter an die Eventteilnehmer« übergeben (Zanger/Drengner 2009: 207). An dieser Nachbereitung können Event-Prosumenten mitwirken, indem sie eigene Impressionen des Events in Internetportalen wie *YouTube* darstellen oder auch in sozialen Netzwerken wie *Facebook* über das Marketingevent berichten. Die *Red Bull*-Events können auch direkt auf der Webseite kommentiert werden (Red Bull GmbH 2011). Durch diese Möglichkeit wird Event-Prosumtion unmittelbar vom Unternehmen bzw. von *Red Bull* angeregt. Der Eventteilnehmer kann auch als Multiplikator der Eventbotschaft gesehen werden. Teilnehmer von Events beteiligen sich damit am Marketing bzw. an der Kommunikationspolitik von Unternehmen, indem durch *Word of Mouth*-Aktivitäten Botschaften weitergetragen werden (Hellmann 2010: 37). Jedoch sollen Botschaften und auch die Markenwelt während eines Events unmittelbar erlebt werden und können daher kaum adäquat über *Word of Mouth*-Aktivitäten transportiert werden. Daher steht dies nicht im direkten Zusammenhang mit Prosumtion im Eventmarketing, sondern eher mit Prosumtion im Marketing an sich.

Die folgende Abbildung 1 fasst die aufgezeigte Prosumtion im Eventmarketing zusammen.



Abb. 1: Prosumtion im Eventmarketing (Quelle: Eigene Darstellung)

In Anlehnung an Hellmann wird folgende neue begriffliche Abgrenzung des Prosumenten im Eventmarketing vorgeschlagen: Eventteilnehmer betätigen sich immer dann als Prosumenten, wenn ohne deren aktives Handeln auf einer konativen Ebene der Charakter eines Events nicht zum Tragen kommen würde (s. Charakteristika von Marketingevents in: Zanger 2010: 6-7; Zanger/Sistenich 1996: 233-234) und somit Eventziele auch nicht realisiert werden können. Dabei handelt es sich im Regelfall um kollektive Prosumtion, d. h. dass es nicht unbedingt auf jeden einzelnen Eventteilnehmer ankommt, jedoch die kollektive Masse entscheidend ist, um das Eventziel zu erreichen und die Eventbotschaft zu verbreiten.

## 4 Die Funktion inszenierter Prosumtion nach Panzer (2010)

Gerhard Panzer erläutert 2010 in seinem Beitrag »Die Funktion inszenierter Prosumtion für Qualität und Wert kultureller Güter« die Bedeutung des Prosumenten im Kunst- und Kulturmarkt und analysiert mögliche Arten von Prosumtion für verschiedene Werkformen (Panzer 2010: 132).

Zur Abgrenzung von Kulturkonsumenten und Kulturprosumenten beschreibt Panzer zuerst die Konsumenten, welche Kultur vorwiegend konsumieren, während sie kulturelle Werke wahrnehmen, erwerben und nutzen (Panzer 2010: 138). Kulturkonsum unterscheidet sich vom übrigen Konsum durch die Tatsache, dass »in der Regel keine Güter verbraucht und andere Nutzer nicht zwangsläufig ausgeschlossen werden« (Panzer 2010: 138).

Konsumenten werden in diesem Markt zu Prosumenten, indem sie durch ihre Beiträge den Sinngehalt künstlerischer Werke anreichern und erweitern (Panzer 2010: 137). Jedoch stellt sich hier die Frage, ob nicht bei Kunstrezeption, Kunstgenuss und Kunstwahrnehmung ebenfalls von Prosumtion gesprochen werden kann, da der Sinn und Zweck von Kunst nur erfüllt wird, wenn der Kulturkonsument ihr genügend Aufmerksamkeit schenkt. Zentrales Merkmal der Prosumtion im Kunst- und Kulturmarkt ist eine dialogische Struktur zwischen Konsumenten und Produzenten, d. h. dass für sie Partizipation und Kooperation im Vordergrund stehen (Panzer 2010: 137).

Im Bereich der Kunst und Kultur finden sich verschiedene Arten von Prosumtion. Um diese Arten herauszufiltern, unterscheidet Panzer in einem ersten Schritt zwischen einer festen und einer offenen künstlerischen Werkform (Panzer 2010: 139). Feste Werkformen wie z. B. Kunstwerke in der Bildenden Kunst und offenen Werkformen, wie sie im Bereich der darstellenden Künste z. B. als Theater zu finden sind, »differieren dadurch, ob ein fixiertes Werk konsumiert wird, oder ob es während des Konsums in Ko-Präsenz [...] entsteht« (Panzer 2010: 139).

Bei festen künstlerischen Werkformen findet Prosumtion nachträglich statt und ergänzt das Werk. Panzer spricht in diesem Fall von rahmender sekundärer Prosumtion, die additiv stattfindet und »keinen primären Einfluss auf die inhaltliche Qualität des Werkes hat« (Panzer 2010: 140).

Bei offenen künstlerischen Werkformen findet Prosumtion in den verschiedenen Stufen der Werkproduktion statt und ist daher vielfältiger. Die erste Stufe beinhaltet die Werkschöpfung, in der z. B. Autoren von Theaterstücken ein Werk schaffen. Hier findet keine Kooperation und keine Prosumtion statt. Auf einer zweiten Stufe wird z. B. von Regisseuren eine Inszenierung in Zusammenarbeit mit Schauspielern erarbeitet, wobei die Beteiligten interaktiv kooperieren. Während der dritten Stufe, der Aufführung, üben Zuschauer Einfluss auf die Aufführung aus. Auf dieser Stufe werden somit Konsumenten zu Prosumenten (Panzer 2010: 140).

Laut Panzer bieten diese offenen Werkformen diverse Möglichkeiten zur Prosumtion. Jedoch kann bei der zweiten Stufe, der Inszenierung, nicht von Prosumtion gesprochen werden, da Regisseur und Schauspieler das Ursprungswerk beeinflussen und folglich als Produzenten betrachtet werden müssen. Dennoch wird aus Panzers Ausführungen deutlich, dass Prosumenten im Kunst- und Kulturmarkt in verschiedenen Formen aktiv werden. Kulturprosumtion kann in diesem Bereich folglich nicht nur als Phänomen, sondern als konstitutiver Beitrag zu künstlerischen Werken betrachtet werden (Panzer 2010: 141).

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Prosumentenforschung in Bezug auf Kunst und Kultur werden vor allem von der Theaterwissenschaft genutzt, um auf das Publikum zuzugreifen und dies während einer Inszenierung gezielt zu steuern. Die Zuschauer werden aus ihrer passiven Rolle herausgeholt und zur interaktiven Beeinflussung einer Aufführung angeregt. Das macht sie zu einem konstitutiven Teil der Aufführung und zu einem Kulturprosumenten. Mit Hilfe dieser Einbeziehung des Publikums können künstlerische Inhalte authentischer erschlossen werden (Panzer 2010: 141-142). Prosumtion findet auch in anderen kulturellen Sparten außerhalb der Theaterwissenschaft statt. Daraus folgert Panzer, dass Prosumtion heute gezielt inszeniert wird und daher von »inszenierter Prosumtion« gesprochen werden kann. Zur näheren Betrachtung dieser Prosumtion zieht der Autor den Begriff der »Inszenierung« in der Theaterwissenschaft heran (Panzer 2010: 142). Diese definieren die »Inszenierung als den Vorgang der Planung, Erprobung und Festlegung von Strategien« (Fischer-Lichte 2004: 327). Diese Definition wird dahingehend erweitert, dass zusätzlich »eine Situation geschaffen wird, die Frei- und Spielräume für nicht-geplante, nicht inszenierte Handlungen, Verhaltensweisen und Ereignisse eröffnet« (Fischer-Lichte 2004: 327).

Inszenierte Prosumtion heißt, dass die Prosumtion »zum einen planend und systematisch herbeigeführt [wird], zum anderen für eine künstlerische Beteiligung der Konsumenten erweitert [wird]. Es wird zielgerichtet ermöglicht, die inhaltliche Qualität von ›Werken‹ nicht nur zu beeinflussen, sondern auch deren Aussage mit zu prägen« (Panzer 2010: 144).

Toffler prognostizierte einen eigenständigen Aufstieg des Prosumenten (Toffler 1980). Heute zeigt sich jedoch, dass die Prosumtion gezielt ausgelöst und inszeniert werden muss, um sich im Rahmen des Kunst- und Kulturmarktes zu entwickeln (Panzer 2010: 144).

## 5 Implikationen aus Panzers Ansatz für die moderne Eventforschung

Panzer erläutert in seinem Ansatz die Bedeutung von inszenierter Prosumtion für den Kunst- und Kulturmarkt (Panzer 2010) und analysiert die Prosumtion für den Kulturkonsum, also für ein Konsumgut. Beim Eventmarketing kann nicht vom Konsumieren eines Events gesprochen werden, da Events kein Konsumgut darstellen, sondern ein Kommunikationsinstrument sind. Im Vordergrund eines Marketingevents steht daher die Inszenierung einer Markenwelt und nicht ein inszeniertes Kunst- und Kulturprodukt, auch wenn dieses im Einzelfall ein Kulturgut sein kann. Dennoch können Panzers Ausführungen herangezogen werden, um eine mögliche inszenierte Prosumtion im Eventmarketing näher zu untersuchen.

Panzer zeigt auf, dass im Kunst- und Kulturmarkt Prosumtion anzufinden ist, die sich anhand verschiedener Werkformen nachweisen lässt. Allerdings vollzieht sich die Prosumtion in diesem Markt, entgegen Tofflers Auffassung vom »Aufstieg des Prosumenten«, nicht eigenständig, d. h. dass Konsumenten nicht nur »von sich aus« zu Prosumenten werden und sich an der Produktion beteiligen (Panzer 2010: 144). Heute wird anhand des Kunst- und Kulturmarktes deutlich, dass Prosumtion auch im Rahmen einer strategischen Perspektive extra herbeigeführt, beeinflusst und gesteuert werden kann, indem jene inszeniert wird. Dies erschließt neue Möglichkeiten zur Betrachtung von Prosumtion im Eventmarketing und erweitert dessen theoretische Betrachtung.

In den vorangegangenen Ausführungen zum Prosumenten im Eventmarketing wurde dargelegt, dass unter bestimmten Bedingungen sehr wohl von Event-Pro-

sumtion gesprochen werden kann. Wie oben erläutert, betätigen sich Eventteilnehmer dann als Event-Prosumenten, wenn sie sich aktiv über die Verhaltensebene an einem Marketingevent beteiligen und das Interaktionsangebot nutzen. Kann jedoch beim Eventmarketing von inszenierter Prosumtion gesprochen werden? Events als inszenierte Ereignisse in Form von Veranstaltungen und Aktionen (Zanger 2010: 5) beinhalten Elemente einer Inszenierung. Daher scheint es schlüssig, Panzers Ansatz heranzuziehen, um zu überprüfen, ob es sich bei jener Prosumtion im Eventmarketing um inszenierte Prosumtion handelt.

Zur näheren Untersuchung der inszenierten Prosumtion wird die oben genannte Definition Panzers herangezogen. Aus der Verbindung dieser Definition mit der neu entwickelten Definition von Event-Prosumtion wird folgende neue begriffliche Abgrenzung von inszenierter Prosumtion im Eventmarketing vorgeschlagen:

»Inszenierte Event-Prosumtion liegt vor, wenn ein aktives Handeln des Eventteilnehmers auf einer konativen Ebene und ein entsprechendes Interaktionsangebot einerseits planend und systematisch herbeigeführt wird und andererseits während des Events Frei- und Spielräume für nicht geplante, nicht inszenierte Handlungen, Verhaltensweisen und Ereignisse geschaffen werden.«

Im Eventmarketing wird vorab geplant, wie sich Eventteilnehmer während eines Events aktiv über die Verhaltensebene einbringen können und sollen. Es wird also im Zuge der operativen Vorbereitung eines Events überlegt, wie das Interaktionsangebot, das zum Erleben der Markenwelt beiträgt, aussehen soll. Die Ereignissituation eines Events wird bewusst vom Eventveranstalter organisiert. Beteiligen sich nun die Event-Prosumenten an der vorab durchdachten Interaktionssituation und nutzen sie Frei- und Spielräume, um sich individuell einzubringen, kann von inszenierter Prosumtion im Eventmarketing gesprochen werden.

Mithilfe des vorab geplanten und während des Events geleiteten Interaktionsangebots können im Rahmen eines Marketingevents Erlebnisse geschaffen werden, die sich von der Alltagswirklichkeit der Eventteilnehmer unterscheiden. Die eröffneten Frei- und Spielräume während eines Marketingevents ermöglichen eine authentische Gestaltung der Interaktionssituationen und somit auch eine glaubwürdige Vermittlung der Markenwelt. Das inszenierte Ereignis kann zu einer nachhaltigen Beeinflussung der Konsumenteneinstellung beitragen.

## 6 Fazit

Tofflers These vom »Aufstieg des Prosumenten« hat bis heute seine Gültigkeit behalten. Konsumenten beteiligen sich gegenwärtig zunehmend auf verschiedene Art und Weise aktiv handelnd an den Wertschöpfungsprozessen von Unternehmen und werden somit zu Prosumenten. Dies gilt für alle Instrumente des Marketing-Mixes. Eine potentiell besondere Bedeutung hat der Ansatz für die Eventforschung, da sich das Eventmarketing durch einen hohen konativen Handlungsbezug des Konsumenten von anderen kommunikationspolitischen Instrumenten unterscheidet. Interessant für den Bezug des Prosumenten im Eventmarketing sind die Ansätze von Hellmann und Panzer. Diese können herangezogen werden, um die Eventforschung theoretisch weiterzuentwickeln und somit die Bedeutung der Prosumtion im Eventmarketing darzulegen.

Eventteilnehmer betätigen sich dann als Event-Prosumenten, wenn sie sich aktiv über die Verhaltens-ebene an einem Marketingevent beteiligen und das Interaktionsangebot im Rahmen einer konativen Aktivierung nutzen. Folglich kann der passive Zuschauer eines Events nicht als Event-Prosument bezeichnet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Abgrenzung des Event-Prosumenten ergab sich durch die Analyse des Eventmarketingprozesses. Prosumenten können sich auf verschiedenen Ebenen am Wertschöpfungsprozess beteiligen, sofern Interaktionsangebote geschaffen werden. Aus diesen Schlussfolgerungen wurde eine Definition zur Abgrenzung des Prosumenten im Eventmarketing aufgestellt. Es konnte aufgezeigt werden, dass Eventteilnehmer während eines Events in vielerlei Hinsicht als Event-Prosumenten agieren können und sich aktiv an Marketingevents und an dessen vor- und nachgelagerten Prozessen beteiligen.

In der Weiterführung von Panzers Ausführungen für eine inszenierte Prosumtion im Eventmarketing wurde deutlich, dass Frei- und Spielräume während eines Marketingevents eine authentische Gestaltung der Interaktionssituationen sowie eine glaubwürdige Vermittlung der Markenwelt ermöglichen.

Diese Überlegungen bieten eine Grundlage, um die Prosumtion im Eventmarketing näher zu untersuchen und einen fruchtbaren Ansatz, die theoretische Basis dieses innovativen Kommunikationsinstruments weiterzuentwickeln.

## Literatur

- Bruhn, M. (2010): Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis. Gabler, Wiesbaden.
- Fischer-Lichte, E. (2004): Ästhetik des Performativen. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Hellmann, K.-U. (2010): Prosumer Revisited: Zur Aktualität einer Debatte. Eine Einführung, in: Blätzel-Mink, B., Hellmann, K.-U. (Hg.): Prosumer revisited: Zur Aktualität einer Debatte, Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 13-48.
- Nufer, G. (2007): Event-Marketing und -Management: Theorie und Praxis unter besonderer Berücksichtigung von Imagewirkungen. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.
- Panzer, G. (2010): Die Funktion inszenierter Prosumtion für Qualität und Wert kultureller Güter. In: Blätzel-Mink, B., Hellmann, K.-U. (Hg.): Prosumer revisited: Zur Aktualität einer Debatte, Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 131-145.
- Red Bull GmbH (2011): Red Bull Cliff Diving Videos: Am Tempel des Poseidon, [http://www.redbull.de/cs/Satellite/de\\_DE/Video/Am-Tempel-des-Poseidon-021242782042971](http://www.redbull.de/cs/Satellite/de_DE/Video/Am-Tempel-des-Poseidon-021242782042971), Zugriff: 17.08.2011.
- Sistenich, F. (1999): Eventmarketing. DUV Verlag, Wiesbaden.
- Stauff, M. (2004): Der Konsum der Zuschauer: Zur televisuellen Umwertung von Wahrnehmungen und Bedeutungen, in: Hellmann, K.-U., Schrage, D. (Hg.): Konsum der Werbung: Zur Produktion und Rezeption von Sinn in der kommerziellen Kultur, Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 63-80.
- Toffler, A. (1980): Die Zukunftschance: Von der Industriegesellschaft zu einer humaneren Zivilisation. Bertelsmann, München.
- Zanger, C. (2010): Stand und Perspektiven der Eventforschung – Eine Einführung. In: Zanger, C. (Hg.): Stand und Perspektiven der Eventforschung, Gabler, Wiesbaden, 1-12.
- Zanger, C., Drengner, J. (2009): Eventmarketing. In: Bruhn, M., Esch, F.-R., Langner, T. (Hg.): Handbuch Kommunikation: Grundlagen – innovative Ansätze – praktische Umsetzungen, Gabler, Wiesbaden, 195-213.
- Zanger, C., Sistenich, F. (1996): Eventmarketing. Bestandsaufnahme, Standortbestimmung und ausgewählte theoretische Ansätze zur Erklärung eines innovativen Kommunikationsinstruments. Marketing ZFP, 18. Jg., Heft 4, 233-242.

## Autoren

**Prof. Dr. rer. pol. Frank Sistenich**

Fachgebiet Marketing

Prodekan

Leiter Institut für Marketing

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik

Technische Hochschule Wildau [FH]

T +49 3375 508-583

frank.sistenich@th-wildau.de

**Katrin Böckler**

Technische Hochschule Wildau [FH]



# Kausalanalyse mit linearen Strukturgleichungsmodellen (LISREL)

Tilo Wendler

## Zusammenfassung

Umfragen können zur Erhebung von Daten in betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen genutzt werden. Die Aussagekraft der Daten hängt dabei nicht zuletzt von der gewählten Skalierung des Merkmals ab. Umfragedaten sind in der Regel ordinal skaliert, womit sie aufgrund ihrer diskreten Wertestruktur zahlreiche Details des eigentlich Befragungsgegenstandes eher verdecken. Dennoch eignen sich solche primärstatistischen Erhebungen, um Einstellungen und Meinungen von Konsumenten oder Benutzern eines speziellen Systems zu untersuchen.

Die von Jöreskog und Sörbom entwickelten Linearen Strukturgleichungsmodelle (LISREL = Linear Structural Relationship) können genutzt werden, um Umfragedaten zu analysieren und hinter den Variablen verborgene Aspekte oder auch Faktoren aufzudecken. Nach der Vorstellung der grundlegenden Funktionsweise von LISREL-Modellen und ihrer Charakteristika soll im Folgenden deren Einsatz im Bereich der Zufriedenheitsanalyse von IT-Nutzern verdeutlicht werden. Die auf diese Weise identifizierten wichtigen Stellgrößen eines IT-Systems geben dem Management von Unternehmen die Möglichkeit, die Optimalität der Lösungen zu bewerten und die Zufriedenheit der Nutzer systematisch zu optimieren.

## Abstract

Surveys can be used to collect data for topics with an economic or business background. The amount of useful information in the data sample depends largely on the scale to measure the opinion of the participant's. E. g. survey data is often scaled on an ordinal basis. However a lot of information remains hidden. Despite this the expectations of customers and their satisfaction with the quality of a product or service is still determined through the use of surveys.

A mathematical model that can be used to analyse such survey data is the so called LISREL (Linear Structural Relationship) model from Jöreskog and Sörbom. After introducing the basic idea of LISREL models and their characteristics, a model should be created to identify and interpret the important variables from an IT-optimization survey. Using such an approach the management of firms could measure and systematically increase the satisfaction of the user with an IT-system.

## 1 Funktionsweise linearer Strukturgleichungsmodelle

Grundidee eines LISREL-Modells ist es, dass hinter beobachtbaren und damit messbaren Variablen, die beispielsweise aus einer Umfrage resultieren, nicht beobachtbare, sogenannte latente Variablen stehen. Die beiden Messmodelle auf der linken und rechten Seite der Abbildung 1 dienen der Verbindung der beobachtbaren mit den latenten Variablen. Letztere sind für die Beobachtungswerte verantwortlich, nicht umgekehrt. (vgl. Backhaus et al. 2000: 297f.). Aus diesem Grund zeigt auch die Pfeilspitze in der Abbildung stets auf die messbare Indikatorvariable. Zudem werden einem

LISREL-Modell Residualvariablen  $\delta_i$  und  $\epsilon_j$  hinzugefügt, um Messfehler zu berücksichtigen.

Während im Messmodell die Beziehungen zwischen den latenten und den manifesten beobachtbaren Variablen repräsentiert werden, können im Strukturmodell die Wechselwirkungen zwischen den latenten Variablen untereinander modelliert werden. Die abhängigen latenten Variablen werden als endogene und die unabhängigen latenten Variablen als exogene Größen bezeichnet.

Die Anwendbarkeit auf kategoriale Werte und die Beachtung dabei auftretender Ungenauigkeiten verhalf dem Ansatz von Jöreskog und Sörbom vor allem im Bereich der Sozialwissenschaften zu gehobener Bedeutung. Mittlerweile wird es in zahlreichen Bereichen der

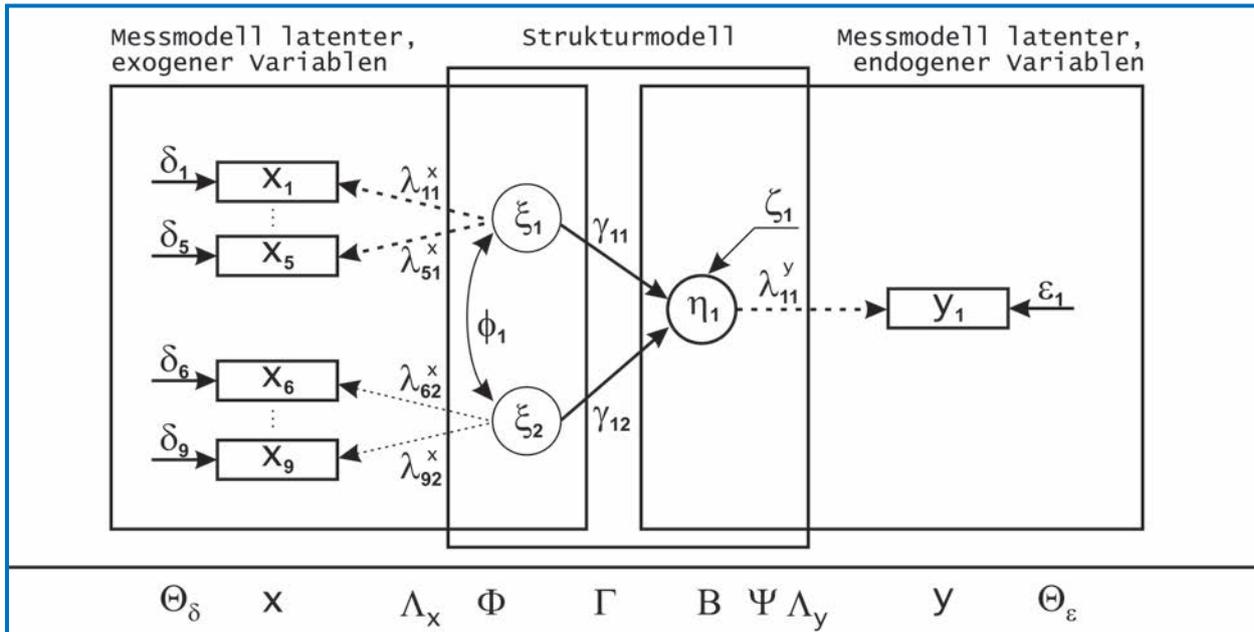


Abb. 1: LISREL-Modell mit Variablen- und Matrizenbezeichnungen

Datenanalyse eingesetzt. Das Programmpaket LISREL ermöglicht die Anwendung des Modells auf empirisch erhobene Daten (vgl. auch Opwis 1999: 45).

### 1.1 Messmodell

Der LISREL-Ansatz enthält Messmodelle, jeweils für die Messvariablen  $x^T = (x_1, \dots, x_q)$  der latenten exogenen Größen und für die Messvariablen  $y^T = (y_1, \dots, y_p)$  der latenten endogenen Variablen. Dabei folgt jedes dieser Messmodelle einem faktorenanalytischen Ansatz, bei dem die Matrizen  $\Lambda_x$  bzw.  $\Lambda_y$  die Faktorladungen der Variablen  $x$  und  $y$  auf die Faktoren  $\xi$  bzw.  $\eta$  beinhalten. Es wird angenommen, dass die in den Gleichungen formulierten linearen Beziehungen bestehen (vgl. Byrne 1998: 18f.).

- (1)  $x = \mu_x + \Lambda_x \xi + \delta$
- (2)  $y = \mu_y + \Lambda_y \eta + \varepsilon$

### 1.2 Strukturmodell

Während in beiden Messmodellen die Werte für die Beziehungen zwischen latenten Variablen und Indikatorvariablen durch Faktorenanalysen bestimmt werden, liegt der Parameterbestimmung im Strukturmodell eine Regressionsanalyse zugrunde. Die Strukturgleichungen mit  $\eta^T = (\eta_1, \dots, \eta_r)$  und  $\xi^T = (\xi_1, \dots, \xi_s)$  lassen sich gemäß Gleichung formulieren (vgl. Fahrmeir/Hamerle/Tutz 1996: 732). Der Vektor  $\zeta^T = (\zeta_1, \dots, \zeta_r)$  enthält die Residuen der jeweiligen endogenen Variablen  $\eta$ , deren Erwartungswert null ist.

- (3)  $\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$

Um eine korrekte Darstellung der Messergebnisse und der ihnen zugeordneten Fehlertermen zu ermöglichen, wird vorausgesetzt, dass die Fehler  $\zeta$  mit den Variablen  $\xi$  nicht korrelieren. Eine Korrelation der Störvariablen  $\zeta$  untereinander ist, wenn auch nicht wünschenswert, zulässig.

## 2 Parameter von Strukturgleichungsmodellen

### 2.1 Restriktionen

Prinzipiell verbleiben für die Definition der Vektor- und Matrizenzelemente nach Abbildung 1 drei Möglichkeiten (vgl. Jöreskog/Sörbom 1996: 3):

#### 1. Freie Parameter

Für diese Variablen sind keine Werte vorgegeben. Sie unterliegen lediglich den Anforderungen an »sinnvolle« Kovarianz-/Korrelationswerte.

#### 2. Restrierte Parameter

Zwei oder mehrere unbekannte und zu schätzende Parameter, deren Werte die Nebenbedingungen erfüllen, müssen numerisch identisch mit einem oder mehreren anderen unbekanntem Parametern sein.

#### 3. Fixe Parameter

Die Werte werden vorgegeben, sei es zur Skalierung des Modells oder aufgrund bereits durchgeführter Analysen.

Die Berechnungsergebnisse hängen von den Kovarianzen der eingehenden Größen ab. Um sie interpretieren

zu können, muss für die latenten Variablen eine Maßeinheit vorgegeben werden. Man fixiert deshalb zunächst die Parameter  $\xi$  über die Hauptdiagonalelemente von  $\Phi_{ii}$  auf den Wert eins.

Für die latenten Variablen  $\eta$  ist dies nicht so einfach möglich, da deren Werte nicht in einer Kovarianzmatrix auftreten. Ein Ausweg, der natürlich alternativ auch für  $\xi$  angewandt werden kann, ist, je eine latente Variable an eine Variable mit bekannten Werten zu binden, sie gleichzusetzen. Genau ein Element jeder Spalte von  $\Lambda_x$  und  $\Lambda_y$  wird dann auf eins gesetzt (vgl. Fahrmeir et al. 1996: 740). Anschaulich folgt daraus, dass je ein Wert auf den Pfaden zwischen Elementen von  $x$  und  $\xi$  bzw.  $y$  und  $\eta$  eins ist.

## 2.2 Parameterschätzungen

Die Grundidee zur Bestimmung der Modellparameter besteht darin, die durch modelltheoretische Überlegungen implizierten Beziehungen, zu denen Messwerte vorliegen, zu nutzen, um eine empirische Kovarianzmatrix  $S$  aufzustellen. Es ergeben sich vier Teilmatrizen von  $S$  in Anordnung nach

$$(4) \quad S = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{yx} \\ S_{xy} & S_{yy} \end{pmatrix}$$

Aus den Beziehungen des erstellten Modells folgt zusätzlich eine modelltheoretische Matrix  $\Sigma = \Sigma(\theta)$  mit dem unbekanntem Parametervektor  $\theta$ . Durch die Vorgabe von Startwerten  $\hat{\theta}_0$  werden mit Hilfe eines geeigneten Iterationsverfahrens Schätzer  $\hat{\theta}$  durch die Software ermittelt. Zur Beurteilung der Güte der Näherung sowie für die Formulierung eines Abbruchkriteriums benutzt man eine Diskrepanzfunktion (*Fitting Function*)  $F$  gemäß

$$(5) \quad F(S, \Sigma(\hat{\theta})) = F(S, \hat{\Sigma}) = \min_{\theta \in \Theta} F(S, \Sigma(\theta))$$

Da im Allgemeinen keine Näherungswerte für die Iterationsstartwerte vorliegen, wird das Prinzip der Instrumental- bzw. Referenzvariablen benutzt. Bei der Skalenerleichterung für  $\xi$  und  $\eta$  wurde durch die Vorgabe fixer Werte ungleich null in jeder Spalte von  $\Lambda_x$  bzw.  $\Lambda_y$  eine latente Variable je beobachteter Größe (*observed variable*) zugeordnet. Diese korrespondierende Variable wird als Referenzvariable benutzt. Die Initialwerte werden durch das Programm LISREL selbstständig berechnet. Für Details vgl. Jöreskog/Sörbom (1996: 18f.).

## 3 Berechnung der Modellparameter

Zur Ermittlung der Modellparameter kann u. a. auf die Maximum-Likelihood Methode (ML) zurückgegriffen werden. Sie setzt jedoch die multivariate Normalverteilung der  $p + q$  manifesten Variablen voraus. Die Gleichung stellt dann ein geeignetes Maß für die Ähnlichkeit von  $S$  und  $\Sigma$  dar. Dabei steht  $\text{tr}()$  für die Spur der Matrix. Das Ergebnis basiert auf der Wahrscheinlichkeitsdichte für die Stichprobenkovarianzmatrix  $S$  bei unabhängiger Ziehung von  $N$  Fällen aus einer Population mit der (theoretischen) Kovarianzmatrix  $\Sigma$  unter der Annahme  $\Sigma = S$ . Die ML-Methode maximiert demnach die Wahrscheinlichkeit, dass die modelltheoretische Matrix bzw. deren Näherung die empirische Kovarianzmatrix erzeugt hat. Zugleich erhält man Kenngrößen, wie weit die modelltheoretische Matrix  $\Sigma$ , unter der Annahme von  $S$  als tatsächliche Konstellation zwischen den Parametern, vom maximal möglichen Likelihood-Wert entfernt ist (vgl. Fahrmeir et al. 1996: 747).

$$(6) \quad \log \left( \frac{W(S; \Sigma; N-1)}{W(S; S; N-1)} \right) = -\frac{1}{2}(N-1) [\text{tr}(S \cdot \Sigma^{-1}) + \ln \|\Sigma\| - \ln \|S\| - (p+q)]$$

## 4 Beurteilung des Modell-Fits

Von Interesse bei der Erstellung eines korrekten Modells sind die Fragestellungen:

1. Beschreibt das Modell die vorgegebenen Daten möglichst genau?
  2. Sind alle berechneten Werte statistisch signifikant?
- Punkt 1 stellt die Frage nach der Anpassungsgüte (Modell-Fit) an die Daten. Punkt 2 bezieht sich auf die Parameterebene.

### 4.1 Chi-Quadrat-Tests

Unter der Voraussetzung, dass die Berechnungen auf einer empirischen Stichprobenkovarianzmatrix  $S$  beruhen und diese mit hinreichender Genauigkeit durch die Daten bestimmt werden konnte, ist das Minimum des logarithmierten Likelihood-Quotienten in für  $N \rightarrow \infty$   $\chi^2$ -verteilt. Zur Überprüfung der Hypothese, dass ein LISREL-Modell die in  $S$  vorhandenen Kovarianzen bzw. Varianzen insgesamt befriedigend erklärt, kann (zunächst global) mit Hilfe eines Likelihood Ratio-Tests (LR-Test) die Nullhypothese »Die empirische Kovarianzmatrix entspricht der modelltheoretisch vorgegebenen Kovarianzmatrix.« geprüft werden. LISREL berechnet vier verschiedene  $\chi^2$ -Werte (vgl. Baltès-Götz 1994: 18).

Die Entwickler von LISREL geben zur Interpretation der  $\chi^2$ -Statistik einige Hinweise (vgl. Jöreskog/Sörbom 1986):

1. Sie empfehlen den  $\chi^2$ -Wert als deskriptiven Fit-Index zum Vergleich verschiedener Modelle.
2. Die Fit-Statistik wird durch Verletzungen der Multinormalverteilungsannahme der empirisch ermittelten Daten beeinflusst und kann erheblich zu große Werte anzeigen.
3. Das Ziel der Beurteilung eines Strukturgleichungsmodells besteht nicht nur darin, eine a priori falsche Nullhypothese zu testen, sondern vielmehr die Angemessenheit des Modells zu bewerten.

Problematisch bei der Nutzung der  $\chi^2$ -Werte ist, dass sie vom Stichprobenumfang abhängen und die Chancen für eine Zurückweisung der Nullhypothese mit kleineren Stichproben besser sind als mit größeren. Auch ist diese Teststatistik nicht dazu geeignet, eine Aussage zum Fehler 2. Art, also der Annahme einer falschen Modellstruktur, anzugeben.

Zur Bewertung des Fits eines Modells wurden deshalb weitere Kenngrößen konstruiert, die die Arbeit mit Strukturmodellen erleichtern. Einige von ihnen sollen kurz vorgestellt werden.

Der Noncentrality Parameter (NCP) liefert ein Maß für die Distanz zwischen  $\Sigma$  und  $S$ . Je größer der NCP, desto größer die Diskrepanz zwischen beiden genannten Matrizen. Das mit dem NCP sowie weiteren Parametern jeweils angegebene 90-Prozent-Vertrauensintervall sollte eine möglichst geringe Ausdehnung besitzen. Ansonsten ist dies ein Zeichen für die mangelnde Präzision des jeweiligen Wertes.

Anstatt den Stichprobenumfang bei der Bewertung eines Modells neutralisierend bzw. relativierend einfließen zu lassen, wird beim »Critical N« (CN) ein Index berechnet, den der Umfang der benutzten Stichprobe überschreiten sollte. CN sollte einen Wert von nahe 200 annehmen oder diesen überschreiten.

Der Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) geht der Frage nach, wie gut das Modell mit optimal gewählten Parameterwerten auf die Kovarianzmatrix der empirischen Daten passen würde, sofern sie verfügbar wären. Der RMSEA hängt von der Anzahl der zu bestimmenden Parameter des Modells ab. In der Literatur gelten Werte kleiner als 0,05 als Indiz für guten, von 0,08 bis 0,10 für mittleren und größer 0,10 für schlechten Fit.

## 4.2 Goodness of Fit-Indices

LISREL-Modelle sollen einen Zugang zur grundsätzlichen Struktur der empirischen Daten ermöglichen und stellen eine Verallgemeinerung der zugrundeliegenden Zusammenhänge dar. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, ausschließlich die bisher vorgestellten und auf der  $\chi^2$ -Teststatistik aufbauenden Gütmaße zu nutzen. Dies würde bedeuten, eine dichotome Entscheidungsstrategie einzusetzen, um zu testen, ob alle Zusammenhänge in den Daten möglichst gut reproduziert werden. Vielmehr ist es hilfreich, Goodness of Fit-Indices zu konstruieren, mit deren Hilfe man entscheiden kann, wie gut die Anpassung eines Modells im Vergleich zu anderen ist, um sich dann für das »beste« Modell zu entscheiden.

Hierzu werden zwei Extrema benutzt:

1. Für das Nullmodell (*independence Model*) wird angenommen, dass alle Korrelationen zwischen den Parametern null sind. Man geht also von der statistischen Unabhängigkeit der beobachteten Variablen aus. Vgl. auch Mulaik et al. (1989).
2. Demgegenüber steht das saturierte Modell (*saturated Model*), in welchem die Anzahl der zu berechnenden Parameter identisch der Zahl der gegebenen Varianzen/Kovarianzen der Eingangsdaten ist (vgl. Agresti 1984: 96).

Aufgrund der schwierigen Interpretation der  $\chi^2$ -Statistik wurden zahlreiche Goodness of Fit-Indices entwickelt. Einige werden im Folgenden kurz diskutiert.

Der Expected Cross Validation-Index (ECVI) lässt einen Rückschluss darauf zu, inwieweit die berechnete Kovarianzmatrix von einer erwarteten Kovarianzmatrix abweicht, die auf Datenmengen gleicher Größe ermittelt wurde. Der ECVI ermöglicht einen Vergleich von Modellen. Ausgewählt wird jenes, welches den kleinsten ECVI-Wert aufweist. Dieses besitzt das höchste Potenzial zur Replikation der Dateninformationen. Spezielle Bereiche für gute ECVI-Werte sind nicht nachgewiesen. Stattdessen wird der berechnete ECVI den Werten des Nullmodells und des saturierten Modells gegenübergestellt. Der Wert soll kleiner als der des saturierten Modells sein.

Der Goodness of Fit Index (GFI) misst den Anteil des Modells an der Erklärung der gewichteten Summe aller quadrierten, aber nicht redundanten Elemente von  $S$ . Bei perfektem Fit des Modells ist der GFI eins.

In ein Modell sollten prinzipiell nur relativ wenige Variable mit jeweils hohem Informationsgehalt aufgenommen werden. Zur Bewältigung des Balanceakts

zwischen der möglichst vollständigen Wiedergabe von Zusammenhängen innerhalb eines theoretischen Konstruktes vs. optimaler Anzahl aufzunehmender und zu fixierender Parameter steht auch der Adjusted Goodness of Fit-Index (AGFI) zur Verfügung. Er bezieht die Anzahl der manifesten Variablen sowie die Anzahl der Freiheitsgrade mit ein. Der AGFI-Wert sinkt mit steigender Variablenanzahl.

Der Wert des Root Mean Square Residual (RMR) misst die mittlere standardisierte Abweichung zwischen der empirischen Kovarianzmatrix  $S$  und der modelltheoretischen Matrix  $\Sigma$  bzw. deren Näherung  $\hat{\Sigma}$ . Es gilt  $RMR \in [0; 1]$ . In guten Modellen sollte der Wert sehr klein und möglichst niedriger als 0,05 sein (vgl. Byrne 1989: 115).

Faulbaum (1981) gibt die in Tabelle 1 genannten Richtwerte zur Bewertung eines Modells mittels GFI, AGFI und RMR an.

	GFI	AGFI	RMR
vollständig bestätigt	$\geq 0,98$	$\geq 0,95$	$\leq 0,05$
tendenziell bestätigt	[0,95; 0,98]	[0,90; 0,95]	(0,05; 0,15]
ggf. ablehnbar	$< 0,95$	$< 0,90$	$> 0,10$

Tab. 1: GFI-, AGFI-, RMR-Werte vs. Modell-Fit

Wie die bisherigen Ausführungen gezeigt haben, kann ein LISREL-Modell mit Hilfe zahlreicher Gütekriterien auf dessen Passgenauigkeit überprüft werden. In der Literatur finden sich viele weitere Indikatoren, die helfen können, valide Modelle zu identifizieren bzw. bestehende Modelle zu adjustieren. Eine ausführlichere Beschreibung enthält Wendler (2004: 122ff.).

## 5 LISREL-Modell für Benutzerorientierung eines IT-Systems

Folgend sollen beispielhaft die kausalen Beziehungen von Umfragedaten untersucht werden. Zur Datenerhebung wurden im Rahmen eines Projektes zur IT-Optimierung die Benutzer eines speziellen IT-Systems nach ihrer Einschätzung hinsichtlich der Qualität der Unterstützung ihrer Arbeit durch die Hard- und Software befragt. Die für die in Tabelle 2 genannten Umfragevariablen benutzte vierwertige Skala lieferte ordinal codierte Antworten. Der Stichprobenumfang betrug 180.

Aspekt	Umfragevariable
Technik	Startzeit, Verfügbarkeit, Antwortzeitverhalten
Organisation	Benutzerkenntnisse, Benutzerunterstützung (Qualität und Erreichbarkeit), Qualität der Benutzer-schulungen
Interaktivität	Datenqualität, Benutzbarkeit, Erlernbarkeit, Schlankheit und Benutzerorientierung

Tab. 2: Aspekte der Umfrage zur Qualität der IT-Unterstützung

Für die Daten wurden mit Hilfe konfirmatorischer Faktorenanalysen zunächst verschiedene Hypothesen über die hinter den Variablen des Fragebogens stehenden Konstrukte geprüft, um dann mit einer Kausalanalyse ein statistisch valides LISREL-Modell zu konstruieren. Die Vorarbeiten zeigten, dass die Größe »Benutzerorientierung« von zentraler Bedeutung für die Messung der Zufriedenheit mit dem IT-System ist. Sie kann stellvertretend für nahezu alle anderen Variablen im Fragebogen benutzt werden. Damit ist sie Indikator-Variable der endogenen latenten Variable auf der rechten Seite des LISREL-Modell in Abbildung 1. Als Indikatorvariablen der exogenen latenten Variablen »System«, welche die Eigenschaften des IT-Systems aus Sicht der Nutzer misst, wurden die Variablen Datenqualität, Startzeit, Verfügbarkeit, Antwortzeitverhalten sowie Schlankheit identifiziert. Die weiteren in Tabelle 2 aufgeführten Variablen zeigten keine genügende Passgenauigkeit.

### 5.1 Spezifikation und Berechnung des LISREL-Modells

Bei den bereits beschriebenen vorgeschalteten Analysen der Interviewdaten mit Hilfe von Faktorenanalysen konnte herausgearbeitet werden, dass dem Aspekt der »Benutzerorientierung« eine zentrale Bedeutung zukommt. Es bleibt zu untersuchen, ob sich mathematisch nachweisen lässt, dass diese Größe zu Recht als zentrales Messinstrument für die Benutzersicht auf das System dienen kann und einen Rückschluss auf besonders wichtige Systemattribute zulässt. Abbildung 2 zeigt das entsprechende LISREL-Modell.

### 5.2 Fit des Modells

Betrachtet man zunächst die Koeffizienten des Strukturmodells, so ist zu erkennen, dass die Korrelation zwischen »System« und der »Qualität des Gesamtsystems« (»Quali«) mit  $0,76^2 = 0,58$  beachtlich ist und nur zu  $1 - 0,76^2 \approx 0,42$  nicht erklärt wird. Das Modell reproduziert damit die hypothetischen Zusammenhänge gut.

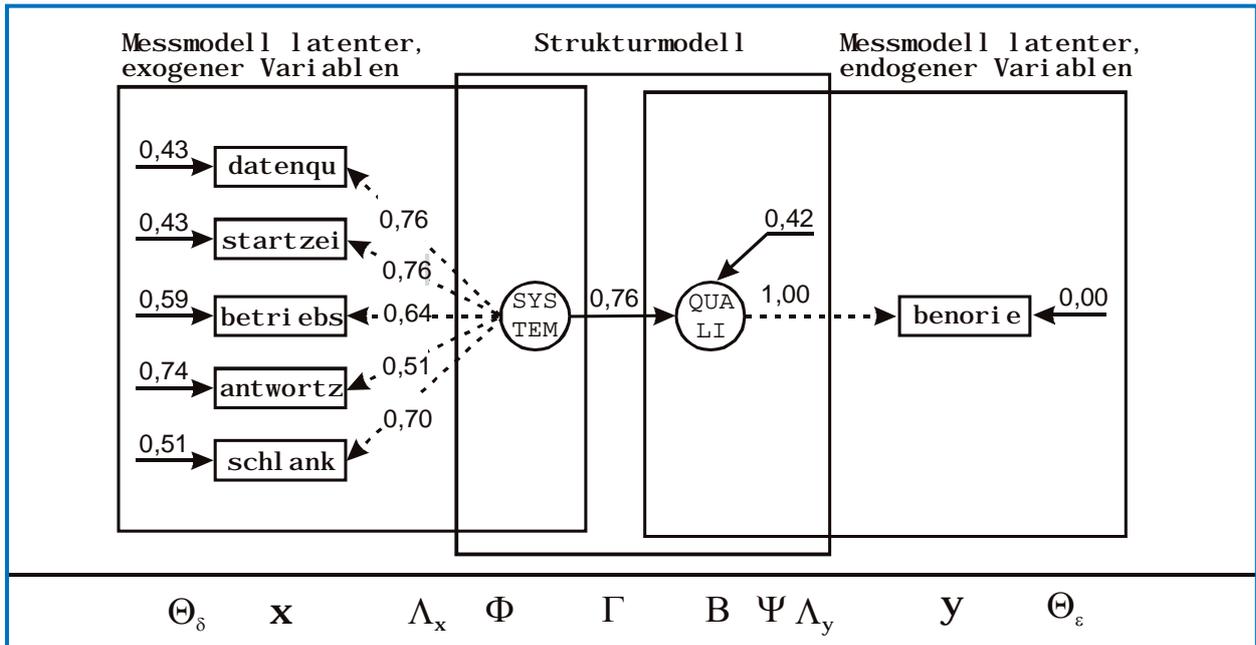


Abb. 2: Komplett standardisierte Lösung des FINAL-LISREL-Modells

Die  $\chi^2$ -Statistik in Tabelle 3 und die globalen Fit-Indikatoren laut Tabelle 4 zeigen, dass eine akzeptable Anpassung des Modells gelungen ist. Insbesondere die normalerweise eher moderaten Werte für GFI, AGFI und Critical N zeichnen ein besonders positives Bild.

Degrees of Freedom	= 9
Minimum Fit Function Chi-Square	= 20.276 (P = 0.0163)
Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square	= 19.931 (P = 0.0183)
Satorra-Bentler Scaled Chi-Square	= 6.669 (P = 0.672)
Chi-Square Corrected for Non-Normality	= 6.415 (P = 0.698)
Estimated Non-centrality Parameter (NCP)	= 0.0
90 Percent Confidence Interval for NCP	= (0.0 ; 7.264)

Tab. 3: Teststatistik des FINAL-LISREL-Modells (Auszug)

Die konstatierten Korrelationen finden in der Praxis ihre logische Widerspiegelung und sind aus Sicht der Nutzer nachvollziehbar, da beispielsweise eine extrem lange Startzeit die Verfügbarkeit des Systems für den Anwender schmälert und damit seine Zufriedenheit senkt. Dieser Effekt lässt sich auch bei anderen Systemen erkennen: So musste die Firma MICROSOFT beim Betriebssystem Windows VISTA aufgrund geringer Benutzerakzeptanz durch zu lange Startzeiten des Systems zahlreiche Veränderungen vornehmen.

Parameter	Wert im FINAL-Modell
Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)	0,000
90 Percent Confidence Interval for RMSEA	(0,0; 0,0671)
Expected Cross-Validation Index (ECVI) [Nullmodell; saturiertes Modell]	0,184 [0,235; 2,291]
Root Mean Square Residual (RMR)	0,0361
Goodness of Fit Index (GFI)	0,964
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI)	0,916

Tab. 4: Globale Fit-Indikatoren des FINAL-LISREL-Modells

## 6 Ergebnisse der Modellierung mit LISREL

Aus den bisherigen mathematisch-statistischen Überlegungen zur Erstellung und Berechnung eines linearen Strukturgleichungsmodells lassen sich wichtige Erkenntnisse für die Praxis ableiten, denn die an den Pfaden des Modells notierten standardisierten Resultate zeigen für das Messmodell der exogenen Variablen, dass die größten Anteile unerklärter Varianz mit 74 Prozent für die Variable »Antwortzeitverhalten« und mit 59 Prozent für die »Betriebsmittelverfügbarkeit« vorliegen. Alle anderen Größen besitzen wesentlich kleinere Residuen.

Obwohl die Datenqualität und deren Verfügbarkeit aus IT-theoretischer Sicht nicht ausschließlich den technischen Details eines Systems zugeordnet werden kann, fügt sie sich mit dem nicht erklärten Varianzanteil von 43 Prozent gut in das Gesamtbild ein. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Benutzer die Verantwortlichkeiten für die Qualität der Daten bei zentralen Stellen sehen und weniger bei sich selbst. Zudem zeigt das Modell, dass die Qualität bereitgestellter Informationen von immenser Bedeutung für die Qualität eines Arbeitsplatz-IT-Systems ist. Die Unternehmen sind aus Sicht der User aufgefordert, größere Datenbestände zyklisch zu analysieren, zu bereinigen und diese Aktivitäten den Benutzern zu kommunizieren.

Weiterhin sind die Größen »Schlankheit« und »Betriebsmittelverfügbarkeit« im Modell enthalten. Beide sind essenziell für die erfolgreiche Benutzung des Systems. Die Korrelationswerte von ca. 0,50 unterstreichen die Bedeutung für die Varianzerklärung.

Auch die Startzeit des Systems korreliert relativ stark mit dem Konstrukt »System«, was die Bedeutung dieser Systemeigenschaft unterstreicht. Obwohl die Zeitdauer die produktive Nutzung des Systems nicht wesentlich einschränkt, da während der Startphase auch arbeitsvorbereitende Tätigkeiten erledigt werden können, zeigt das LISREL-Modell, dass bei der Implementierung eines Systems auf einen relativ schnellen Boot-Vorgang zu achten ist, um die Benutzerzufriedenheit positiv zu beeinflussen.

Es konnte gezeigt werden, dass eine strukturierte Analyse von Daten mit Hilfe statistischer Methoden zu für die Praxis nützlichen Schlussfolgerungen führt. Offenbar besitzt nicht nur die Betrachtung der Größe »Benutzerorientierung« in der Umfrage eine zentrale Bedeutung, sondern auch die Frage, welche Aspekte diese direkt beeinflussen. Damit treten technische Aspekte und Begründungen in den Hintergrund und der Wert des Einsatzes von IT in einem Unternehmen wird direkt durch die mit einem LISREL-Modell erkannten und nachgewiesenen Zusammenhänge messbar.

## Literatur

- Agresti, A. (1984): Analysis of ordinal categorical Data. John Wiley & Sons, New York.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R. (2000): Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer-Verlag, Berlin.
- Baltes-Götz, B. (1994): Einführung in die Analyse von Strukturgleichungsmodellen mit LISREL 7 und PRELIS unter SPSS, <http://www.uni-trier.de/fileadmin/urt/doku/lisrel/lisrel7.pdf>, Zugriff: 30.10.2010.
- Byrne, B. M. (1998): Structural Equation Modeling with LISREL, PRELIS and SIMPLIS: Basic Concepts, Applications and Programming. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah/N.J.
- Fahrmeir, L., Hamerle, A., Tutz, G. (1996): Multivariate Statistische Verfahren. Walter de Gruyter-Verlag, Berlin.
- Faulbaum, F. (1981): Konfirmatorische Analysen der Reliabilität von Wichtigkeitseinstufungen beruflicher Merkmale, In: ZUMA-Nachrichten, 9, 22-44.
- Jöreskog, K.G., Sörbom, D. (1986): LISREL VI: Analysis of linear structural relationships by the method of maximum likelihood. University of Uppsala.
- Jöreskog, K. G., Sörbom, D. (1996): LISREL 8: User's Reference Guide. 2. Aufl., Scientific Software International Inc., Chicago
- Mulaik, S. A., James, L. R., VanAlstine, J., Bennett, N., Lind, S., Stilwell, C. D. (1989): Evaluation of goodness of fit indices for structural equation models. Psychological Bulletin. 105, 430-445.
- Opwis, K. (1999): Strukturgleichungsmodelle: Einführung in LISREL. In: Schweizer, K. (Hg.): Methoden für die Analyse von Fragebogendaten, 43-64. Hogrefe-Verlag, Göttingen.
- Wendler, T. (2004): Modellierung und Bewertung von IT-Kosten. Empirische Analyse mit Hilfe multivariater mathematischer Methoden. Deutscher Universitäts-Verlag/GWV-Fachverlage, Wiesbaden.

## Autor

**Prof. Dr. Tilo Wendler**  
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-969  
 tilo.wendler@th-wildau.de



# Task-Based Language Teaching. A new methodological approach to Second Language Acquisition – opportunities and challenges.

*John O'Donoghue*

## Zusammenfassung

In den 1980er war auf dem Gebiet des Fremdspracherwerbs die Entwicklung des kommunikativen Ansatzes zu beobachten. In diesem Zusammenhang fand die Presentation-Practice-Production-Methode ihre Anwendung, die auf größere kommunikative Effektivität in der Zielsprache abzielte. Es bestehen jedoch Zweifel, ob die Presentation-Practice-Production-Methode die gesetzten Ziele tatsächlich erfüllt hat. Aus dieser Kritik heraus entstand ein neuer didaktischer Ansatz, Task-Based Language Teaching, welcher den zentralen Fokus des Lernvorgangs auf die Aufgabenstellungen und deren Lösungen setzt. Gemäß dieser Theorie ist das Hauptziel des Spracherwerbs die Entwicklung der Fähigkeit, eine Vielzahl von Aufgabenstellungen in der Zielsprache zu meistern. Demzufolge sollen alle didaktischen Aktivitäten dieser Entwicklung dienen. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit Task-Based Language Teaching und dessen Grundsätzen auf dem Hintergrund des effektiven Kommunikationsansatzes. Die neuen Rollen sowohl des Dozenten als auch des Lernenden werden hier definiert und die Herausforderungen dieser Methodologie für alle Beteiligten erläutert.

## Abstract

In the 1980s in the area of Second Language Acquisition we saw the development of communicative approaches to language learning. This was led by the utilization of the Presentation-Practice-Production method, which aimed to enable learners to acquire greater communicative effectiveness in their target language. There have, however, been doubts raised about whether the Presentation-Practice-Production method effectively reaches its own goals. This has resulted in a new approach called Task-Based Language Teaching which sets the task at the centre of language learning. According to this theory the primary goal of language acquisition is the ability to deal with a wide variety of tasks in the target language. Everything that happens in the classroom should be directed at accomplishing this target. This paper seeks to present Task-Based Language Teaching and its principles in the context of communicate effectiveness, to define the new roles of both learner and teacher and to examine some of the challenges which this methodology presents to everyone involved in the learning process.

## 1 Introduction to Task Based Language Teaching

How teachers behave in the classroom, the material they present and the activities they ask their students to perform are all rooted in a theory of language and a theory of learning; in addition they assume certain objectives that language teaching should achieve. As teachers, do we believe that language is a system of rule-based governed structures which should be learnt by habit formation? Or do we view language as a system for expressing meaning which is best acquired in interaction and communication? Broadly speaking, Task-Based Language Teaching (TBLT) takes as its start-

ing point the latter position, i.e. it has developed from a communicative theory of language.

TBLT derives some of its rationale from a distinction between »conscious learning« or »knowing that« and »subconscious acquisition« or »knowing how« (Nunan 2004: 77). What is the relationship between knowing a rule and applying that rule? Does the former necessarily precede the latter? And if so, does the former guarantee the latter? Teachers are familiar with the disparity between these processes; awareness of a rule and its successful application, i.e. between »learning« and »acquisition«. Nunan quotes Krashen's claim that »internalisation« of conscious learning does not, in fact, occur and that acquisition is a quite separate process from learn-

ing. The view taken in this paper is that there is some connection between these processes which informs the version of TBLT adopted here. By allocating most classroom time to opportunities to acquire language and defining success in terms of communicative competence, TBLT clearly recognises the primacy of learners acquiring a language rather than merely learning it.

Teachers and learners are familiar with conventional textbooks that treat grammatical items in a singular, isolated manner. Having transmitted a particular item once to students we are surprised when it has largely been forgotten later. TBLT adopts a more »analytical« rather than »synthetic« approach (Nunan 2004: 11) in accommodating a less even, less linear process of language learning. If we accept the inherent instability of the learning process, the principle of recycling considered with the seven principles of TBLT below plays a particularly important role.

As we will see in the progress of this paper, the apparent dichotomy between the theories of »learning« and »acquisition« becomes less clear in teaching practice. What is the common ground between a structural approach focusing on *usage* and communicative language teaching's emphasis on *use*? How much structure is necessary to communicate successfully? Assuming that structure has an important role to play, when in the teaching cycle should it be taught? What is the difference between the structured language taught in Task-Based Language Teaching and its predecessor Presentation–Practice–Production? The different responses to these questions have, on the one hand, led to a »pure« interpretation of TBLT and, on the other hand, to one that takes account of learners' needs for more guidance and direction (Littlewood 1981).

These varying responses relate directly to the roles of teacher and learner, which will be dealt with in greater detail below. TBLT endorses the principle of freedom by empowering the learners to determine much of what takes place in class and eschews, or at least redefines, the principle of teacher control. Later in this essay we shall analyse the problems that this shift of control may lead to.

## 2 Task-Based Language Teaching

In order to distinguish task-based teaching from other forms of teaching it is necessary to describe some of its leading characteristics. Skehan (1998: 95) provides us

with five defining traits which may serve to clarify the nature of task. They are as follows: firstly, that meaning is primary; secondly, that learners are not given other people's meaning to regurgitate; thirdly, that some sort of relationship to comparable real-world activities should be present; fourthly, that task completion has some priority; and fifthly, that task assessment is in terms of outcome.

These traits differentiate TBLT from other approaches to language teaching in that the task – »real-world« or not – which is simulated demands a non-linguistic result, some impact on a real situation. It is more important to convey a message rather than demonstrate linguistic accuracy (Ellis 2003: 112) This shifts the focus of the learner's energies to attaining this result rather than merely employing lexico-grammatical items for their own sake, often referred to as »mastery«. The successful conclusion of the task should be the major criterion on which success is measured. Although, as Ellis points out, »the actual outcome of the task may be of no real pedagogic importance«, rather it is »the cognitive and linguistic processes involved in reaching the outcome that matter« (Ellis 2003: 8).

TBLT differs from other approaches such as the Audiolingual method in not prescribing the output that learners should perform. Although some element of controlled practice may be involved in the teaching cycle, as we shall see with the six-step procedure below, this is constructed as a stepping stone to freer self-determined expression at a later point. The function of the classroom is to enable learners to cope with tasks that they are likely to encounter beyond the classroom, language being treated as a tool with which learners can perform ordinary tasks.

All of the above traits are to some degree paradoxical in that they characterize an activity which is essentially designed to promote language acquisition. TBLT presupposes an imaginative leap on the part of all participants where the classroom becomes something else – anything from a post office to a boardroom. While some learners are willing to take this leap, others may be more reluctant to do so.

To facilitate this jump Nunan developed a Six-Step Procedure. Nunan's own definition of a task is that »a pedagogical task ... involves learners in comprehending, manipulating, producing or interacting in the target language while their attention is focused on mobilising their grammatical knowledge in order to express meaning«. (Nunan 2004: 4). His definition stipulates a

sequence which enables learners to move from receptive to productive activities. Taking account of the fact that the classroom can at best approximate the real world and never completely replicate it, Nunan classifies real-world tasks simulated in the classroom as »pedagogical« ones, in so doing emphasising the essential nature of TBLT as a pedagogical endeavour. This pedagogical concept comprises six steps at the end of which the learners are equipped to accomplish the set task.

**Step one: schema building.** When confronted with new information we seek to cognitively process it by referring to old information, using the known as the basis for absorbing the unknown. Schemata can be defined as »mental structures that organise their knowledge of the world which they draw on in interpreting texts' (Ellis 2003: 41). For example, students studying business administration possess a wealth of real-world working experience, whether it be working in a call centre or in an investment bank. In this first step this knowledge is accessed, focussing the attention of the students on the topic and the key vocabulary they require.

**Step two: controlled practice.** This may be a listening or reading exercise which lets the students practise vocabulary, structures and functions. The students are following a fairly narrow template at this early stage but may also be encouraged to elaborate on – »manipulate« – the structures which they are presented with.

**Step three: authentic listening practice.** The learners are now exposed to intensive listening practice which is linked to specific tasks, e. g. matching. This should reinforce the language from the preceding step. This step represents a shift from the manipulating mentioned above to a focus on the meaning of specific structures in a communicative setting. These structures may then be used at the end when engaging in the task.

**Step four: focus on linguistic elements.** Having practised a number of linguistic items in relatively controlled ways, the students' attention is now drawn to examine the language they have been using. Nunan sees this as a key difference to PPP. By delaying the analysis of language from step one in PPP to step four, the students should be able to see more clearly the connection between »communicative meaning and linguistic form« (Nunan 2004: 32). Since they have encountered language initially and essentially as a means of communication, learners may be curious as to how this communication was structured. This approach adopts an inductive rather than a deductive approach, or as elaborated above, an »analytical« rather than a »synthetic« approach. Language is

first encountered as »chunks«, later analysed, and then reassembled at the end as new »chunks«.

**Step five: provide freer practice.** This is where the students are empowered to go beyond the material provided, for example in a role play. The less confident students are free to utilise the vocabulary and structures learnt in the first four steps, the more confident ones may be using expressions that they learned outside of the present classroom. This is seen as a phase of real development whereby learners move away from imitation to innovation. They begin to develop their own »interlanguage«, a language marked by many non-native speaker elements but which should grow into a more standard version of the target language. As we shall see later this growth is dependent not least on the self-awareness and level of ambition of the learners involved.

**Step Six: introduce the pedagogical task.** This is the culmination of the teaching sequence where the task is carried out. The criticism of those advocating a purer form of TBLT may be that there has been too much directed input by this point. »A task stops being communicative only if the choice of activity has been prompted by purely linguistic considerations« (Ellis 2003: 16). This may lead the learners to regurgitate what the teacher or material has transmitted. While this criticism may be valid for a small minority, in my experience few learners do, in fact, parrot what they have been presented with. This six-step procedure enables those who feel uncertain about their communicative performance to rehearse a variety of elements which in step six may be employed to ensure an adequate level of production.

### 3 Teaching Context

Many third-level students, even at the beginning of the twenty-first century, seem to have experienced a rather teacher-centred, structuralist, grammar-based, translation approach to language learning. The approach to language learning in many secondary schools is what Canale refers to as »knowledge-oriented«, emphasising »controlled drills and explanation of rules« (Canale 1983: 14). Canale describes a situation which many of my students have in turn described to me: large groups, short class periods, teachers who are not necessarily communicatively competent and classroom discipline issues.

Perhaps as a consequence, some students seem rather reluctant to participate actively in class and feel that

their spoken English is less than adequate for the business world that awaits them. However, they are aware that on graduation they will be confronted with a variety of tasks in the business work environment. Therefore, they are quick to recognise the value of skill-oriented activities and often prioritise such activities during needs analysis sessions. TBLT therefore seems to be the tailor-made solution for this learner profile, reflecting the students' own priority of effective communication over a concern with formal aspects of language production.

TBLT may therefore be regarded as the bridge between a somewhat under-confident learner at undergraduate level and the demands of corporate tasks that our graduates will need to meet two or three years from their present classroom situation. It seems that the six-step procedure that Nunan outlines in his *Task-Based Language Teaching* is best suited to guide students from dependent to independent user of English, from approximately B1 level to B2 or even C1 levels as defined in the Common European Reference framework.

#### 4 Seven Principles for TBLT

Nunan also provides us with seven principles for TBLT which theoretically support the six steps outlined above. These principles are discussed with brief refer-

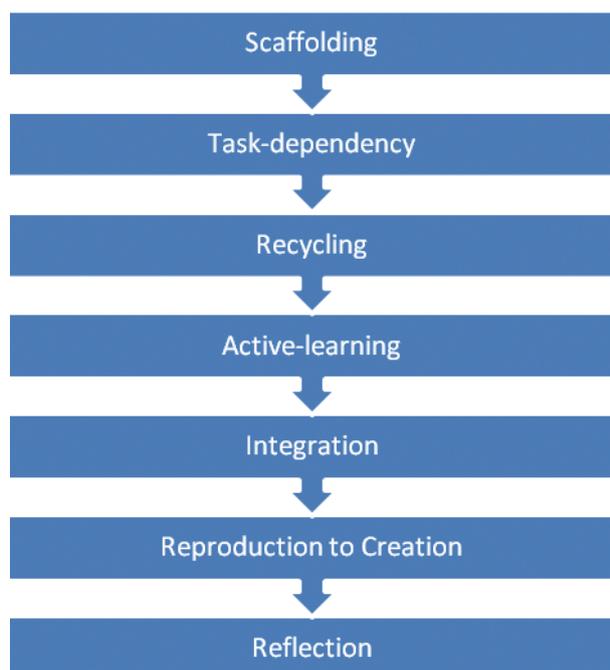


Fig. one: The seven principles of Task-based Language Teaching

ence to a popular business English course book *Market Leader Upper Intermediate*. These principles may be illustrated as follows in figure 1.

Principle one: scaffolding. The classroom should »provide supporting frameworks« for the learners. Nunan does not expect learners to produce »what has not been introduced either explicitly or implicitly« (Nunan 2004: 35). The task in the course book *Market Leader Upper Intermediate* is processed and prepared in a variety of linguistic operations before it is presented as something familiar and feasible towards the end of the teaching cycle. For example, the unit which deals with finance opens with a number of discussion questions concerning personal borrowing. This activates a schema that relates to the general experience of dealing with money matters.

Principle two: task dependency. The tasks should be interlinked, ensuring that the learners grow from one task to the next. This parallels the development of »receptive-to-productive« whereby the learners first listen and read before proceeding to speaking and writing.

Principle three: recycling. As noted above, TBLT endorses an analytical approach to language learning. One of the demotivating aspects of language learning is the continual false application of lexico-grammatical items which have been frequently »learned« but obviously not »acquired«, e. g. omitting third person »s«, employing »if« and »would« in the same clause. Consequently, learners need to be able to experience key items and structures a number of times throughout an integrated cycle. In the *Market Leader* unit, key lexical items are integrated and repeated in listening, reading and comprehension tasks.

Principle four: active learning. This is the element of TBLT which many of my students find initially challenging and then enjoyable. TBLT focuses on the experience of the learner rather than that of the teacher (see below), i.e. acquisition by the learner rather than transmission by the teacher. The learners experience a high level of involvement which increases their motivation and arguably acquisition. The task is in this sense the crucible in which the various steps are brought together.

Principle five: integration. In more traditional forms of language teaching the linguistic forms are transmitted in »a static, atomistic and hierarchical« (Kohonen 1992) way, where little connection is made between the different forms that are available and what communicative effect they have. With this method semantic meaning is regarded as something absolute, inherent to

the word itself, and static rather than as a flowing and negotiable element. By contrast, integration with Principle five means being aware of the connection between »the systematic relationships between form, function and meaning« (Nunan 2004: 37)

Principle six: reproduction to creation. This principle accommodates those learners who have few resources with which to initiate immediate communication, as may be demanded in a pure interpretation of TBLT. These learners are supplied with models which can be imitated and modified, providing the »scaffolding« that can later be removed at the creative stage.

Principle seven: reflection. Although this seems to be missing from the six-step procedure it is an important element in shifting the learners' focus from grammatical minutiae to overall communicative competence. As students are often unsure of how they have performed in any given task, especially an unfocused one, it is important for the teacher to provide feedback, which is designed to trigger reflection, particularly in the area of communication effectiveness, i.e. considering the interpersonal as well as the transactional effect of the student's output. The students' major concern is expressed by such questions as »Did I do that properly?« In TBLT the teacher may reply »Did you perform the task effectively?«

## 5 Communicative Effectiveness

The main focus of classroom activity is often to facilitate learners to encode their own messages. Ellis refers to Yule's criticism of SLA researchers' concentration on this aspect as it is only one of three abilities comprising communicative effectiveness (Ellis 2003: 77). In Yule's model the *perceptual* and *comparison* abilities precede the *linguistic* ability and play an equally important role. According to this model, it is important that learners perceive the nature of the message that they are sending and how that message is received. These skills are »as much social and cognitive as they are linguistic« (ibid.). For students the linguistic challenge may seem paramount, and once they are in control of this means of communication they are then able to concentrate on negotiated solutions for tasks. In my experience students tend often to opt for a »self-centred solution« (Ellis 2003: 78) where the students see problems from their own point of view rather than working on an »other-centred solution« where both

perspectives (sender and receiver) are accounted for. One way to raise awareness of intersubjectivity is in the feedback stage where problems or breakdowns in the task are treated not as linguistic problems but issues of information processing and the perception of self and others.

## 6 Task Difficulty: Learner, Task and Input.

As may be apparent from the preference for the step approach outlined above, it seems reasonable to introduce tasks in a graded fashion for those learners who have experienced a more synthetic mode of language instruction. Grading tasks consists of taking account of three interconnected variables; learner factors, task factors and text/input factors (Brindly 1987).

One assumption underlying TBLT is that learners have a variety of resources at their disposal independent of both their immediate learning environment and their present teacher. The learner may possess prior knowledge of the topic that the task requires, be familiar with the task in his/her native language, have previous experience of TBLT, have the necessary linguistic abilities and confidence and be motivated to carry out the task. Some students may have been exposed to more communicative teaching approaches and are eager to engage with tasks in a communicative way. These students tend to have both the linguistic background and a more extrovert personality. Such students perceive the advantages of TBLT. This, however, normally applies to a minority of students. Many students do not possess such experience and may regard TBLT as unstructured and undermining. Therefore they require a sequence of mini-tasks to enlarge their »comfort zone« in a non-threatening way.

An example of how such learners can be led along this curve is by applying a gradation that distinguishes between »static«, »dynamic« and »abstract« tasks. Such tasks range from input which is constant (identifying lexis), to ones that change (role play) and finally ones that require some use of abstract thought (debate/discussion). This gradation may be paralleled by changing the form of group interaction; from pair-work to larger groups and then to discussions involving the whole class. Sequencing such tasks in this way may help to reduce inhibitions and levels of anxiety among learners.

## 7 Roles of Learner and Teacher

In the TBLT approach the learner is empowered to use his/her own resources to navigate through a task and to utilise vocabulary and grammar acquired beyond the confines of the classroom. The learner is regarded as a resource of knowledge, abilities and talents in his/her own right for whom the classroom is the opportunity to develop those resources to emerge equipped to deal with the linguistic challenges inherent in real-life situations. In this sense, the teacher simultaneously looks back on participants' experiences, integrating them into the acquisition process, and looks forward to their future experiences in an anticipative fashion. The teacher opens the classroom door to the wealth of experience that learners possess and seeks to equip them for real-world experience which he or she, however, may not be able to accurately predict. In my classroom situation students often enrich the task by contributing background information from their own corporate experience, e. g. negotiating a wage increase or settling a dispute. The advantage of TBLT is that it facilitates this input which in turn increases the identification of the students with their own learning.

In the same way that TBLT accommodates such experiences it also tries to prepare learners for future work-life experiences. It may be that the learner has a more accurate idea of what these activities will be than the teacher does. This non-linguistic competence confers greater control to the learner. Indeed, in a purer version of TBLT the participants would be free to design their own tasks. In my course on Job Applications, for example, students are free to select the company to which they intend to apply and anticipate – after some research – particular questions which that enterprise might pose in a job interview. This task encourages the learners to use their real-world knowledge to become more involved with the interview task preparation.

This shift in control obviously has implications for the role of the teacher. Breen and Candlin define this role as being that of »facilitator of the communication process, participant, observer and learner« (Breen/Candlin 1980). TBLT shifts the focus of control onto the learner and his/her learning process. The conflict which Breen and Candlin observed is one which I have also experienced in the classroom. Students in my courses tend to expect clear instructions and some »modelling« of the language, and even clear criteria regarding the outcome of a task, »Did I do it correctly?« One potential

disadvantage in the application of TBLT is that it regards this question as secondary. This may clash with learners' expectations concerning language-learning goals. Consequently, it may be bewildering for students if the teacher completely abdicates this traditional role and the six-step approach outlined above seems to bridge both roles, on the one hand reassuring those expecting the teacher to be a clear authority figure while at the same time guiding them into becoming successful users of English who can cope with both the »unpredictable« and »uncomfortable«.

## 8 TBLT and its Challenges.

What actually happens when students are engaged in a task? One can observe many cognitive and affective processes at work. Of course, the students have to understand the task but of equal importance are the affective processes. Students form groups, share information and insights, help each other and organise themselves. For my students, who may well have just arrived from a conventional academic lecture, this redirection of attention onto fellow students with its attendant social interaction often has a motivating effect.

In many communicative tasks listening possesses an interactive element as the students need to react directly to utterances made by the other party. Checking for understanding and negotiating for meaning become important tools at this stage. Breakdowns in communication or confusion mean that the negotiators have to be able to rephrase content, »No, I didn't mean that, I meant ...«. In my own experience intervention by the teacher does sometimes seem justified to help students rephrase their own content, enabling other students to comprehend others' output. This has a two-fold function: to help students recast their utterances and to facilitate other students' comprehension. When students repeat a task one can observe that conscious »noticing« (Schmidt 1990) has actually improved communicative performance. This »interventionist« approach can also occur in the post-task phase to avoid focusing too much attention on form during the task itself. Sometimes, however, one or two lexico-grammatical pieces of advice can help refocus attention on meaning. This is a decision which depends on the students' tolerance of their own frequency of mistakes, i.e. if the student feels undermined by his/her level of mistake, intervention may be helpful. If, on the other hand, the student

is gaining fluency despite many inaccuracies, intervention may well be counterproductive and a more holistic approach may be called for. The post-task phase should comprise not merely of a list of mistakes but more importantly reinforces those scaffolding phrases from more competent learners which may help the less competent ones.

When performing the task for the first time, students often have difficulty estimating how successful their interaction will be. Therefore time is a significant factor, allowing students sufficient time to prepare and sometimes repeat the negotiation task or to perform a similar task has proved to increase effectiveness. Familiarity of information/topic is another factor influencing performance. In my Business Communication course the students are free to design and perform their own negotiation in the final weeks of the course. It is noticeable that students tend to choose material that matches their particular interests, e. g. computer science students often choose an IT topic on which to negotiate. In other words, to reduce the stress of a challenging task learners tend to choose familiar content and situations.

## 9 Conclusion

This paper has attempted to define what a task might be, to analyse how a specific procedure may be implemented, and to evaluate the benefits to learners and teachers and address some of the concerns students may have when encountering TBLT for the first time. TBLT can be implemented in a variety of ways and in my particular teaching context the six-step procedure outlined above seems a suitable bridge enabling learners who experienced more traditional approaches – which did not make them effective communicators of English – to develop »actual communication« skills from their »communication competence« (Canale 1983). In the future students may well experience more communicative teaching methods in school and therefore this procedure may well need to be refined or replaced by a more challenging interpretation of TBLT. This flexibility represents one of the many advantages of the TBLT approach.

## Bibliography

- Breen, M., Candlin C. (1980): The essentials of a communicative curriculum in language teaching. *Language Learning*, 1, 2, 89-112.
- Brindly, G. (1987): Factors affecting task difficulty. In: Nunan, D. (ed.): *Guidelines for the Development of Curriculum Resources*. National Curriculum Resource Centre, Adelaide.
- Canale, M. (1983): »From Communicative competence to communicative language pedagogy«. In: Richards, K., Schmidt R. (eds.): *Language and Communication*, Longman.
- Cotton, D., Falvey, D., Kent, S. (2001): *Market Leader Upper Intermediate Business English*. Pearson Education, Essex.
- Ellis, R. (2003): *Task-Based Language Learning and Teaching*. Oxford University Press, Oxford.
- Littlewood, W. (1981): *Communicative Language Teaching: an introduction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nunan, D. (2004): *Task-Based Language Teaching*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Skehan, P. (1998): *A Cognitive Approach to Language Learning*. Oxford University Press, Oxford.
- Schmidt, R. (1990): »The role of consciousness in second language learning«. *Applied Linguistics* 11: 129-58.

## Author

**John O'Donoghue, MA**

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik

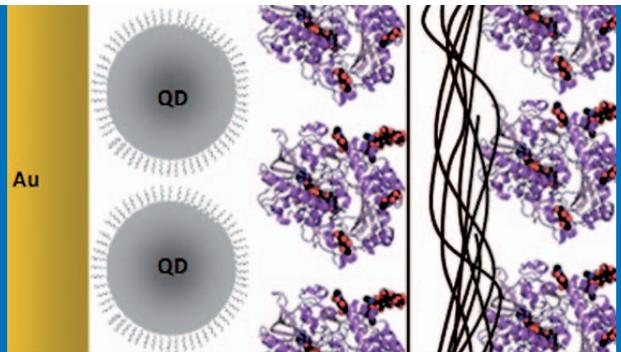
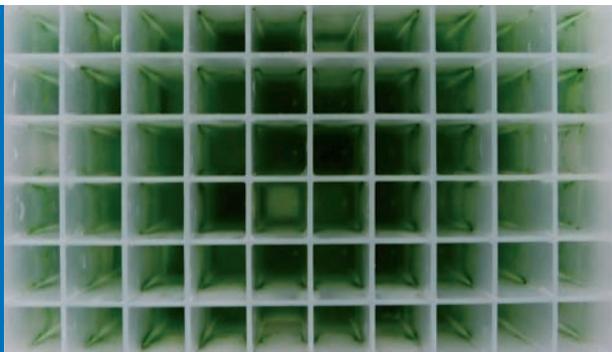
Technische Hochschule Wildau [FH]

T +49 3375 508-363

john.odonoghue@th-wildau.de







TH Wildau [FH]  
Bahnhofstraße  
15745 Wildau  
[www.th-wildau.de](http://www.th-wildau.de)