

Erkenntnisse. Konzepte. Projekte.



Forschung | Lehre | Technologietransfer

Aus dem Inhalt: Qualitätsmanagement-System in molekularbiologischem Labor, Multiplexmethoden für molekulardiagnostische Zwecke, Halbleiternanopartikel-modifizierte Elektrode, Innovative Klimafolgenanpassung, On-Board-Verkehrsinformation, Learning Communities im Web 2.0, Gewindeschneiden in Großkurbelwellen

ISSN 0949-8214

**Wissenschaftliche Beiträge
2009 | 2010**

Impressum

Herausgeber

Der Präsident der Technischen Hochschule Wildau [FH]

Prof. Dr. László Ungvári

Bahnhofstraße

15745 Wildau

Tel. +49 3375 508-101

Fax +49 3375 500324

www.th-wildau.de

Redaktionskollegium der TH Wildau [FH]

Prof. Dr. phil. Olga Rösch

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme

Prof. Dr. Bernhard Eylert

Prof. rer. pol. Mike Steglich

Prof. rer. pol. Frank Sistenich

Redaktionsleitung

Markus Vossel

Tel. +49 3375 508-673

markus.vossel@tfh-wildau.de

Korrektorat

Nicola von Amsberg

Gesamtherstellung

Verlag News & Media, Marcus von Amsberg

Perelsplatz 18

12159 Berlin

Tel. +49 30 85962170

Fax +49 30 85962171

verlag@newsmedia.de

ISSN 0949-8214

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge

bei Quellenangabe frei.

Inhalt

- 5** Vorwort
- Schwerpunkt
Biosystemtechnik|Bioinformatik**
- 6** *Lars Radke, Diana López-Hemmerling, Annika Lubitz, Christoph Giese, Franz-Xaver Wildenauer, Marcus Frohme*
Etablierung verschiedener Bead-basierter Multiplexmethoden mit einem Suspensions-Array-System für molekular diagnostische Zwecke
- 13** *Kirsten Schubert, Waqas Khalid, Zhao Yue, Wolfgang J. Parak, Fred Lisdat*
Halbleiternanopartikel-modifizierte Elektrode zum Nachweis von Substraten von NADH-abhängigen Enzymreaktionen
- Schwerpunkt
Informations- und
Kommunikationstechnologien**
- 23** *Margit Scholl, Christian Niemczik, Maika Büschenfeldt*
Learning Communities im Web 2.0 am Beispiel von Methopedia – Inspirationen für die Lehre?
- 33** *Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel*
Middleware-Konzepte zur Verteilung von komponentenbasierten Anwendungen im Netzwerk
- Schwerpunkt
Managementsysteme**
- 39** *Martina Brandt, Ulla Große*
Bewertungsproblem als Herausforderung bei Programmevaluationen – methodische Lösungsbeiträge
- 49** *Stefan Weinert, Ingolf Wohlfahrt, Andrea Schmid, Marcus Frohme*
Einführung eines Qualitätsmanagement-Systems in einem molekularbiologischen Labor einer Hochschule
- 57** *Bertram Meimbresse, Christine Behnke, Herbert Sonntag*
Mit MINERVA am Stau vorbei – On-Board-Verkehrsinformation im städtischen Wirtschaftsverkehr
- 63** *Bertil Haack, Claudia Schmidt, Cathleen Sommer*
Ökonomischer Erfolg durch ökologisches Handeln. Der FirmenUmweltIndex FUX für nachhaltiges Wirtschaften

Schwerpunkt
Materialtechnik

- 69** *Eckhart Kornejew, Valentin Stoychev*
Determination of carcinogen 4,4'-diamino diphenyl methane (MDA) in polyols derived from flexible polyurethane foam solvolysis by combination of SEC and GC/MS
- 75** *Michael Herzog, Sanchi Nenkova, Radka Garvanska, Valeria Gancheva*
Neue Materialien zur Beseitigung von Ölverschmutzungen

Schwerpunkt
Produktionssysteme und -technologien

- 80** *Norbert Miersch, Rainer Berghaus, Martin Lustig, Steffen Drechsler*
Herstellung von Gewinden durch Gewindegewindeschneiden in Gegengewichtsbohrungen von Großkurbelwellen

Schwerpunkt
Wirtschaft und Governance

- 89** *Sławomir Smyczek, Mario Glowik*
Erfolgs- und Risikofaktoren von Auslandsdirektinvestitionen in Polen. Eine empirische Studie über das Investitionsverhalten deutscher Unternehmen
- 98** *Frank Sistenich*
Gesundheitstourismus in Brandenburg
Handlungsempfehlungen für die Ansprache der arabischen Golfstaaten als neuer Perspektivmarkt für die Region Berlin-Brandenburg
- 107** *Rainer Voß, Frank Hartmann*
Innovative Klimafolgenanpassung als Chance für die mittelständische Wirtschaft

Internationale Gastbeiträge

- 114** *Ireneusz Fechner, Tomasz Janiak*
Polen – das zukünftige Zentrallager in Europa?
- 118** *Khu Ven-Tsen*
Decomposition of dynamic tasks of the optimum control
- 122** *Khu Ven-Tsen*
Situational decomposition in controlling complex objects
- 126** *Е. М. Бутин (E. M. Butin)*
КАЗАХСТАНСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПЕРЕХОДЯТ НА МСФО

Vorwort

Prof. Dr. László Ungvári



Seit 60 Jahren werden in Wildau Ingenieure ausgebildet – zuerst an der Betriebsfachschule, dann an der Ingenieurschule, heute an der Technischen Hochschule Wildau [FH]. Dieses Jubiläum haben wir am 10. Oktober 2009 gemeinsam mit der Gemeinde Wildau und den auf dem Campus Schwartzkopff ansässigen Unternehmen gefeiert.

Vom traditionsreichen Maschinenbau kommend, der weiterhin zum Studienangebot zählt, haben wir in den vergangenen Jahren zusammen mit industriellen Großunternehmen und innovativen KMU neue praxisorientierte Studiengänge in zukunftsweisenden Technologiebereichen wie Logistik, Biosystemtechnik/Bioinformatik, Photonics, Luftfahrttechnik und Telematik entwickelt. Darüber hinaus wurden für den Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht mit Praxispartnern einzelne Module oder ganze Studiengänge wie Europäisches Management konzipiert.

Die Schwerpunkte der angewandten Forschung und Entwicklung an der TH Wildau liegen analog dazu in den Bereichen Biosystemtechnik/Bioinformatik, Informations- und Kommunikationstechnologien, Managementsysteme, Materialtechnik, Optische Technologien, Produktionssysteme und -technologien, Wirtschaft & Governance. Einblicke in diese Themenkomplexe bieten seit 1995 insbesondere die einmal jährlich erscheinenden Wissenschaftlichen Beiträge. Mit Heft 2009/2010 liegt der 15. Jahrgang vor. Er enthält u. a.

- je zwei Artikel aus der Biosystemtechnik und den Informations- und Kommunikationstechnologien,
- je drei Beiträge aus dem Schwerpunkten Managementsysteme sowie Wirtschaft & Governance,
- je einen Aufsatz aus den Bereichen Materialtechnik und Produktionssysteme und -technologien.

Außerdem veröffentlichen wir diesmal vier internationale Gastbeiträge von sehr unterschiedlicher Prägung.

Über Qualität und Umfang unserer Forschungstätigkeit gibt ein Vergleich mit den anderen 166 Fachhochschulen der Bundesrepublik Deutschland Auskunft. Seit einigen Jahren gehören wir bezüglich der eingeworbenen Drittmittel (2008 über 5,5 Mio. Euro) zu den drei führenden Einrichtungen. Die eingeworbenen Drittmittel je besetzte Professur erzielten im Haushaltsjahr 2008 die bundesweite Spitzengröße von 88.386 Euro, je »forschender Professor« sogar 141.673 Euro. Desweiteren gehört die TH Wildau zu den TOP 5 Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Deutschland, die von den innovativen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) Deutschlands am meisten nachgefragte Forschungspartner sind (BMWi 2010). Mit diesem Ergebnis konnten wir unseren Vorsprung in der deutschen Fachhochschullandschaft weiter festigen.

Wir setzen die konsequente Entwicklung zur Cam-pushochschule weiter fort. Zur Unterbringung der Studiengänge Biosystemtechnik/Bioinformatik, Luftfahrttechnik/Luftfahrtlogistik, Europäisches Management und für die Versorgung der mit Flächen noch nicht vollständig versehenen Studiengänge werden ein Neubau errichtet (Fertigstellung 2012) und die Halle 17 umgebaut (Fertigstellung 2011). Durch diese Vorhaben entstehen weitere 7.409 m² Nutzfläche.

Die Mischung aus alter Industriearchitektur und modernen Glas-Stahl-Konstruktionen schafft ein inspirierendes Ambiente, in dem sich das akademische Leben erfolgreich entfalten kann. Dazu trägt auch der Erwerb von Haus 19 im Jahr 2009 bei. Gemeinsam mit dem Studentenwerk Potsdam werden hier auf etwa 1.000 m² Räume für das studentische Leben (z. B. Studentenklub) und soziale Belange (Kinderbetreuung etc.) eingerichtet. Wir blicken damit in eine hoffnungsvolle Zukunft.

Etablierung verschiedener Bead-basierter Multiplexmethoden mit einem Suspensions-Array-System für molekulardiagnostische Zwecke

Lars Radke, Diana López-Hemmerling, Annika Lubitz, Christoph Giese, Franz-Xaver Wildenauer und Marcus Frohme

Zusammenfassung

Die simultane Bestimmung mehrerer Analyten und die Erstellung komplexer Parameterprofile erlangt immer größere Bedeutung in der heutigen Labordiagnostik. Die Bead-basierte Multiplexanalytik bietet hier eine flexible, schnelle und einfache Methode zur Erstellung individueller Analysen. Aufgrund der Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, die diese moderne Nachweismethode im Bereich molekularbiologischer Fragestellungen bietet, ist die Etablierung der Bead-basierten Multiplexanalytik im Labor für Molekularbiologie und funktionelle Genomik der Technischen Hochschule Wildau von großem Nutzen.

Zur Einarbeitung in das Testsystem wurden die Konzentrationen der Zytokine IL-2, IL-4, IFN- γ und TNF- α in Zellkulturüberständen mit kommerziellen Fertigsystemen gemessen und mit mRNA-Expressionsraten der gleichen Proben verglichen. Des Weiteren wurde ein Testsystem zum Nachweis von humanen Antikörpern der Klassen IgG und IgM sowie deren antigen-spezifischer Anteil in Zellkulturüberständen entwickelt. Außerdem konnte durch die erfolgreiche Detektion von DNA-gekoppelten Beads mittels markierter Oligonucleotidsequenz die Kopplung und die Anwendbarkeit der Methode auf Bindungsexperimente mit Nucleotidsequenzen gezeigt werden.

Abstract

The simultaneous determination of multiple analytes and the generation of complex parameter profiles gains increasing importance in today's laboratory diagnostics. The bead-based multiplex assay is offering a flexible, rapid and easy to handle method for the creation of individual analyses. Because of the multitude of applications this modern detection system offers, the establishment of the bead-based multiplex technique is of great benefit for the Laboratory for Molecular Biology and Functional Genomics of the Technical University of Applied Sciences Wildau.

To familiarize with the testing system the concentrations of the cytokines IL-2, IL-4, IFN- γ and TNF- α in cell culture supernatant were analysed with commercially available assays and compared with mRNA expression ratios of the same samples.

Furthermore a custom testing system was developed for the detection of human IgG and IgM antibodies and also antigen specific antibodies in cell culture supernatants. The assignability of the method to binding experiments with nucleotide sequences could be shown by the successful detection of DNA-modified beads by conjugated oligonucleotides.

1 Einführung

Zunehmende Kenntnisse über die Komplexität von Reaktionswegen und Krankheiten führen zu einer wachsenden Anzahl an zu untersuchenden Parametern in diagnostischen Analysen. Die steigende Nachfrage nach dem simultanen Nachweis verschiedener Analyten in einer Probe führte zur Entwicklung von multiplexen (lat. vielfach) Detektionsmethoden. Unter diesen

Verfahren nimmt die Bead-basierte Multiplexanalytik einen immer größeren Stellenwert ein [1].

Multiplexe Verfahren führen zur Ersparnis von Reagenzien, Probenvolumen, Zeitaufwand und abhängig von der Methode zur Einsparung von Kosten. Im Allgemeinen kommt es zur Verbesserung der Aufwand-Nutzen-Relation.

Die bei diesem Verfahren verwendeten Mikropartikel (im Englischen Beads, »Kügelchen«, genannt) erhalten

ihre analytischen Eigenschaften durch die Kopplung von Biomolekülen wie Antikörper, Antigene, Enzyme, Lektine, Rezeptoren, modifizierte DNA-Stränge oder Aptamere. Die Kopplung erfolgt dabei hauptsächlich durch kovalente Verfahren (EDC-NHS Kopplung von Carboxylgruppen mit Aminogruppen). Die Beads bestehen aus Polystyrol und unterscheiden sich durch intrinsische Farbstoffe. Durch den parallelen Einsatz mehrerer Beadklassen, welche durch Kopplungsreaktionen mit unterschiedlichen Fängermolekülen analytisch funktionalisiert wurden, lassen sich aus einer Probe mehrere Analyten gleichzeitig bestimmen. Dies führt zu einer großen Vielfalt an parallelen Untersuchungsmöglichkeiten. Neben immunologischen Nachweisen können auch Rezeptor-Liganden-Bindungen, Enzymkinetiken oder Reaktionswege und Signalketten untersucht werden und selbst der Nachweis von einzelnen Genen, wie zum Beispiel PCR-Produkten, ist möglich.

Die Identifizierung der Beads und die Quantifizierung der gebundenen Analyten erfolgt dabei mittels Durchflusszytometrie. Bei der von Luminex entwickelten so genannten »xMAP«-Technologie enthalten die Beads zwei intrinsische Fluoreszenzfarbstoffe mit bis zu 10 verschiedenen Intensitäten, sodass sich bis zu 100 spektralverschiedene Beadpopulationen parallel differenzieren lassen. Dabei werden die intrinsischen Beadfarbstoffe mit einem 635 nm Diodenlaser angeregt und bei 645–669 nm bzw. bei >712 nm mit Avalanche-Photodioden gemessen. Die Anregung des fluoreszenzmarkierten Analyten erfolgt bei 532 nm durch einen YAG-Laser und wird mittels Photomultiplier bei 563–587 nm detektiert. Als Reporterfarbstoff eignen sich besonders Phycoerythrin, Cy3 oder Alexa 532. Zusätzlich wird mit einer Avalanche-Photodiode bei 635 nm das Seitwärtsstreulicht jedes detektierten Partikels gemessen und so ausgeschlossen, dass Beadaggregate die Messung verfälschen [1]. Die Abbildung 1 zeigt das Messprinzip der Luminex-Technik.

In der Multiplexanalytik sind verschiedene Assayformate möglich. In der Regel werden Sandwich-Formate genutzt. Seltener werden kompetitive Assayformate verwendet. Bellisario et al [2] zeigten, dass auch die Kombination von kompetitiven und Sandwich-Assay im selben Testansatz möglich ist.

In den folgenden vier Absätzen wird kurz auf die verschiedenen eingesetzten Moleküle bzw. Molekülklassen eingegangen:

Antikörper zirkulieren im Körper und binden an spezifische Partikel und Moleküle, so genannte Antigene.

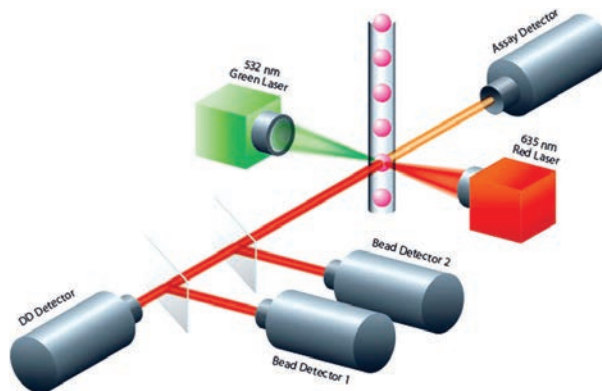


Abb. 1: Messprinzip der Luminex-Technik. Die Beads werden in einem Flüssigkeitsstrom aufgereiht und mit zwei Lasern gleichzeitig angeregt. Der rote Diodenlaser dient der Anregung der intrinsischen Farbstoffe, die mit zwei Avalanche-Photodioden (Bead Detector 1 und 2) gemessen werden. Zusätzlich werden mit dem Dublettendiskriminator (DD-Detektor) Beadaggregate erkannt. Mit dem grünen YAG-Laser werden die fluoreszenzmarkierten Detektionsmoleküle angeregt. Dieses Signal wird von einem Photomultiplier (Assay-Detektor) gemessen [3].

Toxine, andere niedermolekulare Stoffe und sogar Viren werden inaktiviert, indem ihre Bindung an deren Rezeptoren bzw. Ziel-Zellen unterbunden wird. Durch die hohe Spezifität der Antigen-Antikörper-Reaktion werden Antikörper als Detektionsmolekül in einer Reihe von Nachweisverfahren in der Biotechnologie und Medizin eingesetzt [4, 5].

Zytokine sind meist einfache Polypeptidketten oder Glycoproteine 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 beinhaltet eine Vielzahl von Effekten auf Zellen des Immunsystems und bei der Modulation von Entzündungsreaktionen, sowie dem Zellwachstum und der Signalübertragung, weshalb anhand der Zytokinmuster wichtige diagnostische Aussagen getroffen werden können [6].

Aptamere (von lat. *aptus*, passen und griech. *meros*, Gebiet) sind kurze einzelsträngige DNA- oder RNA-Oligonukleotide, welche eine Vielzahl dreidimensionaler Strukturen annehmen und so verschiedenste Moleküle mit hoher Affinität binden können. Dabei beruht die Bindung auf der strukturellen Passfähigkeit der Oberfläche, die durch die Sequenz entsteht. So gibt es Aptamere gegen die unterschiedlichsten Bindungspartner, wie Viren, Proteine, Peptide und kleinste Moleküle [7, 8].

Der Cytomegalovirus (CMV) ist ein β -Herpes-Virus, welcher in weiten Teilen der Welt endemisch ist und Cytomegalie verursacht. Dies ist die derzeit häufigste

Ursache von Störungen während der Entwicklung des Kindes im Mutterleib [9, 10] und stellt bei immunsupprimierten Patienten eine lebensbedrohliche Krankheit dar [11]. Das Polypeptid 65 (pp65) ist ein strukturelles Phosphoprotein der Virenmatrix des CMV mit einem Molekulargewicht von 65 kDa. Aufgrund seiner immundominanten antigenen Wirkung handelt es sich derzeit um den am besten etablierten Parameter beim Nachweis einer aktiven CMV-Infektion [12, 13].

Ziele der experimentellen Arbeit sind die Zytokinmessungen in Zellkulturüberständen von Stimulationsexperimenten mit PBMC (Peripheral Blood Mononuclear Cell) und verschiedenen Wirkstoffen sowie die Bestimmung von Antikörpertitern ebenfalls in Zellkulturüberständen mit einem selbstentwickelten Bead-basierten Testsystem. Dabei werden verschiedene Fänger-moleküle, wie Antigene, Antikörper und Aptamere verwendet. Die Ergebnisse einer Genexpressionsanalyse, die mit den Ergebnissen der Zytokinmessung verglichen werden, wurden bereits im Rahmen einer früheren Arbeit erhalten.

2 Material und Methoden

Für die Zytokinbestimmung wurden von der ProBio-Gen AG aus Berlin Zellkulturüberstände aus Stimulationsexperimenten bereitgestellt. Dabei handelte es sich um Zellkulturen von PBMC aus Vollblutproben adulter gesunder Spender in RPMI-Medium (Roswell Park Memorial Institute Medium) mit 10% FKS (Fetales Kälberserum). Diese wurden zur Stimulation mit verschiedenen Wirkstoffen versetzt: SEB (Staphylococcal Enterotoxin B) und PWM (Pokeweed Mitogen), einem Lektin sowie OKT-3 (ein monoklonaler Antikörper gegen das CD3 Oberflächenantigen auf T-Lymphozyten) und ConA (Concanavalin A), ebenfalls ein Lektin. Die Probenahme der Zellen und Kulturüberstände erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten der Kultivierung bis zur 72. Stunde. Die Analyse erfolgte mit dem Bio-Plex Pro™ Human Cytokine Assay, 8-Plex welcher unter anderem die Zytokine IL-2, IL-4, TNF- α und IFN- γ quantifiziert. Dabei wurde jeweils nach den Angaben der Hersteller verfahren. Die erhaltenen Werte werden mit den Ergebnissen einer mRNA-Expressionsmessung der gleichen Proben verglichen. Die mRNA-Expressionsmessung wurde mittels RT-PCR durchgeführt [14].

Die analytische Einsatzmöglichkeit der Beads entsteht durch gebundene Fänger-moleküle. Um indivi-

duelle Testsysteme aufzubauen, können diese Fänger-moleküle an unbeschichtete Beads gekoppelt werden. Hierfür wurde das »Bio-Plex™ Amine Coupling Kit« der Firma Bio-Rad Laboratories verwendet. Die Kopplungsreaktion basiert auf einer zweistufigen Carbodiimid-Reaktion. Im ersten Schritt werden die Carboxylgruppen der Beads mit EDC aktiviert. Dabei fungiert NHS als Schutzgruppe. Im zweiten Schritt werden die NHS-Moleküle von den Fänger-molekülen verdrängt.

Die Kopplung wurde nach der Vorschrift des Kits durchgeführt. Pro Kopplungsansatz wurden 100 μ l Bio-Plex COOH-Beads ($1,25 \times 10^6$ Beads) verwendet.

Die gesamte Beadkopplung erfolgt bei Raumtemperatur. Die Inkubationsschritte müssen aufgrund der Lichtempfindlichkeit der fluoreszenzmarkierten Beads im Dunkeln stattfinden.

Zur Detektion von humanen IgG und IgM wurden Goat anti-Human IgG-Antikörper (Dianova, Hamburg) bzw. Goat anti-Human IgM-Antikörper (Bethyl Laboratories, Inc., TX, USA) verwendet. Zum Nachweis von spezifischen anti-PP65-Antikörpern wurde rekombinantes PP65 aus *E.coli* (NatuTec GmbH, Frankfurt) verwendet.

Bei der Kopplung von Beads gehen durch Wasch- und Pipettierschritte zwangsläufig Beads verloren. Um die im Test zu verwendende Menge an Beads festzustellen, muss die Konzentration der Beads nach dem Kopplungsprozess in den einzelnen Kopplungsansätzen bestimmt werden. Die Bestimmung erfolgte mit dem Casy® 1 Model TT (Schärfe System GmbH, Reutlingen) und mit dem Bio-Plex 200 (Bio-Rad Laboratories GmbH, München). Bei der Messung im Zellzähler wurden 9 μ l des Kopplungsansatzes mittels Vortexer homogenisiert, in 5 ml Casyton verdünnt und gemessen. Bei der Ermittlung der Beadkonzentration mit dem Bio-Plex 200 wurde ein Mikroliter der ebenfalls homogenisierten Kopplungsansätze in 124 μ l PBS verdünnt gemessen. Zur Zählung wurde der maximale »Beadcount« auf 10000 gesetzt und die Messzeitbegrenzung deaktiviert. Das Messvolumen wurde auf 100 μ l erhöht.

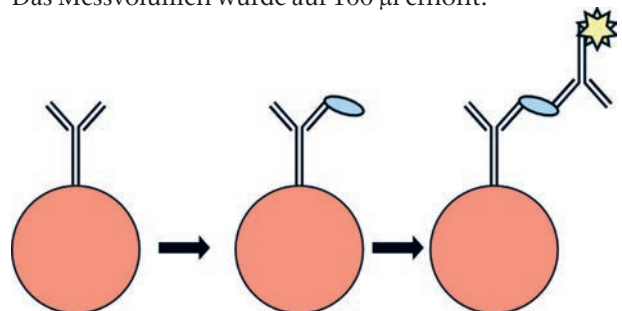


Abb. 2: Schema eines Sandwich-Assays; orange: Bead; blau: Analyt; gelb: Fluorophor

Verschiedene Bead-basierte Multiplex-Methoden wurden für den Bio-Plex 200 etabliert. Alle durchgeführten Versuche basierten hierbei auf dem Sandwich-Assay-Format (siehe Abb. 2).

Die mit Antikörpern, Antigen oder Nukleotidsequenzen funktionalisierten Beads wurden in einem ersten Schritt mit der Probe inkubiert. In einem zweiten Inkubationsschritt erfolgte die Reaktion mit einem Farbstoff-konjugierten sekundären Antikörper. Im Anschluss erfolgte die Messung mit dem Bio-Plex 200.

In einem Testansatz wurden pro Well 5000 Beads jeder Beadklasse mit 50 µl Positiv- oder Negativprobe für 1 h im Dunkeln auf dem Plattenschüttler inkubiert. Nach einem zweifachen Waschschrift wurden der oder die entsprechenden Detektionsantikörper zugegeben und wieder für 1 h im Dunkeln auf dem Plattenschüttler inkubiert. Ein weiterer zweifacher Waschschrift folgte. Wurde ein biotinylierter Antikörper verwendet, folgte ein halbstündiger Inkubationsschritt mit Streptavidin-Phycoerythrin-Lösung. Nach einem letzten Waschschrift wurden zur Messung 125 µl PBS in jedes Well pipettiert und die Beads in einer fünfminütigen Inkubation auf dem Plattenschüttler in Lösung gebracht.

Zur Optimierung des Testsystems wurden die Konjugatmenge und die Konzentration der Oberflächenbeschichtung der Beads variiert, um ein optimiertes und stabiles Testsystem mit einem möglichst hohen Signal-Rausch-Verhältnis zu erhalten. Für die Bestimmung der Nachweisgrenzen des Testsystems wurde die Menge an positiver Kontrollprobe variiert.

Als Detektionsantikörper wurden Cy3-markierte Goat Anti-Human IgM- bzw. Goat Anti-Human IgG-Antikörper (beide Dianova, Hamburg) verwendet.

Für die Testung der Analyse-Methode wurden Proben aus einem humanen Referenzserum (Bethyl Laboratories, Inc., TX, USA), welches u. a. IgG und IgM enthält, mit unterschiedlichen Mengen an spezifischen anti-pp65-Antikörpern (Diagnostic Automation Inc, CA, USA) versetzt. Dabei wurden vier unterschiedlich konzentrierte pp65-Standardlösungen verwendet, die jeweils in kleinen Verdünnungsreihen eingesetzt wurden. Auf diese Weise wurden 16 Proben hergestellt, bei denen die Proben P1-P5, P6-P10, P11-P13 und P14-P16 einzelne Gruppen bilden.

Zur Etablierung einer weiteren Bead-basierten Technik unter Verwendung von Nukleotidsequenzen und zur gleichzeitigen Erweiterung des Testsystems sollten humane IgE mit einem DNA-Aptamer nachgewiesen werden. Das verwendete

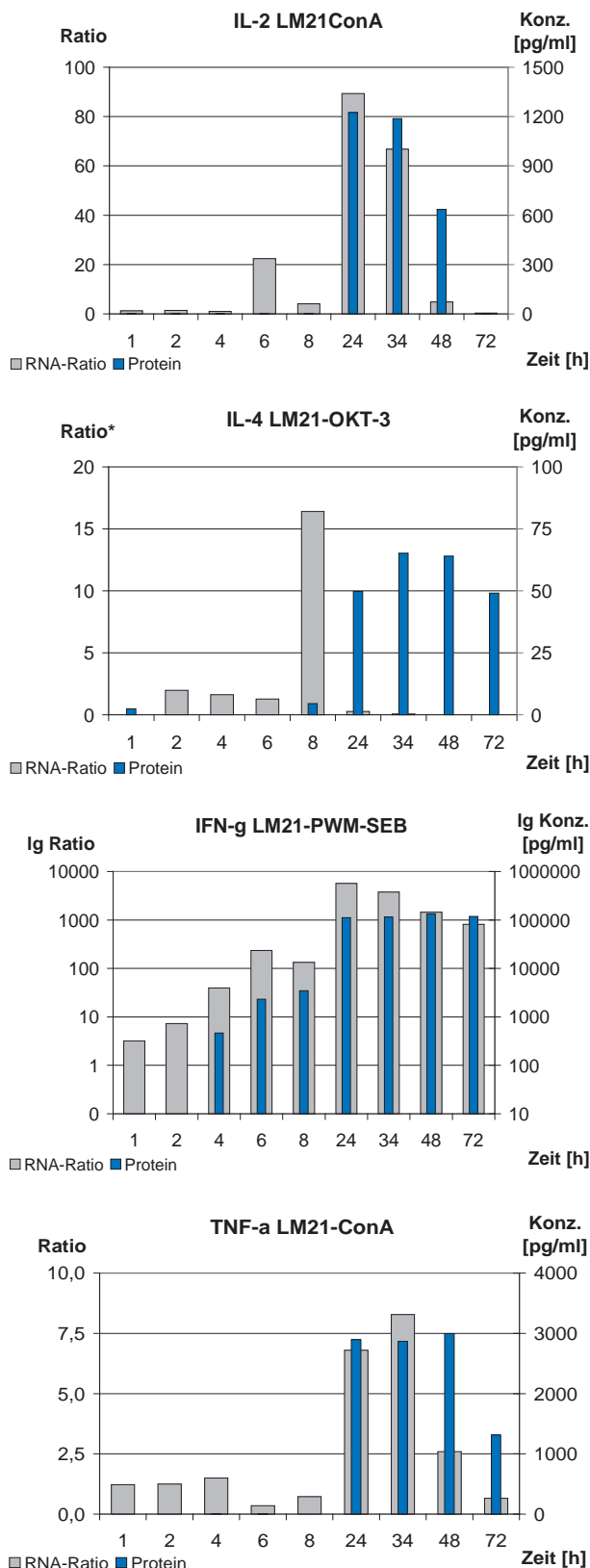


Abb. 3: Vergleich der RNA-Ratios der Zytokine IL-2, IL-4, IFN- γ und TNF- α mit den Ergebnissen des Bio-Plex Pro[™] Human Cytokine Assays. Die mit * gekennzeichneten Ratios konnten nicht normiert werden. Einige Konzentrationen und Ratios wurden zur besseren Darstellung logarithmiert.

Aptamer hatte die Sequenz 5'[Amine-C6] GGGGCACGTTTATCCGTCCCTCCTAGTGGCG TGCCCC3' (Sigma-Aldrich, Steinheim). Der Nachweis der DNA-Sequenz erfolgte mit einem biotinylierten Oligonukleotid [Biotin]5'GGGGCAGCCACTAG3' (Fisher Scientific GmbH, Schwerte). In einem Thermocycler (Mastercycler® Gradient, Eppendorf) wurden die Bead-gekoppelten DNA-Stränge hitzedenaturiert. Durch langsames Abkühlen wurde das biotinylierte Oligomer angelagert. Im Anschluss wurden die Beads mit Streptavidin-Phycoerythrin-Lösung inkubiert und mit dem Bio-Plex 200 gemessen.

3 Ergebnisse

Die Quantifizierung der Zytokine in Kulturüberständen erfolgte mit einem Fertigsystem der Firma Bio-Rad. Anhand einer 8-stufigen Standardreihe konnten die Fluoreszenzintensitäten der einzelnen Messungen in Konzentrationen bestimmt werden.

Die zuvor gemessenen relativen RNA-Expressionswerte (*Ratios*) in Zellproben wurden anhand des Referenzgens »PBGD« (Porphobilinogendesaminase) normiert. Ein Vergleich der so erhaltenen Expressionswerte mit den quantifizierten Zytokinmengen in den gleichen Proben mit den Ergebnissen des Bio-Rad Testsystems ist in Abbildung 3 beispielhaft für jeweils nur einen Spender, einen Analyten und einen Wirkstoff dargestellt.

Bei dem von uns entwickelten System zum Nachweis humaner IgG, IgM und spezifischer anti-pp65 Antikörper wurde die optimale Menge an Fänger-molekülen bestimmt. Diese beträgt für die anti-IgG und anti-IgM-Antikörper 10 µg/100µl Beadlösung und bei den pp65-Beads 34 µg/100µl Beadstamm-lösung. Die optimale Menge Detektionsantikörper wurde ebenfalls sowohl für die Cy3-markierten anti-IgG- als auch für die Cy3-markierten anti-IgM-Antikörper bestimmt. Des Weiteren konnten die unteren Nachweisgrenzen des Testsystems ermittelt werden. Diese betragen für den IgM-Nachweis 11 ng/ml und für den IgG-Nachweis 5 ng/ml (Ergebnisse nicht gezeigt).

Mit dem entwickelten Testsystem wurden u. a. die Proben P1-P16 gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Konzentrationsabhängigkeit der Fluoreszenzintensitäten der einzelnen Verdünnungsstufen ist deutlich zu erkennen.

Erste Experimente dienten zur Entwicklung eines Testsystems zum spezifischen Nachweis von humanen

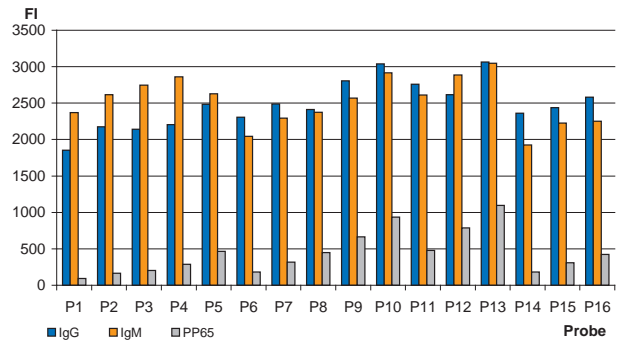


Abb. 4: Messung von Proben mit IgG- und IgM- und PP65-Beads. Alle Proben enthalten die gleiche Menge an humanem Referenzserum und verschiedene Konzentrationen an spezifischen anti-PP65-Antikörpern.

IgE mit einem DNA-Aptamer. In den durchgeführten Experimenten konnte jedoch bisher keine spezifische Bindung von IgE-Molekülen nachgewiesen werden (Ergebnisse nicht gezeigt).

Zum Nachweis der DNA-Kopplung an die Beads mit einer künstlich synthetisierten Nukleotidsequenz, die sich an das 3'-Ende der offenen Aptamersequenz bindet, wurden die Beads auf 75° C erhitzt und zusammen mit der komplementären DNA (*Oligomer*) wieder langsam auf 35° C abgekühlt. Anschließend erfolgten die Konjugation des gebundenen biotinylierten Oligomer mit Streptavidin-Phycoerythrin und die Messung mit dem Bio-Plex. Zum Vergleich wurden gleichermaßen erhitze Beads ohne Oligomerzugabe mit Streptavidin-Phycoerythrin inkubiert und gemessen. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse beider Versuchsreihen. Auch hier lässt sich ein konzentrationsabhängiger Signalverlauf erkennen.

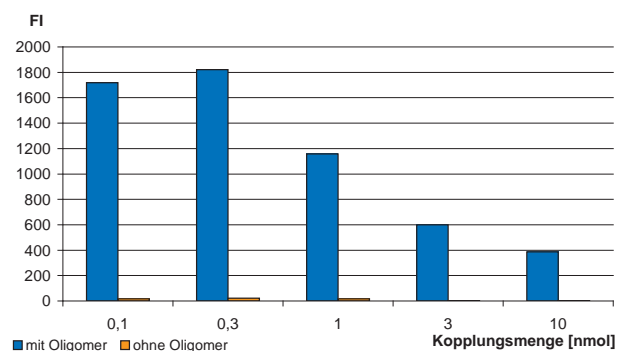


Abb. 5: Überprüfung der Aptamerkopplung mit Oligomeren. Mit zunehmender Kopplungsmenge nimmt die Signalstärke ab.

4 Diskussion

Unsere Messungen zeigen, dass die Zytokinkonzentrationen zu Beginn der Kultivierung sehr gering sind und je nach Behandlung ab der 4. Stunde, meist aber erst nach 24 Stunden, deutlich ansteigen. Signifikante Zytokin-

konzentrationen lassen sich erst nach oder frühestens mit einer erhöhten mRNA-Expression nachweisen. Die Änderung der mRNA-Expression ist in den meisten Fällen entweder gering und erfolgt über einen größeren Zeitraum oder nur zu einem oder wenigen Messpunkten, dann aber sehr stark. Die Konzentration der sekretierten Zytokine erreicht ein Maximum und bleibt auf diesem Niveau oder fällt unterschiedlich schnell wieder ab. Zwischen dem Ausmaß der RNA-Expressionsänderung und der Höhe der Proteinkonzentration kann ein Zusammenhang hergestellt werden. Zum Beispiel führt eine um mehr als 10.000fach gesteigerte mRNA-Expression zu IFN- γ Konzentrationen von mehr als 100 ng/ml. Im Gegensatz dazu ist die Expression des IL-4-Gens nicht sehr stark erhöht und es werden nur geringe IL-4-Konzentrationen im Bereich von 10–100 pg/ml gemessen. Genauere Schlussfolgerungen der dargestellten Zusammenhänge erfordern spezielle Kenntnisse in verschiedenen Bereichen der Zellkultur und der Zellregulation, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Eine präzisere Aussage über den Verlauf der Zytokinbildung könnte durch kürzere Abstände zwischen den Probenentnahmen, insbesondere zwischen der 8. und 24. Stunde, getroffen werden.

Die Einsatzfähigkeit des entwickelten Testsystems zur Analyse von Proben auf Antikörper-Gehalt im multiplexen Ansatz konnte mit der Messung der Proben P1-P16 gezeigt werden.

In der dargestellten Messung (Abb. 4) lässt sich bei den pp65-Beads gut die konzentrationsabhängige Zunahme der Fluoreszenzintensitäten beobachten. Auch das Signal der IgG- und IgM-Messung zeigt unterschiedliche Messwerte, obwohl in allen Proben die gleiche Menge an Referenzserum enthalten ist. Demnach werden die Antikörper der zugesetzten pp65-Positivkontrollen sowohl von den pp65-Beads als auch von den IgG- und IgM-Beads gebunden.

Da die anti-pp65-Antikörper entsprechend ihres Isotyps auch von den IgG- und IgM-Beads gebunden werden, ist eine genaue Bestimmung der einzelnen Konzentrationen der Antikörper jedoch nur in getrennten Ansätzen möglich.

Die einzelnen Gruppen zeichnen sich durch unterschiedlich hohe Fluoreszenzwerte der IgG oder der IgM aus. Dies kommt durch die unterschiedlich hohen Konzentrationen an IgG und IgM in den PP65-Positivkontrollen zustande.

Der spezifische Nachweis von IgE mit Aptamergekoppelten Beads war im gewählten experimentellen

Setup nicht möglich. Ein möglicher Grund ist die Ausbildung einer falschen oder gar keiner Aptamerstruktur. Es konnte jedoch die erfolgreiche Kopplung der Nukleotidsequenz nachgewiesen werden. Mit zunehmender Kopplungsmenge nimmt die Signalstärke ab. Die maximale Fluoreszenzintensität wird bei einer Kopplungsmenge von 0,3 nmol erreicht. Die Beads wurden sowohl mit als auch ohne Oligomer erhitzt und anschließend mit Streptavidin-Phycoerythrin inkubiert. Eine unspezifische Bindung des Streptavidin-Phycoerythrin an die Beads konnte ausgeschlossen werden.

Die Abnahme der Fluoreszenzintensität mit zunehmender Kopplungskonzentration entsteht durch die dichte Packung der DNA-Stränge an der Oberfläche der Beads, sodass die Interaktion der Oligomere mit den Zielsträngen sterisch gehindert wird. Zudem erzeugen die DNA-Stränge aufgrund der negativen Phosphatreste im Rückgrat der DNA hohe negative Ladungen. Bei höheren Oberflächenkonzentrationen auf der Beadoberfläche können diese nicht mehr durch den verwendeten Puffer ausgeglichen werden. Die Bindung von Oligomer und Zielstrang wird aufgrund der polaren Abstoßungskräfte vermindert.

Mit diesem Versuch konnten zugleich die Anwendbarkeit der Beads in möglichen Versuchen zum Nachweis von Nukleotidsequenzen sowie die Temperaturstabilität der Beads gezeigt werden.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Die verschiedenen untersuchten Bead-basierten Multiplexmethoden zeigen die vielfältige Anwendbarkeit des Suspensions-Array-Systems. Bei der Entwicklung des Testsystems zur Detektion von humanen IgG und IgM konnte neben der hohen Messgenauigkeit des Messsystems, die Robustheit, die hohe Sensitivität und der große Messbereich von Nachweisen mit der Bead-basierten Methode gezeigt werden. Die Vielseitigkeit der Messmethode sollte mit der Etablierung eines Testsystems zum Nachweis von humanen IgE durch Aptamer-gekoppelte Beads gezeigt werden. Hier gibt es jedoch eine große Anzahl von Einflussfaktoren, die weitere Untersuchungen erfordern.

Die in diesem Zusammenhang gezeigte Verwendbarkeit der Beads in Bindungsexperimenten mit Nukleotidsequenzen, kann für eine Vielzahl möglicher Untersuchungen eingesetzt werden.

Quellen

- [1] Probst, M. C. O.; Kroder, M. J. (2007) in Sack, U.; Tárnok, A.; Rothe, G.: Zelluläre Diagnostik, S. Karger Verlag für Medizin und Naturwissenschaften GmbH, Freiburg, Kapitel I, Technische und methodische Grundlagen, Abschnitt Bead-basierte Multiplexanalytik, S. 191-207.
- [2] Bellisario, R.; Colinas, R. J.; Pass, K. A. (2000): Simultaneous measurement of thyroxine and thyrothrin from newborn dried blood-spot specimens using a multiplexed fluorescent microsphere immunoassay, *Clinical Chemistry*, 2000; 46, 1422-1424.
- [3] http://www.panomics.com/images/96_2_LASER_2_V1.jpg, 08.08.2009.
- [4] Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Watson, J. D. (1997): *Molekularbiologie der Zelle*, VCH, Weinheim, 3. Auflage 1997, Kapitel 23 Immunsystem.
- [5] Schütt, C.; Bröker, B. (2006): *Grundwissen Immunologie*, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, München, 2006, 1. Auflage.
- [6] Thomson, A. W.; Lotze, M. T. (2003): *The Cytokine Handbook Volume 1*, Academic Press, San Diego, Fourth Edition 2003, Chapter 1 Introduction, S. 40-56.
- [7] Torres-Chavolla, E.; Alocilja, E. C. (2009): Aptasensors for detection of microbial and viral pathogens, *Biosensors and Bioelectronics*, 2009, 24(11), 3175-3182.
- [8] <http://de.wikipedia.org/wiki/Aptamer>, 23.06.2009.
- [9] http://dgk.de/fileadmin/user_upload/Gesundheit-pdf/Inhalt_Cytomegalie.pdf, 15.04.09.
- [10] Ley-Köllstadt, S. (2009): Cytomegalie & Co: Häufige Virusinfektionen in der Schwangerschaft, http://dgk.de/fileadmin/user_upload/Gesundheit-pdf/cytomegalie_brosch_web_08.pdf, 15.04.2009.
- [11] <http://www.icon-cmv.de/>, 15.04.2009.
- [12] http://www.medlabor-wm.de/index.php?option=com_content&task=view&id=192&Itemid=62, 15.04.2009.
- [13] Rioux, J. D.; Ohlin, M.; Borrebaeck, C. A. K.; Newkirk, M. M. (1995): Molecular Characterization of Human Monoclonal Antibodies specific for the Human Cytomegalovirus: Relationship of Variable Region sequence to Antigen Specificity and rheumatoid factor-associated Idiotype Expression, *Immunology and Infectious Diseases*, Vol 5, 1995, 43-52.
- [14] Lopez-Hemmerling, D. (2008): RT-PCR Expressionsprofile humaner Leukozyten unter verschiedenen Kulturbedingungen, Masterarbeit an der TFH Wildau.

Die wesentlichen Experimente wurden im Rahmen der Masterarbeit des Erstautors im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik der Technischen Hochschule Wildau [FH] durchgeführt. Wir danken der Fa. ProBioGen AG Berlin für ihre Unterstützung.

Autoren

Lars Radke, MSc.

TH Wildau [FH]

Biosystemtechnik/Bioinformatik

Diana Lopez Hemmerling, MSc.

TH Wildau [FH]

Biosystemtechnik/Bioinformatik

Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik

diana.lopez@tfh-wildau.de

Dr. Christoph Giese

Director Cell and Tissue Services and Quality Control

ProBioGen AG, Berlin

Goethestrasse 54, 13086 Berlin

Tel. +49 30 924006-0

Dipl.-Ing. Annika Lubitz

Cell And Tissue Services

ProBioGen AG, Berlin

Goethestrasse 54, 13086 Berlin

Tel. +49 30 924006-0

Prof. Dr. Franz-Xaver Wildenauer

TH Wildau [FH]

Tel. +49 3375 508-148

franz.wildenauer@tfh-wildau.de

Prof. Dr. Marcus Frohme (korrespondierender Autor)

TH Wildau [FH]

Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik

Tel. +49 3375 508-249

marcus.frohme@tfh-wildau.de

Halbleiternanopartikel-modifizierte Elektrode zum Nachweis von Substraten von NADH-abhängigen Enzymreaktionen

Kirsten Schubert, Waqas Khalid, Zhao Yue, Wolfgang J. Parak, Fred Lisdat

Zusammenfassung

Es wurde ein Elektrodensystem entwickelt, das aufbauend auf Halbleiternanopartikeln (so genannte Quantenpunkte) die sensitive Detektion des Enzymkofaktors NADH (nicotinamide adenine dinucleotide) erlaubt. Kolloidale halbleitende CdSe/ZnS-Nanokristalle sind durch ein Dithiol über Chemisorption an Gold gebunden. Das Stromsignal kann durch die Beleuchtung der Quantenpunktmodifizierten Oberfläche beeinflusst werden. Durch Photoanregung entstehen Elektron-Loch-Paare in den Nanopartikeln, die als anodischer oder kathodischer Photostrom detektiert werden können. Die Immobilisierung der Nanokristalle ist durch amperometrische Photostrom- und Quarzmikrowaage-Messungen (quartz crystal microbalance) verifiziert.

Diese Studie zeigt, dass CdSe/ZnS-Quantenpunkt-modifizierte Elektroden eine konzentrationsabhängige NADH-Detektion im Bereich von 20 μ M bis 2 mM bei relativ niedrigem Potential (um 0 V vs Ag/AgCl, 1 M KCl) ermöglichen. Somit können solche Elektroden in Kombination mit NADH-produzierenden Reaktionen für die lichtgesteuerte Analyse der entsprechenden Substrate des Biokatalysators genutzt werden. Es wird gezeigt, dass mit einem solchen Elektrodensystem und Photostrommessungen ein Glukosenachweis möglich ist.

Abstract

An electrode system based on semiconductive nanoparticles (so called quantum dots) was developed which allows the sensitive detection of the enzyme cofactor NADH (nicotinamide adenine dinucleotide). Colloidal semiconductive CdSe/ZnS nanocrystals are bound to gold via a dithiol compound by chemisorption. The current signal can be influenced by illumination of the quantum dot-modified electrode surface. Because of photoexcitation electron-hole-pairs are generated in the nanoparticles which can be detected as anodic or cathodic photocurrent. The immobilisation of the nanocrystals is verified by photocurrent and quartz crystal microbalance (QCM) measurements.

This study shows that CdSe/ZnS-quantum dot-modified electrodes provide a concentration-dependent detection of NADH in the range of 20 μ M up to 2 mM at relatively low overpotentials (around 0 V vs Ag/AgCl, 1 M KCl). Such electrodes can be used in combination with NADH-producing reactions for the light-triggered analysis of the corresponding substrate of the biocatalyst. The detection of glucose with such an electrode system and photocurrent measurements is shown.

1 Einleitung

Die Nanostrukturierung von Oberflächen ist schon seit einigen Jahren ein intensiv untersuchtes Wissenschaftsfeld. Nanostrukturierte Bausteine können verbesserte Eigenschaften wie erhöhte katalytische Aktivität oder Sensitivität aufweisen. (Katz et al. 2004; Wang 2005) Kleine und definierte Strukturen können durch verschiedene Ansätze erreicht werden, z. B. durch molekulare Selbstorganisation, dünne Polymerschichten und/oder Nanopartikel. (Lisdat et al. 2009; Willner et al. 2007; Xiao et al. 2008)

Wegen ihrer Größe besitzen Nanopartikel andere physikalische Eigenschaften im Vergleich zu ihren Volumenmaterialien. Daher kommen sie zunehmend in analytischen Detektionssystemen und Sensoren zur Anwendung. (Katz et al. 2004; Wang 2005; Willner et al. 2007; Lin et al. 2007; Gill et al. 2008) Neben metallischen Nanopartikeln und Kohlenstoffnanoröhren haben auch halbleitende Nanopartikel erhebliches Interesse erweckt. Aufgrund ihrer einzigartigen photophysikalischen Eigenschaften sind solche Quantenpunkte als optische Marker in der Biosensorik geeignet.

Sie besitzen hohe Fluoreszenz-Quantenausbeute, größenabhängige Lumineszenzeigenschaften und eine erheblich größere Stabilität gegen Photobleichung im Vergleich zu organischen Fluorophoren. (Chan et al. 2002; Brus 1991) Verschiedene Synthesewege und chemische Oberflächenmodifizierungen mit unterschiedlichen Liganden ermöglichen die effektive Kopplung von Quantenpunkten mit Biomolekülen und Oberflächen und zur Entwicklung von Hybridsystemen. (Gill et al. 2008; Chan et al. 2002; Pellegrino et al. 2005) Diese Merkmale und die ähnlichen Ausmaße von halbleitenden Nanokristallen im Vergleich zu Biomolekülen haben zur Anwendung als photonische Marker in bioanalytischen Systemen geführt. Somit wurden Quantenpunkte schon in vielfältigen biologischen Erkennungssystemen (Klostranec et al. 2006) verwendet, wie z. B. Immunoassays (Goldman et al. 2004) oder die Detektion von Nukleinsäuren. (Gerion et al. 2003)

Halbleitende Nanokristalle haben außerdem einzigartige elektronische Eigenschaften. Photogenerierte Exzitonen können mit Elektrodenoberflächen elektrisch kommunizieren, was zu einem anodischen oder kathodischen Photostrom führt. Angeregte Leitungsband-Elektronen der Quantenpunkte können zur Elektrode oder einem Elektronenakzeptor in Lösung transportiert werden. Elektronen können ebenso von einer Elektrode oder einem gelösten Elektronendonator zu Valenzbandlöchern in Quantenpunkten transferiert werden. Daher kann eine Quantenpunktschicht zwischen der Elektrode und einem Redoxsystem für eine lichtgesteuerte Auslese der Elektronentransferreaktionen mit der Elektrode genutzt werden. Bis jetzt wurden nur wenige solcher Systeme entwickelt und untersucht. Ein Beispiel sind Quantenpunkt-DNA-Hybridsysteme für die DNA-Detektion und die Konstruktion von organisierten Nanostrukturen. (Katz et al. 2004; Willner et al. 2001; Freeman et al. 2007) Die Interaktion von immobilisierten halbleitenden Nanokristallen mit Proteinen wurde ebenfalls schon in einigen elektrochemischen Studien gezeigt. Die elektrochemische Reaktion von oberflächenfixierten Quantenpunkten mit redoxaktiven Proteinen wie Cytochrom *c* kann den Photostrom beeinflussen, wie in einer unserer vorherigen Arbeiten gezeigt wurde. (Stoll et al. 2006) Zusätzlich wird dieser Photostrom durch die Interaktion von Cytochrom *c* mit Superoxidradikalen (Stoll et al. 2008) oder auch Laktatdehydrogenase und Nitratdehydrogenase in Lösung (Katz et al. 2006) kontrolliert. Eine enzymatische Reaktion kann auch durch die Detektion des katalytischen

Produktes an der nanopartikelmodifizierten Elektrode beobachtet werden. (Pardo-Yissar et al. 2003)

Die Beteiligung von NADH bei Reaktionen von über 300 Dehydrogenasen macht es zu einem interessanten Kandidaten für die amperometrische Verfolgung dieser Reaktionen. (Katakis et al. 1997) Seine elektrochemische Detektion kann als Grundlage für die Entwicklung von elektrochemischen Biosensoren genutzt werden. Das Redoxpotential von NADH/NAD⁺ liegt bei -0.32 V vs SHE. Für die elektrochemische Oxidation von NADH an unbehandelten Elektroden ist eine Überspannung von mehr als 1 V notwendig. (Gorton 1986) In diesem Potentialbereich sind aber auch viele andere redoxaktive Substanzen oxidierbar. Ein weiteres großes Problem ist die Vergiftung der Elektrodenoberfläche während des Oxidationsprozesses von NADH aufgrund der Bildung von Dimeren oder stabiler Addukte mit den Reaktionsintermediaten. (Jaegfeldt 1981) Um diesen Problemen zu begegnen, wurden verschiedene Methoden zur Vorbehandlung der Elektrodenoberfläche entwickelt. (Blaedel et al. 1975; Lau et al. 2005; Nagy et al. 1995; Munteanu et al. 2002) Eine viel versprechende Variante ist die Modifikation der Oberfläche mit niedermolekularen Mediatoren wie mono- oder polyaromatische Verbindungen. (Katakis et al. 1997; Persson et al. 1990; Prodromidis et al. 2002; Fukuzumi et al. 1984) In neueren Studien wurde die Verwendung von Nanopartikeln als Elektrokatalysator für die Oxidation von NADH demonstriert. (Raj et al. 2005)

In dieser Arbeit wollen wir die Anwendungsmöglichkeit von Quantenpunkten für den NADH-Nachweis zeigen – basierend auf der Immobilisierung von CdSe/ZnS-Nanokristallen auf Goldelektroden. Die Quantenpunkte bilden auf der Elektrode eine photoschaltbare Zwischenschicht, die die räumliche Auslese der Sensoroberfläche ermöglicht. Das bietet weiterhin die Basis für die Kombination der CdSe/ZnS-Elektrode mit NADH-produzierenden Enzymreaktionen für die lichtgesteuerte Detektion der entsprechenden Enzymsubstrate. Es wird gezeigt, dass mit solch einem Elektrodensystem eine Glukosedetektion durch Photostrommessungen möglich ist.

Experimenteller Teil

Materialien

1,4-Benzendithiol (BDT) wurde von Alfa Aesar (Karlsruhe, Dtl.) bezogen. Chloroform, Toluol, Methanol, alle Puffersalze, Pyrroloquinolinquinon (PQQ), *N*-Ethyl-

N'-(3dimethylaminopropyl)carbodiimidhydrochlorid (EDC) und Glukosedehydrogenase (EC 1.1.1.47, GDH) aus *Pseudomonas sp.* wurden bei Sigma-Aldrich (Taufkirchen, Dtl.) gekauft und ohne weitere Reinigung verwendet. Alle wässrigen Lösungen wurden mit destilliertem Wasser hergestellt (18 M Ω , Millipore GmbH, Dtl.).

Die CdSe/ZnS-Nanopartikel wurden gemäß einer zuvor schon beschriebener Prozedur synthetisiert. (Reiss et al. 2002; Dabbousi et al. 1997) Nach der Synthese wurden die Quantenpunkte mit Trioctylphosphinoxid (TOPO) belegt und in Chloroform gelöst. Gemäß der Tabelle von Yu et al. haben sphärische TOPO-beschichtete CdSe (und damit in Annäherung auch BDT-beschichtete CdSe/ZnS) mit einem Absorptionsmaximum bei 518 nm einen Extinktionskoeffizienten von 70000 M⁻¹ cm⁻¹ und einen Durchmesser (inorganischer CdSe/ZnS-Teil) von 2,5 nm. (Yu et al. 2003)

Elektrodenpräparation

Zur Reinigung wurden die Au-Elektroden (BASi, UK) mit Al₂O₃-Pulver mit abnehmender Korngröße (1 μ m, 0,05 μ m) jeweils 4 min poliert. Danach wurden sie voltammetrisch in 1 M NaOH (-800 mV to +200 mV vs Ag/AgCl, 1 M KCl, Scanrate 300 mV s⁻¹) und in 0,5 M H₂SO₄ (-250 mV to +1,75 V vs Ag/AgCl, 1 M KCl, Scanrate 300 mV s⁻¹) gereinigt. Zwischendurch wurden die Elektroden mit destilliertem Wasser abgespült und nach dem letzten Reinigungsschritt zusätzlich mit Ethanol.

Wenn nicht anders angegeben, wurden die Quantenpunkte zuerst mit einem Dithiol modifiziert und danach auf einer Goldelektrode immobilisiert (Au-[QD-BDT]). Für den Ligandenaustausch wurden 5 μ M CdSe/ZnS-Nanokristalle mit 100 mM 1,4-Benzendithiol in Chloroform bei 40 °C und Schütteln für 3 Stunden inkubiert. Nach Zugabe von Methanol mit einem Volumenverhältnis von 1:1 wurde die Lösung bei 1000 U/min für 9 min abzentrifugiert. Die Nanokristalle wurden in Toluol resuspendiert.

Frisch gereinigte Goldelektroden wurden mit Benzendithiol-beschichteten CdSe/ZnS-Nanokristallen bei Raumtemperatur für 24 Stunden inkubiert. Die Quantenpunktlösung wurde in einem Eppendorfgefäß auf der Elektrode platziert. Die Elektroden wurden während der Inkubation geschüttelt. Nach der Inkubation wurden die Goldelektroden mit Toluol abgespült, um schwach gebundene Nanokristalle zu entfernen.

Für die Immobilisierung von TOPO-beschichteten CdSe/ZnS-Nanokristallen wurden die Goldelektroden zuerst mit Benzendithiol in Chloroform bei 40 °C für 3

Stunden inkubiert und mit Chloroform danach abgespült. Dann wurden die BDT-modifizierten Goldelektroden mit TOPO-beschichteten CdSe/ZnS-Nanokristalllösung in Chloroform bei Raumtemperatur für 24 Stunden inkubiert. Die Nanokristalllösung wurde auf der Elektrode platziert. Die Elektroden wurden während der Inkubation ebenfalls geschüttelt. Nach der Inkubation wurden die Goldelektroden mit Chloroform abgespült, um schwach gebundene Nanokristalle zu entfernen.

QCM-Chips (ICM, USA) mit einer Resonanzfrequenz von 10 MHz (Durchmesser 5,1 mm) wurden mit Piranhalösung (H₂O₂: H₂SO₄ 1:2 v/v) für 10 min gereinigt und mit destilliertem Wasser und Ethanol abgespült. Für die Modifizierung der QCM-Chips wurde die gleiche Prozedur verwendet wie für die Goldelektroden beschrieben. Die Inkubationsschritte wurde in einer Batchzelle durchgeführt.

Für die Modifikation des Elektrodensystems (Au-[QD-BDT]) mit dem Mediator Pyrroloquinolinquinon (PQQ) wurde der Mediator an die BDT-modifizierten Quantenpunkte gekoppelt. Dafür wurden die Quantenpunkt-modifizierten Goldelektroden (Au-[QD-BDT]) mit 2,85 mM PQQ / 10 mM EDC in 10 mM HEPES (N-[2-Hydroxyethyl]piperazin-N'-[2-ethansulfonsäure]), pH 7 für 1,5 Stunden bei Raumtemperatur inkubiert. Danach wurden die Elektroden mit 100mM HEPES gewaschen.

Messungen

Größe und Konzentration der Quantenpunkte wurde mit Hilfe eines UV-vis-Spektrometers (Beckman Coulter, Dtl.) gemäß einer Kalibrationstabelle bestimmt. (Yu et al. 2003) Der Extinktionskoeffizient je Mol der Nanokristalle beim ersten exzitonischen Absorptionspeak für hochreine CdTe-, CdSe- und CdS-Nanokristalle ist stark abhängig von der Größe der Nanokristalle (quadratische bis kubische Abhängigkeit). (Yu et al. 2003) Für die Messungen wurden Nanokristalle verwendet, die entweder durch überwachte Verfahren gereinigt oder durch kontrollierte Ätzmethoden präpariert wurden. Die Art der Oberflächenliganden, der Refraktionsindex des Lösungsmittels, die Photolumineszenz-Quantenausbeute der Nanokristalle, die für die Synthese verwendete Methode und die Temperatur bei den Messungen haben alle keinen detektierbaren Einfluss auf den Extinktionskoeffizient für eine bestimmte Nanokristallgröße innerhalb des experimentellen Fehlers.

QCM-Experimente wurden mit einem Multilab 3900 (J. Kitlička, Tscheschische Republik) unter trockenen Bedingungen durchgeführt.

Elektrochemische Experimente wurden mit einem Potentiostaten CHI 1205 (CH Instruments, USA) in einer selbstgebauten elektrochemischen Messzelle mit einer 3-Elektrodenanordnung durchgeführt. Eine Ag/AgCl-Elektrode (1M KCl, Microelectrodes Inc., USA) wurde als Referenzelektrode verwendet, ein Platindraht als Gegenelektrode. Das Volumen der Messzelle beträgt 2 ml. Gegenüber der Arbeitselektrode ist ein Lichtwellenleiter fixiert, der die Beleuchtung der ganzen Arbeitselektrode in einem definierten Abstand (1 cm) ermöglicht. Eine 150 W Xe-Bogenlampe von LOT Oriel (Darmstadt, Dtl.) wurde als Lichtquelle verwendet. Lichtpulse wurden manuell durch das Öffnen und Schließen einer Apertur erzeugt.

Für die elektrochemischen Messungen wurden Stammlösungen mit 200 mM NADH, 200 mM NAD⁺ und 50 U der Glukosedehydrogenase in 100 mM HEPES-Puffer (pH 8) frisch prepariert. Eine Stammlösung mit 200 mM Glukose in 100 mM HEPES (pH 8) wurde einen Tag vor den Messungen präpariert und bei 5 °C gelagert, um ein Gleichgewicht der Mutarotation einzustellen. Kleine Mengen der Stammlösung wurden in die Messlösung injiziert, um die entsprechende Endkonzentration zu erhalten. Die Messungen wurden in 100 mM HEPES (pH8) unter Rühren durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Immobilisierung der Quantenpunkte

Für die Immobilisierung der CdSe/ZnS-Nanokristalle wurden deren organische Liganden aus der Synthese gegen 1,4-Benzendithiol (BDT) ausgetauscht. Die Verwendung eines kleinen Dithiols bietet zum einen die Möglichkeit, in einem ersten Schritt den ursprünglichen Liganden – Trioctylphosphinoxid (TOPO) – auszutauschen, zum anderen aber auch im zweiten Schritt die Bindung der Nanokristalle auf der Goldoberfläche der Elektrode über Chemisorption sicherzustellen (Au-[QD-BDT]). Das Prinzipschema der Immobilisierung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Der Nachweis für die erfolgreiche Abscheidung der Quantenpunkte auf der Elektrode erfolgt im einfachsten Fall durch eine Photostrommessung, wie in Abbildung 1 (II) gezeigt. Die Intensität und Richtung dieses Photostroms hängen vom angelegten Potential ab und sind ähnlich zu einem Quantenpunkt-Elektrodensystem, das schon für die Interaktion mit Cytochrom *c* beschrieben wurde. (Stoll et al. 2008) Die Richtung des

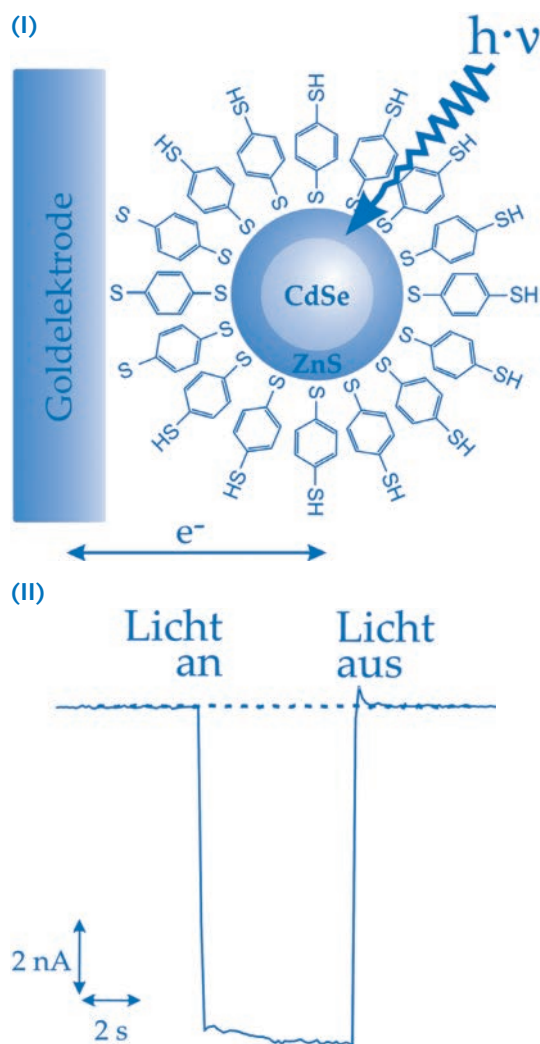


Abb. 1: (I) Prinzip der Immobilisierung der CdSe/ZnS-Quantenpunkte auf Gold über den Liganden 1,4-Benzendithiol (Au-[QD-BDT]); (II) Änderung der Stromantwort durch Beleuchtung der Elektrodenoberfläche, (---) unmodifizierte Goldelektrode, (—) Quantenpunkt-modifizierte Goldelektrode

Photostroms wechselt in Abhängigkeit des verwendeten Puffers und des pH-Wertes bei einem Potential zwischen +100 und +300 mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl).

Um nachzuweisen, dass der Photostrom auf die Eigenschaften der Quantenpunkte zurückzuführen ist, wurde die Abhängigkeit des Stromes von der Wellenlänge des Lichtes untersucht. (Stoll et al. 2008) Der Photostrom der Quantenpunkt-modifizierten Elektrode folgt mit einem Peakstrom zwischen 520 und 540 nm eindeutig dem Absorptionsspektrum der CdSe/ZnS-Partikel. Somit ist der gemessene Strom ein Resultat der Elektron-Loch-Paar-Generierung innerhalb der CdSe/ZnS-Nanopartikel.

Es muss erwähnt werden, dass an einer blanken Goldelektrode kein Photostrom messbar ist. Jedoch wird nach der Quantenpunkt-Immobilisierung bei einem

angelegten Potential von +50 mV vs Ag/AgCl, 1 M KCl ein negativer Photostrom in der Größenordnung von 8 nA beobachtet.

Die Stabilität des Photostroms wurde bei dem gleichen Potential getestet. Während der ersten Lichtpulse steigt der Photostrom an (siehe Abbildung 2) und bleibt danach fast stabil. Sogar nach 1 Stunde durchgehender Beleuchtung der Elektrodenoberfläche kann nur ein Abfall von etwa 10% festgestellt werden. Hier muss erwähnt werden, dass für die lichtgesteuerte Auslese eine Elektrodenbeleuchtung von 5 – 10 s ausreichend ist. Die beschriebene Immobilisierungsstrategie bietet somit in der getesteten Zeitperiode eine stabile photoschaltbare Schicht.

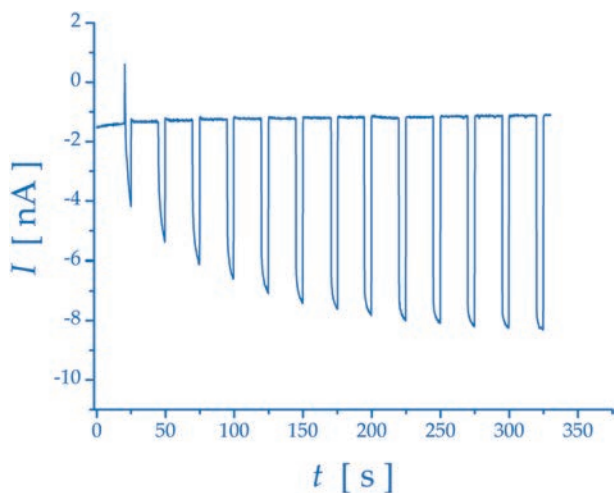


Abb. 2: Entwicklung der Photostromantwort von Au-[QD-BDT] für wiederholte Lichtpulse in 100 mM HEPES (N-[2-Hydroxyethyl]piperazin-N'-[2-ethansulfonsäure]) pH8 bei +50 mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl)

Die Immobilisierung der Quantenpunkte wurde unabhängig durch QCM-Messungen (quartz crystal microbalance) verifiziert. Dafür wurden CdSe/ZnS-Nanokristalle auf dem Goldfilm des Quarzkristalls ($f_0 = 10$

MHz) aufgebracht. Die Frequenzverschiebung beträgt etwa -225 Hz mit einer Standardabweichung von 15 % ($n = 6$) für die Immobilisierung der Quantenpunkte auf diesen Chips. Wenn wir eine ähnliche Situation für die Goldelektroden wie für QCM-Chips annehmen, lässt sich näherungsweise eine Oberflächenkonzentration der Quantenpunkte bestimmen. Das Molekulargewicht der CdSe/ZnS-Nanokristalle ist jedoch leider nicht genau bekannt, vor allem in Hinsicht darauf, dass die exakte Menge und Zusammensetzung der Oberflächenliganden noch nicht bestimmt wurde. Daher variieren die Werte zwischen verschiedenen Studien erheblich. (Komoto et al. 2006; Striolo et al. 2002) Wenn für die CdSe/ZnS-Nanokristalle von einer Kugel mit 2,5 nm Durchmesser (ohne Ligand) und einer BDT-Schicht mit 10 – 20 Molekülen/nm² ausgegangen wird, kann anhand der Dichte von CdSe das Molekulargewicht mit etwa 50 000 bis 80 000 g mol⁻¹ abgeschätzt werden. Mit einer Massenänderung von 4,4 ng Hz⁻¹ cm² bei der QCM-Messung kann eine Oberflächenkonzentration im Bereich von 10 bis 20 pmol cm⁻² und damit eine Bedeckung der Elektrode mit etwa einer Monolage bestimmt werden.

Elektrokatalytische Oxidation von NADH

In Anwesenheit von NADH kann eine deutliche Änderung des Photostroms beobachtet werden. Die NADH-Detektion ist in einem relativ weiten Potentialfenster möglich. Für ein Elektrodenpotential, bei dem unter Beleuchtung kein Photostrom detektiert werden kann, erscheint nach Zugabe von NADH in die Messlösung ein anodischer Photostrom. Bei einem positiveren Potential erhöht sich der anodische Photostrom deutlich nach Zugabe von NADH (siehe Abbildung 3 (I)). Elektronen werden offensichtlich vom NADH zur angeregten Quantenpunktschicht unter Beleuchtung transportiert.

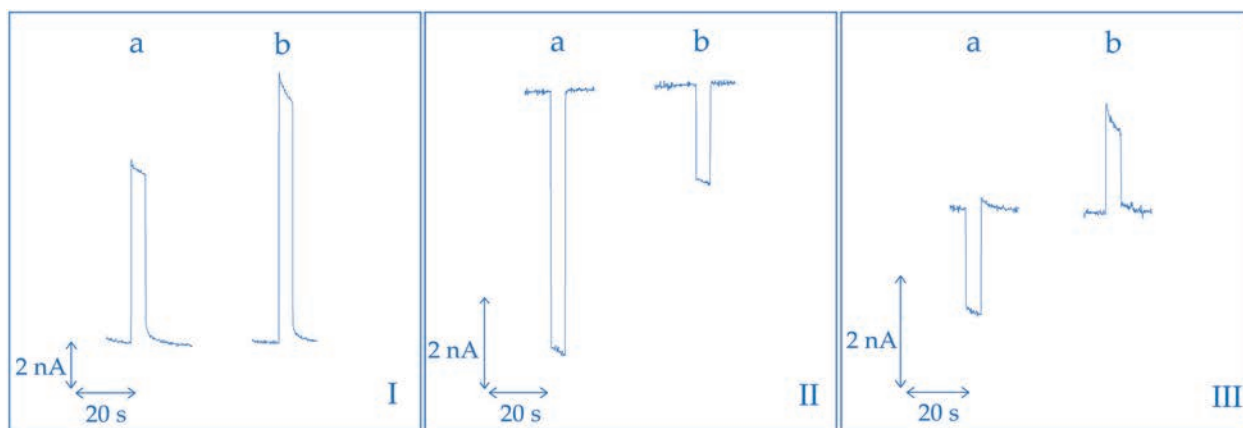


Abb. 3: Änderung des Photostroms für Au-[QD-BDT] durch Zugabe von NADH (a: ohne, b: mit 200 µM NADH), 100 mM HEPES pH8; angelegte Potentiale waren bei (I) +300 mV, (II) +100 mV, (III) +210 mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl)

Bei Potentialen bei denen ein kathodischer Photostrom generiert wird (vor allem unterhalb +100mV vs Ag/AgCl, 1 M KCl), verringert sich dieser Strom in Anwesenheit von NADH (siehe Abbildung 3 (II)). Das deutet daraufhin, dass Elektronen, die von der Elektrode zu den Nanokristallen übertragen werden, mit Elektronen vom NADH konkurrieren. Letztlich kann sogar bei einem entsprechenden Potential ein kathodischer Photostrom in einen anodischen übergehen, wie in Abbildung 3 (III) gezeigt.

In allen Fällen kann die Anwesenheit von NADH in der Lösung durch eine Änderung des Photostroms nachgewiesen werden. Im Bereich von -100 mV bis +200 mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl) kann nur eine schwache Abhängigkeit der Photostromänderung vom angelegten Potential festgestellt werden (siehe Abbildung 4). Bei negativeren Potentialen wird ein Ansteigen des kathodischen Photostroms beobachtet. Aufgrund der Konkurrenz des Elektronentransfers zwischen Elektrode bzw. NADH und der beleuchteten Nanokristallschicht wird die kinetische Situation komplizierter und deshalb anhand der vorliegenden Daten nicht weiter diskutiert.

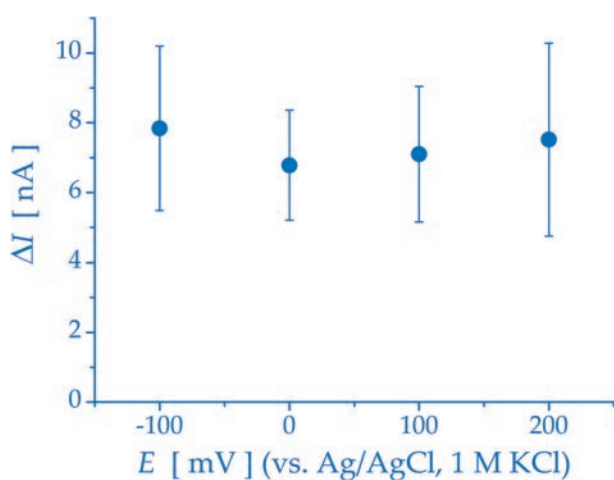


Abb. 4: Abhängigkeit der Photostromänderung vom angelegten Potential nach Zugabe von NADH (200 μ M); 100 mM HEPES pH 8 (Mittelwert von 6 Elektroden, Au-[QD-BDT])

Für positivere Potentiale wird ebenfalls ein steigender Photostrom beobachtet. Da es jedoch Ziel bei der NADH-Oxidation ist, das Elektrodenpotential so niedrig wie möglich zu wählen und den elektrochemischen Stress für die Quantenpunkte zu minimieren, wurde die NADH-Detektion bei höheren Potentialen nicht weiter untersucht.

Im Potentialbereich von -100 mV bis +200 mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl) verursacht die NADH-Oxidation eine Photostromänderung, die in der gleichen Größen-

ordnung liegt wie der Photostrom, der in Abwesenheit von NADH entsteht. Die nur schwache Abhängigkeit der Photostromänderung vom angelegten Potential an der Elektrode zeigt, dass die NADH-Oxidation nicht einfach über dieses Potential verbessert werden kann. Die NADH-Oxidation wird offensichtlich vorwiegend durch die katalytischen Eigenschaften der Nanopartikel verursacht.

Es muss ebenfalls erwähnt werden, dass die Nanopartikel-modifizierte Elektrode nicht für die Detektion von H_2O_2 – einem anderen potentiellen Produkt von Oxidoreduktase-Reaktionen – verwendet werden kann. Die Nanopartikel bieten keine geeignete Oberfläche für die Oxidation dieses enzymatischen Nebenproduktes.

Da die Änderung des Photostroms auf die elektrochemische Reaktion von NADH an der Quantenpunkt-modifizierten Elektrode zurückzuführen ist, kann ein solches Nanopartikel-basiertes System effektiv für die Detektion von NADH eingesetzt werden und bietet damit das Fundament für die Konstruktion eines Sensorsystems. Im Folgenden wurden alle Messungen bei +50mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl) durchgeführt, um große Hintergrundsignale in Abwesenheit des Analyten zu vermeiden.

Sensitivität für NADH kann in einem Bereich von 20 μ M bis 2 mM erreicht werden, wie in Abbildung 5 (II) zu sehen. Die Konzentrationsabhängigkeit zeigt dabei ein Sättigungsverhalten. Damit verhält es sich ähnlich wie die Photostromänderungen an Mercaptopropionsäure-modifizierten CdSe/ZnS-Quantenpunkt-Elektroden in Anwesenheit von Cytochrom c. (Stoll et al. 2008)

Kontrollexperimente bestätigen, dass der Nanopartikelkolligand Benzendithiol nicht als Mediator am Elektronentransferprozess von NADH zu den CdSe/ZnS-Quantenpunkten beteiligt zu sein scheint. Goldelektroden, die nur mit Benzendithiol beschichtet wurden, zeigen nur einen sehr schwachen Photostrom (weniger als -1 nA bei +50 mV vs Ag/AgCl, 1 M KCl) und keine nennenswerte Änderung in Anwesenheit von 1 mM NADH.

Um den Einfluss der Nanopartikeloberflächen-Modifizierung zu untersuchen, sind etwas andere Elektroden präpariert worden, wie in Abbildung 5 (I) gezeigt. Goldelektroden werden zuerst mit Benzendithiol modifiziert und im zweiten Schritt mit CdSe/ZnS-Nanokristallen beschichtet (Au-BDT-[QD/TOPO]). Das heißt, der ursprüngliche Ligand der Quantenpunkte – Trioctylphosphinoxid (TOPO) – ist immer noch auf der Oberfläche der Nanopartikel und in Kontakt mit der Lösung. Solch ein Elektrodenystem zeigt ein ähnliches Verhalten der

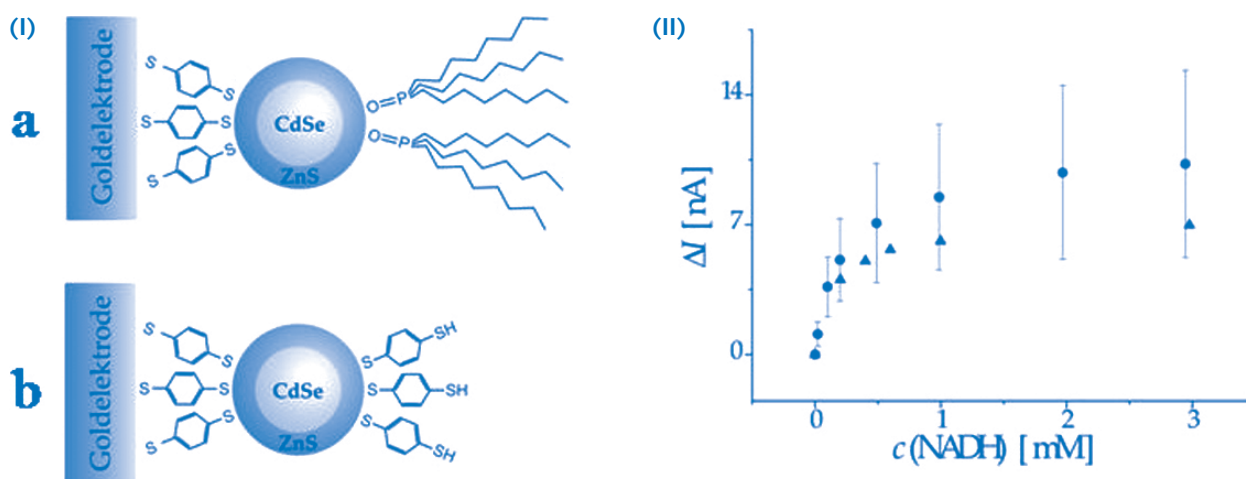


Abb. 5: (I) Schema von zwei verschiedenen Elektrodensystemen (a) Au-BDT-[QD/TOPO], (b) Au-[QD-BDT]; (II) Photostromänderung für zwei verschiedene Elektrodensysteme nach Zugabe von NADH; (●) für (a), (▲) für (b), in 100 mM HEPES pH8 bei +50 mV vs Ag/AgCl, 1 M KCl (Mittelwert von 3 Elektroden)

Photostromänderung in Anwesenheit von NADH im Vergleich zu Elektroden mit Nanopartikeln, deren Liganden zuerst gegen Benzendithiol ausgetauscht wurden (AU-[QD-BDT]), wie in Abbildung 5 (II) zu sehen.

Das deutet auf einen direkten Elektronentransfer von NADH auf die CdSe/ZnS-Nanopartikel hin. Es kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass die Elektronentransferreaktion durch BDT wegen seiner aromatischen Struktur unterstützt wird (vor allem unter Beleuchtung).

Es wurde ebenfalls untersucht, ob die NADH-Detektion durch einen bekannten Mediator für die NADH-Elektrochemie – Pyrroloquinolinquinon (PQQ) – verbessert werden kann. (Katz et al. 1994) Dazu wurden die Quantenpunkte zusätzlich nach der Immobilisierung auf der Goldelektrode mit PQQ modifiziert. Jedoch kann keine

nennenswerte Verstärkung der Photostromänderung im Vergleich zu PQQ-freien Au-CdSe/ZnS-Elektroden festgestellt werden. Somit führt die Verwendung dieses oberflächengebundenen Mediators zu keinem Fortschritt und ist nicht notwendig für die elektrokatalytische Detektion von NADH.

Kombination mit einer Dehydrogenasereaktion

NADH ist als Kofaktor in viele Dehydrogenase-katalysierte Reaktionen involviert. Die Konzentration von NADH kann wie zuvor beschrieben durch Photostrommessungen bestimmt werden. Somit kann das Quantenpunkt-Elektrodensystem zur Verfolgung solcher katalytischen Reaktionen verwendet werden. Die Menge an NADH, die in einer enzymatischen Katalyse produziert wird, hängt direkt von der Konzentration des Substrates ab.

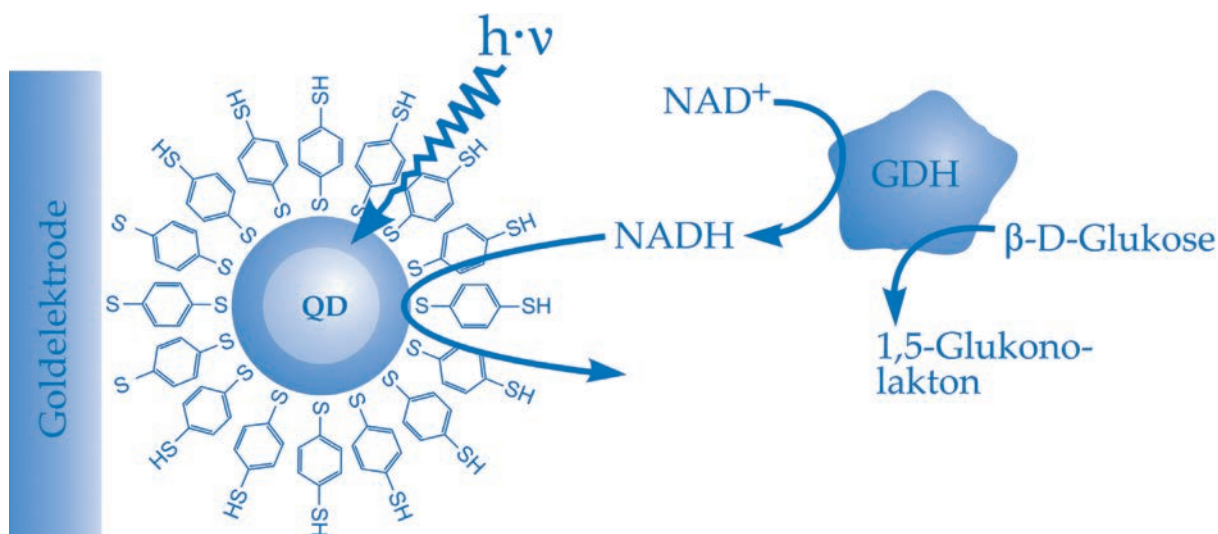


Abb. 6: Schema der Glukose-Detektion an einer Quantenpunkt-modifizierten Goldelektrode über die katalytische Produktion von NADH durch das Enzym Glukosedehydrogenase (GDH) in Lösung

Um die Realisierbarkeit dieses Konzepts zu demonstrieren, wurde Glukosedehydrogenase als Biokatalysator gewählt. Diese Dehydrogenase katalysiert die Reaktion von β -D-Glukose zu D-Gluconolacton, während der Kofaktor NAD^+ zu NADH reduziert wird. Dieses Prinzip ist in Abbildung 6 dargestellt.

Photostrommessungen mit Quantenpunkt-modifizierten Elektroden vor und nach Zugabe von Glukose ohne Enzym zeigen keine Änderung des Signals im getesteten Potentialbereich von -100 mV bis $+200$ mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl), exemplarisch in Abbildung 7 dargestellt.

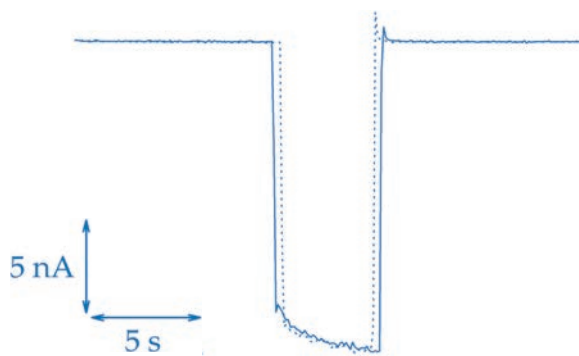


Abb. 7: Photostromantwort einer Quantenpunkt-modifizierten Elektrode ohne das Enzym GDH; (---) ohne und (—) in Anwesenheit von $500 \mu\text{M}$ Glukose in 100 mM HEPES pH8 bei $+50$ mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl)

Das zeigt, dass Glukose nicht direkt an Quantenpunkt-modifizierten Goldelektroden oxidiert wird. Jedoch kann in Anwesenheit des Enzyms Glukosedehydrogenase und seines Kofaktors NAD^+ eine konzentrationsabhängige Änderung des Photostroms mit dem hier entwickelten Nanopartikel-basierten System detektiert werden, wie in Abbildung 8 gezeigt. Das Glu-

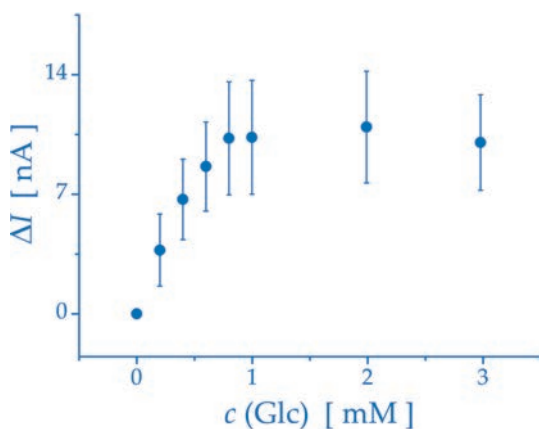


Abb. 8: Änderung des Photostroms einer Quantenpunkt-modifizierten Elektrode (Au-[QBDT]) nach Zugabe von Glukose in Anwesenheit von 50 U Glukosedehydrogenase und 1 mM NAD^+ in 100 mM HEPES pH8 bei $+50$ mV (vs Ag/AgCl, 1 M KCl), Mittelwert von 4 Elektroden

kesignal wird über den Elektronentransfer über das Enzym zu NADH konvertiert, und NADH wird schließlich durch den Elektronentransfer zu den beleuchteten Quantenpunkten detektiert. Der Konzentrationsbereich für die Glukose-Detektion ist ähnlich dem der NADH -Detektion. Die Sensitivität für Glukose wird bis etwa 1 mM beobachtet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die Kombination eines spezifischen Biokatalysators und einer Quantenpunkt-modifizierten Elektrode eine bioanalytische Signalkette konstruiert werden kann, die durch Beleuchtung der Sensoroberfläche ein- und ausschaltbar ist.

Fazit

Es wurde eine nanostrukturierte Elektrode auf der Basis von CdSe/ZnS-Quantenpunkten für die sensitive Messung des Enzym-Kofaktors NADH entwickelt. Zum ersten Mal kann die lichtgesteuerte Auslese von NADH -Konzentrationen in Lösung mit diesem System gezeigt werden.

Die Immobilisierung der halbleitenden Nanopartikel über ein Dithiol auf Goldelektroden kann durch die Aufnahme von Photoströmen nachgewiesen werden. Durch Photoanregung werden Elektron-Loch-Paare in den halbleitenden Nanokristallen gebildet, was bei Polarisierung der Elektrode zu einem Ladungstransfer führt. In Abhängigkeit des angelegten Potentials können anodische oder kathodische Photoströme detektiert werden. Die Nanokristallabscheidung kann ebenfalls durch QCM-Messungen (quartz crystal microbalance) verifiziert werden. Die Frequenzänderung deutet auf eine Bedeckung der Elektrodenoberfläche mit etwa einer Monolage der CdSe/ZnS-Nanopartikel hin.

In Anwesenheit von NADH wird eine Änderung des Photostroms beobachtet, abhängig von der NADH -Konzentration. Die Detektion ist in einem Bereich von $20 \mu\text{M}$ bis 2 mM möglich. Es muss ebenfalls hervorgehoben werden, dass für die NADH -Oxidation nur ein relativ geringes Elektrodenpotential mit diesem Nanopartikel-basierten System angelegt werden muss.

Es wurde ebenfalls gezeigt, dass CdSe/ZnS-Nanokristall-modifizierte Goldelektroden für die lichtgesteuerte Analyse von Substraten verwendet werden können, die in NADH -produzierenden Enzymreaktionen verbraucht werden. Dies konnte für die Detektion von Glukose mit Hilfe von Glukosedehydrogenase als Beispiel demonstriert werden.

Danksagung

Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt (Projekt Li 706/2-1, PA 794/3-1). Weiterer Dank gilt Herrn Schäfer (TH Wildau [FH]) für die Bearbeitung der Abbildungen.

Literatur

- Blaedel, W. J.; Jenkins, R. A. (1975): Electrochemical oxidation of reduced nicotinamide adenine dinucleotide. *Analytical Chemistry*, 47, 1337-1343.
- Brus, L. (1991): Quantum Crystallites and Nonlinear Optics. *Applied Physics A: Materials Sciences & Processing*, 53, 465-474.
- Chan, W. C. W.; Maxwell, D. J.; Gao, X. H.; Bailey, R. E.; Han, M. Y.; Nie, S. M. (2002): Luminescent quantum dots for multiplexed biological detection and imaging. *Current Opinion Biotechnology*, 13, 40-46.
- Dabbousi, B. O.; Rodriguez Viejo, J.; Mikulec, F. V.; Heine, J. R.; Mattoussi, H.; Ober, R.; Jensen, K. F.; Bawendi, M. G. (1997): (CdSe)ZnS Core-Shell Quantum Dots: Synthesis and Characterization of a Size Series of Highly Luminescent Nanocrystallites. *Journal of Physical Chemistry B*, 101, 9463-9475.
- Freeman, R.; Gill, R.; Beissenhirtz, M.; Willner, I. (2007): Self-assembly of semiconductor quantumdots on electrodes for photoelectrochemical biosensing. *Photochemistry & Photobiology Sciences*, 6, 416-422.
- Fukuzumi, S.; Nishizawa, N.; Tanaka, T. (1984): Mechanism of Hydride Transfer from an NADH Model Compound to p-Benzoquinone Derivatives. *The Journal of Organic Chemistry*, 49, 3571-3578.
- Gerion, D.; Chen, F. Q.; Kannan, B.; Fu, A. H.; Parak, W. J.; Chen, D. J.; Majumdar, A.; Alivisatos, A. P.: Room-Temperature Single-Nucleotide Polymorphism and Multiallele DNA Detection Using Fluorescent Nanocrystals and Microarrays. *Analytical Chemistry*, 75, 4766-4772.
- Gill, R.; Zayats, M.; Willner, I. (2008): Halbleiterquantenpunkte für die Bioanalyse. *Angewandte Chemie*, 120, 7714-7736; *Angewandte Chemie. International Edition*, 47, 7602-7625.
- Goldman, E. R.; Clapp, A. R.; Anderson, G. P.; Uyeda, H. T.; Mauro, J. M.; Medintz, I. L.; Mattoussi, H. (2004): Multiplexed Toxin Analysis Using Four Colors of Quantum Dot Fluororeagents. *Analytical Chemistry*, 76, 684-688.
- Gorton, L. (1986): Chemically Modified Electrodes for the Electrocatalytic Oxidation of Nicotinamide Coenzymes. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 82, 1245-1258.
- Jaegfeldt, H. (1981): A Study of the Products Formed in the Electrochemical Reduction of Nicotinamide-Adenine-Dinucleotide. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 8, 355-370.
- Katakis, I.; Dominguez, E. (1997): Catalytic Electrooxidation of NADH for Dehydrogenase Amperometric Biosensors. *Mikrochimica Acta*, 126, 11-32.
- Katz, E.; Lotzbeyer, T.; Schlereth, D. D.; Schuhmann, W.; Schmidt, H. L. (1994): Electrocatalytic oxidation of reduced nicotinamide coenzymes at gold and platinum electrode surfaces modified with a monolayer of pyrroloquinoline quinone. Effect of Ca²⁺ cations. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 373, 189-200.
- Katz, E., Willner, I.; Wang, J. (2004): Electroanalytical and Bioelectroanalytical Systems Based on Metal and Semiconductor Nanoparticles. *Electroanalysis*, 16(1-2), 19-44.
- Katz, E.; Zayats, M.; Willner, I.; Lisdat, F. (2006): Controlling the direction of photocurrents by means of CdS nanoparticles and cytochrome c-mediated biocatalytic cascades. *Chemical Communications*, 1395-1397.
- Klostranec, J. M.; Chan, W. C. W. (2006): Quantum Dots in Biological and Biomedical Research: Recent Progress and Present Challenges. *Advanced Materials*, 18, 1953-1964.
- Komoto, A.; Maenosono, S. (2006): Photoinduced fluorescence intensity oscillation in a reaction-diffusion cell containing a colloidal quantum dot dispersion. *Journal of Chemical Physics*, 125, DOI 10.1063/1.2338804.
- Lau, C.; Flechsig, G. U.; Grundler, P.; Wang, J. (2005): Electrochemistry of nicotinamide adenine dinucleotide (reduced) at heated platinum electrodes. *Analytica Chimica Acta*, 554, 74-78.
- Lin, C. A. J.; Liedl, T.; Sperling, R. A.; Fernandez-Arguelles, M. T.; Costa-Fernandez, J. M.; Pereiro, R.; Sanz-Medel, A.; Chang, W. H.; Parak, W. J. (2007): Bioanalytics and biolabeling with semiconductor nanoparticles (quantum dots). *Journal of Materials Chemistry*, 17, 1343-1346.
- Lisdat, F.; Dronov, R.; Möhwald, H.; Scheller, F. W.; Kurth, D. G. (2009): Self-assembly of electroactive protein architectures on electrodes for the construction of biomimetic signal chains. *Chemical Communications*, 274-283.
- Munteanu, F. D.; Mano, N.; Kuhn, A.; Gorton, L. (2002): Mediator-modified electrodes for catalytic NADH oxidation: high rate constants at interesting overpotentials. *Bioelectrochemistry*, 56, 67-72.
- Nagy, G.; Kapui, I.; Gorton, L. (1995): Effect of surfactants on the signal of chemically modified amperometric electrodes. *Sensors and Actuators, B*, 24, 323-327.
- Pardo-Yissar, V.; Katz, E.; Wasserman, J.; Willner, I. (2003): Acetylcholine Esterase-Labeled CdS Nanoparticles on Electrodes: Photoelectrochemical Sensing of the Enzyme Inhibitors. *Journal of the American Chemical Society*, 125, 622-623.
- Pellegrino, T.; Kudera, S.; Liedl, T.; Javier, A. M.; Manna, L.; Parak, W. J. (2005): On the Development of Colloidal Nanoparticles towards Multifunctional Structures and their Possible Use for Biological Applications. *Small*, 1, 48-63.
- Persson, B.; Gorton, L. (1990): A comparative study of some 3,7-diaminophenoxazine derivatives and related compounds for electrocatalytic oxidation of NADH, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 292, 115-138.
- Prodromidis, M. I.; Karayannis, M. I. (2002): Enzyme Based Amperometric Biosensors for Food Analysis. *Electroanalysis*, 14, 241-261.
- Raj, C. R.; Jena, B. K. (2005): Efficient electrocatalytic oxidation of NADH at gold nanoparticles self-assembled on three-dimensional sol-gel network. *Chemical Communications*, 2005-2007.
- Reiss, P.; Bleuse, J.; Pron, A. (2002): Highly Luminescent CdSe/ZnSe Core/Shell Nanocrystals of Low Size Dispersion. *Nano Letters*, 2, 781-784.
- Stoll, C.; Gehring, C.; Schubert, K.; Zanella, M.; Parak, W. J.; Lisdat, F. (2008): Photoelectrochemical signal chain based on quantum dots on gold—Sensitive to superoxide radicals in solution. *Biosensors and Bioelectronics*, 24, 260-265.
- Stoll, C.; Kudera, S.; Parak, W. J.; Lisdat, F. (2006): Quantum Dots on Gold: Electrodes For Photoswitchable Cytochrome c Electrochemistry. *Small*, 2, 741-743.

- Striolo, A.; Ward, J.; Prausnitz, J. M.; Parak, W. J.; Zanchet, D.; Gerion, D.; Milliron, D.; Alivisatos, A. P. (2002): Molecular Weight, Osmotic Second Virial Coefficient, and Extinction Coefficient of Colloidal CdSe Nanocrystals. *Journal of Physical Chemistry B*, 106, 5500-5505.
- Wang, J. (2005): Nanomaterial-Based Amplified Transduction of Biomolecular Interactions. *Small*, 1(11), 1036-1043.
- Willner, I.; Basnar, B.; Willner, B. (2007): Nanoparticle–enzyme hybrid systems for nanobiotechnology. *FEBS Journal*, 274, 302-309.
- Willner, I.; Patolsky, F.; Wasserman, J. (2001): Photoelectrochemistry with Controlled DNA-Cross-Linked CdS Nanoparticle Arrays. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(10), 1861-1864.
- Xiao, Y. H.; Li, C. M. (2008): Nanocomposites: From Fabrications to Electrochemical Bioapplications. *Electroanalysis*, 20(6), 648-662.
- Yu, W. W.; Qu, L. H.; Guo, W. Z.; Peng, X. G. (2003): Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals. *Chemistry of Materials*, 15, 2854-2860.

Autoren

Kirsten Schubert, M.Sc.

TH Wildau [FH]
Biosystemtechnik
kirsten.schubert@tfh-wildau.de

Prof. Dr. Fred Lisdat

TH Wildau [FH]
Biosystemtechnik
fred.lisdat@tfh-wildau.de

Waqas Khalid, M.Sc.

Zhao Yue, M.Sc.

Prof. Dr. Wolfgang J. Parak
Philipps-Universität Marburg
Biophotonik
Renthof 7
35037 Marburg

Learning Communities im Web 2.0 am Beispiel von Methopedia – Inspirationen für die Lehre?

Margit Scholl, Christian Niemczik, Maika Büschenfeldt

Zusammenfassung

Was macht »Communities«, in denen Millionen von Menschen sich untereinander elektronisch via Internet austauschen, so attraktiv?

Definitionen »virtueller Gemeinschaften« betonen insbesondere den sozialen Zusammenschluss auf der Grundlage persönlicher Beziehungen im Cyberspace. Im folgenden Beitrag geht es um die Frage, wie das Phänomen der großen Akzeptanz solcher sozialer Netzwerke im Sinne von Bildung und lebensbegleitendem Lernen genutzt werden kann. Gerade der informelle Charakter von Communities bietet große Chancen für das Anstoßen von Lernprozessen in nicht formalen bzw. informellen Zusammenhängen und könnte damit von maßgeblicher Bedeutung für die Umsetzung des Ziels »lebenslanges Lernen« sein. Die Hochschulen sollten diesen Trend bei der Entwicklung ihrer Lernarrangements ernst nehmen und den Lehrenden Rahmenbedingungen ermöglichen, in denen die Integration von nicht formalem und informellem Lernen in die formalen Abläufe sichergestellt wird. Lernenden würde sich damit die Möglichkeit erschließen, systematisch auch nicht formale und informelle Lernformen zu praktizieren. Als Praxisbeispiel einer »Learning Community« von Lehrenden wird die wiki-basierte Entwicklung von »Methopedia« vorgestellt, die sich selbst mit den Methoden des Lernens und Lehrens praxisorientiert auseinandersetzt. Mit dem »Methopedia-Learning Design-Planer« können Lehrende Methopedia als Methodenpool für das Gestalten der eigenen Seminare nutzen.

Abstract

What makes »communities«, in which millions of people interact with each other electronically via the Internet, so attractive?

Definitions of »virtual communities« emphasize the social concentration on the basis of personal relationships in cyberspace. We ask ourselves, how can the phenomenon of the great acceptance of such social networks be used within education and lifelong learning? Precisely the informal nature of communities offers many opportunities for engaging in learning processes of non-formal and informal contexts, and could thus be of crucial importance for the implementation of promoting lifelong learning. Universities should take this trend seriously and should give teachers a framework to ensure the integration of formal and informal learning into formal procedures. Learners would thus open up the possibility of a systematic way to practice not formal and informal learning. For the teachers we provide the support of the wiki-based development of »Methopedia« as a practical example of a »Learning Community«, which itself deals with the practical methods of learning and teaching. With the »Methopedia – Learning Design – Planner« teachers can use Methopedia as a pool of methods for designing their own seminars.

1 Einleitung

Ausgehend vom Begriff der virtuellen Community soll im Folgenden versucht werden auszuloten, inwieweit die aktuelle Praxis von Communities im Web 2.0 in der formalen Lehrvorbereitung, Lehrdurchführung und Lehrnachbereitung auch institutionell genutzt werden kann. Lernenden würde sich damit die Möglich-

keit erschließen, systematisch auch *nicht formale und informelle Lernformen* zu praktizieren. Nicht formales und informelles Lernen sind anerkannte Bausteine, um Wissen nachhaltig zu festigen. Als Anwendungsbeispiel für die Lehrenden soll die *Learning Community* des EU-Projektes »Community of Integrated Blended Learning in Europe« (COMBLE) dienen, deren Gegenstand u. a. der Aufbau der wiki-basierten »Methopedia« ist, um

Methoden des Lernens und Lehrens praxisorientiert mit Erfahrungswissen austauschen und darüber selbst lernen zu können.

2 Virtuelle Communities nehmen Einzug in unser Leben

Inwieweit virtuelle Communities Einzug in unser Leben halten, soll die folgende kurze Erzählung verdeutlichen: *Als wir eine Freundin im Café trafen, stellte sie uns eine Bekannte vor, die einen Tag zuvor aus London angereist war. Nach 10 Minuten Unterhaltung fragte einer von uns, wo sie sich kennen gelernt haben. Ihre Antwort war: myspace. Es stellte sich heraus, dass beide Frauen Mitglieder einer Gruppe dieses sozialen Netzwerkes sind und sich für lernpsychologische Themen interessieren, die sie im Laufe von einigen Monaten online austauschten.* Inzwischen lernen sie sich auch persönlich kennen. MySpace [1] ist eine von vielen »Communities«, in denen Millionen von Menschen sich in Profilen darstellen und sich untereinander elektronisch via Internet austauschen, unabhängig vom ursprünglichen Schwerpunkt, der bei MySpace im Bereich Musik liegt. In den letzten drei Jahren kam es zwar immer wieder zu öffentlicher Kritik wegen Sicherheitslücken, Profilfälschungen, Datenverkäufen u. a. m., doch das stört offenbar nicht wirklich. Weitere Beispiele solcher *virtueller Communities* bzw. *sozialer Netzwerke* sind Facebook, Flickr, Xing oder StudiVZ, die inzwischen für Millionen von Menschen ein fester Bestandteil ihres Lebens sind.

»Generation facebook« betitelte der stern seine Ausgabe am 03.09.2009, in der er diese sozialen Netzwerke und etliche Mitglieder, darunter auch bekannte Persönlichkeiten wie Renate Künast, Ursula Engelen-Kefer und Karl-Theodor zu Guttenberg, vorstellte. [stern 2009] »Facebook sammelt bis zu 90 persönliche Angaben, die jedes Mitglied freiwillig einstellen kann; zum Vergleich: Der Erfassungsbogen der Stasi zählte 48 persönliche Daten der Überwachten.« [ebenda: 132] Ist es nicht erstaunlich, wie freizügig die persönlichen Angaben getätigt werden? Ist es nicht umso erstaunlicher, als dass bekannt sein dürfte, dass solche »Datenspuren« von und über Menschen im Internet nie vollständig gelöscht werden können? »Laut einer Dimap-Studie im Auftrag der Bundesregierung informiert sich mittlerweile jedes vierte Unternehmen in Netzwerken über Mitarbeiter und Bewerber.« [ebenda: 130] Und über Xing, das sich auf Geschäftskontakte spezialisiert hat,

wird berichtet, dass in der Finanzbranche fast jeder, selbst die Vorstände, Mitglied seien. [ebenda:130] Über die Netzwerke des Internets »Freunde« zu finden, ist offenbar ein Alltagsphänomen geworden. Darüber hinaus geht es allerdings auch um's liebe Geld, wie es dem Interview mit dem Facebook-Gründer Mark Zuckerberg zu entnehmen ist: »Es wird in Zukunft darum gehen, dass die Firmen in den sozialen Netzwerken die Nutzer dazu bekommen, dass die ihren Freunden die jeweiligen Produkte empfehlen. Nichts bietet mehr Kaufanreiz als die persönliche Empfehlung eines Freundes.« [ebenda: 133] Mit Bezug auf den Bildungsbereich stellt sich dabei die Frage, wie das Phänomen der großen Akzeptanz sozialer Netzwerke im Sinne von *Bildung* und *lebensbegleitendem Lernen* genutzt werden kann und wie sich persönliches Engagement und Weiterempfehlungen sinnvoll in der *Fort-, Aus- und Weiterbildung* einsetzen lassen.

Doch was sind »Communities« und was macht sie für die Menschen so attraktiv? Der Begriff »Community« wird in der Regel synonym für den deutschen Begriff »Gemeinschaft« verwendet und bezeichnet keinesfalls ein neuartiges Phänomen des sozialen Zusammenschlusses. [Scholl et al. 2009] Bereits im 19. und frühen 20. Jahrhundert haben sich die Soziologen Ferdinand Tönnies und Max Weber mit dem Gemeinschaftsbegriff befasst und diesen über das Kriterium formaler Rationalität von »Gesellschaft« bzw. »Vergesellschaftung« als Gegenbegriffe abgegrenzt. *Gemeinschaft* bezeichnet in dieser Gegenüberstellung eine natürlich gewachsene, eher organische und von Traditionen und Gefühlen bestimmte Form des sozialen Zusammenschlusses, im Unterschied zur *Gesellschaft* als ihr rationales, kalkulierendes Gegenmodell [siehe Tönnies 1963 und Weber 1972]. An diesen frühen Gemeinschaftsbegriff knüpfen auch die jüngeren Definitionen »virtueller Gemeinschaften« an, die insbesondere den sozialen Zusammenschluss auf der Grundlage persönlicher Beziehungen im Cyberspace betonen. Die wohl bekannteste Definition stammt von Howard Rheingold: »Virtual communities are social aggregations that emerge from the Net when enough people carry on those public discussions long enough, with sufficient human feeling, to form webs of personal relationships in cyberspace.« [Rheingold 1993]

Tönnies ist noch vom Verfall aller Gemeinschaft ausgegangen, vom verdrängenden Vormarsch der Gesellschaft, die ihre rational-formalen Prinzipien an die Stelle gemeinschaftlicher Verbundenheit setzt.

[Tönnies 1963] Im Begriff der *virtuellen Gemeinschaft* (virtuellen Community) jedoch scheint sich kurioserweise das Gegenteil abzuzeichnen, denn ausgerechnet der technologische Fortschritt, selbst ein Produkt rationaler Vergesellschaftung, gibt der vermeintlich verdrängten Gemeinschaft neue Impulse. Mit dem Internet und seinen neuen Kommunikationsformen wird der Gedanke der Gemeinschaft (die Community) nicht nur ins Netz, sondern auch in die reale Welt zurückgebracht. Der Begriff und auch seine Ausprägung ist somit nicht das eigentlich Neue, sondern eher das aus soziologischer Sicht interessante Phänomen, dass die Gemeinschaft und ihre Prinzipien auf der technischen Basis der weltweiten Vernetzung von Computern eine Renaissance erfährt.

Das Internet (der Gesellschaft) ist inzwischen zu einem Massenmedium (der Gemeinschaft) geworden und hat dabei vor allem die *Kommunikation* verändert. Dass sich mit seiner wachsenden Verbreitung die Nutzungsweise des Netzes selbst verändert hat, wird im Begriff des Web 2.0 deutlich. Das Augenmerk wird hier auf die *interaktive* Einbeziehung der Nutzer gelegt, die ihre bisher eher passive Betrachterrolle im Internet mit eigenen Beiträgen überwinden sollen. Diese aktivere Rolle des Nutzers findet seinen Ausdruck in dem von Alvin Toffler geprägten Begriff des Prosumenten, der Personen bezeichnet, die sich sowohl als Konsumenten (engl. consumer) als auch als Produzenten (engl. producer) der von ihnen genutzten Güter kennzeichnen lassen. [Toffler 1993] Dieser Wandel des Nutzers vom Konsumenten zum Prosumenten bedient sich einer Vielzahl von interaktiven Techniken und Anwendungen wie Internettagebücher (Blogs), kooperativ geschriebene Texte (Wikis), Empfehlungssysteme (durch Nutzerbewertung), neue Dienste zur kooperativen Erschließung von Wissen durch kooperative semantische Techniken (»folksonomies«), gemeinsame Diskussionen (Foren) sowie das gemeinsame Bereitstellen und Bewerten von Inhalten (z. B. Videos in YouTube, Fotos, Podcasts, Texte, Musik usw.). Mit der Nutzung solcher Dienste werden sich auch neue kulturelle Praktiken herausbilden sowie Lehr- und Lernprozesse beeinflusst. Neue Gruppenzusammenhänge, neue Vernetzungsformen, neue Arten der Unterstützung und der Zusammenarbeit formieren sich, in denen die Nutzer ihre *eigenen* Inhalte generieren, einstellen und austauschen. Diese interaktiven Strukturen und vielfältigen Kommunikationsformen via Internet werden von allen Nutzern und damit auch von Lernenden zusätzliche

Kompetenzen erfordern – ebenfalls ein Hinweis an den Bildungsbereich, solche Fertigkeiten und Fähigkeiten kritisch begleitend zu vermitteln. Das setzt allerdings voraus, dass die »Vermittler« solcher Kompetenzen, allgemein »Lehrende« genannt, selbst dazu in der Lage sind.

3 Informelles Lernen

Im Unterschied zur traditionellen Gemeinschaft können sich virtuelle Gemeinschaften schneller und unabhängig von Ort und Zeit bilden. Über diese gemeinschaftsbildende Qualität moderner Kommunikationsmedien werden die virtuellen Gemeinschaften zu sozialen Netzwerken mit sozialen Interaktionen. Daher hat das Web 2.0 gerade keinen formalen, institutionellen und instruktionalen Charakter. Was sich im Ökonomischen als Wandel vom Konsumenten zum Prosumenten [Toffler 1993] ausdrückt, findet sich somit auch im Kontext des Lernens: Die Mitglieder der sozialen Netzwerke lernen aus der Praktik heraus, *wie* es funktioniert, miteinander Informationen zu organisieren, zu ergänzen, neu und in anderen Zusammenhängen zu nutzen, Inhalte co-produziert zu erstellen, miteinander elektronisch zu kommunizieren und miteinander zu partizipieren und zu lernen, damit gleichsam im *Prozess* das Lernen zu *lernen*. Gleichzeitig etabliert sich ein kollektives Eigentumsrecht an den gemeinsamen Ergebnissen. Darüber hinaus verschwimmt in den Communities die klare Trennung der Rollen als »Lernende« und »Lehrende« – die Mitglieder sind beides in einer Person und zur gleichen Zeit.

Im Wiedererstarken des Community-Gedankens zeigt sich somit eine Entformalisierungstendenz für die Lösung von Problemen und für das Lernen. Lernen heißt nach Herbert Altrichter unter Bezug auf Jean Lave und Etienne Wenger ein »Sich-Einlassen auf die Welt« [Altrichter 2002]. »Lernen ist Tun, ist Handeln, ist eine Art, in der sozialen Welt zu sein, nicht bloß eine Art, Wissen über sie aufzubauen...« [ebenda: 202] »*Lernen ist situiert*: Lernend stehen AkteurIn und Welt in einer wechselseitigen, letztlich unaufhebbaren Abhängigkeit: Ohne konkreten Ort kann man sich Lernen nicht vorstellen. Lernen braucht ein Einlassen auf *bestimmte* soziale Situationen, es schöpft aus ihnen und es ist in einem gewissen Sinne auch an sie gebunden.« [ebenda] Lernen ist damit nicht das passive Aufnehmen von Lerninhalten, sondern »Tun«. Der moderne Ort – wo

dieses *Tun* geschieht – wird zunehmend elektronisch über Lernplattformen oder virtuelle Umgebungen wie in Second Life abgebildet. Das Konzept des situierten Lernens ist gleichzeitig Antwort auf den Umstand, dass sich Wissen und Probleme immer weniger kontextunabhängig betrachten lassen. Selbstorganisation tritt an die Stelle von Instruktion und Anweisung. Die Lernenden werden aus ihrer Isolation herausgeholt und Lernen wird zunehmend zur Gruppenaktivität.

Dieser Veränderungsprozess ist auch daran erkennbar, dass das elektronische Lernen (E-Learning) im Laufe seiner Entwicklung zunehmend kommunikativer und interaktiver wird, sodass die Lernenden mehr und mehr durch die Begleitung und Betreuung von »E-Tutoren« bzw. »E-Mentoren« aus der Einsamkeit des Online-Lernens herausgeholt werden. Die Veränderungen zeigen sich daher ebenso in der Erweiterung des E-Learnings um handlungsorientierte und kontextbezogene Lernkonzepte wie »Blended Learning« [2], »Problem-based« bzw. »Project-based Learning« [3] oder »Action Learning« [4] sowie in der wachsenden Vielfalt und Kommunikationsorientierung seiner technologischen Basis.

Diese Lernmodelle des Online-Lernens rücken immer stärker die Lernenden und ihre soziale Interaktion in den Mittelpunkt. Thomas Ryberg, dänischer Partner des von der Technischen Hochschule Wildau [FH] geleiteten EU-Projektes COMBLE [5], sieht die Zukunft des E-Learnings entsprechend im *praxisorientierten* Netzwerklernen *personalisierter* Lernumgebungen. [Ryberg 2009] Diese »Personal Learning Environments« (PLE) könnten unserer Meinung nach insbesondere für die praxisorientierten Fachhochschulen von Interesse sein, weil sich über das Netzwerklernen nicht nur neue Zielgruppen erschließen, sondern auch Wege für die Integration kulturell unterschiedlicher Praktiken aller Beteiligten aufzeigen lassen. Darüber hinaus ist im Zuge des demographischen Wandels noch ein großes Potenzial zu erschließen, denn es ist nach Untersuchungen davon auszugehen, dass europaweit ca. 43 % aller Bürger bislang nicht an der »Wissengesellschaft« partizipieren. [vgl. Jokisalo et. al. 2009]

Laut EU-Kommission hat sich »in den letzten Jahren (...) die Einsicht immer mehr durchgesetzt, dass Lernprozesse in nicht formalen und informellen Zusammenhängen von maßgeblicher Bedeutung für die Umsetzung des Ziels »lebenslanges Lernen« sind.« [Europäische Kommission 2001: 9] Daraus ergibt sich die Notwendigkeit neuer Strategien zur Ermittlung und

Validierung derartiger »unsichtbarer« Lernergebnisse. Auf europäischer Ebene werden die folgenden Definitionen für die unterschiedlichen Lernformen zugrunde gelegt:

- »*Formales Lernen* findet üblicherweise an Einrichtungen der allgemeinen oder beruflichen Bildung statt und weist strukturierte Lernziele, Lernzeiten und Lernförderung auf. Aus Sicht des Lernenden ist es zielgerichtet und führt zur Zertifizierung.
- *Nicht formales Lernen* findet nicht an einer Einrichtung der allgemeinen oder beruflichen Bildung statt und führt üblicherweise nicht zur Zertifizierung. Es ist jedoch intentional aus Sicht der Lernenden und weist strukturierte Lernziele, Lernzeiten und Lernförderung auf.
- *Informelles Lernen* findet im Alltag, am Arbeitsplatz, im Familienkreis oder in der Freizeit statt. Es ist nicht strukturiert und führt normalerweise nicht zur Zertifizierung. Es ist in den meisten Fällen nichtintentional aus Sicht der Lernenden.« [ebenda: 32f.]

Das Lernen, das in virtuellen Communities weltweit praktiziert und durch das Web 2.0 technologisch ermöglicht wird, ist in der Regel nicht formal bzw. informell und damit auch nicht institutionell organisiert oder strukturiert. Verschiedene Untersuchungen gehen davon aus, dass 70 – 90 % aller Lernaktivitäten informell verlaufen [vgl. Jokisalo et al. 2009]. Es ist daher zu erwarten, dass die Anzahl der sozialen Netzwerke und deren Funktionen zukünftig weiter steigen wird. Soziale Netzwerke und ihre Funktionen zeigen große Potenziale für das lebenslange Lernen. Netzwerklernen mit einem hohen Anteil an informellem Lernen könnte dabei eine wichtige Rolle gerade im beruflichen und privaten Bereich einnehmen.

Der Umgang mit den *Social Communities* wird damit auch im E-Learning zur wichtigen (Medien-)Kompetenz – so wie es der verantwortungsvolle Umgang mit den Fernsehprogrammen oder Computerspielen auch ist. Eigenverantwortung, Bedachtsamkeit im Umgang mit persönlichen Daten, die angemessene Umsetzung persönlicher und beruflicher Ziele sowie ein angemessenes Zeitmanagement werden dabei eine zentrale Rolle spielen. Die Hochschulen sollten diesen Trend bei der Entwicklung ihrer Lernarrangements ernst nehmen und für die Lehrenden und Lernenden Rahmenbedingungen schaffen, welche die Integration von nicht formalem und informellem Lernen in die formalen Abläufe des formalen Lernens sicherstellt.

4 Was zeichnet lernende Communities aus?

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal, das »Learning Communities« im Gegensatz zum traditionellen Lernen ausmacht, liegt darin, dass Lernen hier einen nicht formalen bzw. informellen Charakter aufweist. Und die Frage ist damit zunächst, welche Möglichkeiten Lehrende in ihren Institutionen haben, Social Communities für das Lernen zu nutzen. Grundsätzlich besteht für sie natürlich die Möglichkeit, Mitglied der Netzwerke zu werden, um dann eine solche *Learning Community* auszubauen. Unter dem Begriff der »Learning Community« wird seit einigen Jahren weltweit nach neuen Wegen in der Ausgestaltung der schulischen, universitären und beruflichen Aus-, Fort- und Weiterbildung gesucht. Ihre theoretischen Wurzeln haben die Learning Communities im Konzept des situierten Lernens. Im Verständnis dieses Ansatzes kann Wissen nur in einem aktiven und individuellen Konstruktionsprozess gewonnen werden. Wissen ist somit nicht kontextunabhängig und kann deshalb auch nicht einfach von einer Person zu einer anderen Person übertragen werden. Die Kontextbezogenheit des Wissens mündet in der Forderung, dass die Lernsituation den späteren Anwendungssituationen entsprechen und dass Lernen und Arbeiten in Gruppen unter Berücksichtigung der Anwendungsbedingungen erfolgen muss. Hier finden sich bereits die Anlagen einer Learning Community, die in der Definition von Seufert eine Lern(er)gemeinschaft darstellt, »[...] in der Personen zusammengeschlossen sind, die sich gemeinsam mit einem bestimmten Thema intensiv auseinandersetzen wollen, gemeinsam lernen, schon vorhandenes Wissen austauschen und gemeinsam an Problemstellungen arbeiten« [Seufert 2004: 30].

In Abgrenzung zu anderen Formen von Communities, wie z. B. den von Lave und Wenger [1991] beschriebenen »Communities of Practice« (CoP), lassen sich Learning Communities durchaus in den Bereich des *formalen* Lernens im Rahmen einer Bildungsmaßnahme einordnen. Indiz dafür ist, dass eine solche Community sich nicht frei zusammen findet, sondern durch die Rahmenbedingungen der Institution (z. B. Schule, Universität) im Anfangsstadium stark instruktional (z. B. durch Lehrer, Professoren) geführt und geprägt wird [vgl. Seufert 2004: 30]. Die Lehrpersonen übernehmen innerhalb der Learning Community, zumindest in der Anfangsphase, eine führende Rolle, die den Lernenden

hilft, sich in der neuen Lernwelt zurecht zu finden. Die Learning Community der Institution findet sich damit *nicht* selbstgesteuert zusammen, sondern wird institutionell, *formal* eingerichtet. Seufert [2004] sieht dennoch die Möglichkeit, die Lernenden untereinander zu vernetzen und das *informelle* Lernen zu unterstützen. Dalsgaard [2006] unterscheidet folgende drei Möglichkeiten des netzbasierten Lernens:

- Zusammen arbeiten (z. B. für einen Vortrag oder eine Seminararbeit),
- den gleichen Kontext teilen (z. B. Seminar- oder Arbeitskollegen tauschen sich aus),
- ein gleiches Interesse haben (z. B. eine Sprache lernen).

Auch an dieser Stelle zeigt sich die Notwendigkeit, die Lehrenden selbst mit Kompetenzen auszustatten und institutionell zu unterstützen, damit sie an der Learning Community teilhaben können.

5 Anwendungsbeispiel Methopedia aus dem EU-Projekt COMBLE

Lebt die Qualität eines Seminars vom Engagement der Lehrenden? Von ihren didaktischen Konzepten oder von der organisatorischen Unterstützung, die sie erhalten? Wieviel Idealismus können sich Lehrende erhalten? Welche andere Formen der Motivation für internetgestütztes Lernen können aktiviert und wie genutzt werden? Mit solchen Fragen beschäftigt sich das von der EU geförderte und von der TH Wildau [FH] geleitete COMBLE-Projekt, dessen Ziele und Produkte in den Wissenschaftlichen Beiträgen 2008 dargestellt wurden. [Niemczik et al. 2008] Sein oberstes Ziel ist,

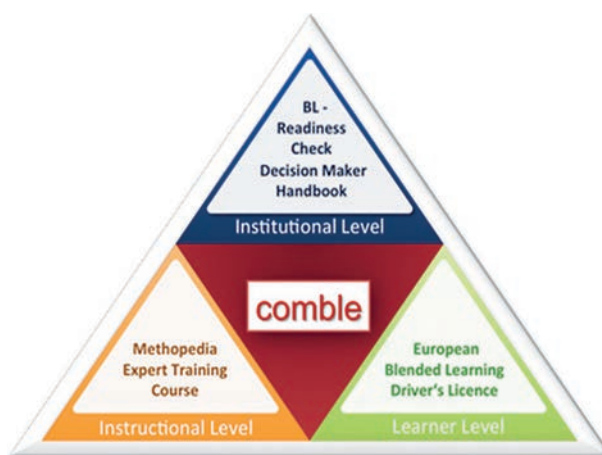


Abb. 1: Symbolische Darstellung der im COMBLE-Projekt untersuchten drei Ebenen (institutional, instructional and learner level) und ihre Produkte

Blended Learning *ganzheitlich* zu fördern. COMBLE befindet sich inzwischen in der zweiten Hälfte der Projektverwirklichung und wurde in der Zwischenprüfung sehr positiv bewertet. Auf jeder der drei untersuchten Ebenen sind spezifische Produkte entstanden bzw. noch in der Entwicklung, wie es Abb. 1 symbolisch darstellt. Innerhalb dieses Beitrags interessiert insbesondere das »Instructional Level« aus Abb. 1 und dessen Produkte *Methopedia* und *Expert Training Course*.

Was ist Methopedia? Methopedia [6] ermöglicht den wiki-basierten Austausch zu Methoden und Lernansätzen (Pedagogical Approaches). Mit der Wiki-Software wird auf eine Technologie des Web 2.0 zurückgegriffen, die auf *Kooperation und Austausch* angelegt ist. Jeder Lehrende, der diese Technologien verwenden will, muss sich auf didaktische Ansätze und offene Seminar-Methoden einlassen, die dem *konstruktivistischen* Lernparadigma folgen (ohne dies zwingend zu wissen). In konstruktivistischer Lesart ist Lernen gerade nicht das passive Aufnehmen von Lerninhalten, sondern das

Tun, das bereits behandelt wurde. Die Lehrenden wissen jedoch oft nicht, *was* diese Ansätze bedeuten und *wie* sie erfolgversprechend umzusetzen sind. Mit Methopedia erhalten Lehrende neue Inspirationen und können Methoden wie Expertenlernen, Wikiarbeit, Webquests, Pro- und Kontraanalyse, Gruppenarbeit, Tandem-Lernen, Open Space, Video casts, Gruppenpuzzle etc. in Form eines Wikis für die Gestaltung der eigenen Seminare verwenden oder anpassen (vgl. Abb. 2 mit der Methode »Brainwriting«). Gleichzeitig können die Lehrenden ihre Erfahrungen mitteilen und in der *Social Community Methodpedia* diskutieren. Darüber hinaus wird ein unter »Creative Commons« verfügbarer *Expert Training Course*, der derzeit u. a. in Second Life mit Lehrenden aus Deutschland, Dänemark, Polen, Estland und Argentinien getestet und mit einem Zertifikat abschließen wird, die Lehrenden im Kennenlernen von konstruktivistischer Didaktik in Form von problematisiertem Lernen unterstützen.



Methopedia - Brainwriting

Explore

- [Homepage](#)
- [Search](#)
- [Sorted titles](#)
- [Most visited](#)
- [Brainwriting](#)

Contribute

- [Login](#)

Short description



Brainwriting is also called the „6-3-5 method“: 6 people, 3 ideas each, and 5 rounds. Basically, the same rules apply as in brainstorming. The difference is that in brainwriting the creative phase consists of writing instead of talking. Everybody first writes down their own ideas and then amends the ideas of all other participants in turn. Finally, possible solutions are discussed with regard to their fit to the problem at hand.

Process description

1. The problem is defined.
2. 6 participants generate 3 new ideas each.
3. Notepads are passed around in a circle to the next person.
4. Each person complements or amends the ideas of his neighbor.
5. The cycle is continued 5 times.
6. Conclusions and solutions are being created.

Abb. 2: Die Methode *Brainwriting* in Methopedia

6 Was sind Methoden und Lernansätze?

Innerhalb der Learning Community des COMBLE-Projektes entstanden aufgrund der unterschiedlichen und auch kulturell geprägten Sichtweisen Diskussionen zu *Methoden*. Beschreiben Methoden eine Lernaktivität eines Einzelnen oder einer Gruppe (Stationenlernen, Case study etc.) innerhalb eines begrenzten Zeitraums (eine Stunde bis zwei Tage) oder versteht man darunter einen generellen Lernansatz, wie es z. B. problem-basiertes, sozial-konstruktives oder netzwerk-unterstütztes Lernen ist? Diese Fragestellungen zeigen, dass in Learning Communities zwischen allen Beteiligten auch Begriffsklarheit hergestellt werden muss. Hinsichtlich eines möglichen Seminar-Designs wird im Projekt ein Ebenen-Modell genutzt, das von Berge [2006: 96] adaptiert wurde (siehe Abb. 3):

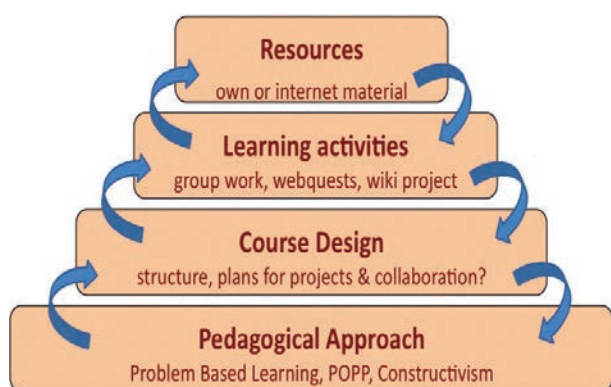


Abb. 3: Pedagogical design levels

Ein genereller Lernansatz (»Pedagogical Approach«) könnte z. B. konstruktivistischer Natur sein: Die Lernenden suchen sich selbstständig und in Gruppen Probleme, die sie innerhalb eines Projektthemas lösen wollen. Das selbst gesuchte Problem fordert die Studierenden dabei so heraus, *dass sie gewillt sind*, Zeit und Engagement zu investieren. Das Lernen an sich findet demnach in Form eines Problemlösungsprozesses statt. Dieser Ansatz eines Problemlösungsprozesses entspricht der »Problem-Oriented Project-Pedagogy« (POPP). POPP ist eine moderne, konstruktivistische Lernmethode, die von den dänischen Partnern des COMBLE-Projektes entwickelt wurde und an der Universität Aalborg in **allen** (!) Studiengängen eingesetzt wird. Die Merkmale von POPP werden als »Aalborg Model of Problem-Based Blended Learning« wie folgt beschrieben [Aalborg University 2009]:

- »Problem-Oriented Project-Pedagogy as organizing principle.
- Problem orientation indicates an open frame, where participants formulate problems (as opposed to pre-defined problems set by the instructor or textbook).
- Project pedagogy indicates that participants are expected to work on long-term openended projects (as opposed to short-term, narrow assignments).
- Learning is realized in a community of learners organized in small interdependent groups«.

Die praktischen Erfahrungen solcher Lernprojekte lassen den Schluss zu, dass generelle Lernansätze von der jeweiligen Institution durch geeignete Rahmenbedingungen unterstützt werden müssen. Denn ein wie hier beschriebenes Seminar durchbricht das 90-Minuten-Schema von Unterrichtseinheiten, es fordert eine andere Art der Bewertung der Ergebnisse und die Lehrenden/Dozenten erfahren einen Rollenwechsel, weg vom Vermittler hin zum Unterstützer, mit anderen Vorbereitungs-, Durchführungs- und Nachbereitungszeiten, ggf. werden auch andere Räumlichkeiten benötigt.

Die Art des Lernansatzes hat Einfluss auf das Kursdesign, das in Abb. 3 als nächste Ebene dargestellt ist. Wie soll das Lernen absolviert werden, eher lehrer- oder eher lernerzentriert? Gibt es im Kursdesign Projekte, an denen die Lernenden/Studierenden arbeiten oder wird der Kurs eher vorlesungsartig abgehalten?

Die Komponenten des Kursdesigns sind die Lernaktivitäten, in Abb. 3 als dritte Ebene vermerkt, die durch die Methoden unterstützt werden können. Die Methoden haben unterschiedliche Ziele, wie z. B. soziales Lernen, Reflexionen, Zusammenarbeit oder Tiefenverstehen, zu unterstützen. Eine interessante Perspektive auf die Umsetzung solcher Methoden sind so genannte »collaboration scripts«: »...a set of instructions relating to how group members should interact, how they should collaborate and how they should solve a problem. When a teacher engages students in collaborative learning, he or she usually provides them with global instructions such as ›do this task in groups of three‹ «. [O'Donnell und Dansereau 1992] Ein solches Skript ist eine Art Vertrag zwischen den Lehrenden und Lernenden, der die Art der Zusammenarbeit festlegt. [Dillenbourg 2002] Bezug nehmend auf die letzte oberste Ebene des in der Abb. 3 dargestellten Modells müssen auch die Lernmaterialien den tieferen Ebenen entsprechen, da sie Teil der Methoden sind.

7 Wie kann man mit Methopedia arbeiten?

Zunächst finden sich viele schon beschriebene Methoden in Deutsch oder Englisch im Wiki wieder (Abb. 4), die sich für eigene Seminare nutzen lassen. Die Methoden lassen sich verändern und kommentieren. Außerdem können die Autoren eines Artikels über deren Zugehörigkeit zu weiteren Netzwerken wie Facebook oder LinkedIn kontaktiert werden.

Für Lehrende bzw. Dozenten in Fort-, Aus- und Weiterbildung, die ihre Erfahrungen einbringen und austauschen wollen, finden sich verschiedene Vorlagen, in denen eine neue Methode oder ein Lernansatz beschrieben und bearbeitet werden können (Abb. 5).

Jede Methode kann mit Metadaten angereichert werden, um später eine sinnvolle Suche zu gewährleisten. Dies wird in Abb. 6 verdeutlicht. Die Hauptgruppen der Metadaten beziehen sich auf die Anzahl der Lernenden, die Zielgruppen, die Lernphase, die Lernform und den Lerngegenstand.

Short description
Please describe the activity in about 20 words.
Process description
Explain the process as detailed as possible. Use also graphics or videos.
Required resources
Which materials (pens, paper, cards) or technologies (computers, e-learning platforms, forums) are used?
Examples
Do you have some examples, small changes or interesting contexts?
Comments
Please add additional information, practical advice or limitations here.

Abb. 5: Vorlage zur Beschreibung einer Methode in Methopedia

Number of learners	Target Groups	Timeline	Settings	Subjects
<input type="checkbox"/> Single	<input checked="" type="checkbox"/> University	<input type="checkbox"/> Beginning	<input checked="" type="checkbox"/> Face to face	<input type="checkbox"/> Biology
<input type="checkbox"/> Partner	<input checked="" type="checkbox"/> Business	<input checked="" type="checkbox"/> Main learning phase	<input type="checkbox"/> Online	<input type="checkbox"/> Psychology
<input checked="" type="checkbox"/> Group	<input checked="" type="checkbox"/> Further education	<input type="checkbox"/> End	<input type="checkbox"/> Synchronous	<input type="checkbox"/> Mathematics
<input type="checkbox"/> Large group	<input checked="" type="checkbox"/> Vocational education		<input type="checkbox"/> Asynchronous	<input checked="" type="checkbox"/> Other
Tags <input type="text" value="discussion, writing, creativity"/>				

Abb. 6: Metadaten zur Methodenbeschreibung in Methopedia

Abb. 4: Methoden innerhalb von Methopedia

Innerhalb des EU-Projektes COMBLE sind verschiedene Videoanleitungen entstanden, so auch eine genaue Videoanleitung für das Erstellen von Methoden und Lernansätzen innerhalb von Methopedia, die der Webseite von COMBLE zu finden ist. [7] Weiterhin arbeitet das Projektteam an einem Seminarplaner, der das Integrieren von neuen Methoden in eigene Seminare für die Dozenten vereinfachen soll. Der »Methopedia-Learning Design-Planer« benutzt Methopedia als Methodenpool für das Gestalten eines Seminarplans und ist in der Abb. 7 dargestellt.

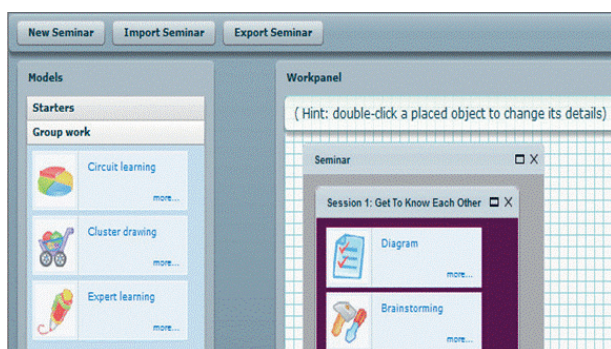


Abb. 7: Methopedia-Learning Design-Planer zur Entwicklung des eigenen Kursdesigns

8 Fazit und Ausblick

Lernen in Communities unter Nutzung von Web 2.0 – Technologien ist eher nicht formal und informell und bietet große Chancen für das Anstoßen von lebenslangen Lernprozessen in nicht formalen und informellen Zusammenhängen. Learning Communities könnten sich als sehr bedeutsam in der Umsetzung der Zielsetzung des lebenslangen Lernens auch in formalen Lernprozessen erweisen. Die große Akzeptanz, die die Communities weltweit erfahren, sollte im Bildungsbereich ernst genommen und verstärkt genutzt werden. Die Lerntechnologien und damit auch die Learning Communities haben sich in den letzten Jahren rasant entwickelt und bieten ein großes Potenzial, die Qualität des Lehrens und Lernens zu verbessern. Jedoch werden sie nur dann ihre Wirkung entfalten, wenn die Institutionen passende Lernkulturen und Methodologien einführen helfen und wenn die Lehrenden aktives Lernen für die Studierenden ermöglichen. Entsprechend merkt die Europäische Kommission im Progress Report »The use of ICT to support innovation and lifelong learning for all« an: »New innovative pedagogical and didactical approaches are needed to take into account the future

learning needs and changing skills and competences necessary for employment, self-development and participation in a knowledge-based, digital society.« [European Commission 2008: 12]

Als Konsequenz werden formale Lernarrangements zukünftig zunehmend online-basiertes, nicht formales bzw. informelles Lernen in Form von sozialen Netzwerken berücksichtigen müssen. Lernen braucht ein Einlassen auf *bestimmte* soziale Situationen. Wie die Bindung an eine virtuelle Community vor allem durch persönliche Beziehungen der Mitglieder untereinander, sollten Learning Communities auch im formalen Rahmen dem nicht formalen und informellen Lernen mehr Raum geben. Learning Communities können am Anfang eher formell durch Lehrende eingerichtet werden, um später dem initiierten informellen Charakter durch die Lernenden ausfüllen zu lassen. Darüber hinaus kann eine Institution unterstützende Top-down Rahmenbedingungen mit Zertifizierung für ihre Lehrenden einführen, so, dass diese praktische Kompetenzen für ein nicht formales bzw. informelles Lernen der Lernenden im Bottom-up Prozess aktiv initiieren wird.

Doch die Lernenden/Studierenden werden ebenfalls gefordert. Ein wichtiger Schritt, um die pädagogische Innovation zu unterstützen, sind aktive, lernerzentrierte Methoden: »The reviewed studies showed that learner-centred guidance, group work and inquiry projects result in better skills and competencies and that interactive forms of e-learning can lead to a more reflective, deeper and participative learning, learning-by-doing, inquiry learning, problem solving, creativity, etc all play a role as competencies for innovation...« [ebenda: 11] Die unterschiedlichen Lernkulturen innerhalb von Institutionen – besonders im europäischen Kontext – bevorzugen entsprechend eine weite Variation von Lernansätzen. Forschungsstudien wie Pisa zeigen, dass sowohl Lerninstitutionen als auch Lehrende am Wissen um Lehrqualität teilhaben wollen. [Geller et al. 2007] Gerade hierfür ist es sinnvoll, Kommunikationsstrukturen auf Peer-to-Peer-Ebene für einen Austausch anzubieten. In der vorgestellten Methopedia-Plattform des EU-Projektes COMBLE wird dies zurzeit umgesetzt.

Anmerkungen

- [1] <http://www.myspace.com/>, Zugriff am 16.09.2009.
- [2] Siehe zum Beispiel Heinze, A. und Ch. Procter: Reflections On These Of Blended Learning, Conference Proceedings, Education in a Changing Environment, 13.-14. September 2004, published by the University of Salford.

- [3] Siehe zum Beispiel De Graaff, E. und A. Kolmos (Hrsg.) (2007): *Management of Change – Implementation of Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering*, Sense Publishers, Rotterdam/Taipei.
- [4] Siehe zum Beispiel Special Issue (1998): *Action Learning, Performance Improvement Quarterly*, Volume 11, Number 1, 1998.
- [5] Community of Integrated Blended Learning in Europe, <http://comble-project.eu>.
- [6] <http://www.methopedia.eu>.
- [7] <http://comble-project.eu/Plone/methopedia-1/methopedia>.

Literaturverzeichnis

- Aalborg University (2009): General Course Description »Blended Learning Expert Training Course«, COMBLE Project, Grant Agreement Number 2007-3623/001-001.
- Altrichter, H., Jean Lave und Etienne Wenger (2002): Die soziale Situation professionellen Handelns. In: G. Breidenstein, A. Combe, W. Helsper und B. Stelmazyk (Hrsg.), *Forum Qualitative Schulforschung 2*, Leske + Budrich, Opladen.
- http://books.google.de/books?id=4MR8DokR7XwC&pg=PA202&lpg=PA202&dq=Lave,+Wenger,+1991&source=bl&ots=c_7aWP1a1Y&sig=J_9d4I3FBUEwrW8bdg8Agz4peVM&hl=de&ei=oVWdSoqXMcGN_AbiiZTtAg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9#v=onepage&q=Lave%2C%20Wenger%2C%201991&f=false, Zugriff: 01.09.2009.
- Berge, O. (2006): *Reuse of Digital Learning Resources in Collaborative Learning Environments*. PhD thesis, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo.
- Dalsgaard, Ch. (2006): Social software: E-learning beyond learning management systems, *European Journal of Open, Distance and E-Learning (EURODL)*, ISSN 1027-5207, http://www.eurodl.org/materials/contrib/2006/Christian_Dalsgaard.htm, Zugriff am 16.09.2009.
- Dillenbourg, P. (2002): Over-scripting CSCL: The risks of blending collaborative learning with instructional design. In P. A. Kirschner (Ed). *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL* (pp. 61-91). Heerlen, Open Universiteit Nederland.
- Europäische Kommission (2001): Mitteilung der Kommission – Einen europäischen Raum des Lebenslangen Lernens schaffen, Generaldirektion Bildung und Kultur, Generaldirektion Beschäftigung und Soziales, 9, 32f.
- European Commission (2008): *The use of ICT to support innovation and lifelong learning for all – A report on progress*. [Online] Retrieved August 31, 2009 from <http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-programme/doc/sec2629.pdf>.
- Geller, C.; Olszewski, J.; Neumann, K. & Fischer, H. E. (2007): Unterrichtsqualität in Finnland, Deutschland und der Schweiz: Merkmale der Tiefenstruktur von Physikunterricht und der Zusammenhang zur Leistung, in: D. Höttercke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Essen 2007, LIT Verlag Berlin-Hamburg-Münster.
- Jokisalo, E.; Riu, A. (2009): *Informal learning in the era of Web 2.0. ICT and lifelong learning for a creative and innovative Europe Findings, reflections and proposals from the Learnovation project*, <http://www.elearningeuropa.info/files/media/media19656.pdf>, Zugriff am 15.09.2009.
- Lave, J.; Wenger, E. (1991): *Partnerships as communities of practice / learning communities*, <http://www.learning-theories.com/>

[communities-of-practice-lave-and-wenger.html](http://www.learning-theories.com/communities-of-practice-lave-and-wenger.html), Zugriff am 04.09.2009.

- Niemczik, Ch.; Brenstein, E.; Scholl, M. (2008): COMBLE: European Community of Integrative Blended Learning Experts, *Wissenschaftliche Beiträge 2008 der TFH Wildau*, 87-93.
- O'Donnell, A. M.; Dansereau, D. F. (1992): Scripted cooperation in student dyads: A method for analyzing and enhancing academic learning and performance. In: Hertz-Lazarowitz, R. and N. Miller (Eds.), *Interaction in cooperative groups: The theoretical anatomy of group learning* (pp. 120-141). London: Cambridge University Press.
- Rheingold, H. (1993): *The virtual community: homesteading on the electronic frontier*. Reading Mass.: Addison-Wesley Pub. Co.
- Ryberg, T. (2009): 3rd Generation PBL and Networked Learning. Skript zur Second Life Vorlesung am 14.09.2009, 20:00-22:00 Uhr, innerhalb des »Blended Learning Expert Training Course« des EU-Projektes COMBLE.
- Scholl, M.; Niemczik, Ch.; Büschenfeldt, M. (2009): Die Rolle von Communities im E-Learning. *Proceedings zur Tagung »Baltic Sea Forum 09 E-Learning« an der FH Stralsund, Stralsund, 05.10.2009*, in Druck.
- Seufert, S. (2004): Virtuelle Lerngemeinschaften: Konzepte und Potenziale für die Aus- und Weiterbildung, in: Zinke, G.; Fogolin, A. (Hrsg.): *Online-Communities – Chancen für Informelles Lernen in der Arbeit*, Bielefeld, 28-38.
- Stern (2009): Osterkorn, Th. (Verantw.), *Generation feacebook – Wie sich Millionen Deutsche im Internet vernetzen*, Nr. 37 vom 3. September, Gruner und Jahr.
- Toffler, A. (1993): *Machtbeben: der globale Vorstoß der Informationse-liten*. Düsseldorf: ECON.
- Tönnies, F. (1963): *Gemeinschaft und Gesellschaft, Grundbegriffe der Reinen Soziologie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Weber, M. (1972): *Wirtschaft und Gesellschaft*. 5. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck.

Autoren

Prof. Dr. Margit Scholl

TH Wildau [FH]
 FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik
 Tel. +49 3375 508-917
margit.scholl@tfh-wildau.de, www.tfh-wildau.de/scholl

Christian Niemczik, M. A. (Erziehungswissenschaftler)

TH Wildau [FH]
 FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Projektmitarbeiter EU-Projekt COMBLE
 (Community of Integrated Blended Learning in Europe)
 Tel. +49 331 20029717, christian.niemczik@sudile.com
<http://www.sudile.com>, <http://comble-project.eu>

Dipl.-Soz. Maika Büschenfeldt

TH Wildau [FH]
 FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Projektmitarbeiterin Projekt learn@wildau
 (Zentrale Lernplattform Moodle)
 Tel. +49 3375 508-379, maika.bueschenfeldt@tfh-wildau.de
<https://elearning.tfh-wildau.de/login/index.php>

Middleware-Konzepte zur Verteilung von komponentenbasierten Anwendungen im Netzwerk

Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel

Zusammenfassung

Dieser Beitrag untersucht Konzepte zur Verteilung von Softwareanwendungen auf Basis des OSGi-Standards im Netzwerk. Darin wird mit R-OSGi eine Lösung vorgestellt, die transparente Anwendungsentwicklung gegenüber der verwendeten Netzwerktechnologie ermöglicht. Dabei wird auch darauf eingegangen, wie netzwerkspezifische Charakteristiken (höhere Latenzzeiten, Übertragungsfehler oder Ausfall des Netzwerkes) agnostisch auf die höheren Softwareschichten abgebildet werden können.

Abstract

This article describes a concept for distributing network software applications based on the OSGi standard. The reader will be introduced into the R-OSGi solution, which allows the transparent development of applications with respect to the network technology and topology in use. The article also demonstrates how network specific characteristics (e. g. latency, transmission errors or network failure) can be mapped to the higher application layers in an agnostic way.

1 Einleitung

Wenige Softwarekonzepte haben eine solch unauffällige und gleichzeitig nachhaltige Erfolgsgeschichte vorzuweisen wie das Framework der vor 10 Jahren gegründeten OSGi Alliance (früher Open Services Gateway Initiative). Während ungezählte Hypes am IT-Horizont erschienen und zumeist schnell wieder untergingen, verrichtete OSGi unter der Motorhaube von Kraftfahrzeugen, in der Industrie- und Gebäudeautomation oder in Mobilfunkgeräten zuverlässig seinen Dienst. Bei eingebetteten Systemen gilt OSGi heute als einer der führenden Softwarestandards. Als Basis der populären Entwicklungsumgebung Eclipse, die seit Version 3.0 aus OSGi-Komponenten besteht, hat sich die OSGi-Technologie auch als stabiles Fundament einer Rich Client Platform bewährt und damit nachgewiesen, dass ihr Geltungsanspruch deutlich über Embedded Systeme hinausgeht.

Der Erfolg liegt in der Einfachheit und Erweiterbarkeit des Frameworks begründet. Das Komponentenmodell sieht vor, Software in leichtgewichtigen Modulen (so genannten Bundles) zu entwickeln. Die OSGi-Plattform steuert den gesamten Lebenszyklus dieser Bundles und ermöglicht, diese zur Laufzeit zu installieren, zu starten, anzuhalten oder zu entfernen. Das ist insbesondere für Systeme wichtig, die rund um die Uhr laufen müssen. Bundles können Standarddienste des

OSGi-Frameworks oder von anderen Bundles bereitgestellte Dienste nutzen (siehe Abb. 1). Um einen solchen Service zur Verfügung zu stellen, muss ein Bundle ein entsprechendes Java-Interface beim Framework registrieren. An das Interface werden keine besonderen Anforderungen gestellt, jedes POJO (Plain Old Java Object) ist dafür geeignet. Möchte ein Bundle einen bestimmten Service nutzen, kann es bei der so genannten Service-Registry des Frameworks dessen Verfügbarkeit abfragen und sich ggf. Referenzen auf die verfügbaren Instanzen geben lassen.

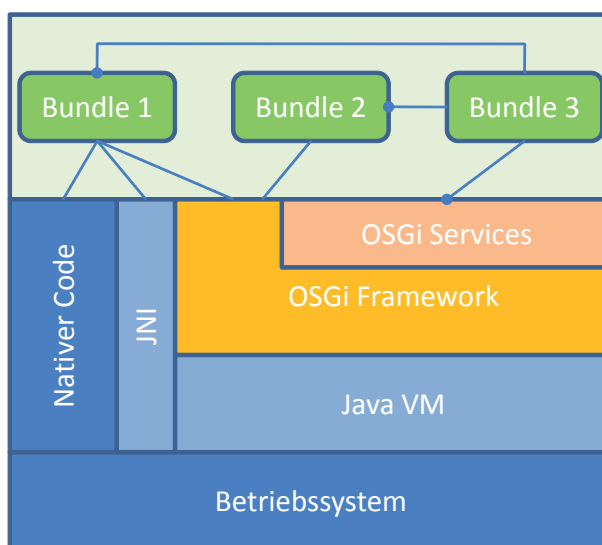


Abb. 1: Bundles nutzen die Dienste des OSGi Frameworks und solche, die von anderen Bundles registriert wurden

Dieser serviceorientierte Ansatz ist flexibel und macht eine der Stärken von OSGi aus, ist jedoch noch keine serviceorientierte Architektur im Sinne des heute oft verwendeten Begriffs SOA, da bei OSGi sämtliche Bundles in derselben virtuellen Maschine und somit auf demselben Host laufen. Zwar gibt es zahlreiche OSGi-Services, die Netzwerkkommunikation unterstützen und über ihre jeweiligen Protokolle (z. B. HTTP, FTP oder SOAP) auch aus der Ferne ansprechbar sind. Orts- und Zugriffstransparenz von Serviceschnittstellen jedoch, wie sie bei einer SOA zur Verteilung von Unternehmensanwendungen erwartet werden, sind damit noch nicht realisiert. Erst die gerade veröffentlichte OSGi-Spezifikation 4.2 sieht mit Distributed OSGi die transparente Verteilung von Diensten im Netz mithilfe einer geeigneten Middleware vor (siehe 6 »Distributed OSGi, ECF und R-OSGi«, S. 37). Eine Middleware-Plattform, die eine transparente Verteilung von OSGi-Diensten auch mit älteren OSGi-Containern vor Version 4.2 ermöglicht, ist das am Institut für Informations- und Kommunikationssysteme der ETH Zürich entwickelte R-OSGi. Dessen Funktionsweise sowie eine Einführung in die praktische Arbeit damit sollen Gegenstand dieses Artikels sein.

2 Grundkonzepte von R-OSGi

Die Zielsetzung von R-OSGi ist es, für beliebige OSGi-Implementierungen einen transparenten, verteilten Zugriff auf die Services zu ermöglichen und dabei folgende Anforderungen zu erfüllen (Rellermeier et al. 2007):

1. Nahtlose Einbettung in OSGi: Aus Sicht eines Bundles sollen lokale und entfernte Dienste nicht unterscheidbar sein. Existierende OSGi-Anwendungen sollen ohne Anpassungen verteilbar sein.
2. Zuverlässigkeit: Anwendungsentwickler sollen nicht mit neuen Fehlermustern konfrontiert werden, sondern vom Netzwerk verursachte Fehler wie übliche Dienstaussfälle behandeln können.
3. Allgemeingültigkeit: R-OSGi beschränkt sich nicht auf bestimmte Dienste. Jeder gültige OSGi-Service soll auch remote verfügbar sein können.
4. Portabilität: Die Middleware soll auch auf kleinen Embedded-Geräten, wie Mobiltelefonen, lauffähig sein. Der mit R-OSGi verbundene Ressourcenverbrauch muss deshalb bescheiden sein.
5. Adaptivität: Die Verwendung von R-OSGi ist nicht verbunden mit Rollenzuordnungen, wie Client oder Server. Die Beziehung zwischen Modulen im verteilten Kontext ist grundsätzlich symmetrisch.

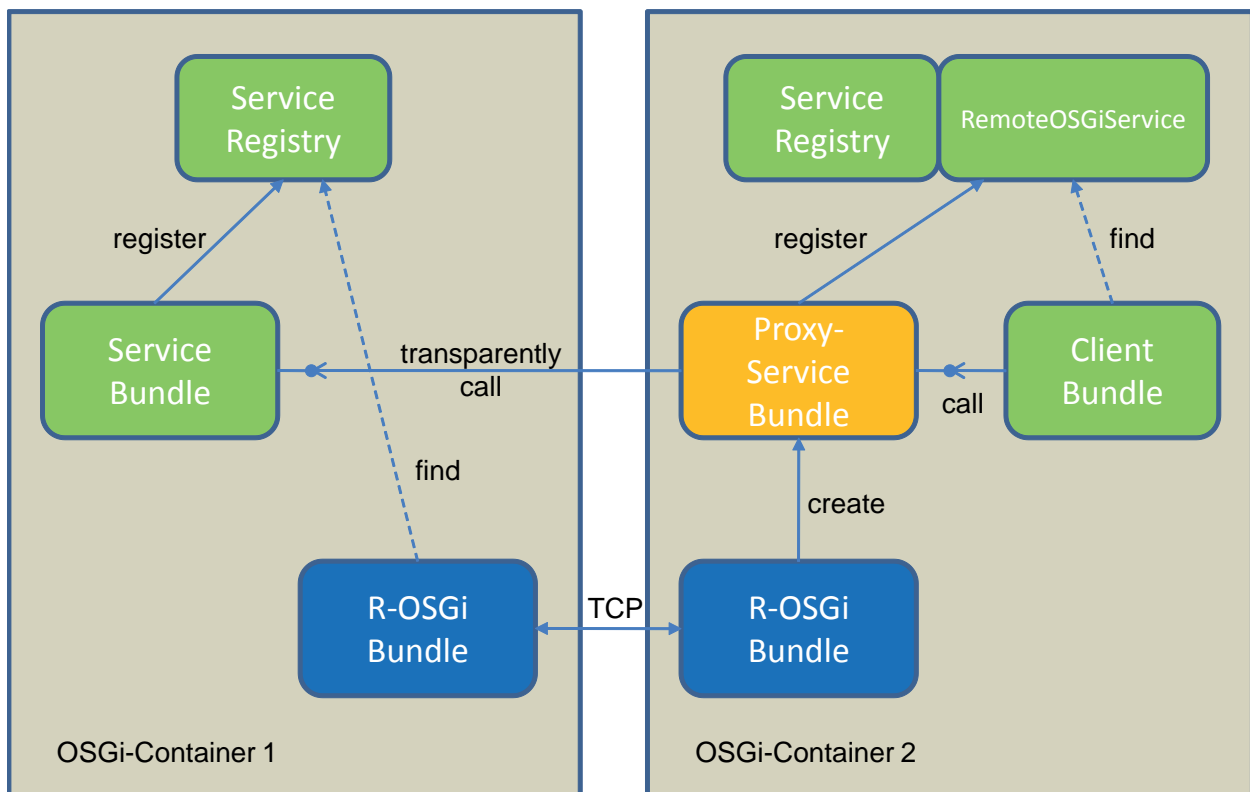


Abb. 2: Clients erhalten lokalen Zugriff auf einen von R-OSGi erzeugten Proxy-Service, der Aufrufe transparent an den eigentlichen Remote Service weiterleitet

6. Effizienz: R-OSGi soll schnell sein, vergleichbar mit der hochoptimierten RMI-Implementierung von Java 5.

Realisiert wird R-OSGi als gewöhnliches OSGi-Bundle, das auf allen OSGi-Containern gestartet werden muss, die am verteilten Szenario beteiligt sind. R-OSGi sucht jeweils im lokalen Container nach Services, für die die Property `RemoteOSGiService.R_OSGi_REGISTRATION` gesetzt ist und informiert den Gegenpart über das Ergebnis. Auf der Remote-Seite wird dann für jeden gefundenen Dienst von R-OSGi ein dynamisches Proxy-Bundle erzeugt und registriert, das die Schnittstelle des ursprünglichen Dienstes nachbildet. Es implementiert sie jedoch nicht selbst, sondern leitet alle Aufrufe potenzieller Clients transparent über den entsprechenden R-OSGi-Kanal an den »echten« Service und liefert den Rückgabewert zurück an den Client (siehe Abb. 2). Für den Client ist damit nicht unterscheidbar, ob der Dienst in seinem eigenen Container oder in der Ferne geleistet wird.

Die Mission, Services transparent zu verteilen, wäre damit erfüllt. Anders als bei Distributed OSGi haben sich die Entwickler von R-OSGi aber entschieden, die Clientseite nicht vollkommen agnostisch gegenüber dem Netzwerk zu gestalten. Ein Client sieht nur die Services, mit deren Container sich das Client-Bundle zuvor per R-OSGi verbunden hat. Dies kann entweder direkt durch explizite Angabe eines URI erfolgen oder mithilfe eines Discovery Service wie SLP (Service Location Protocol), der im Netz nach möglichen Anbietern sucht. Die Referenz auf den entfernten Dienst wird auch nicht – wie bei lokalem Zugriff – vom BundleContext geliefert, sondern vom `RemoteOSGiService` der Middleware. Dem größeren Aufwand für die Konfiguration, der mit diesem Konzept verbunden ist, steht eine stärkere Kontrolle der Verdrahtung gegenüber, die sich bei komplexen Szenarien positiv auf die Skalierbarkeit auswirken kann.

Generell stehen Anwendungen in verteilten Systemen vor größeren Herausforderungen als solche, die in nur einem Adressraum ablaufen, selbst wenn sie einem transparenten Verteilungsmodell folgen. Dies liegt an den Problemen, die durch miteinander vernetzte Rechnerknoten hinzukommen können. Dazu gehören Unterbrechungen der Netzwerkverbindung oder der Ausfall einzelner Knoten, aber auch höhere Antwortzeiten durch Latenzen im Netz, Verlust von Nachrichten oder nicht-deterministisches Verhalten des Gesamtsystems. Diese Probleme sind grundsätzlicher Natur und können auch durch R-OSGi nicht verhindert oder gelöst wer-

den. Der Vorteil von OSGi allgemein ist aber, dass sich Bundles ohnehin nicht auf die Verfügbarkeit von Diensten verlassen können, da diese jederzeit angehalten oder sogar deinstalliert werden können. Clients müssen mit solchen unvorhersehbaren Ausfällen rechnen und umgehen können. Dabei helfen in der Regel `ServiceTracker` bzw. Komponentenklassen im Fall von Declarative Services. R-OSGi macht sich dies zunutze, indem es Fehler im Zusammenhang mit der Verteilung, wie beispielsweise eine Netzwerkunterbrechung, auf einen Dienstausfall abbildet und das zugehörige Proxy-Bundle deinstalliert. Das Client-Bundle muss für einen solchen Fall auch bei lokalem Zugriff eine Alternative parat haben und sollte damit klar kommen. Bewusstsein für die Serviceverteilung im Netzwerk benötigt es dafür jedoch nicht, so dass OSGi-Entwickler nicht umgeschult werden müssen.

3 Bereitstellung von Klassen im verteilten System

OSGi-Bundles können Java-Pakete aus anderen Bundles verwenden, wenn sie deren Import explizit in ihrem Bundle-Manifest deklarieren. Dies hat Konsequenzen für die Generierung von Proxy-Bundles. Es kann sein, dass die Service-Schnittstelle Klassen als Methodenparameter oder Rückgabewerte verwendet, die nicht zum Java-Standard gehören und auf der Client-Seite nicht bekannt sind. Da der Service-Proxy sie aber im Client-Container benötigt, stellt R-OSGi sie dort mithilfe von Type Injection bereit. Dafür analysiert das R-OSGi-Bundle auf der Service-Seite die Schnittstelle und trägt alle direkt oder indirekt benötigten Klassen in eine Injection-Liste ein, die mit dem Service registriert wird. Sobald ein Client den Service akquiriert, erzeugt R-OSGi die erforderlichen Klassen im Proxy-Bundle. Für die dynamische Proxy-Generierung bedient sich R-OSGi der ausgereiften Open-Source-Bibliothek ASM des ObjectWeb-Konsortiums. ASM ist ein Framework zur Manipulation, Analyse und Generierung von Java-Bytecode und wird auch in vielen anderen Bibliotheken und Frameworks verwendet.

4 Ereignisbenachrichtigung

Kaum eine Anwendung kommt ohne asynchrone Benachrichtigung aus. In Stand-alone-Applikationen wird dafür meist das Beobachtermuster verwendet. Im

OSGi-Kontext ist es nicht zu empfehlen, wenn es über Bundle-Grenzen hinweg zum Einsatz kommen soll, da es den dynamischen Lebenszyklus von Bundles nicht berücksichtigt und deshalb zu Problemen führen kann (Kriens et al. 2004). Noch schlimmer sieht es im Fall von R-OSGi (und übrigens auch Distributed OSGi) aus. Dies liegt daran, dass in einer verteilten Umgebung alle Fernaufrufe als Call-by-Value (im Gegensatz zum Java-Standard Call-by-Reference) ausgeführt werden müssen. Mit Referenzen kann die entfernte Gegenstelle wenig anfangen, deshalb müssen Kopien der Objekte übertragen werden. Würde sich nun nach dem Beobachtermuster ein Beobachter bei seinem entfernten Subjekt registrieren, würde dieses Subjekt nur eine Referenz auf einen kopierten Beobachter in seinem Adressraum speichern. Im Benachrichtigungsfall würde nur die Beobachter-Kopie informiert, nicht der ursprüngliche Beobachter im anderen Container.

Die Lösung für dieses Problem heißt EventAdmin-Service. Es handelt sich dabei um einen Standard-Service der OSGi Compendium-Spezifikation, der asynchrone und synchrone Benachrichtigungen zwischen beliebigen Bundles ermöglicht. Ein Sender von Benachrichtigungen legt eine Rubrik dafür fest, das so genannte Topic. Wer diese Nachrichten bekommen möchte, muss einen EventHandler für das entsprechende Topic registrieren. Dieses Muster funktioniert auch mit R-OSGi, sogar ohne besondere Vorkehrungen. R-OSGi setzt den EventAdmin-Service transparent im Netzwerk um, so dass Nachrichten eines Containers auch die anderen Container erreichen (siehe Abb. 3). Dafür muss lediglich auf jedem Container eine EventAdmin-Implementierung laufen.

Für die Datenübertragung im Netzwerk benutzt R-OSGi ein eigenes Protokoll über so genannte Network-Channels. Zwar kommt standardmäßig eine TCP-Implementierung (TCPChannel) zum Einsatz, diese kann jedoch leicht ausgetauscht werden. Auf diese Weise können auch mit Bluetooth oder dem Mina-Framework solche Kanäle realisiert werden, was beispielsweise die drahtlose R-OSGi-Anbindung von Mobiltelefonen ermöglicht.

5 Einsatz in der Praxis

Inzwischen setzen verschiedene kommerzielle und nicht-kommerzielle Anwendungen R-OSGi ein, wie beispielsweise die Collaborative Middleware flowSGI für mobile Endgeräte oder das Baukastensystem BUG, mit dem Embedded Devices entwickelt werden können. Die ixellence GmbH verwendet R-OSGi ebenfalls bei der Entwicklung ihrer verteilten Softwareprodukte. Im medizinischen Bereich überträgt das Telemonitoringsystem *ixTrend* hochabgetastete medizinische Echtzeitdaten via R-OSGi. Auch umfangreiche Konfigurations- und Steuerungsprozesse der verteilten medizinischen Netzwerkkomponenten werden über Remote-Services mittels R-OSGi realisiert. Im Bereich der Bildverarbeitung setzt ixellence ebenfalls R-OSGi ein. Die Videoüberwachungssoftware *ixCam* ermöglicht unter anderem die automatische Sabotagedetektion von Überwachungskameras. Die Kameras sind dabei an spezielle Kameraserver angeschlossen, auf denen die Algorithmen zur Erkennung der Kameramanipulation ausgeführt werden. Hier übernimmt R-OSGi die Ereignis-

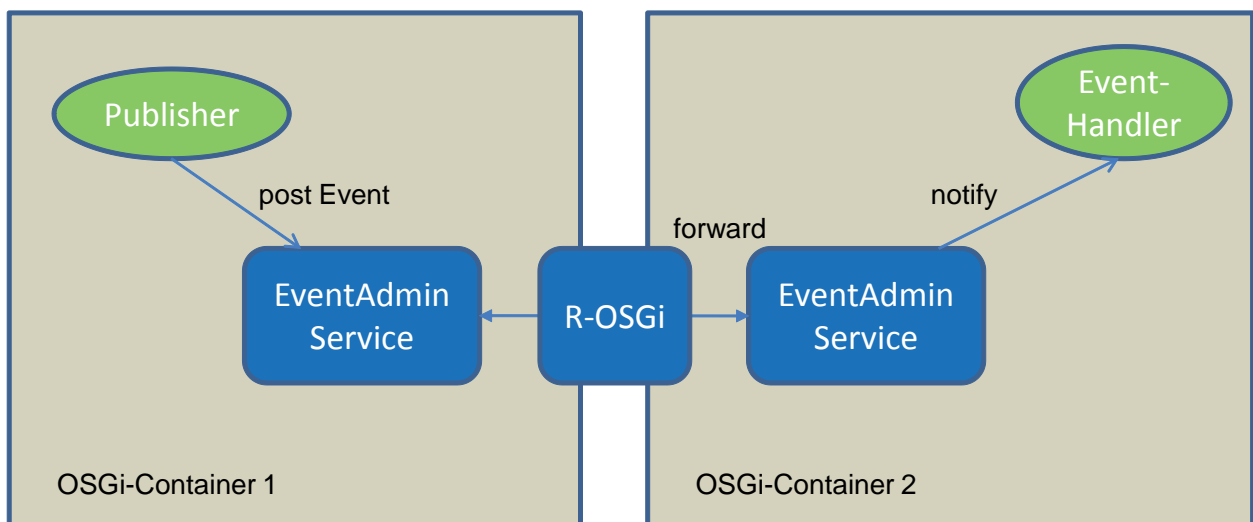


Abb. 3: Ereignisse werden von R-OSGi netzwerktransparent mithilfe der lokalen EventAdmin-Services weitergeleitet

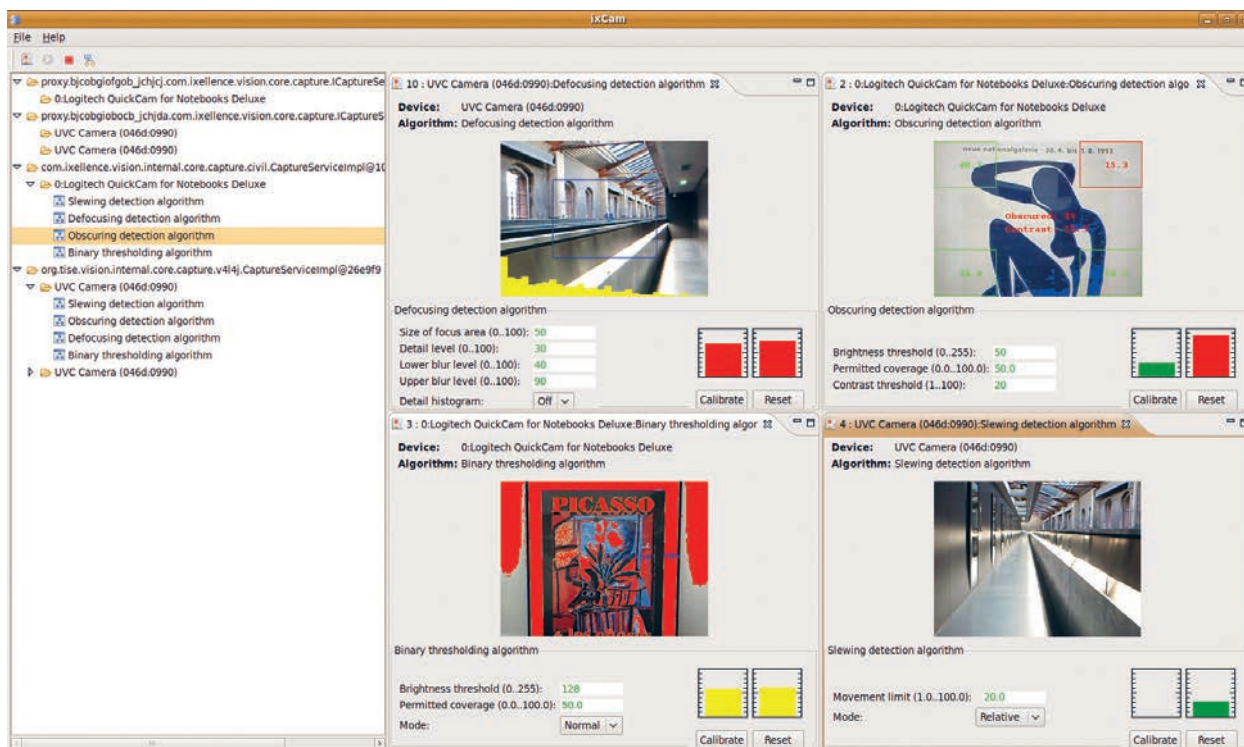


Abb. 4: Bei der Videoüberwachung mit ixCam übertragen die Kameraserver Bilddaten und Alarmereignisse via R-OSGi zur graphischen Oberfläche in der Wachzentrale.

nisbenachrichtigung im Alarmfall sowie die Übertragung der Echtzeitbilddaten von den Kameras zu den Client-Stationen (siehe Abb. 4). Die Autoren haben den aktuellen Release Candidate 4 der R-OSGi-Version 1.0.0 in diesen Projekten bereits als zuverlässig, leistungsfähig (vergleichbar mit RMI) und somit tauglich für den Produktiveinsatz erlebt. Nur die im zugehörigen Forum dokumentierten Probleme sollten bis zur endgültigen Freigabe noch gelöst werden.

6 Distributed OSGi, ECF und R-OSGi

Neben der Entwicklung von R-OSGi gab es weitere Entwicklungen im Bereich der OSGi-Technologie zur Verteilung von Anwendungen und dessen Dienste. Die jüngst im Service-Compendium der OSGi-Serviceplattform von der OSGi Alliance veröffentlichte Spezifikation zu Remote Services beschreibt eine Erweiterung des Standards für verteilte OSGi-Anwendungen (Distributed OSGi). Bei der Spezifikation von Distributed OSGi wurde bewusst darauf geachtet, keine zusätzliche Middleware-Lösung zu schaffen, da es diesbezüglich bereits eine Reihe ausgereifter Konzepte gibt. Vielmehr definiert Distributed OSGi (D-OSGi) eine Möglichkeit, existierende Middleware-Lösungen, wie SOAP, CORBA, JMS

oder R-OSGi, auf standardisierte Art und Weise in das OSGi-Framework zu integrieren und dabei die bewährten Konzepte der Service-Konsumption beizubehalten. Die Aufgabe der Verteilung von Services über eine existierende Middleware übernehmen bei D-OSGi die **Distribution Provider**. Dafür stellen sie einen **Endpoint** bereit, über den Services importiert und exportiert werden können. Der Endpoint ist dabei der Zugriffspunkt der Service-Kommunikation über lokale OSGi-Grenzen hinweg. Ein OSGi-Framework kann mehrere Distribution Provider gleichzeitig nutzen, die jeweils unabhängig verschiedene Services importieren und exportieren. Mit diesem Konzept lässt sich beispielweise eine Anwendung für Buchbestellungen entwickeln, welche für den Abruf der Buchkataloge einen Distribution Provider für Webservices nutzt und für die Bestellabwicklung einen anderen Provider. Der Import und Export von Remote Services erfolgt bei D-OSGi über **Remote Service Properties**, die beim Registrieren und Referenzieren von Services benutzt werden können. Über **Intents** können bestimmte Anforderungen definiert werden, die die entfernten Dienste unterstützen müssen. Das Konzept der Intents wurde von der *SCA Policy Framework Specification* (SCA) übernommen. Hierüber können unter anderem Angaben zur Verschlüsselung oder Dienstgüte der Übertragung des Distribution Providers gemacht werden.

Neben Apache CXF (Apache CXF) stellt das Eclipse Communication Framework (ECF) eine Implementierung eines Distribution Providers für D-OSGi dar. ECF ist ein Framework für die Entwicklung von verteilten Eclipse-Anwendungen, das asynchrone Punkt-zu-Punkt- oder Publish-and-Subscribe-Kommunikation unterstützt. Die Installation von ECF in die Eclipse Entwicklungsumgebung ermöglicht Echtzeitkommunikation und stellt Teamfunktionen bereit, wie das gemeinsame Editieren von Quellcode. Grundlage dafür ist eine Reihe von APIs und Frameworks, die auf bestehenden Protokollen (XMPP, IRC, BitTorrent, MSN etc.) aufbauen. Jedes dieser Protokolle ist eine Implementierung eines Communication Containers, die bei ECF den transparenten Zugriff auf einen protokollspezifischen Kontext liefern. ECF liefert außerdem einen Communication Container für das an der ETH Zürich entwickelte R-OSGi.

R-OSGi ist keine direkte Implementierung für D-OSGi, sondern stellt eine Middleware bereit, mit der OSGi-Services ebenfalls remote zur Verfügung gestellt und abgerufen werden können. Auch bereits existierende Services können bei R-OSGi über eine *Surrogate-Registration* exportiert werden. Finden kann man Remote-Services mit einem Discovery-Service über *ServiceDiscoveryListeners*. R-OSGi kann auch mit älteren OSGi-Frameworks arbeiten, sofern auf die Ereignisbenachrichtigung durch den EventAdmin-Service verzichtet werden kann. Für OSGi R3-Implementierungen, die EventAdmin benötigen, kann auf den EventAdmin-Backport, der Teil der OSGi-Implementierung Concierge (Concierge) ist, zurückgegriffen werden.

7 Fazit

Wer bereits mit OSGi vertraut ist, erhält mit R-OSGi eine schlanke und leistungsfähige Middleware, mit der sich auch die verteilte Softwarewelt erobern lässt, ohne dass man dafür umdenken muss. Eine Einarbeitung ist dennoch erforderlich, nicht zuletzt wegen der ungewohnten Call-by-Value-Semantik. R-OSGi beeinflusst letztlich auch die Architektur der Anwendung, denn in verteilten Anwendungen wird der Grundsatz, Schnittstellen einfach und klein zu halten, zur leistungsentcheidenden Notwendigkeit. Es bleibt abzuwarten, wie sich die ersten Implementierungen der OSGi-Spezifikation 4.2 in Bezug auf Distributed OSGi bewähren und welchen Einfluss dies auf die Konsolidierung der konkurrierenden Ansätze haben wird.

Acknowledgement

Der Artikel ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten im Bereich der Telematik im Zusammenhang mit einer an der Technischen Hochschule Wildau [FH] durchgeführten Bachelorarbeit, deren Einsatz bereits in verschiedenen Softwareprojekten erprobt wurde. Es werden die Grundkonzepte, praktische Fallstricke und Lösungsmöglichkeiten sowie die neuesten Bestrebungen zur Standardisierung dieses Softwaredesigns vorgestellt.

Literatur

- Rellermeyer, Jan S.; Roscoe, Gustavo Alonso Timothy (2007): R-OSGi: Distributed Applications through Software Modularization. In: Proceedings of the ACM/IFIP/USENIX 8th International Middleware Conference, Newport Beach, CA.
- Kriens, Peter; Hargrave, B. J. (2004): Listeners Considered Harmful: The Whiteboard Pattern. OSGi Alliance 2004. <http://www.osgi.org/wiki/uploads/Links/whiteboard.pdf>.
- Konradi, Philips; Ransmayr, Viktor; Wengatz, Nicole (2009): OSGi goes Enterprise? In: JavaSpektrum 4/2009, 13-17.
- Wütherich, Gerd; Hartmann, Nils; Bolb, Bernd; Lübken, Matthias (2008): Die OSGi Service Plattform; dpunkt-Verlag, Heidelberg, 1. Auflage.
- Bressler, Tobias (2009): Design und Implementierung einer verteilten Client-Server-Anwendung auf Basis des OSGi Frameworks zur Analyse und Darstellung von medizinischen Echtzeitdaten. Bachelorarbeit, TFH Wildau.
- Vandenhouten, Ralf; Kistel, Thomas (2009): Aus der Entfernung – Verteilte Dienste mit R-OSGi. In: iX Magazin für Professionelle Informationstechnik, 12/2009.
- SCA Webseite: <http://www.oasis-open.org/committees/sca-policy>
- Apache CXF Webseite des Projektes: <http://cxf.apache.org/distributed-osgi.html>.
- ECF Webseite: <http://www.eclipse.org/ecf>.
- R-OSGi Webseite: <http://r-osgi.sourceforge.net>.
- Concierge Webseite der OSGi-Implementierung Concierge: <http://concierge.sourceforge.net>.
- OSGi Webseite der OSGi-Alliance: <http://www.osgi.org>.
- ASM Webseite des Projektes: <http://asm.ow2.org>.
- BUG Webseite des Baukastensystems BUG: <http://www.buglabs.net>.

Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten

TH Wildau [FH]
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Fachgebiet Telematik
ralf.vandenhouten@tfh-wildau.de
 Tel. +49 3375 508-359

Thomas Kistel, M. Eng.

TH Wildau [FH]
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Fachgebiet Telematik
thomas.kistel@tfh-wildau.de
 Tel. +49 3375 508-615

Bewertungsproblem als Herausforderung bei Programmevaluationen – methodische Lösungsbeiträge

Martina Brandt, Ulla Große

Zusammenfassung

Programmevaluationen stellen hohe Anforderungen an die Analyse, Strukturierung, Bewertung und Validitätsprüfung von Projekt- und Kontextdaten sowie -informationen. Trotz einer großen Anzahl praktischer Evaluationsprojekte und steigender Anforderungen an ihre Durchführung gibt es in Deutschland bislang kaum empirische Untersuchungen zur Anwendbarkeit verschiedener Evaluationsansätze. Während für die Daten- und Informationsbeschaffung auf ein vielfältiges und erprobtes Methodenspektrum zurückgegriffen werden kann, liegt bislang nur für wenige Evaluationszwecke eine praktikable Bewertungsmethodik vor. An praktischen Beispielen aus Programmevaluationen werden für unterschiedliche Bewertungsprobleme methodische Lösungsansätze vorgestellt. Zugleich wird deutlich, inwiefern auch für Bewertungen in Evaluationen von Programmen vergleichbarer Komplexität aber unterschiedlichem Evaluationsauftrag eine Operationalisierung im methodischen Vorgehen möglich ist und wo die Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten liegen.

Abstract

Programme evaluations place high demands on analysing, structuring, rating and validity-checking of project and context data and information. In spite of many practical evaluation projects and increasing requirements regarding their realization, in Germany there are only a few empirical studies about the application of different programme evaluation approaches. Whereas for collecting data many comprehensive and tried and tested methods are available, there is a practicable method for assessment only for a few tasks of evaluation. Using practical examples of programme evaluations, methodologies are demonstrated for different assessment problems. At the same time it is shown, to what degree an operationalization of procedure model is possible in the case of evaluations with the same complexity but a different purpose. Moreover, areas which would provide a basis for further research are indicated.

1 Spezifik von Programmevaluationen

Eine Evaluation ist die systematische Untersuchung des Nutzens oder Wertes eines Gegenstandes. Evaluationsgegenstände können z. B. Programme, Projekte, Produkte, Maßnahmen, Leistungen, Organisationen, Politik, Technologien oder Forschung sein. Die erzielten Ergebnisse, Schlussfolgerungen oder Empfehlungen müssen nachvollziehbar auf empirisch gewonnenen qualitativen und/oder quantitativen Daten beruhen [DeGEval 2008: S. 15].

Programme als Evaluationsgegenstand zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass

- sie oft mehrjährige Laufzeiten haben,
- mehrere Projektträger unterschiedlichen Institutionentyps agieren,

- das (Haupt-)Ziel zumeist von mittlerer oder hoher Komplexität ist,
- mehrere Ziele bzw. Haupt- und Unterziele verfolgt werden,
- häufig qualitative Ziele formuliert sind,
- Projektträger innovative Instrumente und Vorgehensweisen anwenden,
- unterschiedliche Problemlösungswege erprobt werden,
- nicht selten Umsteuerungen z. B. in Projektkonzepten, erfolgen,
- Daten und Informationen sich entsprechend dem Projektfortschritt verändern und
- Programmwirkungen sich in verschiedenen Phasen von Wirkungsketten und in unterschiedlichen Zeithorizonten manifestieren können. [1]

Programme sind somit in Veränderung begriffene Evaluationsgegenstände. Da sie in aller Regel auf die Lösung aktueller Probleme zielen, die auf veränderte bzw. sich dynamisch verändernde Umfeldbedingungen zurückgehen, sind auch die Programmkontexte veränderlich. Die zu evaluierenden aufgelegten Programme werden nicht nur komplexer, auch die Erfolgsmessung wird zunehmend anspruchsvoller und die Wirkungsnachweise sind schwerer zu erbringen. Damit verbunden sind häufig Defizite in der Evaluationsrealität, auf deren Überwindung die Evaluierten zu Recht drängen. [z. B. Gerlach et al. 2003: 497]

Auch in Deutschland werden Programmevaluationen zunehmend als ein Instrument zur Steuerung politischer Entscheidungsprozesse genutzt, ihre Zahl hat stark zugenommen. Sie beziehen sich auf einzelne Aspekte oder auf ein umfassendes Design, bestehend aus:

- Ex-post-Bewertungen bisheriger Förderpraxis,
- formative und prozessbegleitende Bewertungen laufender Programme und Förderaktivitäten und
- Ex-ante-Beurteilungen zukünftiger Programme und Förderaktivitäten unter dem Gesichtspunkt der Wirksamkeit. [Simon et al. 2003, zitiert in Hupfer 2007: 72]

Mit der gewachsenen Rolle von Evaluationen sind auch die Anforderungen an Bewertungsprozesse in Evaluationen gestiegen. Nach jahrelangen Diskussionen herrscht heute weitgehend Konsens darüber, dass eine Evaluation strengen wissenschaftlichen Anforderungen genügen und quantitative und qualitative Methoden verwenden sollte (Multimethodenansätze), um für den Auftraggeber und andere Interessengruppen von maximalem Nutzen zu sein. [Stockmann 2004: 9]

Die seit 2001 vorliegenden Evaluationsstandards der Gesellschaft für Evaluation e. V. definieren z. B. Qualitätsanforderungen hinsichtlich Nützlichkeit, Durchführbarkeit, Fairness und Genauigkeit und fordern u. a.

- Grundlagen der Werturteile klar zu beschreiben,
- nur valide Informationen zu nutzen und
- Informationen systematisch auf Fehler zu prüfen.

[DeGEval 2008]

Der Evaluationszweck, also das vom Auftraggeber vorgegebene Ziel der Evaluation, kann sehr verschieden sein und sich auf einen oder mehrere Bereiche wie Erreichung des Programmziels, Kosten-Nutzen-Bewertung, Wirkungsanalyse, Qualitätssicherung, Projektsteuerung usw. beziehen. Oftmals ist in der Praxis der Evaluationszweck (gewollt oder ungewollt) zwischen »Erfolg des Programms/der Projekte«, »Zielerreichung«

und »erreichten Wirkungen« breit angelegt, aber wenig präzise formuliert. Dies stellt die Programmevaluation dann vor die Aufgabe, zunächst eine entsprechende Präzisierung des Evaluationszwecks vorzunehmen, um auf dieser Grundlage konkrete Bewertungsziele abzuleiten.

Die Notwendigkeit, hochkomplexe Gegenstände in der Evaluation adäquat abzubilden und in der Regel mehreren Evaluationszwecken gerecht zu werden, stellt hohe Anforderungen an die Analyse, Strukturierung, Bewertung und Validitätsprüfung von Projekt- und Kontextdaten sowie -informationen. Gefordert ist eine entsprechend dem Programm und den verfügbaren Ressourcen bestmöglich wissenschaftsbasierte sowie praktikable Analyse- und Bewertungsmethodik, die auch vom Auftraggeber und den Programmakteuren mit getragen wird.

Die Autorinnen haben sich in den letzten Jahren mit der Bearbeitung unterschiedlichster Evaluationsstudien für verschiedene Auftraggeber immer wieder diesem Anforderungsprofil gestellt und sich in die wissenschaftliche Diskussion zu den bestehenden methodischen Defiziten eingebracht. [Große et al. 2004]

2 Operationalisierungsgrad vorliegender Evaluationsmodelle und Zielsetzung des Beitrages

Angesichts einer kaum noch überschaubaren Komplexität und großen Anzahl praktischer Evaluationsvorhaben gibt es in der Literatur zwar zahlreiche Vorschläge zu deren Strukturierung, jedoch bisher kaum empirische Untersuchungen zur Anwendbarkeit der verschiedenen Evaluationsansätze. Dies führt dazu, dass viele Evaluationsvorhaben in der Praxis ohne Bezugnahme auf bestehende Modelle auskommen (müssen) und es entsteht der Eindruck, dass das Rad der Evaluation immer wieder neu erfunden wird. [Stockmann 2007: 40]

Die Gründe hierfür sind vielfältig. So wird eine unzureichende Weiterentwicklung von Theorie und Methodik der Evaluation beklagt. »Zwar werden in den einzelnen Fächern, Sektoren und Ressorts ausgezeichnete Evaluationsstudien durchgeführt, doch (...) diese Erkenntnisse (kumulieren) nur unzureichend in einer Weiterentwicklung von Theorie und Methodik der Evaluation«. [Stockmann 2000: 34] Diese Einschätzung aus dem Jahr 2000 gilt, trotz erreichter Fortschritte, noch heute.

Als Gründe für die im internationalen Vergleich verzögerte Entwicklung der Evaluationsforschung in Deutschland werden u. a. Defizite in der Forschung sowie die institutionelle Zersplitterung und die Dominierung des Evaluationsmarktes durch Consulting- und Marktforschungsunternehmen ausgemacht. [Stockmann 2000: 31f] Die nachhaltige Institutionalisierung der Evaluation in der deutschen Forschungslandschaft als Voraussetzung für eine systematische Grundlagenforschung, der Theorie- und Methodenentwicklung sowie fachwissenschaftlicher Standards hat noch keinen zufriedenstellenden Stand erreicht.

Die Bündelung und Strukturierung des in zahlreichen Studien, Berichten und Vorträgen vorliegenden Wissens hat zu einer Identifizierung verschiedener Evaluationskonzepte und -modelle geführt. [Stockmann 2004, 2006, 2007, zit. in Filsinger 2008: 62 ff] Entsprechend der unter Punkt 1 beschriebenen Spannweite von Evaluationszwecken unterscheiden z. B. Beywl u. a. mehr als zehn Ansätze von Evaluationen, die in der Literatur reflektiert werden. [Beywl et al. 2004]

Für Programmevaluationen sind vor allem drei Modelle relevant:

- *Programmzielgesteuerte Evaluation* als der klassische Evaluationsansatz, der anhand der erreichten Resultate prüfen soll, ob die Ziele eines Programms erreicht wurden. Aus dem Grad der Zielerreichung wird auf die Verwendbarkeit des Programms geschlossen. [Beywl et al. 2004: 225]
- *Wirkungsorientierte Evaluation* [Beywl et al. 2004: 227 ff] [2] bezieht sich nicht nur auf die direkten Effekte einer Intervention auf eine Zielgruppe, sondern vor allem auch auf mittel- und langfristige Wirkungen im Hinblick auf die Programmziele und ist noch anspruchsvoller und voraussetzungsvoller. [Filsinger 2008: 63]
- *Cluster-Evaluation* sieht die Variationen in der Programmimplementation unter heterogenen Bedingungen (relativ autonome Projekte an verschiedenen Standorten mit eigener Strategien) nicht als hinderlich für die Evaluation an, ist aber nur in Fällen einsetzbar, wo keine Aussagen zu einzelnen Projekten gefordert sind, da diese nur in anonymisierter Form für die Gesamtbewertung genutzt werden. [Sanders 1997 zit. in Haubrich 2001]

Auch gibt es zahlreiche grundsätzliche Empfehlungen zur Planung und Durchführung von Evaluationsprojekten (Planung, Management, Organisation, Auswertung, Berichtlegung). [Wottawa 1998; König 2004] Der

Schwerpunkt der Modellbeschreibung liegt aber auf der Analysemethodik, die Bewertungsmethodik ist zumeist knapp oder nicht beleuchtet. Selbst Glossare zum Thema Evaluation enthalten selten Begriffe im Zusammenhang mit dem Bewertungsproblem. [z. B. univati-on 2004] Eine Ausnahme bildet die von Stockmann am Beispiel der Evaluation der Qualitätsentwicklung von Organisationen entwickelte, praktikabel nachnutzbare Evaluationskonzeption, die neben einem Muster-Evaluationsleitfaden auch ein Bearbeitungs- und Bewertungsverfahren umfasst. [Stockmann 2006]

Kernaufgaben von Bewertungsprozessen sind die Erarbeitung einer geeigneten Bewertungsmethodik und deren Anwendung auf die beschafften Daten und Informationen. Die Bewertungsmethodik umfasst die Formulierung von Bewertungskriterien, die Entwicklung geeigneter Indikatoren und die Erarbeitung einer Bewertungsmatrix, auf deren Grundlage die Ausprägungen der Indikatoren (zu beschaffende Daten und Informationen) auf geeignete Weise zu einer Gesamteinschätzung verdichtet werden. Hierfür gibt es keine allgemeingültigen Regeln. »Die Entwicklung von Indikatoren ... stellt bei jeder Evaluation einen kreativen Akt dar, da die Besonderheiten eines Programms und seines Politikfeldes sowie die Aufgabenstellung der Evaluation berücksichtigt werden müssen.« [Stockmann 2006: 204] Gleiches gilt für die Festlegung von Bewertungsskalen und eventuellen Gewichtungsfaktoren. Hinzu kommt, dass zumeist nicht auf statistische Auswertungs- und Bewertungsverfahren für quantitative Daten aus sozialwissenschaftlichen Experimenten zurückgegriffen werden kann, da das Bewerten mittels quantitativer Daten bei Programmevaluationen nur begrenzt möglich ist. Vielmehr fällt zumeist eine Überfülle qualitativer Daten und Informationen an. Auch sind die Programmziele häufig (nur) qualitativer Natur. In Lehrbüchern zur empirischen Sozialforschung sind solche methodologischen Sonderprobleme angewandter Forschung jedoch weitgehend ausgespart. [Kromrey o.J.]

Die Herausforderungen in Bewertungsprozessen liegen also weniger in der Methode der Informationsbeschaffung – hier kann auf das erprobte Instrumentarium der empirischen Sozialforschung zurückgegriffen werden –, als vielmehr im Konzept für die Informationsbewertung. Gleichwohl ist die Informationsbeschaffung immer ein zu realisierender Spagat zwischen Notwendigem und Machbarem und erfordert eine hohe Methodenkompetenz.

Mit dem vorliegenden Beitrag wird erstens das Ziel verfolgt, an praktischen Beispielen aus Evaluationen von Programmen mit qualitativer Zielsetzung für unterschiedliche Bewertungsprobleme methodische Lösungsansätze vorzustellen. Zweitens soll aufgezeigt werden, inwiefern für Programmevaluationen vergleichbarer Komplexität aber unterschiedlichem Evaluationsauftrag eine Operationalisierung im methodischen Vorgehen möglich ist und wo die Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten liegen.

Die dargestellten Erfahrungen basieren auf einer bereits abgeschlossenen und einer noch laufenden Evaluation, bei der jedoch die Bewertungsmethodik bereits für ein Teilprojekt (Versuch) erfolgreich expliziert wurde.

3 Operationalisierung der Bewertung an zwei praktischen Beispielen

3.1 Evaluation eines Förderprogramms zur Berufsorientierung

Hauptziel der als Gemeinschaftsaktion des Ministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Frauen (MASGF) mit dem Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBS) und der Regionaldirektion Berlin-Brandenburg der Bundesagentur für Arbeit im Land Brandenburg durchgeführten 18. INNOPUNKT-Kampagne war die Systematisierung und der Ausbau des Berufsfindungs- und -wahlprozesses von Schülerinnen und Schülern. Dazu wurden sieben Teilziele definiert, wie z. B. »mehr und passgenauere Praxislernzeiten für SchülerInnen«, »Berücksichtigung regionaler Bedarfe bei der Entwicklung von Branchenkompetenzfeldern in Konzepten und Maßnahmen« oder »gestärkte Fachkompetenz und Kooperationsbereitschaft durch neue Fortbildungskonzepte«.

Sieben Projektträger stellten sich im Zeitraum von Februar 2007 bis Ende 2008 dieser anspruchsvollen Zielsetzung, entwickelten neue Konzepte und setzten diese um. Zur Erreichung des Hauptziels konnten die Träger eines oder mehrere Teilziele wählen.

Der Auftrag für die formative Evaluation als Element der Qualitätssicherung sah zwei Aufgaben vor: Neben der wissenschaftlich beratenden Begleitung der Modellprojekte mit dem Ziel, Lernprozesse und entsprechendes Handeln bei den Trägern auszulösen, oblag der Evaluation die Bewertung und Dokumentation der erreichten Ergebnisse und Wirkungen, die Ableitung von Handlungsempfehlungen hinsichtlich der flächendeckenden Einführung des Praxislernens in

Brandenburg sowie der erfolgreichen Verbindung von Schule und Wirtschaft.

Bewertungsseitig war die Evaluation damit gefordert, die Gesamtzielerreichung eines mit mehreren Teilzielen unteretzten und von mehreren Trägern auf unterschiedliche Weise realisierten Programms einzuschätzen, wobei sowohl das Hauptziel als auch die Teilziele komplexer und ganz überwiegend qualitativer Natur waren.

Hinzu kamen weitere Herausforderungen:

- Der für Programmevaluationen typische hochkomplexe Untersuchungsgegenstand hatte einen hohen Analyse- und Bewertungsaufwand zur Folge. Die Projekte wiesen eine große Bandbreite im methodischen Vorgehen, im Umfang erprobter Instrumente zur Arbeitswelt- und Berufsorientierung wie auch in der Projektorganisation auf. Das Leistungsspektrum reichte von der Konzeptentwicklung über die organisatorische Unterstützung, die Realisierung einzelner Bausteine des Praxislernens, die Qualifizierung relevanter Akteure und das Einbringen neuer Produkte bis zur individuellen Beratung von Schülerinnen und Schülern. Für nahezu alle möglichen Ansatzpunkte, die die Berufsorientierung und den Übergang in die Berufsausbildung behindern, wurden in der Kampagne Problemlösungen behandelt und dabei fast die gesamte in Deutschland genutzte Palette an Instrumenten, Methoden und Akteurskooperationen unter Brandenburger Bedingungen angewendet.
- Um die Hauptzielerreichung der Kampagne umfassend bewerten zu können, musste der in seiner Ausgestaltung weitgehend unregelmäßige komplexe Begriff der »Systematisierung von Berufsorientierung« präzisiert werden.
- Der Bewertungsprozess wurde dadurch erschwert, dass nicht alle Projekte alle Teilziele gleichermaßen im Fokus hatten, da sie eine Auswahl aus den vorgegebenen sieben Teilzielen treffen konnten. Zudem waren die Beiträge selbst von unterschiedlichem Gewicht und einige Teilziele bündelten mehrere Zielfacetten, die einen unterschiedlichen Zielerreichungsgrad haben konnten.

Zur Erfüllung des Evaluationsauftrags wurde eine Bewertungsmethodik entwickelt, die diesen Herausforderungen wie folgt gerecht wurde:

Begriffsklärung und Operationalisierung des Hauptziels

Systematisierung von Berufsorientierung kann sowohl ergebnisbezogen (im Sinne einer systematischen Befä-

higung von Schülerinnen und Schülern zur Berufsorientierung) als auch prozessbezogen (im Sinne eines systematischen Vorgehens bei der Einführung von Berufsorientierung an Schulen) betrachtet werden. Da die Kampagne vordergründig auf die ergebnisorientierte Betrachtung fokussierte, entwickelte die Evaluation hierfür einen entsprechenden Bewertungsrahmen aus Dimensionen, Merkmalsausprägungen und Indikatoren (vgl. Tabelle 1).

Aufhellung des Bezugs der Teilziele zum Hauptziel

Entsprechend des entwickelten Verständnisses von unterschiedlichen Dimensionen der Systematisierung von Berufsorientierung (als Hauptziel) wurde eine Zuordnung der sieben Teilziele zu diesen Dimensionen vorgenommen (vgl. Abb. 1). Dabei zeigte sich, dass sich zu drei Dimensionen jeweils drei Teilziele zuordnen ließen, zu einer jedoch nur eines.

Entwicklung einer Bewertungsmatrix zur Teilzielbewertung

Da die oben beschriebene unterschiedliche Orientierung der Projekte auf einzelne Teilziele der Kampagne eine vollständig konsistente Bewertung ausschloss, wurden die Bewertungskriterien »regionale Reichweite«, »Anzahl und Qualität der Beiträge« sowie »Ziel-

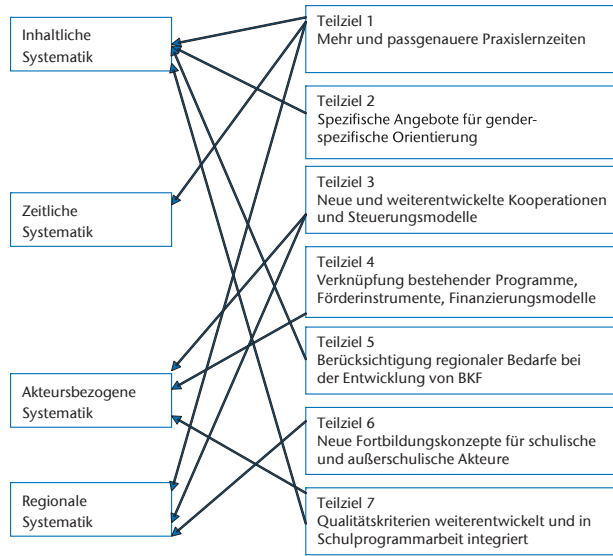


Abb. 1: Teilziele der Kampagne und Dimensionen von Systematisierung

genauigkeit« gewählt und deren Ausprägungen für eine Bewertung wie in Tabelle 2 dargestellt festgelegt.

Strukturierte Ergebnissammlung und -dokumentation

Zur Gewinnung von Daten und Informationen über die erzielten Ergebnisse der Projekte nutzte die Evaluation einen Mix aus qualitativen und quantitativen Methoden, wie z. B. leitfadensbasierte Vor-Ort-Gespräche und

Dimensionen	Merkmale	Indikatoren für systematische Merkmalsausprägung
Inhaltliche Systematik	Ziele und Teilziele	Vorgehen und Instrumente auf Zielsystem ausgerichtet
	Bezug zu Allgemeinbildung/Schultypen	Verzahnung externer BO-Angebote mit Lehrplänen
	Bezug zu Berufsfrüh- und Studienorientierung	gesicherte Anschlüsse
	Bezug zu dynamischer Berufs- und Ausbildungswelt	den Veränderungen angepasste Inhalte
	Vermittelbarkeit der Inhalte	Nutzung geeigneter pädagogischer Konzepte
	Qualität	eingeführte und beachtete Qualitätsstandards an allen Praxislernorten
Zeitliche Systematik	Prozesscharakter	altersgerechte Angebote aufeinander aufbauende Angebote in Jahrgangsstufen
	individueller Fortschritt von Schülerinnen und Schülern	zunehmende Individualisierung der Angebote
	Akteursbezogene Systematik	Vielfalt pflichtiger und freiwilliger Akteure
unterschiedliche Interessenlagen		politische Steuerung (bezüglich Schulbezug)
unterschiedliche Ressourcen		Abstimmung, Qualifizierung/Weiterbildung, ggf. Ressourcen zuführen
unterschiedliche Lernorttypen		Verzahnung schulischer und außerschulischer Lernorte
Regionale Systematik	unterschiedliche Schul-, Wirtschafts-, Branchen-, Infra- und Akteursstruktur	regionale Modell der Akteursvernetzung und Steuerung unter Beachtung von Qualitätsstandards
	unterschiedliche Zahl und Spektrum an Ausbildungs- und Studienmöglichkeiten	regionale Modelle außerschulische Anteile
	Quantität	dauerhaftes und flächendeckendes Angebot für alle SchülerInnen

Tab. 1: Dimensionen, Merkmalsausprägungen und Indikatoren systematischer Berufsorientierung

Beitrag zur Zielerreichung ist ...			kein Beitrag zur Zielerreichung
groß	mittel	gering	
<ul style="list-style-type: none"> in mindestens vier Projektregionen wurden Beiträge zur Zielerfüllung erbracht es konnten viele Belege für deutliche Veränderungen aufgeführt werden die Belege beziehen sich auf alle Zielaspekte 	<ul style="list-style-type: none"> in zwei oder drei Projektregionen wurden Beiträge zur Zielerfüllung erbracht es gibt einige Belege für deutliche Veränderungen oder viele Belege für geringe Veränderungen die Belege beziehen sich auf alle Zielaspekte 	<ul style="list-style-type: none"> nur in einer Projektregion wurden Beiträge zur Zielerfüllung erbracht es gibt nur vereinzelte Belege für geringe Veränderungen die Belege beziehen sich nicht auf alle Zielaspekte 	<ul style="list-style-type: none"> in keiner Projektregion Belege für Veränderungen

Tab. 2: Bewertungsmatrix für Beiträge zur Zielerreichung

Telefoninterviews mit allen Projektleitungen, aktive Teilnahme an Erfahrungsaustauschen der Träger, Erfassungsbögen zur Selbsteinschätzung der Träger, schriftliche Befragung aller teilnehmenden Modellschulen, und wertete die halbjährlichen Sachberichte der Projektträger aus. Sämtliche Projektergebnisse wurden teilzielbezogen gruppiert und dokumentiert.

Anwendung der Bewertungsmatrix auf alle Teilziele

Die Anwendung der in Tabelle 2 dargestellten Bewertungsmatrix auf die Summe der Ergebnisse aller sieben Teilprojekte führte zu der in Tabelle 3 dargestellten Bewertung des Beitrages der Kampagne zur Erreichung der gestellten Teilziele.

Synthetisierende Bewertung der Hauptzielerreichung

Die in Abbildung 1 dargestellte Zuordnung von Teilzielen zu den unterschiedlichen Systematisierungsdimensionen von Berufsorientierung ermöglichte nunmehr eine Bewertung der Beiträge der Kampagne differenziert

Teilziel	Beitrag zur Teilzielerreichung		
	groß	mittel	gering
mehr und passgenauere Praxislernzeiten	x		
Berücksichtigung genderspezifischer Orientierungen		x	
neue/weiterentwickelte Kooperationen/Steuerungsmodelle	x		
Verknüpfung Förderinstrumente, Finanzierungsmodelle		x	
Berücksichtigung regionaler Bedarfe	x		
neue Fortbildungskonzepte		x	
Integration Qualitätskriterien in Schulprogrammarbeit			x

Tab. 3: Übersicht zur Bewertung der Teilzielerreichung

nach der inhaltlichen, zeitlichen, akteursbezogenen und regionalen Dimension. So konnte z. B. zur regionalen Systematisierung insofern ein Beitrag bescheinigt werden, als alle Projekte bestehende Akteursnetzungen weiter profiliert und verschiedene Modelle der Steuerung erprobt und etabliert haben, die weitere Umsetzung der Qualitätskriterien für Praxislernen von vielen Projektschulen in Angriff genommen und die Notwendigkeit von Qualitätsstandards für die Berufsorientierung auch an außerschulischen Lernorten in der Netzwerkarbeit thematisiert wurde.

3.2 Evaluation von Maßnahmen zur Verwaltungsmodernisierung im Rahmen eines Standarderprobungsgesetzes

Gemäß des ersten Brandenburgischen Bürokratieabbaugesetzes erproben seit 2007 zahlreiche Kommunen auf Antrag für einen begrenzten Zeitraum, von landesrechtlichen Vorgaben abzuweichen und alternative oder selbstständige Lösungen zu erproben. Bürger und Unternehmen sollen von einem besseren Service beispielsweise durch eine kürzere Verfahrensdauer profitieren. Kann der Erfolg der Erprobungen in den Versuchskommunen nachgewiesen werden, ist deren landesweite Umsetzung vorgesehen.

Der Evaluationsauftrag ist auf insgesamt 28 Versuche mit zehn unterschiedlichen Versuchsgegenständen aus sieben Rechtsbereichen (Schulgesetz, Bauordnung, Wassergesetz, Straßenverkehrsrechtszuständigkeitsverordnung, Landeshaushaltsordnung, Naturschutzgesetz, Gesundheitsdienstgesetz) bezogen. Sie werden von 21 Versuchskommunen durchgeführt, darunter drei Landkreise, eine kreisfreie Stadt, 14 Gemeinden und drei Ämter, und haben verschiedene Laufzeiten. So können z. B. sechs Gemeinden über die Anträge von Eltern auf einen Schulbezirkswechsel ihrer Kinder ohne die Beteiligung des staatlichen Schulamtes entscheiden.

In einem weiteren Versuch wird acht Städten, einer Gemeinde und einem Amt die Zuständigkeit für bestimmte Vorschriften der StVO übertragen. Ein Landkreis erprobt z. B. den Verzicht der Regelung der Mindesthöhe von Aufenthaltsräumen und der Mindestgröße der Belichtungsöffnungen.

Die Evaluation hat den Auftrag, auf der Grundlage einer fundierten Analyse zu bewerten, ob die Versuche die Ziele des Standarderprobungsgesetzes erreichen und zu begründen, ob eine landesweite Umsetzung durch Rechtsänderungen zu empfehlen ist.

Bewertungsseitig ist die Evaluation damit gefordert, die Zielerreichung einer Vielzahl von Versuchen mit unterschiedlichem Erprobungsgegenstand einzuschätzen, die jeweils von einem Akteur oder mehreren Akteuren durchgeführt werden, und darüber hinaus eine begründete Übertragbarkeitsentscheidung für jeden Versuch zu treffen. Dies bedeutet in mehrfacher Hinsicht eine Herausforderung:

- Die Evaluation muss sowohl Kriterien zur Erfolgsbewertung der Versuche als auch Kriterien zur Bewertung der Übertragbarkeit (Empfehlung für landesweite Umsetzung) entwickeln, die gleichermaßen für völlig unterschiedliche Rechtsbereiche und Erprobungsgegenstände gelten.
- Die Vielzahl der Versuche und die Verschiedenartigkeit und Komplexität der Versuchsgegenstände erfordern einen hohen Aufwand für die Kontextanalyse, Daten- und Informationsbeschaffung.
- Es ist zu entscheiden, ob und wie über die Ziele des Standarderprobungsgesetzes hinausgehende Wirkungen der Versuche in die Bewertung einzubeziehen sind.
- Die Unterschiedlichkeit der Versuchsgegenstände und der einzubeziehenden Akteure (Polizeidienststellen, Bürgervereine, Schulämter, Landräte, Schulleitungen, Landesrechnungshof, Straßenbaubehörden, Unternehmen, Umweltamt, ...) stellt hohe Anforderungen an die Erhebung der benötigten Messgrößen und qualitativen Merkmale.

Zur Erfüllung des Evaluationsauftrags wurde eine mehrstufige Bewertungsmethodik mit Bewertungskriterien entwickelt, die für alle Versuche gleichermaßen gültig sind:

Kriterien zur Erfolgsbewertung der Versuche

Da die Erfolgsbewertung der Versuche vor dem Hintergrund einer landesweiten Übertragung getroffen werden muss, reicht es nicht aus, sie allein an der Errei-

chung der Ziele des Standarderprobungsgesetzes festzumachen. Vielmehr macht sich ein breiteres Verständnis von Versuchserfolg erforderlich.

Ein Versuch wird dann als erfolgreich bewertet, wenn nachfolgende drei Bedingungen gegeben sind:

1. Erfüllung mindestens eines Ziels des 1. BbgStEG [3]
 - Wirtschaftliche Entwicklung gefördert (unternehmerisches Handeln bzw. Existenzgründungen erleichtert)
 - Verwaltungsverfahren beschleunigt
 - Kosten für Unternehmen, Bürger und Verwaltung gesenkt
2. Qualitätserhaltung/-verbesserung
 - Ergebnisgüte des Verwaltungshandelns
 - Zufriedenheit von Normadressaten und weiteren Betroffenen
3. Verhältnismäßigkeit potenzieller Folgewirkungen

Hierbei werden nicht nur Folgewirkungen betrachtet, die unmittelbar aus der veränderten Gesetzeshandhabung resultieren, sondern auch der erforderliche Beratungs- und Schulungsaufwand in den Kommunen und bei weiteren involvierten Akteuren sowie ggf. der veränderte Aufwand für die zuständigen Ressorts.

Sofern die Versuchskommunen über die Ziele des BbgStEG hinausgehende Wirkungen erzielen, werden diese in die Bewertung von Qualität und Folgewirkungen einbezogen.

Kriterien zur Bewertung der Übertragbarkeit (landesweite Umsetzung)

Eine Standarderprobung wird dann zur landesweiten Umsetzung empfohlen, wenn nachfolgende fünf Bedingungen gegeben sind:

- Der Erfolg der/des Versuche/s konnte nachgewiesen werden (siehe oben).
- Die Verhältnismäßigkeit aller zu schaffenden Voraussetzungen für den Erfolg der Standarderprobung ist gegeben (Schulung, Controlling, ...).
- Sofern eine Erprobung nicht unabhängig vom Raumtyp (engerer Verflechtungsraum, äußerer Entwicklungsraum) und vom Typ der Versuchskommune (Landkreis/kreisfreie Stadt, Amt, Gemeindegemeinschaft, jeweils unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl) ist, muss der Erfolg für alle Raum- bzw. Kommumentypen nachgewiesen sein.
- In den Fällen, in denen die Erprobung nur auf dem Versuch einer einzigen Kommune basiert, konnte deren Repräsentativität belegt werden.

- Die Standarderprobung muss in ausreichender Breite und Tiefe erfolgt sein (Fallzahlen, Erprobungsinhalte).

Für nicht erfolgreiche Versuche werden die Gründe hinterfragt, da andere Versuchsbedingungen möglicherweise ein anderes Ergebnis ermöglicht hätten. In jedem Falle lassen sich die Bedingungen für eine Übertragbarkeit differenziert herausarbeiten. Es wird auch berücksichtigt, ob eine erprobte gesetzliche Regelung bereits in anderen Bundesländern Standard ist bzw. auf andere Gegenstände erfolgreich angewendet werden kann.

Gegenstandsspezifische Indikatoren zur Erfolgsbewertung

Die Anwendbarkeit der Erfolgskriterien für Standarderprobungen erfordert eine Untersetzung mit spezifischen Indikatoren zur Erfolgsbewertung für jeden der zehn Antragsgegenstände. Diese werden entwickelt unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen in den Rechtsbereichen und den von den Antragstellern formulierten Erprobungszielen, die mit den Zielen des Standarderprobungsgesetzes gespiegelt wurden. Das auf diese Weise für einen Versuch zum Schulgesetz (Schulträger als stimmberechtigtes Mitglied der Schulkonferenz) entwickelte Indikatorenset ist beispielhaft in Tabelle 4 aufgeführt.

Versuchsspezifischer Methodenmix zur Ermittlung der Indikatorenprägung

Die Ermittlung der Ausprägung der Indikatoren für die Erfolgsfaktoren erfolgt mit Hilfe von Messgrößen und mittels qualitativer Merkmale. Die entsprechenden Informationen werden mit einem Methodenmix aus

Expertengesprächen, Berichts- und Bewertungsbögen (Versuchskommunen, Normadressaten, Dritte), Auswertung von Berichten der Versuchskommune/n an das Ressort und weiterem Schriftmaterial empirisch ermittelt. Dieser Methodenmix wurde aufgrund der unterschiedlichen Erprobungsgegenstände jeweils versuchskonkret und auf der Grundlage einer umfangreichen Kontextanalyse ausspezifiziert. Dabei musste ein Kompromiss zwischen Wünschenswertem und tatsächlich Machbarem gefunden werden.

Die Praktikabilität der Bewertungsmethodik konnte am Beispiel des o. g. Versuchs zum Schulgesetz erfolgreich unter Beweis gestellt werden. Wesentliche Erfolgsbedingungen für die Evaluation waren die frühzeitige Abstimmung der Indikatorenauswahl mit den Versuchsakteuren und die Schaffung durchgängiger Transparenz im Bewertungsverfahren. Weitere Erkenntnisse können aus der bevorstehenden Anwendung der Evaluationsmethodik auf die übrigen Versuche aus verschiedenen Rechtsbereichen erwartet werden.

4 Fazit

Die Komplexität von Programmevaluationen stellt insbesondere bezüglich der vorzunehmenden Bewertungen hohe Herausforderungen an das Evaluationsteam. Für zwei unterschiedliche Evaluationsaufträge konnte ein praktikables methodisches Vorgehen aufgezeigt werden. In beiden Fällen war der Evaluationsgegenstand dadurch gekennzeichnet, dass eine größere Anzahl von Projekten/Versuchen innovative Vorgehensweisen erprobte. Der Evaluationszweck wies jedoch Unterschiede auf. Während im ersten Fall der Fokus

Erfolgskriterien	Indikatoren
Verwaltungsverfahren beschleunigt	Wegfall von Postverkehr und Telefonaten
	beschleunigte Abstimmungsprozesse
	weniger Rückfragen zum Ergebnis des Verwaltungshandelns
Kosten für Unternehmen, Bürger und Verwaltung gesenkt	Einsparung von Verwaltungskosten
Qualitätserhaltung/-verbesserung	keine Erschwernisse in Organisation und Durchführung der Schulkonferenz
	keine Erschwernisse bei Aufgabenerfüllung der Schulkonferenz
	mindestens gleiche finanzielle und personelle Sicherstellung des Schulbetriebs durch den Schulträger
	Rangerhalt pädagogischer Themen
Verhältnismäßigkeit potenzieller Folgewirkungen	Qualität der Wahrnehmung anderer kommunaler Aufgaben des Schulträgers
	Mehrbelastung von Schulgremien und Schulleitungen
	Einflussnahme auf Bestellung von SchulleiterInnen durch Schulträger

Tab. 4: Erfolgskriterien und Indikatoren am Beispiel des Versuchs »Schulkonferenz«

auf der Zielerreichung des Gesamtprogramms unter Berücksichtigung von Teilzielen lag, ging es im zweiten Fall darum, sowohl den Erfolg der einzelnen Versuche als auch die Sinnfälligkeit ihrer landesweiten Übertragung zu bewerten. Damit war in beiden Evaluationen ein zweistufiges Bewertungsproblem zu lösen und das grundsätzliche Vorgehen dementsprechend gleich (vgl. Abbildung 2).

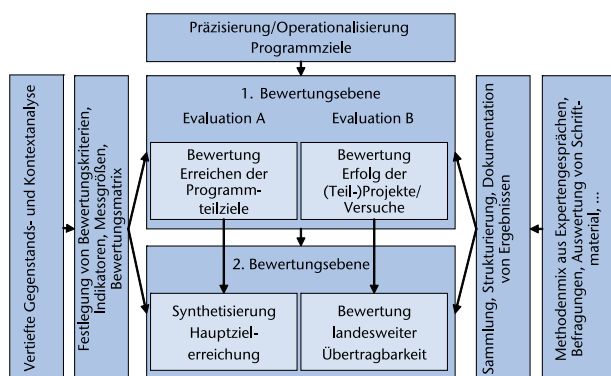


Abb. 2: Zweistufiges Vorgehensmodell für Programmevaluationen mit unterschiedlichen Bewertungszielen

Die in Kapitel 3 vorgestellte programmspezifische Umsetzung erforderte sodann konkrete Bewertungsmethodiken für vier verschiedene Bewertungsaufgaben auf zwei Bewertungsebenen (Teilzielerreichung, Versuchserfolgsbewertung, Gesamtzielerreichung, Übertragbarkeit). Sie schloss die Erarbeitung geeigneter Bewertungskriterien, Indikatoren und ggf. Messgrößen sowie einer Bewertungsmatrix ein und macht den hohen Stellenwert einer intensiven Gegenstands- und Kontextanalyse deutlich.

Kann überwiegend nur auf qualitative Bewertungsindikatoren zurückgegriffen werden, kommt den empirischen Erhebungen im Umfeld der Projekte eine besondere Bedeutung zu, um möglichst viele Sichtweisen betroffener Akteure in die letztlich durch die Evaluation zu treffende Bewertung der Ausprägung von Erfolgsindikatoren einfließen zu lassen und so zu möglichst objektiven Einschätzungen zu gelangen.

Ohne die Bereitstellung der erforderlichen Daten und Informationen durch die agierenden Projektakteure ist ein erfolgreiches Evaluationsvorhaben nicht vorstellbar. Deren Bereitschaft zur Mitarbeit hängt wesentlich davon ab, wie es der Evaluation gelingt, den Evaluationsprozess transparent zu gestalten.

Eine weitergehende Operationalisierung von Bewertungsprozessen in Programmevaluationen ist in zwei Richtungen vorstellbar: Erstens könnte die Ermittlung

geeigneter Bewertungsindikatoren auf der Grundlage einer weiteren theoretischen Durchdringung ihres Zusammenhangs zur Art des Untersuchungsgegenstands unterstützt werden. Zweitens wäre eine methodische Untersetzung der Erarbeitung von Bewertungsmatrizen wünschenswert, wofür der Zusammenhang zwischen Evaluationszweck und Bewertungsproblem tiefer untersucht werden müsste.

Anmerkungen

- [1] Zu unterscheiden sind:
 - output (Leistungserbringung)
 - outcome (Wirkungen bei den verschiedenen Adressaten)
 - impact (gesellschaftliche Auswirkungen)
- [2] auch als experimentaldesign- bzw. quasi-experimentaldesign-gesteuertes Evaluationsmodell bezeichnet
- [3] vgl. Erstes Brandenburgisches Bürokratieabbaugesetz – 1. BbgBAG vom 28. Juni 2006, Artikel 1 (Gesetz zur Erprobung der Abweichung von landesrechtlichen Standards in Kommunen sowie von landesrechtlichen Zuständigkeitsverlagerungen – BbgStEG), § 1 (Ziel)

Literatur

- Beywl, Wolfgang; Speer, Sandra; Kehr, Jochen (2004): Wirkungsorientierte Evaluation im Rahmen der Armut- und Reichtumsberichterstattung. Perspektivstudie im Auftrag und hrsg. von BMGS, Bonn.
- DeGEval – Gesellschaft für Evaluation e. V. (2008): Standards für Evaluation.
- Filsinger, Dieter (2008): Bedingungen erfolgreicher Integration – Integrationsmonitoring und Evaluation. WISO Diskurs, hrsg. von Friedrich Ebert Stiftung, Bonn.
- Gerlach, Ferdinand M.; Beyer, Martin; Szecsenyi, Raspe, Heiner (2003): Evaluation von Disease-Management-Programmen – Aktuelle Defizite, Anforderungen, Methoden. Zeitschrift für ärztliche Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen (ZaeFQ) (2003) 97, S. 495-501.
- Große, Ulla; Brandt, Martina (2004): Relevanz der Akteursebene in Netzwerken für die Evaluation – Problemaufriss aus einem Projektvergleich. In: Voß, R. (Hrsg.): Evaluation von Netzwerken und Kooperationsmanagement. Institut für Regionale Innovationsforschung, Institutsschriften Nr. 25, 13-19.
- Haubrich, Karin (2001): Cluster-Evaluation – ein Modell für einen dornigen Evaluationsgegenstand? DeGEval-Jahrestagung, Block 16 »Modelle der Evaluation«. Speyer, 04.10.2001.
- Hupfer, Barbara (2007): Wirkungsorientierte Programmevaluation. Schriftenreihe des BiBB, Heft 86.
- König, Joachim (2004): Selbstevaluation. Der Weg zu mehr Nachhaltigkeit, hrsg. von LASA Brandenburg GmbH, Potsdam.
- Kromrey, Helmut O. J.: Evaluation im Spannungsfeld von Wissenschaftlichkeit und Verwertbarkeit. Unter: www.hkromrey.de, eingesehen am 31.08.2009.
- Sanders, James R. (1997): Cluster Evaluation. In: Chelimsky, Eleanor; Shadish, William (Eds.): Evaluation for the 21st Century. A Handbook. Thousand Oaks, London, New Dehli, 396-404.

- Simon, Dagmar; Stucke, Andreas (2003a): Rahmenkonzept für die Evaluation des Förderschwerpunkts »Sozial-ökologische Forschung« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, hrsg. von EvaConsult, Berlin.
- Simon, Dagmar; Stucke, Andreas (2003b): Muster-Leitfäden für die Evaluation des Förderschwerpunkts »Sozial- ökologische Forschung« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, hrsg. von EvaConsult, Berlin/Köln.
- Stockmann, Reinhard (2000): Evaluationsforschung. Grundlagen und ausgewählte Forschungsfelder. Leske + Budrich, Opladen.
- Stockmann, Reinhard (2004): Evaluationsforschung – Ansatz und Methoden. EvaNet-Positionen 5/2004, Auszug aus Stockmann (2004): Evaluationsforschung. Grundlagen und ausgewählte Forschungsfelder. 2. Auflage, Leske + Budrich, Opladen.
- Stockmann, Reinhard (2006): Evaluation und Qualitätsentwicklung. Waxmann Verlag, Münster.
- Stockmann, Reinhard (2007): Handbuch zur Evaluation. Eine praktische Handlungsanleitung. Waxmann Verlag, Münster/New York/Berlin/München.
- univation GmbH (2004): Das A-B-C der wirkungsorientierten Evaluation, Köln.
- Wottawa, Heinrich; Thierau, Heike (1998): Lehrbuch Evaluation. Verlag Hans Huber, Bern/ Göttingen/Toronto/Seattle.

Autorinnen

Dr. oec. Martina Brandt

TH Wildau [FH]
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Forschungsgruppe »Innovations- und Regionalforschung«
 Tel. +49 3375 508-512
 martina.brandt@tfh-wildau.de

Dr. rer. nat. Ulla Große

TH Wildau [FH]
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Forschungsgruppe »Innovations- und Regionalforschung«
 Tel. +49 3375 508-513
 ulla.grosse@tfh-wildau.de

Einführung eines Qualitätsmanagement-Systems in einem molekularbiologischen Labor einer Hochschule

Stefan Weinert, Ingolf Wohlfahrt, Andrea Schmid und Marcus Frohme

Zusammenfassung

Zertifizierte Qualitätsmanagementsysteme (QM-Systeme) sind in akademischen Forschungslaboren bisher kaum vertreten. Hier ist vor allem die Bedeutung eines zertifizierten Labors vor dem Hintergrund der Veröffentlichung wissenschaftlicher Publikationen scheinbar bedeutungslos.

Im industriellen Bereich hingegen sind QM-Systeme weit aus häufiger eingeführt. Labore im akademischen Bereich stehen jedoch grundsätzlich in der Verantwortung, schonend mit den Ressourcen des Staates umzugehen, und haben darüber hinaus das Bestreben, Forschungs-/Industrieaufträge einzuwerben.

Mit dieser Publikation wird gezeigt, wie durch die Einrichtung eines QM-Systems und der Einhaltung der normativen Vorgabe ein verbesserter schonender Umgang mit staatlichen Ressourcen möglich ist, die Ergebnissicherheit erhöht, Betriebsabläufe optimiert, die Chancen für Studenten auf dem Arbeitsmarkt verbessert werden und mehr Forschungs-/Industrieaufträge akquiriert werden können. Es wird dargestellt, wie ein QM-System in einem Labor eingerichtet werden kann. Dabei wird erläutert, welche QM-Regelwerke für ein Labor im Hochschulbereich in Betracht kommen. Zudem wird eine Methodik in Form eines Projektplans vorgestellt, mit dem die Anforderungen der Norm strukturiert umgesetzt werden können.

Das QM-System wurde im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik an der Technischen Hochschule Wildau [FH] eingeführt und im Rahmen der Zertifizierung der Hochschule in das Audit einbezogen.

Abstract

Up to now certified Quality-Management-Systems (QM-system) are hardly prevalent in university research laboratories. Even if a laboratory is certified, it seems to have no meaning for a scientific publication originating from this laboratory.

In the industrial sector QM-systems are a lot more common. Basically, academic laboratories have to use their resources, provided primarily by governmental funding, very sparingly and responsibly. Furthermore universities have a strong endeavour to acquire funding for further research.

We demonstrate here, how the establishment of a QM-system, and compliance to normative requirements, can improve the economic use of governmental funding. Furthermore a QM-system can ensure result reliability and work routines can be optimized. In addition the job perspectives for graduates as well as the possibilities to acquire funding will be improved. We present how a QM-system can be established in a life-science-laboratory. Thereby it will be outlined which regulations are applicable to an academic research lab. Following that, a method to implement a QM-system will be presented. This method is shown as a project schedule and explains the requirements that are necessary to establish quality standards. The QM-system was implemented in the Laboratory for Molecular Biology and Functional Genomics of the Technical University of Applied Sciences Wildau and was included within the scope of the certification of the university in the audit.

1 Einleitung

1.1 Situationsbeschreibung

Qualitätsmanagement (QM) als Tätigkeit leitet und lenkt eine Organisation mit dem Ziel, die Anforderungen der interessierten Parteien zu erfüllen (DIN EN ISO 9000:2005). Hierzu ist die Einführung eines QM-Systems notwendig.

In den Life Sciences spielen QM-Systeme eine große Rolle (Schweitzer 2009). Der Gesetzgeber schreibt z. B. hohe Qualitätsstandards bei der Entwicklung, Erprobung und Herstellung von Arzneimitteln vor. Durch die eingeführten QM-Systeme soll garantiert werden, dass die Standards eingehalten werden. Bewiesen wird die Einhaltung der hohen Qualitätsstandards durch eine Zertifizierung oder Akkreditierung (Cassel 2000: 6/1).

Eine erfolgreiche Zertifizierung ist die formelle Bestätigung, dass festgelegte Anforderungen an z. B. ein Produkt oder Managementsystem erfüllt sind. Durch eine Akkreditierung hingegen besitzt die Organisation die formale Kompetenz, für ausgewiesene Leistungen Bewertungen durchzuführen. Für Labore basiert die Akkreditierung auf der fachlichen Kompetenz, technischen Ausstattung und der Konformität zur Norm (GLP-INFO 11, 2004).

Im universitären Forschungsbereich sind akkreditierte bzw. zertifizierte QM-Systeme bisher kaum eingeführt. Die vorrangigen Ziele von universitären Forschungslaboren bestehen darin, durch Forschungsaufträge des Staates und von Kooperationspartnern neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen, Studenten auszubilden und ggf. vorhandene Analysemethoden am Markt anzubieten. Um einen Forschungsauftrag zu erlangen, wird zunächst ein entsprechender Antrag gestellt, welcher sich dann gegenüber anderen Mitbewerbern behaupten muss. Mit einer positiven Entscheidung kann das Labor Forschungsgelder in Höhe von mehreren hunderttausend Euro erhalten. In diesem Rahmen wird erwartet, dass mit den übergebenen Ressourcen vertrauensvoll umgegangen wird und erbrachte Erkenntnisse möglichst sicher bzw. vertrauenswürdig sind. Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus der Forschungstätigkeit gehen dann neue Publikationen einher, welche so zum wissenschaftlichen Fortschritt beitragen. Für die Veröffentlichung von wissenschaftlichen Arbeiten erscheint ein QM-System bisher nicht notwendig. Hier werden die Glaubhaftigkeit durch das Lektorat, das Prestige der Arbeitsgruppe und die Angabe von Material und Methoden gegeben.

Durch das eingeführte QM-System in einem universitären Labor soll nicht die Glaubhaftigkeit der Publikationen erhöht werden. Vielmehr wird hier die Verbesserung der organisatorischen Strukturen angestrebt, um so das Vertrauen in die durchgeführten Tätigkeiten gegenüber dem Staat, Kooperationspartnern und den eigenen Mitarbeitern zu erhöhen.

Das QM-System wurde im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik der Technischen Hochschule Wildau [FH] eingeführt. Im Rahmen der erstmaligen Zertifizierung des QM-Systems der Hochschule nach ISO 9001 wurde das QM-System des Labors in Bezug auf die Prüfmittelenkung in die Auditierung der Hochschule einbezogen. Die Hochschule sowie die Regelungen zur Prüfmittelenkung des Labors wurden im Juni durch die »Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen« (DQS) erfolgreich

zertifiziert. Damit hat der Aufbau eines spezifischen QM-Systems im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik Pilotcharakter für die weiteren Labore der Hochschule.

1.2 Problemdarstellung

In den Life Sciences spielen mehrere QM-Systeme eine Rolle, welche je nach Anwendung auch gesetzlich gefordert sind. Durch die unterschiedlichen Anwendungsbereiche und Inhalte des QM-Systems werden die Anforderungen der interessierten Parteien (z. B. Industriepartner) unterschiedlich stark erfüllt. Daher muss zunächst das geeignetste QM-System für das Labor identifiziert werden.

Um einen normenkonformen Zustand herstellen zu können, müssen die Anforderungen der normativen Vorgaben (z. B. ISO 17025 oder Unfallverhütungsvorschriften) identifiziert und mit den bestehenden Regelungen abgeglichen werden. Da die Dauer zur Einführung eines QM-Systems ca. 8 – 24 Monate beträgt, wird eine Methode dargestellt, mit der eine kontinuierliche, strukturierte und zielgerichtete Einführung gestaltet werden kann (Wohlfahrt 2008: 164).

1.3 Interner Anspruch und Ziel

Das molekularbiologische Labor der TH Wildau führt u. a. Genexpressionsanalytik in Kooperation mit akademischen und industriellen Partnern durch. Um der wachsenden Nachfrage des Marktes gerecht zu werden, sollen ein QM-System eingeführt und die Nachweisführung zur Ergebnissicherheit durch eine konforme Laborführung gewährleistet werden. Hierdurch wird angestrebt, die Lage zur Akquirierung neuer Kooperationen zu verbessern und Betriebsabläufe zu optimieren. Außerdem wird erwartet, dass mit dem eingeführten QM-System ein vertrauensvollerer Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen gewährleistet wird. Des Weiteren soll die studentische Ausbildung von einem gelebten QM-System profitieren.

2 Auswahl des QM-Systems

Vor der Einführung eines QM-Systems steht zunächst die Auswahl des QM-Regelwerkes. In den Life Sciences existieren mehrere QM-Regelwerke mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen (z. B. Arzneimittelherstellung oder medizinische Diagnostik). Für universitäre

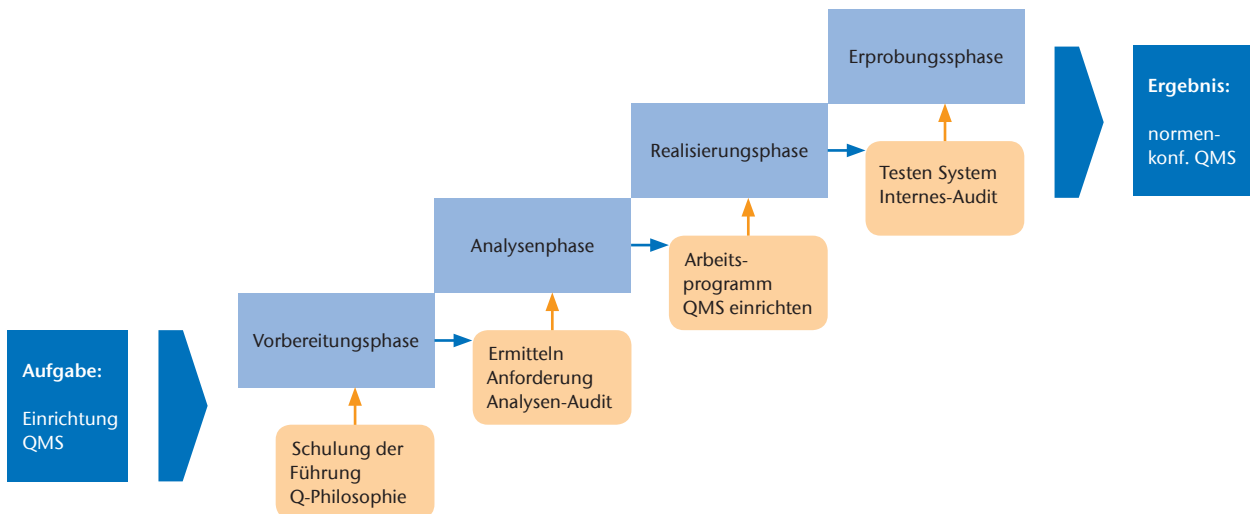


Abb. 1: Phasenmodell zur Einführung eines QM-Systems (Wohlfahrt 2008: 164)

Forschungslabore sind prinzipiell die DIN EN ISO 9001 (ISO 9001) oder DIN EN ISO/IEC 17025 (ISO 17025) geeignet.

Die ISO 9001 kann für alle Organisationen verwendet werden. Sie findet dort Anwendung, wo ein Nachweis der Qualitätsfähigkeit erbracht werden soll, und dient dem Zweck, Vertrauen zu schaffen. Im Mittelpunkt der Norm stehen der Kunde, die Erfüllung der zutreffenden gesetzlichen Anforderungen und die kontinuierliche Verbesserung der Organisation (Sagert 2003: 12).

Die ISO 17025 enthält alle Anforderungen an Prüf-/Kalibrierlaboratorien einschließlich der Probenentnahme. Sie dient dazu, die Ergebnissicherheit durch die Kompetenz des Personals, der Ausrüstung und der anzuwendenden Verfahren zu beweisen (DIN EN ISO/IEC 17025:2005). Damit gewährleistet sie die Genauigkeit und Vergleichbarkeit von Prüfergebnissen und bezieht sich auf normative Verfahren sowie auf Verfahren, die in den Laboratorien entwickelt wurden. Von 2000 bis 2009 betrug der durchschnittliche Anstieg der Akkreditierungen durch die Deutsche Akkreditierungsstelle Chemie 23,6% (DACH-N, 2008).

Da für das molekularbiologische Labor die Ergebnissicherheit der erbrachten Genexpressionsanalytik für die Kooperationspartner im Vordergrund steht, wurde die ISO 17025 als einzuführendes QM-System ausgewählt.

Bei der weiteren Einführung des QM-Systems sind zudem die rechtlichen Vorgaben (z. B. Unfallverhütungsvorschriften) zu beachten und einzubeziehen. So fordert der Gesetzgeber z. B., dass Zentrifugen ab einer bestimmten Leistung jährlich durch zertifizierte Techniker gewartet werden.

3 Einführung eines QM-Systems

Ausgangspunkt für die Einführung eines QM-Systems ist die positive Entscheidung des Laborleiters. Die Einführung ist ein komplexes Projekt und muss entsprechend gut geplant werden (Raguse 2001). Das Projekt wurde in vier Phasen gegliedert: Vorbereitungsphase, Analysenphase, Realisierungsphase und Erprobungsphase (Wohlfahrt 2008: 164). Abbildung 1 zeigt eine Übersicht zum Inhalt der einzelnen Phasen.

3.1 Vorbereitungsphase

Zunächst wird die Situation (z. B. Marktbeobachtung) zur Einführung des QM-Systems ermittelt und der Laborleitung die Vor- und Nachteile des QM-Systems dargestellt. Des Weiteren werden in dieser Phase die Unternehmensphilosophie (Q-Politik) erarbeitet und die Einführung des QM-Systems als Projekt zeitlich definiert. Die Ausarbeitung der Q-Politik stellt den zentralen Punkt bei der Einführung eines QM-Systems dar. Aus den gebildeten Qualitätsgrundsätzen der Q-Politik leitet sich der weitere Handlungsbedarf ab. Ein Qualitätsgrundsatz kann z. B. sein, dass das Labor für die Fehlerfreiheit seiner Analysen steht und damit wirbt. Hieraus leitet sich u. a. die Notwendigkeit ab, Maßnahmen zur Prävention zu treffen, Mitarbeiter besonders zu schulen und entstandene Fehler zu lenken. Die Erfüllung der Anforderung aus der Norm, wie z. B. ein Verfahren für vorbeugende Maßnahmen für den Schulungsbedarf und die Lenkung von Fehlern einzuführen, wird für die Mitarbeiter verständlicher. Das Aufstellen der Q-Politik gibt auf diese Weise die Richtung zur Einführung des QM-Systems vor. Um die Q-Politik aufstel-

len zu können, müssen die interessierten Parteien des Unternehmens identifiziert und deren Anforderungen dargestellt werden. Als interessierte Parteien des molekularbiologischen Labors wurden Industrieunternehmen, Institute, Mitarbeiter, Lieferanten, die Gesellschaft und der Staat identifiziert.

3.2 Analysephase

In dieser Phase werden zunächst die SOLL-Anforderungen aus der Norm und die rechtlichen Anforderungen gesammelt. Anschließend wird in einem Analyse-Audit der IST-Bestand aufgenommen und mit den SOLL-Anforderungen abgeglichen. Im molekularbiologischen Labor wurden die SOLL-Anforderungen hierzu in Schwerpunkte (z. B. Beschaffung) gegliedert. Anschließend erfolgte der Abgleich mit den vorhandenen Regelungen durch die betreffenden Mitarbeiter.

3.3 Realisierungsphase

Inhalt der Realisierungsphase ist das Aufstellen des Arbeitsprogramms. Das Arbeitsprogramm zeigt die Abarbeitungsreihenfolge zur Einführung des QM-Systems. Es empfiehlt sich, das Arbeitsprogramm entsprechend der eigenen Vorstellung und Kapazitäten in Prioritäten zu unterteilen (Brunner und Wagner 2008: 65). Hierzu wurde für das molekularbiologische Labor eine Methode entwickelt, um die Prioritäten in Zahlen zu fassen.

Methode zur Ermittlung der Prioritäten

Die Ermittlung der Prioritäten wurde angelehnt an die Qualitätsmanagementmethode »Fehler-Möglichkeit und Einfluss-Analyse«. In der angewandten Methode wurden die vier Kategorien Fehlerpotenzial (bezogen auf die Prüfung), Förderung der Akzeptanz für das QM-System bei den Mitarbeitern, bereits bestehende Vorlagen (z. B. Muster Verfahrensanweisungen an der TH Wildau) und allgemein empfundene Dringlichkeit beurteilt. Hierbei wurden für jede Kategorie ein bis zehn Punkte vergeben. Im Anschluss wurden alle vier Werte multipliziert. Je höher das Ergebnis war, desto höher wurde die Priorität eingestuft.

Einrichten des QM-Systems

Über das Arbeitsprogramm erfolgt anschließend das Einrichten und Implementieren des QM-Systems. Hier werden notwendige Dokumente erstellt, Regelungen getroffen und die Mitarbeiter entsprechend geschult. Im molekularbiologischen Labor wurde hierbei zunächst eine festgelegte Reihenfolge (Organisations-

struktur, QM-Handbuch und Lenkung der Dokumente/ Aufzeichnungen) eingehalten. Die weitere Einführung orientierte sich an den ermittelten Prioritäten des Arbeitsprogramms.

Festgelegte Reihenfolge

Zunächst wurde die Organisationsstruktur des Labors festgelegt. Hier werden die Hierarchie der Organisation dargestellt und die Verantwortungsbereiche und Befugnisse der Mitarbeiter ausgearbeitet. Dies ist die Voraussetzung, um Aufgaben innerhalb der zu regelnden Prozesse zuzuweisen. Nachdem die Organisationsstruktur festgelegt worden war, wurde begonnen das QM-Handbuch zu erstellen. Es beinhaltet die Q-Politik und beschreibt das komplette QM-System einer Organisation (Kamiske und Brauer 2008: 218). Bei der Einführung des QM-Systems werden alle bearbeiteten Schwerpunkte aus dem Arbeitsprogramm nach deren Erfüllung, sukzessiv in das QM-Handbuch aufgenommen. Anschließend wurde die Lenkung von Dokumenten und Aufzeichnungen geregelt. So wird gewährleistet, dass alle Dokumente und Aufzeichnungen, die zur Einführung benötigt werden, nach demselben Schema und derselben Form erstellt werden und somit konform zur Norm sind. Der festgelegte Ablauf ist nach der Regelung der Lenkung von Dokumenten und Aufzeichnungen abgeschlossen.

Beispiel zur Umsetzung eines Schwerpunkts aus der Norm

Um die Umsetzung der einzelnen Anforderungen aus der Norm beispielhaft näher zu bringen, wird im Folgenden auf die Prüfmittellenkung eingegangen. Ziel der Prüfmittellenkung ist es, den Einsatz der Prüfmittel und deren Tauglichkeit permanent sicherzustellen.

Die ISO 17025 fordert, dass die Prüfmittel in der Lage sind, die Prüfmerkmale mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen (DIN EN ISO/IEC 17025:2005). Die Aufnahme der Spezifikationen (Messunsicherheit/-bereich) erfolgte in Zusammenarbeit mit der verantwortlichen Mitarbeiterin. Hierzu wurden der Ablauf der Analyse in einem Flussdiagramm verdeutlicht und alle zu bestimmenden Prüfmerkmale in den einzelnen Analysenschritten (z. B. Vorbereitung oder Isolierung) eruiert.

Haben Prüfmittel einen signifikanten Einfluss auf die Messgrößen und das Ergebnis, müssen diese überwacht werden. Hierzu wird von der Norm verlangt, dass ein Kalibrier-/Wartungsprogramm eingeführt wird

(DIN EN ISO/IEC 17025:2005). Bei der Ermittlung, wie das Prüfmittel zu überwachen ist, wurden im molekularbiologischen Labor drei Arten unterschieden: die periodische Eigenüberwachung/Fremdüberwachung und die prozessbegleitende Kontrolle (QMV 2008). Die prozessbegleitende Kontrolle eines Prüfmittels ist vor jedem Gebrauch notwendig. Hier wird das Prüfmittel z. B. durch Reinigen oder Vorwärmen in den betriebsbereiten Zustand versetzt. Wohingegen eine periodische Überwachung nur in festgelegten Abständen notwendig ist.

Ist eine anstehende Überwachung vor Inbetriebnahme nicht erfolgreich oder das Prüfmittel liefert unglaubwürdige Ergebnisse, ist es zu sperren und es eindeutig als gesperrtes Prüfmittel zu kennzeichnen (DIN EN ISO/IEC 17025:2005). In diesem Zusammenhang ist ein Sperraufkleber entworfen worden, welcher ggf. am Prüfmittel angebracht wird.

Projektplan zur weiteren Einführung des QM-Systems

Um das Einführen des QM-Systems zu erleichtern, sollten die zu bearbeitenden Schwerpunkte als Teilprojekt betrachtet werden. Hierzu wurde ein entsprechender Projektplan entwickelt. Der Projektplan orientiert sich am Vorgehen zur Einführung eines QM-Systems (Wohlfahrt 2008: 164). Er präzisiert das Vorgehen zur Umsetzung der einzelnen Schwerpunkte des Arbeitsprogramms.

Beim Vorgehen zur Einführung sollten durch den Prozessverantwortlichen zunächst noch einmal die jeweiligen Anforderungen aus der Norm veranschaulicht und die bisherigen Regelungen und Dokumente gesammelt werden. Anschließend sollte der betrach-

tete Prozess vorzugsweise visuell dargestellt werden. Wenn der Ablauf des Prozesses verdeutlicht ist, können notwendige fehlende Standard Operating Procedures (SOP) bzw. Aufzeichnungen ermittelt und erstellt werden. Nach der Ausarbeitung der Dokumente und Regelungen sollten die bestehenden Anforderungen der Norm mit dem Lösungskonzept abgeglichen werden. Wurden Anforderungen nicht berücksichtigt, ist eine Anpassung durchzuführen. Sind die fehlenden Anforderungen aufgenommen worden und es bestehen noch weitere Unklarheiten die Interpretation betreffend, ist es vorteilhaft, einen externen Berater einzubeziehen. Es ist zu empfehlen, mehr Arbeit in die Vorbereitung und den Abgleich zu investieren, um später aufwendige Korrekturen am Lösungskonzept zu vermeiden.

Wurden die Anforderungen umgesetzt, kann das Lösungskonzept in der Praxis an einigen Beispielen getestet werden. Auftretende Beeinträchtigungen werden dabei sofort aufgenommen. Ist der Test beendet, sind die erforderlichen Verbesserungen und notwendige Veränderungen einzuarbeiten. Anschließend sollte das Lösungskonzept noch einmal mit den Anforderungen der Norm abgeglichen werden.

Wurde das Lösungskonzept abschließend überarbeitet, wird der entsprechende Abschnitt im QM-Handbuch erstellt. Nach der Erstellung des QM-Handbuch-Abschnitts können das Lösungskonzept bzw. die Dokumente freigegeben werden. Der Projektplan in Abbildung 2 verdeutlicht dieses Vorgehen noch einmal.

Wurden alle Forderungen an das einzuführende QM-System umgesetzt und freigegeben, ist die Realisierungsphase abgeschlossen.

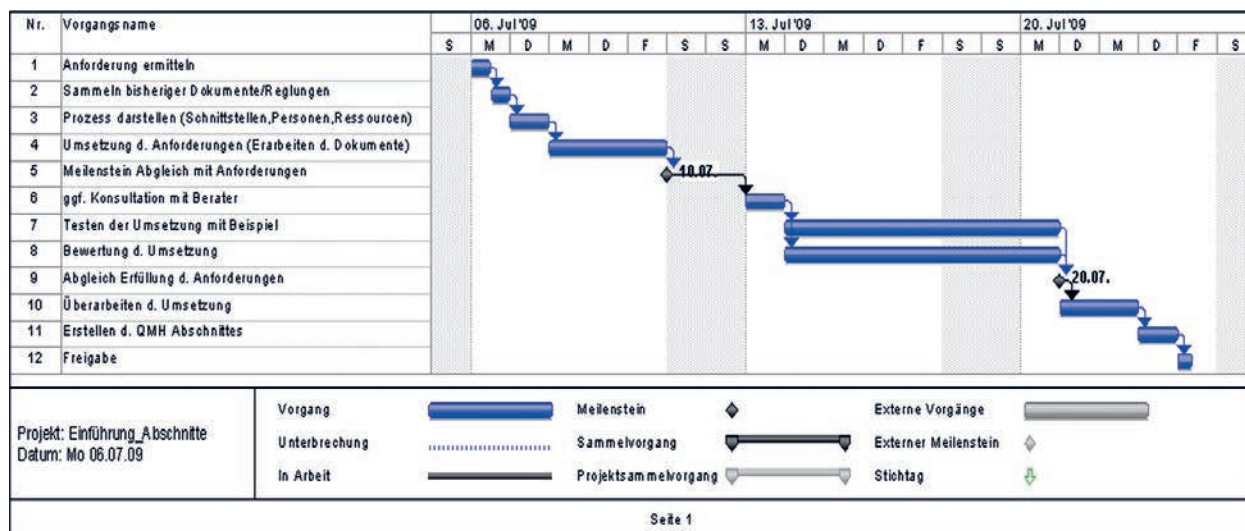


Abb. 2: Projektplan zur Umsetzung der Schwerpunkte des Arbeitsprogramms

3.4 Erprobungsphase

Mit der Erprobungsphase erfolgt die Umsetzung der eingerichteten Prozesse aus der Realisierungsphase. Durch ein internes Audit werden die Umsetzungen zwei bis drei Monate nach Umsetzungsbeginn auf ihre Wirksamkeit untersucht. Notwendig werdende Veränderungen werden dann erlassen und realisiert. Dadurch soll ein normenkonformer Zustand der Organisation erreicht werden.

Nach der Erprobungsphase erfolgt das externe Audit durch die Zertifizierungs-/Akkreditierungsstelle. Wenn diese die Konformität zur Norm feststellt, wird das Zertifikat ausgestellt. Die Kosten sind in der Regel aufwandsabhängig und betragen für eine Zertifizierung ca. 1800 Euro und für eine Akkreditierung ca. 2600 Euro pro Jahr (Malow 2009; Wisser 2009).

4 Diskussion

4.1 Auswahl des QM-Systems

Das molekularbiologische Labor der TH Wildau [FH] strebt an, die Betriebsabläufe zu verbessern und darüber hinaus die Ergebnissicherheit für seine Kooperationspartner durch eine normenkonforme Laborführung zu bestätigen. Zur Einführung eines QM-Systems für universitäre Forschungslabore kommen die ISO 9001 und die ISO 17025 in Betracht. Universitäre Forschungslabore, welche neue Methoden entwickeln bzw. verbessern, sollten eine Zertifizierung nach ISO 9001 anstreben. Handelt es sich bei der angewandten Methode um eine Routineanwendung mit dem Ziel, bestmögliches Vertrauen in das Ergebnis zu erhalten, ist eine Akkreditierung nach ISO 17025 nahe zu legen. Daher wurde die ISO 17025 als einzuführendes QM-System im molekularbiologischen Labor ausgewählt.

4.2 Einführung des QM-Systems

Phasen zur Einführung eines QM-Systems und Q-Politik

Bei der Einführung eines QM-Systems ist die Gliederung in die vier Phasen (Vorbereitung, Analysen, Realisierung und Erprobung) zielführend und zu empfehlen. Es ist wichtig, dass die Einführung zeitlich definiert und strukturiert ist, um eine klare Zielvorgabe zu schaffen. Der Laborleiter verleiht auf diese Weise von Anfang an mit Nachdruck die Bedeutung für alle Beteiligten zur Einführung des QM-Systems. Das Aufstellen der Q-Politik sollte

bei der Einführung besonderen Wert einnehmen. Mit der Einführung der Q-Politik werden, gespiegelt an den Anforderungen der interessierten Parteien, die Aufgaben und die Mission des Unternehmens deutlich. Wenn vor allem der Laborleiter das Verständnis zur Erfüllung dieser Anforderungen entwickelt hat, ist die Einhaltung der Norm fast obligatorisch. Gerade die ISO 17025 stellt von diesem Standpunkt aus einen Leitfaden für Labore zur Erbringung ihrer Leistung dar.

Einrichtung des QM-Systems

Bei der folgenden Einrichtung des QM-Systems in der Realisierungsphase hat es sich bewährt, eine festgelegte Reihenfolge (Organisationsstruktur, QM-Handbuch und Lenkung der Dokumente/Aufzeichnungen) einzuhalten. Vor allem das Schaffen klarer Organisationsstrukturen und die Vorgabe zur Dokumentation des QM-Systems stellen die Voraussetzung zur weiteren Einführung dar. Wenn diese Voraussetzungen erbracht sind, können die weiteren Anforderungen aus der Norm, wie z. B. Regelungen zur Beschaffung oder Prüfmittellenkung, umgesetzt werden.

Durch den vorgestellten Projektplan zur Umsetzung der Schwerpunkte des Arbeitsprogramms wird zudem gewährleistet, dass die Schwerpunkte zielgerichtet und strukturiert verwirklicht werden.

4.3 Ausblick und Vorteile

Ergebnissicherheit und Optimierung der Betriebsabläufe

Durch die prozess- bzw. systemorientierte Betrachtungsweise bei der Einführung eines QM-Systems werden die Betriebsabläufe eingehend analysiert und ihr Vorgehen durch die Darstellung der In-/Outputs, der Aktivitäten, der Schnittstellen und der benötigten Ressourcen optimiert und verdeutlicht. Aus der Betrachtung und Umsetzung dieser Betriebsabläufe in Verfahrensanweisungen bzw. SOPs resultiert eine sehr gute Verfahrensklarheit und Reproduzierbarkeit für alle Beteiligten. Auf diese Weise kann u. a. die Ergebnisqualität und Lebensdauer der Prüfmittel durch die »Lenkung der Prüfmittel« verbessert werden. So wird z. B. mit dem Aufnehmen der Spezifikationen und dem Schaffen/Einhalten des Kalibrierungs-/Wartungsprogramms der Prüfmittel gewährleistet, dass ihr Einsatz und ihre Tauglichkeit permanent sichergestellt sind. Ein Prüfmittel, welches stets mit einer systematischen Abweichung misst und nie überwacht wird, würde kontinuierlich falsche Messergebnisse lie-

fern. Auf der Basis von falschen Ergebnissen würden so eventuell falsche wissenschaftliche Schlussfolgerungen getroffen werden. So wird durch die Prüfmittelenkung die Voraussetzung gegeben, bestmögliche Ergebnisse nahe dem realen Messwert zu erhalten.

Schonung staatlicher Ressourcen und verbesserte Lage zur Akquirierung von Forschungs-/Kundenaufträgen

Ein Beispiel zur Schonung der Ressourcen des Staates ist die konsequente Einhaltung der Prüfmittelenkung. Durch die Befolgung des Wartungsprogramms aus der Prüfmittelenkung werden die Prüfmittel entsprechend der Vorgaben gepflegt. Die Prüfmittel werden so langlebiger, was zu einer Schonung der bereitgestellten Ressourcen führt. Ein weiteres Beispiel zur Schonung staatlicher Ressourcen ist u. a. die getroffene Regelung zur Beschaffung von Ausrüstung und Material. Durch das Schaffen klarer Verfahrensabläufe und der Erfüllung der Anforderungen der Norm werden Doppelarbeiten vermieden, es herrscht Klarheit über die Bestände des Labors (z. B. Chemikalien und Geräte) und es werden entsprechend der geforderten Qualität nur geeignete Materialien beschafft.

Wenn der Staat/Kooperationspartner bei der Vergabe von Forschungsgeldern davon ausgehen kann, dass das Labor in einem hohem Maß vertrauensvoll mit den ihm übergebenen Ressourcen umgeht, wird das Labor möglicherweise bei der Vergabe bevorzugt behandelt werden. Zudem zeigt die kontinuierlich steigende Zahl der Akkreditierungen, dass Kunden zusehends ein höheres Vertrauen an die erbrachten Ergebnisse fordern.

Praktischer Nutzen für die studentische Ausbildung

Mit der Einführung eines QM-Systems kann zudem die praktische Ausbildung der Studenten verbessert werden. Erkenntnisse aus der Einführung und Umsetzung können in Lehrveranstaltungen einfließen. Fortgeschrittene Studenten können bei einem Praktikum im Labor die Arbeit in einem QM-System erleben. Sie führen ihre Tätigkeiten entsprechend den Vorgaben des QM-Systems durch und dokumentieren diese dementsprechend. So wird es für sie möglich, industriennahe Erfahrungen beim Arbeiten in einem QM-System zu sammeln. Der Meinung der Industrie nach zu urteilen, fehlen Studenten häufig diese Erkenntnisse (Giese 2009).

4.4 Fazit

Die Auswahl des QM-Regelwerks ISO 9001 oder ISO 17025 muss individuell von dem Labor selbst getroffen werden. Mit der Einführung eines QM-Systems und der folgenden Betrachtung der einzelnen Prozesse unter Berücksichtigung der Anforderung aus der Norm entsteht eine verbesserte Verfahrensklarheit im Labor. Auf diese Weise werden die Arbeitsabläufe sowie die Ergebnisqualität positiv verbessert und staatliche Ressourcen geschont. Mit der Bestätigung durch eine Zertifizierung oder Akkreditierung wird zudem das Vertrauen in die Leistungsfähigkeit des Labors gesteigert, was die Aussichten für weitere Forschungs-/Kundenaufträge verbessert. Zudem können Studenten durch die gewonnenen Erfahrungen in einem QM-System ihre Chancen auf dem Arbeitsmarkt erhöhen. Die Einführung eines QM-Systems ist daher als eine Investition in die Zukunft zu sehen, um den Erfolg für das Labor deutlich aussichtsreicher zu gestalten.

Übersteigen die jährlichen Kosten für eine Zertifizierung oder Akkreditierung das Budget, ist es nicht notwendig, sich einer externen Evaluierung zu unterziehen. Ein QM-System sollte aber dennoch eingeführt werden. Bei diesem Vorgehen würde die Norm dem eigenen Nutzen entsprechend umgesetzt werden. Dabei sollte die Norm als Leitfaden zur »Guten Praxis im Labor« dienen. Vorteile, die sich z. B. aus der Prüfmittelenkung oder Beschaffung ergeben, sollten umgesetzt werden. Weitere geforderte Prozesse aus der Norm, wie u. a. die »Prüfung von Verträgen« oder »Interne Audits«, könnten zunächst ausgelassen werden.

Anmerkung

Im Rahmen der erstmaligen Zertifizierung des QM-Systems der Hochschule nach ISO 9001 wurde das QM-System des Labors für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik in Bezug auf die Prüfmittelenkung in die Auditierung der Hochschule einbezogen. Die Hochschule wurde im Juni durch die »Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen« (DQS) erfolgreich zertifiziert. Der Aufbau eines spezifischen QM-Systems für ein Labor hat somit Pilotcharakter für weitere Labore der Hochschule.

Literatur

- Brunner, F. J. und Wagner, K.W. (2008): Qualitätsmanagement: Leitfaden für Studium und Praxis, 4. überarbeitete Auflage, Kapitel 6/65, Carl Hanser Verlag München/Wien.
- Cassel, M. (2000): Qualitätsmanagement nach ISO 9001:2000, Kapitel 6/1, Carl Hanser Verlag München/Wien.
- DACH-N (2008): Nachrichten der DACH Nr. 1 2008, Webseite der DACH www.dach-gmbh.de/download/news/NACHR25.pdf.
- DIN EN ISO 9000 (2005): Qualitätsmanagementsysteme. Grundlagen und Begriffe, www.beuth.de.
- DIN EN ISO/IEC 17025 (2005): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, www.beuth.de.
- Giese, C. (2009): Interview mit dem Abteilungsleiter Zell-, Gewebeservice und Qualitätskontrolle der Probiogen AG C. Giese. [Probiogen AG ist ein Biotechnologie Unternehmen mit GMP & ISO 9001 Zertifikat; www.probiogen.de].
- GLP-INFO (2004): Die GLP-Bundesstelle informiert – GLP-INFO 11, 11.08.2004; www.bfr.bund.de/cd/480:1-8.
- Kamiske, G. F. und Brauer, J. P. (2008): Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements, 6. Auflage, Kapitel 2/218, Carl Hanser Verlag München.
- QMV (2008): Musterdokument einer QM-Verfahrensweisung zur »Messmittelüberwachung« der TFH-Wildau-Projektgruppe Qualitätsmanagement.
- Malow, A. (2009): Interview mit einer Mitarbeiterin der Deutschen Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen; 20.08.2009.
- Sagert, M. (2003): Untersuchung zur Einführung eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9000:2000ff in kleinen Unternehmen. 20.03.2003, Diplomarbeit an der TFH Wildau im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen; Reg.-Nr.W18/96(00).
- Schweitzer, R. (2009): Seminar zum Qualitätsmanagement in der Life Science; Top 50 Seminarreihe der BioTop (15.01.2009) in der Technologiestiftung Berlin Ludwig-Erhard-Haus.
- Wisser, S. (2009): Interview mit einem Mitarbeiter der DACH der Abteilung Prüflaboratorien, Inspektionsstellen und Produktzertifizierungsstellen, 20.06.2009.
- Wohlfahrt, I. (2008): Qualitätsmanagement: Ausgewählte Abbildungen zum Studienfach« Vorlesungsscript Bachelor-Studiengang Luftfahrttechnik/Luftfahrtlogistik an der TFH Wildau.

[Diese Publikation beruht auf der Masterarbeit des Erstautors im Studiengang Biosystemtechnik/Bioinformatik und wurde im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik durchgeführt.]

Autoren

M. Sc. Stefan Weinert

TH Wildau [FH]
Molekularbiologie und Funktionelle Genomik
stefan.weinert@tfh-wildau.de

Dr.-Ing. Ingolf Wohlfahrt

TH Wildau [FH]
Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement
ingolf.wohlfahrt@tfh-wildau.de

Dipl.-Psychologin Andrea Schmid

TH Wildau [FH]
Qualitätsmanagementbeauftragte
andrea.schmid@tfh-wildau.de

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme (korrespondierender Autor)

TH Wildau [FH]
Molekularbiologie und Funktionelle Genomik
Tel. +49 3375 508-249
marcus.frohme@tfh-wildau.de

Mit MINERVA am Stau vorbei – On-Board-Verkehrsinformation im städtischen Wirtschaftsverkehr

Bertram Meimbresse, Christine Behnke, Herbert Sonntag

Zusammenfassung

Kraftfahrer in städtischen Gebieten haben oft nur beschränkte Kenntnisse über die aktuelle Verkehrslage, in den Verkehrsmanagementzentralen sind jedoch umfangreiche Verkehrsinformationen vorhanden. Im Forschungsprojekt MINERVA wurde ein System entwickelt, welches Kraftfahrern automatisch relevante Verkehrsinformationen auf ein mobiles Endgerät zur Verfügung stellt, um so deren intuitives Routing zu optimieren. Die Ergebnisse zeigen, dass On-Board-Verkehrsinformationen das intuitive Routing verbessern können.

Abstract

Drivers in urban areas are mostly not sufficiently informed about the present traffic situation, but comprehensive traffic information is available in traffic management offices. Within the research project MINERVA a system for the automatic supply of relevant up-to-date traffic information on a mobile device for the driver is developed to improve their intuitive routing. The comparison shows, that on-board-traffic-information can improve the intuitive routing.

1 Straßen-Wirtschaftsverkehr in Ballungsgebieten

Der städtische Straßen-Wirtschaftsverkehr hat wichtige Funktionen für die Versorgung der Bevölkerung sowie für den Transport von Gütern für die ansässige Industrie. Die Definition des Wirtschaftsverkehrs reicht dabei vom »reinen« Güterverkehr über Verkehre zu Ver- und Entsorgungszwecken, Liefer- und Geschäftsfahrten bis zum privaten Einkaufsverkehr (u. a. Dasen et al. 2001; Wermuth et al. 1998). Hier soll weiterhin eine Definition des Straßen-Wirtschaftsverkehrs verwendet werden, welche mittlerweile häufig herangezogen wird: Straßen-Wirtschaftsverkehr sind alle Fahrten mit Kraftfahrzeugen in Ausübung des Berufes, welche nicht der Ortsveränderung vom Wohnort zur Arbeitsstelle und zurück dienen.

Auf den Straßen-Wirtschaftsverkehr und die Einhaltung von Lieferzeitfenstern hat die Verkehrssituation großen Einfluss. Vor allem in städtischen Gebieten ist die aktuelle Verkehrssituation auf Grund unvorhersehbarer Verkehrsstörungen jedoch schwer vorherzusagen.

2 Routenberechnung

2.1 Funktionsweise der Routenberechnung

Die Routenberechnung ist ein Optimierungsproblem, bei dem der kürzeste Weg zwischen zwei oder mehr Punkten bei positiver Kantenbewertung errechnet werden soll. Das Straßennetz wird als Netzwerkgraph betrachtet, bestehend aus Knoten (Orte, an denen eine Entscheidung getroffen werden muss, zum Beispiel Autobahnabfahrten oder Straßenkreuzungen) und Kanten (Straßenverbindungen zwischen zwei Knoten).

Bei der Routenberechnung stehen in der Regel zwei Optimierungskriterien zur Auswahl: schnellste und kürzeste Route. Bei der Berechnung der schnellsten Route (Minimierung der Fahrzeit) werden Geschwindigkeiten oder Fahrzeiten als Kantenbewertung verwendet. Zur Berechnung der kürzesten Route (Minimierung der Entfernung) wird die Länge des Weges als Kantenbewertung genutzt.

Bei der Routenberechnung in handelsüblichen Navigationssystemen werden nur für Anfang und Ende des Weges alle Straßentypen einbezogen; für den Hauptteil des Weges wird lediglich das übergeordnete Straßennetz zugrunde gelegt.

Für die Routenberechnung wird oft eine Kombination der Algorithmen Dijkstra und A* angewendet. In einem Netzwerkgraphen (siehe Abbildung 1) lässt sich für einen gegebenen Startknoten s für jeden von s erreichbaren Knoten z der kürzeste Pfad mit dem Dijkstra-Algorithmus bestimmen, wenn die Kantenbewertung nicht-negativ ist. Die Distanz vom aktuellen Knoten i zu s wird bestimmt aus der Distanz des Vorgängers $i-1$ zu s , addiert mit der Kantenlänge zwischen dem aktuellen Knoten i und dem Vorgänger-Knoten $i-1$. Die jeweils kürzeste Distanz von s zum aktuellen Knoten i wird gespeichert, längere Distanzen werden überschrieben und verfallen. Es wird jeweils der Knoten betrachtet, welcher die kürzeste Distanz zu s aufweist und noch nicht abschließend betrachtet wurde. Der Algorithmus hat den kürzesten Weg von s nach z gefunden, wenn alle Distanzen zu anderen Knoten länger als die Distanz zu z sind oder wenn alle anderen Knoten abschließend betrachtet wurden.

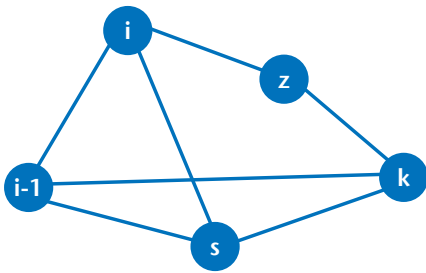


Abb. 1: Netzwerkgraph

Der Dijkstra-Algorithmus (Dijkstra 1959) bietet eine optimale jedoch zeitlich aufwendige Lösung. Da Straßennetze in der Regel sehr umfangreich sind (zum Beispiel mehr als 42 Millionen gerichtete Kanten im westeuropäischen Straßennetz), ist der Dijkstra-Algorithmus nur bedingt geeignet (Schultes 2008). Um die Laufzeit der Routenberechnung zu verkürzen, kann mit dem A*-Algorithmus (Hart 1968) zielgerichtet gesucht werden: Es wird eine Abschätzung des verbleibenden Routingpfades vorgenommen und zur Auswahl des nächsten, vielversprechendsten Berechnungsschrittes genutzt. Es gibt noch weitere Ansätze, um die Routenberechnung zu vereinfachen und zu beschleunigen, zum Beispiel das Highway-Routing (Schultes 2008).

2.2 Routingansätze

Unter Routing sollen hier die Ergebnisse von Routenberechnungen mit unterschiedlichen Randbedingungen verstanden werden bzw. der von Fahrern aufgrund ihrer Kenntnisse gewählte Weg als Abfolge von Kanten im Netz.

Statisches Routing

Die Berechnung für das Statische Routing wird mit Hilfe eines Straßennetzes mit festen Kantenbewertungen durchgeführt. Das Ergebnis der Routenberechnung zwischen zwei Punkten ist unabhängig vom Zeitpunkt der Fahrt gültig. Sinnvoll ist das Statische Routing vor allem, wenn die Entfernung minimiert werden soll, oder in Gebieten, in denen sehr wenige Verkehrsstörungen auftreten. Statische Routings werden häufig von handelsüblichen Navigationssystemen ausgegeben.

Dynamisches Routing

Beim Dynamischen Routing wird bei der Berechnung die jeweils aktuelle Verkehrssituation als Kantenbewertung einbezogen. Dynamisch berechnete Routen stellen das theoretische Optimum zum angefragten Zeitpunkt dar. Der zugrundeliegende Straßengraph verändert sich kontinuierlich: Wegen sich ändernder Geschwindigkeiten oder Fahrzeiten erhöhen oder verringern sich die Kantenbewertungen. Die Qualität des Routingergebnisses ist jedoch stark abhängig von der Qualität und zeitlichen Korrektheit der verfügbaren Verkehrsinformationen. Dynamisches Routing ist vor allem in verkehrlich stark belasteten Gebieten zur Berechnung der schnellsten Route sinnvoll. Dynamisches Routing mit Berücksichtigung aller Verkehrsinformationen ist jedoch für Kraftfahrer derzeit noch nicht verfügbar.

Intuitives Routing

Unter Intuitivem Routing soll die Navigation und Wegfindung des Kraftfahrers auf Basis eigener Gewohnheiten, Erwartungen und Informationen (Erfahrungen, aktuelle Wahrnehmung, Verkehrsfunk etc.) verstanden werden. Der Kraftfahrer wählt vorausschauend auf Basis der wahrgenommenen Hinweise seine Route.

3 Forschungsprojekt MINERVA

Im Folgenden wird das Forschungsprojekt MINERVA (**MIN**imierung der Staufolgen im Lieferverkehr in Ballungsräumen durch **Effiziente R**outingunterstützung im Fahrzeug und **Verkehrsbildabhängiges A**nkunftsavis), durchgeführt von der Forschungsgruppe Verkehrslogistik der Technischen Hochschule Wildau [FH], gefördert im Programm FH³ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, vorgestellt.

3.1 Zielstellung und These

Die aktuelle Verkehrssituation in städtischen Gebieten ist auf Grund kurzfristig entstehender und unvorhersehbarer Verkehrsstörungen schwer vorherzusagen. Einerseits sind die für den Kraftfahrer verfügbaren Verkehrsinformationen (Radio, Tageszeitungen, TMC etc.) oft ungefiltert, unvollständig, veraltet und/oder zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung nicht verfügbar. Andererseits sind umfangreiche Verkehrsinformationen für Ballungsgebiete, beruhend auf Detektorsystemen, Baustellenprotokollen und Prognosealgorithmen, in Verkehrsmanagementzentralen vorhanden. Gegenstand des Forschungsprojektes MINERVA ist die Nutzbarmachung dieser Informationen durch die Kombination der verfügbaren Verkehrsinformationen mit der Erfahrung und Ortskenntnis des Kraftfahrers und anschließend die Analyse der Wirkung auf das intuitive Routing von Kraftfahrern im Vergleich zu anderen Routingansätzen. Die Forschungsthese besagt, dass die Bereitstellung von on-board-Verkehrsinformationen die intuitive Routenwahl des ortskundigen Kraftfahrers verbessert und somit Zeit, Distanz und Kraftstoff eingespart werden können.

3.2 Technischer Aufbau

Im Forschungsprojekt MINERVA wurde eine Applikation entwickelt, die die Informationsübermittlung zwischen Verkehrsmanagementzentrale Berlin, dem mobilen Endgerät des Kraftfahrers und der jeweiligen Speditionszentrale sicherstellt (siehe Abbildung 2). Die jeweils aktuellen Verkehrsinformationen und die Verkehrslage werden in regelmäßigen, kurzen Abständen über eine Schnittstelle von der Verkehrsmanagementzentrale an das MINERVA-System und anschließend per GPRS an das mobile Endgerät übermittelt. Anhand der Tourenplanung und der jeweils aktuellen Position des Kraftfahrers ermittelt das mobile Endgerät die Verkehrsinformationen, die sich im Gebiet zwischen seiner aktuellen Position und dem nächsten Ziel befinden. Nur diese relevanten Verkehrsinformationen werden auf dem mobilen Endgerät angezeigt.

3.3 Feldversuch

Ein wesentlicher Teil des Forschungsprojekts MINERVA ist die Erprobung der Lösung in einem Feldversuch. In der Zeit von Januar 2008 bis Februar 2009 waren sieben Berufskraftfahrer (ReiCo Spedition GmbH & Co. KG und Frischdienst Berlin) im Stadtgebiet Berlin und im Umland mit den mobilen Endgeräten unterwegs. Diese

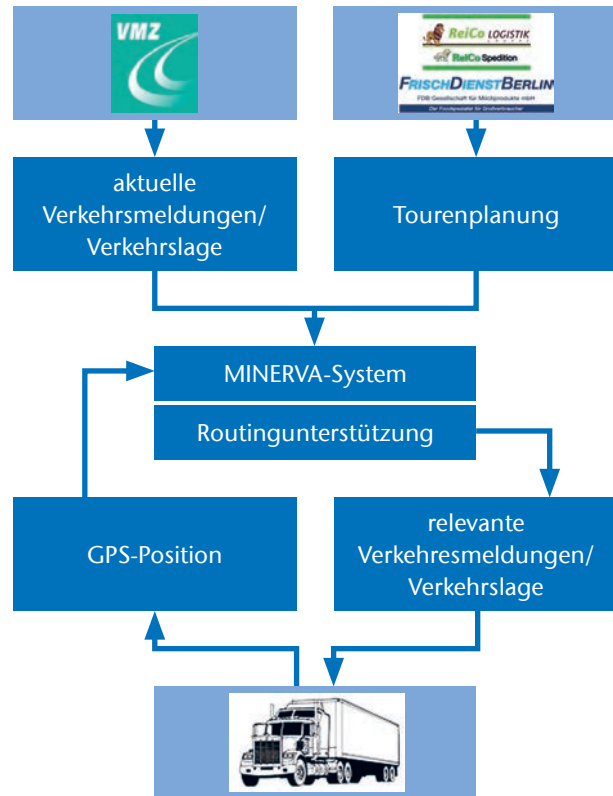


Abb. 2: Informationsübermittlung MINERVA

Kraftfahrer verfügen über langjährige Erfahrungen in der Auslieferung im Untersuchungsgebiet, sodass von einer sehr effizienten Fahrweise ausgegangen werden kann. Desto interessanter ist die Frage, ob durch die On-Board-Bereitstellung von relevanten Verkehrsinformationen das Routing dieser erfahrenen Fahrer verbessert werden kann.

Der Feldversuch war in vier Phasen mit ansteigender Informationsunterstützung unterteilt, um festzustellen, wie das intuitive Routing stufenweise besser unterstützt werden kann:

- Unterstützungsstufe 0: Aufzeichnung der Fahrtverläufe der Kraftfahrer ohne zusätzliche Verkehrsinformationen
- Unterstützungsstufe 1 »Pre-Trip-Verkehrsinformationen«: täglich ein Papierausdruck der am Vortag prognostizierten Verkehrslage als Karte und Verkehrsinformationen als Text
- Unterstützungsstufe 2 »Text-Information«: Textmeldungen der für das Tourengebiet relevanten Verkehrsinformationen auf mobilem Endgerät
- Unterstützungsstufe 3 »Digitalisiertes Verkehrslagebild«: GIS-Karte für das Tourengebiet, auf der die Straßen entsprechend der Verkehrslage gelb und rot eingefärbt sind, und Textmeldungen auf mobilem Endgerät

4 Erste Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt MINERVA

4.1 Charakterisierung der Testgruppe

»am Feldversuch teilnehmende Kraftfahrer«

Am Feldversuch waren erfahrene Berufskraftfahrer der Lebensmittelauslieferung an Großkunden (zum Beispiel Hotels, Krankenhäuser, Einzelhändler) mit Fahrzeugen mit 12 und 18 t zGG (zulässiges Gesamtgewicht) beteiligt, die über langjährige Kenntnis ihres Tourengebiets verfügen. In der Regel sind die teilnehmenden Kraftfahrer im Auswertungszeitraum eine Tour pro Tag gefahren, nur zu 6,7% wurden zwei Touren pro Tag gefahren, dabei war die zweite Tour am Tag kürzer als die erste. Die durchschnittliche Anzahl der Stopps pro Tag betrug 17,4 und schwankt im Wochenverlauf, so sind vor allem Montag (Auffüllen der Vorräte) und Freitag (Bevorratung für das Wochenende) auslieferstarke Tage (siehe Abb. 3). Durchschnittlich ist jeder Kraftfahrer täglich 116 km vom Tourenbeginn bis zum letzten Stopp gefahren. Die Schwankungen der Fahrleistung im Wochenverlauf folgen der Anzahl der Stopps pro Tag (siehe Tabelle 1), ebenso die Verweildauer im öffentlichen Straßenraum (Fahrzeit plus sonstige Zeiten) von durchschnittlich 7 h 48 min pro Tag (siehe Abb. 4).

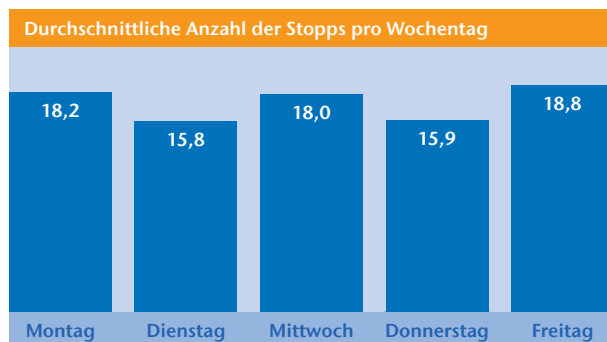


Abb. 3

	Minimum	Maximum	Durchschnitt
Montag	23,5 km	330,6 km	127,2 km
Dienstag	23,5 km	246,2 km	106,3 km
Mittwoch	23,0 km	243,0 km	116,4 km
Donnerstag	20,2 km	268,4 km	108,7 km
Freitag	24,9 km	264,0 km	122,4 km

Tab. 1: Durchschnittliche Fahrleistung pro Wochentag

4.2 Vergleich der Routingansätze

Anhand einer Stichprobe aus den aufgenommenen Daten wurde ein Vergleich der verschiedenen Routingansätzen durchgeführt. Dabei war die Frage zu klären, wie

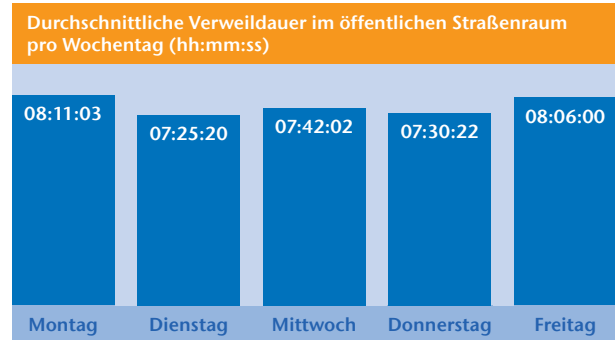


Abb. 4

und auf welchem Netz die Vergleiche durchzuführen sind. Mögliche Netze für den Vergleich sind in Tabelle 2 gegenübergestellt. Das Straßennetz mit realer Belastung SN3 wäre das am besten geeignete Netz für einen Vergleich, jedoch sind die damit verbundenen Anforderungen an Datenverfügbarkeit und Aktualität gegenwärtig nicht realisierbar.

Straßennetz ohne Verkehrsinformationen (SN1)	Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2)	Straßennetz mit realer Belastung (SN3)
Kantenbewertung: Durchschnitts- oder Höchstgeschwindigkeiten	Abbildung der prognostizierten Verkehrslage in drei Abstufungen	Reale Verkehrslage auf den Straßen
	Berücksichtigung aller bekannten Verkehrsstörungen	Oft sehr kurzfristiges Auftreten/ Verschwinden von Verkehrsstörungen
	Aktualisierung der Prognose alle 15 min.	Verkehrsbelastungen haben sehr unterschiedlich starke Ausprägung

Tab. 2: Charakterisierung der unterschiedlichen Straßennetze

Unter Prognosebelastung (SN2) soll die Prognose der Verkehrsmanagementzentrale über die Verkehrssituation in den nächsten 15 min anhand der jeweils gültigen Verkehrsinformationen wie Stau, Baustellen etc. und der aus diesen Informationen und aus aktuellen Verkehrsmessungen resultierenden Berechnung der Verkehrsbelastung der einzelnen Kanten verstanden werden.

Um die Qualität des gewählten Straßennetzes SN2 gegenüber einem Straßennetz ohne aktuelle Verkehrsinformationen (SN1) zu ermitteln, wurden Test-Routings mit Touren aus der Stichprobe durchgeführt. Dazu wurden Start- und Zielpunkte der Touren durch

eine statische Routengenerierung anhand eines Navigationssystems verbunden (statisches Routing) und die empfohlene Route auf dem Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2) simuliert. Parallel wurden die Touren mit einem dynamischen Routing simuliert. Abb. 5 zeigt, dass auf einem Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2) statische Routings deutlich schlechter abschneiden als dynamische Routings.

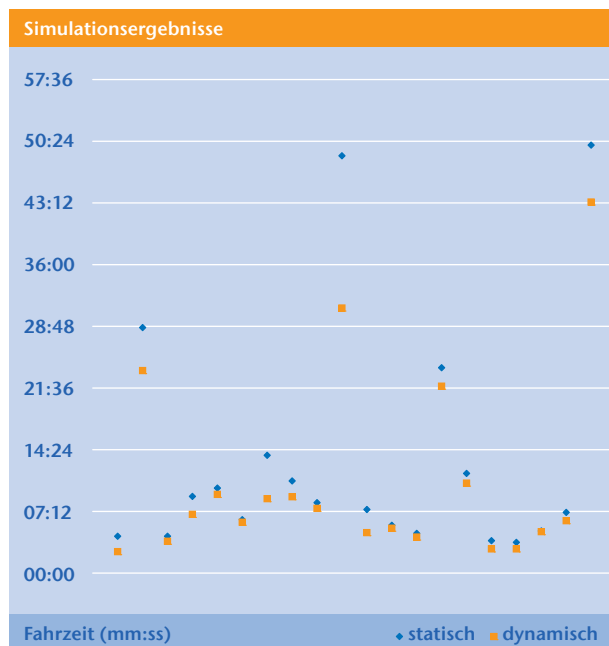


Abb. 5: Simulationsergebnisse des statischen und dynamischen Routings unter Berücksichtigung der im MINERVA-System verfügbaren Prognosebelastung

Deswegen wurde das Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2) für den weiteren Vergleich zwischen intuitivem Routing mit und ohne MINERVA-Unterstützung herangezogen. Es wurden drei Routing-Varianten miteinander verglichen:

- dynamisches Routing – optimale (schnellste) Route auf SN2
- intuitives Routing mit MINERVA-Unterstützungsstufe 3 – vom Kraftfahrer im realen Straßennetz gefahrene Route
- intuitives Routing ohne MINERVA (Unterstützungsstufe 0) – die vom Kraftfahrer (zu einem anderen Zeitpunkt) üblicherweise gefahrene Route

Um die Repräsentativität zu sichern, wurden für den Vergleich oft gefahrene Routen der Fahrer aus dem Feldversuch ausgewählt. Für diese Routen wurden alle drei Varianten simuliert. Dabei wurden jeweils mit der Prognosebelastung (SN2) – zum Zeitpunkt der Fahrt mit MINERVA-Unterstützungsstufe 3 – alle Varianten simuliert. Für den Vergleich der verschiedenen Rou-

tingansätze wird das dynamische Routing als Benchmark (100 %) verwendet, da es durch die Berücksichtigung der Verkehrsbelastung in SN2 das optimale Ergebnis liefert.

Die Auswertung des Feldversuches hat gezeigt, dass das intuitive Routing mit MINERVA im Straßenverkehr eine bessere Route ergibt, als das intuitive Routing ohne MINERVA-Unterstützung. Die Kraftfahrer haben durch die MINERVA-Unterstützung mit on-board-Verkehrsinformationen den Vorteil, dass sie vor allem kurzfristig auftretende und unvorhersehbare Verkehrsstörungen großräumiger umfahren können und nicht erst, wenn sie die Verkehrsstörung vor sich sehen oder schon direkt betroffen sind.

Die Routingergebnisse auf einem Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2) sind mit den Routings der Kraftfahrer auf einem realen Straßennetz (repräsentiert durch Straßennetz mit realer Belastung SN3) quantitativ nicht vergleichbar. Unterschiede zwischen beiden Netzen ergeben sich einerseits, weil die reale Verkehrsbelastung aller Kanten im realen Straßennetz gegenwärtig und in absehbarer Zeit nicht ermittelt werden kann. So ist zum Beispiel das Straßennetz nicht vollständig mit Detektorsystemen zur Aufnahme der aktuellen Verkehrssituation ausgestattet. Andererseits treten Verzögerungen zwischen Entstehung und Integration der Verkehrsinformationen auf, sodass reale Verkehrsinformationen bei der Übernahme in das Straßennetz mit Prognosebelastung (SN2) schon veraltet sein können.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Vergleich der Routingansätze zeigt, dass sich die intuitive Routenwahl erfahrener Berufskraftfahrer durch die On-Board-Verkehrsinformation mit dem MINERVA-System verbessern lässt, da eine Kombination aus intuitivem Routing und relevanten Verkehrsinformationen eine sehr gute Entscheidungsgrundlage bildet: So hat der Kraftfahrer die Möglichkeit, über seinen Sichtradius hinaus, entsprechend der Verkehrslage zu reagieren. In der Stichprobe haben die Kraftfahrer mit MINERVA eine Verkürzung der Fahrzeit von 5 % gegenüber dem intuitiven Routing erreicht. Für weniger erfahrene Kraftfahrer dürfte das Optimierungspotenzial noch deutlich höher liegen, da die Verbesserung bei den erfahrenen Berufskraftfahrern als ein Minimalwert angesehen werden kann.

Hinsichtlich der ökologischen Wirkungen des MINERVA-Systems wurde abgeschätzt, dass sich pro Lkw ca. 715 kg CO₂ einsparen ließen (bei durchschnittlich 22.280 km/Jahr, 3 % km-Einsparung durch MINERVA, angenommenen 5 t durchschnittlicher Nutzlast, 0,214 g CO₂/tkm).

Das dynamische Routing liefert aus mathematischer Sicht das beste Ergebnis, es ist jedoch sehr stark abhängig vom Umfang und der Qualität der zugrundeliegenden Verkehrsinformationen. Da zurzeit keine vollständig realitätstreue Abbildung der Verkehrssituation in städtischen Gebieten verfügbar und möglich ist, ist das dynamische Routing für die praktische Anwendung ein suboptimales Ergebnis. Um ein vollständiges Netz mit realen Belastungswerten zu erstellen, könnten zum Beispiel Floating Car Data mit einer sehr großen Flotte verwendet werden. In diesem Bereich besteht noch Forschungsbedarf.

Das MINERVA-System kann sowohl von Speditionskraftfahrern angewendet werden, die sich im Stadtgebiet sehr gut auskennen, da es keine Route vorgibt, sondern »nur« Verkehrsinformationen zu Verfügung stellt. Hohen Nutzen hat es vor allem für Kraftfahrer, deren Touren nicht jeden Tag identisch sind. Weiterhin ist das MINERVA-System auf Taxi- und Kurierdienste übertragbar. Auch Privat- und Geschäftsleute, die viel im Stadtgebiet unterwegs sind und zeitkritische Fahrten durchführen, können vom MINERVA-System profitieren.

Eine Übertragung des MINERVA-Systems in andere Ballungsgebiete ist möglich, Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von umfangreichen und aktuellen Verkehrsinformationen über eine Schnittstelle. Um Verkehrsinformationen über das MINERVA-System jedoch gebietsübergreifend zur Verfügung stellen zu können, ist – über TMC (Traffic Message Channel) hinaus – ein Standard für das Format von Verkehrsinformationen und die Zusammenarbeit der verschiedenen Anbieter von Verkehrsinformationen in den Regionen notwendig.

Literatur

- Dasen, Stefan; Janisch, Katrin; Meimbresse, Bertram; Rommerskirchen, Stefan; Schad, Helmut (2001): Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personewagen – Bericht zum Forschungsauftrag SVI 1999 / 327 (36 / 00) im Auftrag des Bundesamtes für Straßen (Schweiz).
- Dijkstra, Edsger Wybe (1959): A note on two problems in connexion with graphs. *Numeric Mathematics I*, S. 269 ff.
- Hart, Peter; Nilsson, Nils; Raphael, Bertram (1968): A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4 (2)*, S. 100-107.
- Schultes, Dominik (2008): Route planning road networks. Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH).
- Wermuth, Manfred; Binnenbruck, Horst H.; Machledt-Michael, Sonja; Rommerskirchen, Stefan; Sonntag, Herbert; Wirth, Rainer (1998): Bestandsaufnahme notwendiger und verfügbarer Daten zum Wirtschaftsverkehr als Grundlage pragmatischer Datenergänzungen – Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 01.145 G96C, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr.

Autoren

Dipl.-Ing. Bertram Meimbresse

TH Wildau [FH], Forschungsgruppe Verkehrslogistik
Tel. +49 3375 508-355, bertram.meimbresse@tfh-wildau.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Christine Behnke

TH Wildau [FH], Forschungsgruppe Verkehrslogistik
Tel. +49 3375 508-129, christine.behnke@tfh-wildau.de

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag

TH Wildau [FH], Forschungsgruppe Verkehrslogistik
Tel. +49 3375 508-924, herbert.sonntag@tfh-wildau.de

Ökonomischer Erfolg durch ökologisches Handeln

Der FirmenUmweltIndex FUX für nachhaltiges Wirtschaften

Bertil Haack, Claudia Schmidt, Cathleen Sommer

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag ist ein Ergebnis der studentischen Forschungs- und Arbeitsgruppe sO₂lutions der Technischen Hochschule Wildau (FH). Er geht der Frage nach, wie umweltfreundliches Verhalten eines Unternehmens beeinflusst und gefördert werden kann. Dazu werden zunächst die Eckpfeiler Ökonomie, Ökologie und Ethik und deren Zusammenwirken in einer realökonomischen an Stelle einer geldökonomischen Unternehmensführung erörtert. Anschließend wird der FirmenUmweltindex FUX als Beitrag zur Verwirklichung umweltgerechter, realökonomischer Unternehmensführung vorgestellt und diskutiert. Dieser personenbezogene Ansatz kann in jedweder organisatorischen Einheit und damit beispielsweise in Wohnungsunternehmen oder auch in Krankenhäusern zur Realisierung von Nachhaltigkeit eingesetzt werden.

Abstract

This report is a result of the research activities of the working group sO₂lutions of the Technical University of Applied Sciences Wildau. The main question is how we can realize a positive impact on environmentally friendly behavior of managers and employees in a company. Therefore the report examines the key elements of sustainability: (1) economy, (2) ecology and (3) ethics. The combination of these three parts should be the challenge for corporations world-wide instead of money economic based management. Furthermore, the report presents the FirmenUmweltindex FUX (Company Environment Index), established by sO₂lutions, as a contribution to the implementation of a sustainable management based on economy, ecology and ethics. This approach can be used to realize economic leadership and management under consideration of environmental needs. It can be implemented in each organizational unit e. g. in housing companies or hospitals.

1 Umweltschonende Unternehmensführung

In Zeiten, in denen unsere natürlichen Ressourcen immer knapper werden und die Natur als schützenswertes Gut anerkannt ist, sind sowohl die wirtschaftlichen Akteure als auch der einzelne Bürger dazu angehalten, einen Beitrag zur Schonung und Rettung der Umwelt zu leisten. Dies gilt – nicht zuletzt wegen seiner Vorbildfunktion – auch und gerade für den kommunalen Bereich. Betrachten wir als Beispiele die Sektoren »Immobilien« und »Krankenhäuser/gesundheitliche Versorgung«. Aufgrund des hier jeweils sehr hohen Energieverbrauchs ist der moderne Ansatz einer nachhaltigkeitsorientierten Unternehmensführung sowohl in der Immobilienwirtschaft als auch im Gesundheitswesen von grundlegender Bedeutung für die Zukunft.

Die aus dem hohen Energiebedarf sowie aus den knapper werdenden Energiequellen resultierenden Kostensteigerungen veranlassen z. B. Verwalter und auch Eigentümer von Immobilien, nach Möglichkeiten zur nachhaltigen Bewirtschaftung ihrer Gebäude zu suchen. Die Herausforderung liegt in der Vereinigung von ökologischen Erfordernissen der Stakeholder mit den ökonomischen Ansprüchen der Shareholder.

Die Konzepte zur nachhaltigen, umweltschonenden Unternehmensführung lassen sich in drei Kategorien unterteilen: Technische, institutionelle und mitarbeiterbezogene Lösungsansätze.

Technische Lösungen wie die Nutzung von Blockheizkraftwerken oder der Einsatz moderner Gebäudeleittechnik sind bereits seit Jahren bekannt und werden oft auch schon im kommunalen Bereich genutzt (vgl. Hugenroth et al. 2003). Institutionelle Lösungen wie die

Implementierung eines Umweltmanagementsystems nach ISO 14001 oder EMAS finden zunehmend Anklang in allen Wirtschaftsbranchen (vgl. EMAS 2009), sind aber ebenso wie technische Lösungen häufig mit erheblichem Aufwand verbunden. Der bisher am wenigsten beachtete Bereich ist der der mitarbeiterbezogenen Lösungen. Hier finden sich noch erhebliche Potenziale, die es auszuschöpfen gilt – unabhängig von Größe und Branchenzugehörigkeit der jeweiligen Unternehmung.

Dem entsprechend gehen wir hier der Frage nach, wie umweltgerechtes Verhalten von Führungskräften und Mitarbeitern beeinflusst und gefördert werden kann. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Berücksichtigung einerseits des Menschen und seiner individuellen Bedürfnisse sowie andererseits seiner Umwelt im Rahmen eines auf ökonomische Ziele ausgerichteten unternehmerischen Agierens. Dazu werden im Kapitel 2 zunächst die Dimensionen nachhaltiger Entwicklung aufgezeigt, die zugleich die Eckpfeiler der im Kapitel 3 erörterten realökonomischen an Stelle einer geldökonomischen Unternehmensführung bilden. Zur Umsetzung dieses modernen Managementkonzepts bedarf es geeigneter Instrumente wie beispielsweise des von sO₂lutions entwickelten FirmenUmweltIndex FUX. Dieser mitarbeiterbezogene Ansatz zur Realisierung von Nachhaltigkeit wird im Kapitel 4 beschrieben. Im abschließenden Kapitel 5 werden seine Einführung skizziert und das nachhaltige Wirtschaften einer kurzen Bewertung unterzogen.

2 Das »Dreieck nachhaltigen Wirtschaftens«

Betrachten wir der Einfachheit halber folgende realistische Aussage eines Geschäftsführers oder Vorstands irgendeines Unternehmens: »Wir müssen die Gewinne unserer Gesellschaft in diesem Quartal deutlich steigern – koste es, was es wolle.« Hier stehen wir bereits vor dem eigentlichen Problem. Die Forderung nach möglichst hohen Gewinnen seitens der Manager oder Anteilseigner sowie die kurzfristige Steigerung der Rendite werden durch das Bild des Homo Oeconomicus als Leitlinie unternehmerischer Denk- und Handlungsweisen geprägt (vgl. Freimann 2006, 36). Die Konzentration einzig und allein auf die Nutzenmaximierung der Shareholder des Unternehmens wurde und wird nach wie vor im Sinne der Erhaltung und Mehrung des ökonomischen Vermögens verstanden. Zahlreiche Beispiele belegen, dass

jene sehr stark fokussierte und damit eingegrenzte Sicht zu einer Übernutzung des vorhandenen Natur- und Sozialvermögens und so zu irreversiblen Schäden unserer Lebenswelt führen kann (vgl. etwa die Zerstörung des tropischen Regenwaldes in Brasilien). Ein besserer Weg scheint darin zu bestehen, eine erweiterte Sicht auf das Vermögen anzunehmen, indem auch die Erhaltung und Mehrung des ökologischen und sozialen Kapitals zu unternehmerischen Zielen erklärt werden (vgl. Zabel 2006, 90). Worum es also geht, ist die Realisierung eines stabilen Gefüges, bestehend aus ökonomischen, ökologischen und sozialen Gesichtspunkten.

Dabei stellen die ökologische und die soziale Verantwortung Teilbereiche dar, die verstärkt in die strategische Unternehmensführung übernommen werden müssen. Die Zeiten, in denen es ausschließlich um Gewinnmaximierung und Renditesteigerung ging, sind vorbei. Spätestens seitdem sich die Ressourcenknappheit auch im Geldbeutel eines Einzelnen widerspiegelt und z. B. Mieter oder Eigentümer einer Immobilie über zunehmend steigende Betriebskosten klagen, müssen auch Wohnungsunternehmen oder Betreiber von Krankenhäusern verstärkt über Einsparmaßnahmen nachdenken und die ökologischen Forderungen nach Ressourcenschonung, Lärmvermeidung und Abfallrecycling in ihrer strategischen Ausrichtung berücksichtigen. Es gilt, die Vereinbarkeit von ökonomischen und ökologischen Anforderungen durch ein entsprechend organisiertes Nachhaltigkeitsmanagement zu realisieren, welches zugleich sozial angemessen ist. Anders ausgedrückt: Die drei Komponenten der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie und Ethik – bilden die Eckpunkte einer realökonomischen Unternehmensführung (Abbildung 1, eigene Darstellung), d. h.

- *ökologische* Nachhaltigkeit sichert die Bewahrung und gerechte Verteilung der natürlichen Ressourcen,
- *ökonomische* Nachhaltigkeit bezieht zusätzlich das produzierte Sachkapital und
- *soziale* Nachhaltigkeit das soziale Kapital, die Mitarbeiter, mit ein (vgl. Freimann 2006, 48 ff.).

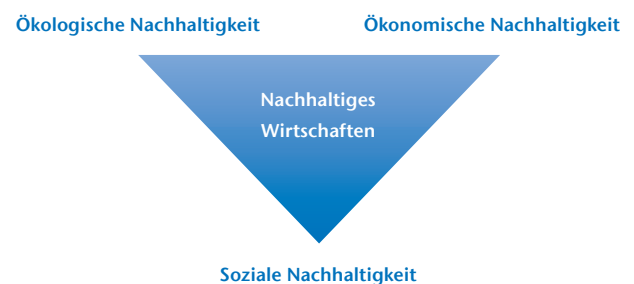


Abb. 1: Das Dreieck nachhaltigen Wirtschaftens

3 Konturen einer realökonomischen Unternehmensführung

Wie kann realökonomische Unternehmensführung nun aber in der Praxis realisiert werden? Eine generelle Antwort können die folgenden zentralen Optionen für die Gestaltung einer realökonomischen Unternehmensführung geben (vgl. Freimann 2006, 48 ff.):

- Nachhaltiges Management als normativer, strategischer und langfristiger Ansatz.
- Erweiterte Substanzerhaltung (auch ökologisches und soziales Vermögen erhalten und mehren).
- Materialeinsatz statt Personaleinsatz als Reduktionsfeld.
- Absolute Reduktion von Verbräuchen und Emissionen (vgl. hierzu als Beispiel den »CO₂ footprint« von SAP in Vogel 2007).
- Personalbelange einbeziehen und organisatorische Lernfähigkeit entwickeln.
- Nicht Produkte oder Dienstleistungen, sondern Lösungen in den Mittelpunkt stellen (z. B. Mobilität statt Auto).
- Kooperationen anstreben.
- Anspruchsausgleich in Bezug auf die Stakeholder vorsehen.
- Rahmenbedingungen nicht als unverrückbar betrachten, sondern am gesellschaftlichen Diskurs mitwirken.

Im Kontext »Immobilie« und analog im Sektor »Krankenhäuser/gesundheitliche Versorgung« können diese Optionen z. B. wie folgt gelesen werden:

- Strategische und langfristige Orientierung: Entscheidend für eine erfolgreiche nachhaltige Unternehmensführung ist die verbindliche, strategische und langfristige Ausrichtung der Unternehmensaktivitäten. Dabei geht es jedoch nicht ausschließlich um die schriftliche Fixierung des Umweltgedankens im Unternehmensleitbild, sondern auch um die praktische Umsetzung dieses Gedankenguts im Rahmen der täglichen Arbeit. Dazu ist es wichtig, sowohl die Mitarbeiter des Unternehmens als auch die Mieter der verwalteten Immobilie, Bauherren, Projektleiter und Kooperationspartner entsprechend den jeweiligen konkreten Möglichkeiten in den strategischen Prozess zur Entwicklung einer nachhaltigen Immobilie einzubeziehen.
- Erweiterte Substanzerhaltung: Der kaufmännische Substanzerhaltungsgedanke beinhaltet in erster Linie die Maximierung des Gewinns und die Steigerung

der Rendite. Die ökologische Substanzerhaltung beinhaltet die umweltgerechte Nutzung natürlicher Ressourcen wie Wasser und sämtlicher Formen erneuerbarer Energien wie Wind- und Sonnenenergie. In der Immobilienwirtschaft tragen zum Beispiel die regelmäßige Instandsetzung und Erneuerung von Wasserver- und Abwasserentsorgungseinrichtungen sowie die Nutzung wiederverwertbarer Baumaterialien zu einem umweltfreundlichen Umgang mit der Ressource Wasser bei. So sind es nicht nur die Immobilienverwalter selbst, die einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen fördern können, sondern auch Bauherren und Projektentwickler. Die Schonung und Erhaltung unseres natürlichen Vermögens ist dort von besonderer Bedeutung, wo der Austausch von Ressourcen nur begrenzt möglich ist.

- Reduzierung des Materialeinsatzes und -verbrauches: Gerade und insbesondere in der Immobilienwirtschaft muss sich der Rationalisierungsgedanke mehr als in anderen Branchen auf die eingesetzten Materialien anstelle der personellen Ressourcen konzentrieren. Statt Mitarbeiter zu entlassen, um die Gewinne des Unternehmens zu steigern, gilt es viel mehr, sie und die Mieter einer Immobilie zur Reduktion von Materialverbräuchen zu ermutigen. Der von sO₂lutions entwickelte FirmenUmweltIndex FUX bezieht dabei jeden einzelnen Mitarbeiter mit in die Aktivitäten ein und vergütet sein Engagement mithilfe eines adäquaten Belohnungssystems (s. Kapitel 4).
- Entwicklung organisatorischer Lernfähigkeit: Als Konsumenten des Immobilien- und Wohnungsmarktes fordern gewerbliche wie private Mieter den günstigen Zugang zu Räumlichkeiten, die ihren Bedürfnissen und ihrem Nutzen entsprechen. Dazu gehört auch der Wunsch nach geringen Betriebskosten. Das Ziel von Verwaltern und Eigentümern von Immobilien könnte – im Sinne der eigenen Nutzenmaximierung – sein, den Kundenwünschen in Form einer umweltgerechten Bewirtschaftung des Immobilienbestandes Rechnung zu tragen und das eigene Leistungsspektrum »parallel« zu den Anforderungen der Mieter zu entwickeln. Erfolgsfaktor ist auch hier die »market into company«-Strategie, wonach die Erwartungen der Mieter vom Vermieter aufgegriffen und entsprechend umgesetzt werden. Dies kann auf der einen Seite zu einem Imagegewinn, auf der anderen Seite zu einer Kostenreduktion beitragen.
- Konzentration auf Lösungen: Technische Lösungen wie Solar- und Windkraftanlagen zur Erzeugung von

Strom sind inzwischen weit verbreitete Ansätze zur optimalen Nutzung vorhandener Energiequellen. Diese allein reichen jedoch nicht aus. Am Ende ist es der Mensch, auf dessen Handeln es ankommt. Die Herstellung Strom sparender Elektrogeräte ist ein Beitrag wirtschaftlicher Akteure. Die Strom sparende Nutzung der Geräte auf der anderen Seite ist Aufgabe des Endverbrauchers und damit eines jeden Mieters und Hauseigentümers.

Diese Darlegungen lassen erkennen, dass die Konturen realökonomischen Handelns nur begrenzt Antworten auf die Frage nach konkretem realökonomischem Handeln geben und dieses nur generell beschreiben bzw. determinieren. Hier ist ein weiterer Schritt der »Operationalisierung« erforderlich, d. h. die Optionen der Realökonomik müssen in der Praxis detailliert und durch greifbare Regeln, Maßnahmen usw. umgesetzt werden.

Kommen wir dazu auf das Verhalten der Menschen und damit auf mitarbeiterorientierte Lösungsansätze für Nachhaltigkeitsmanagement zurück.

Die obigen Ausführungen zur »Konzentration auf Lösungen« deuten bereits an, dass es vielfältige Bereiche gibt, in denen sich Menschen umweltgerecht verhalten können oder auch nicht. Neben der Nutzung von Energie seien die Aspekte Wasserverbrauch, Lärmemission, Umweltverschmutzung und Materialverbrauch als Beispiele angeführt. Mit Blick auf uns selbst stellen wir fest, dass es diesbezüglich Unterschiede zwischen dem Denken und dem tatsächlichen Handeln gibt. Der Gedanke, Wasser oder Energie zu sparen, ist leicht gedacht. Den Wasser- oder Energieverbrauch wirklich zu reduzieren, fällt dagegen oft sehr schwer. Die Hinderungsgründe liegen dabei häufig weniger in den Rahmenbedingungen unseres Tuns als vielmehr in unserer eigenen Person. Hier kann der FirmenUmweltIndex FUX Anreize schaffen, das eigene Verhalten angemessen zu ändern.

4 Der FirmenUmweltIndex FUX

Die Arbeits- und Forschungsgruppe sO₂lutions entwickelt den FirmenUmweltIndex FUX zurzeit für Unternehmen verschiedener Branchen – beispielsweise für die Immobilienbranche und das Gesundheitswesen, auf die der FUX jeweils individuell zugeschnitten wird. Die Grundideen dieses personenbezogenen Instruments basieren auf

- dem von Klaus Kobjoll erarbeiteten und von ihm in seinem Hotel Schindlerhof in Nürnberg erfolgreich eingesetzten Mitarbeiteraktienindex MAX (vgl. Kobjoll et al. 2005),
- den Prüffragen des EFQM-Modells für Excellence der European Foundation for Quality Management (vgl. EFQM 2003) sowie auf
- dem 50:50-Modell des Landschaftsverbands Westfalen-Lippe, mit dem dieser Energieeinsparungen in den von ihm bewirtschafteten Schulen auch an die Schülerinnen und Schüler weitergibt (vgl. Hugenroth et al. 2003, 22).

Mittels des FUX kann jeder Mitarbeiter – selbstverständlich auch jede Führungskraft – seinen Beitrag für die Umwelt dokumentieren und sein eigenes Handeln auf den Prüfstand stellen. Die Unternehmensleitung honoriert dieses Engagement mit einer Beteiligung am Erfolg, der durch die erreichten Einsparungen etwa beim Energie-, Wasser- und Materialverbrauch erzielt wird. Die Höhe des Bonus entspricht dabei dem Anteil der individuellen Umweltleistung.

Mit der persönlichen Erklärung zur Teilnahme am FUX erhält der Mitarbeiter ein eigenes FUX-Konto, ausgestattet mit einem bestimmten Startguthaben. Monatlich beantwortet der Mitarbeiter vom Unternehmen vorgegebene Fragen – so genannte FUX-Fragen – und teilt so mit, welche Aktivitäten er im Hinblick auf nachhaltiges Wirtschaften im Berichtszeitraum unternommen hat. Diese Anstrengungen werden aufgrund vereinbarter Kriterien in FUX-Punkte umgewandelt und dem FUX-Konto des Mitarbeiters gutgeschrieben. Denkbare Aktivitäten sind aus strategischer Sicht die Implementierung eines nachhaltigkeitsorientierten Verbesserungsvorschlagswesens sowie die Entwicklung spezifischer Umweltziele. Auf operativer Ebene sind Maßnahmen zur Energieeinsparung und Müllreduktion vorstellbar. Je nach Spielart des FUX ist es analog dem MAX auch denkbar, bestimmte Verhaltensweisen des Mitarbeiters mit Punktabzügen zu verbinden. Am Ende variiert der FUX-Kontostand eines Mitarbeiters ähnlich wie ein Aktienindex und kann z. B. mit dem Durchschnittsindex aller beteiligten Mitarbeiter verglichen werden (Abbildung 2, eigene Darstellung).

Die durch das umweltbewusste und nachhaltigkeitsorientierte Verhalten der Mitarbeiter erzielten Einsparungen werden jährlich z. B. im Verhältnis 50:50 auf das Unternehmen und die am FUX beteiligten Mitarbeiter übertragen. Dies kann durch Bonuszahlungen oder Sachleistungen erfolgen. Der Anteil eines einzelnen

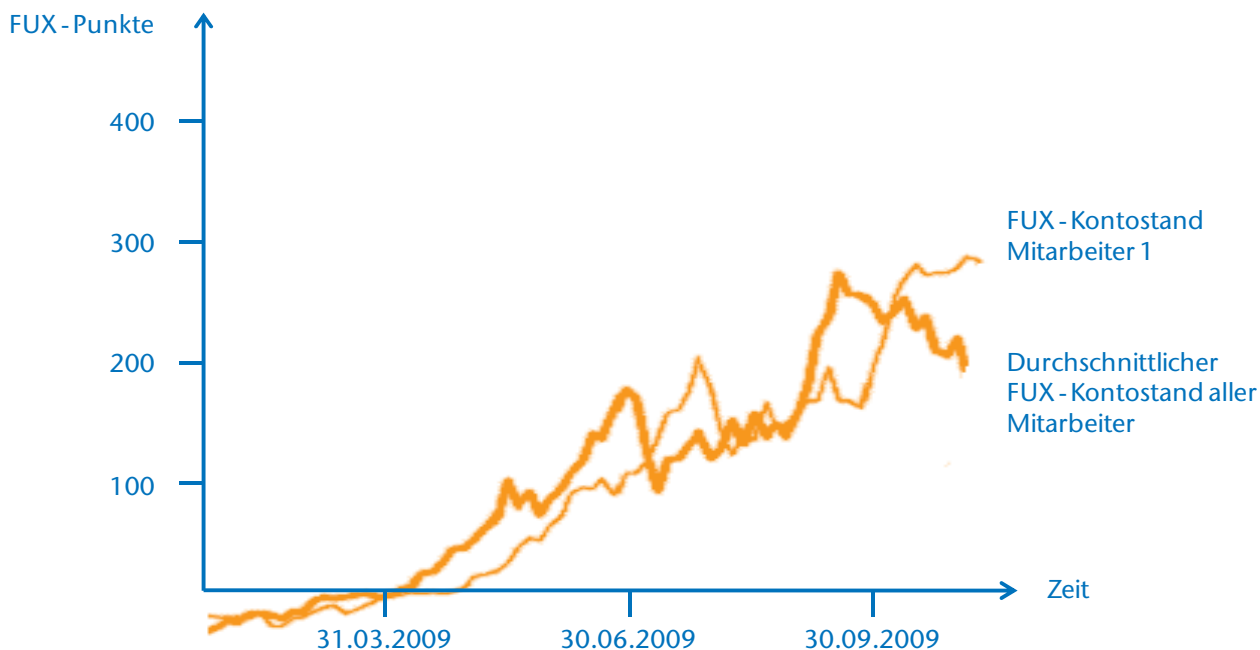


Abb. 2: Beispielhafte Entwicklung von FUX-Kontoständen

Mitarbeiters hieran entspricht dabei dem Anteil seines FUX-Kontostands an der Summe aller FUX-Punkte aller beteiligten Mitarbeiter.

Durch geeignete Auswertung der FUX-Kontostände und der Antworten auf die FUX-Fragen erhält die Unternehmensleitung leicht einen Überblick über die umweltbezogenen Aktivitäten ihrer Mitarbeiter. Mittels der so erzielten Resultate können weitergehende strategische Entscheidungen in Bezug auf das Umweltmanagement getroffen werden.

Der von sO₂lutions erarbeitete Fragenkatalog zur Bewertung und Dokumentation der umweltbezogenen Aktivitäten einzelner Mitarbeiter im Unternehmen und zur Vergabe der FUX-Punkte umfasst die bereits erwähnten strategischen und operativen Aspekte betrieblichen Handelns. Darüber hinaus können aber auch planmäßig Fragen einbezogen werden, die sich auf die Kunden eines Unternehmens beziehen.

Die folgenden, beispielhaft aufgelisteten Fragen zeigen einen in den Sektoren »Immobilien« und »Krankenhäuser/gesundheitliche Versorgung« gleichermaßen nutzbaren Auszug aus dem von sO₂lutions erstellten Fragenkatalog (ohne Angabe von FUX-Punkten; diese können je nach Unternehmen und den konkreten Erfordernissen des Unternehmens festgelegt werden):

Welche Maßnahmen werden auf strategischer Unternehmensebene ergriffen?

1. Ist der Umweltgedanke Teil des Leitbilds Ihres Unternehmens, und wird er gelebt?

2. Wurde in Ihrer Unternehmung bereits ein Umweltmanagementsystem mit dem Ziel der kontinuierlichen Verbesserung eingeführt, wird es gelebt und gibt es einen Umweltbeauftragten?
3. Spielen Kriterien des nachhaltigen Umweltschutzes bei der Suche beispielsweise nach Kooperationspartnern, Zulieferern und Projektentwicklern eine Rolle (z. B. Auszeichnung mit »Prime Property Award« oder Zertifizierungen nach ISO 14001)?
4. Wird ein bereits eingeführtes Umweltprogramm an die Mitarbeiter umfassend kommuniziert (z. B. durch monatliche Infobroschüren)?
5. Werden Maßnahmen zur Weiterbildung zum Thema Nachhaltigkeit und Umweltschutz angeboten, finanziert und gefördert?
6. Erfolgt eine kontinuierliche Überwachung des Energieverbrauchs, wird diese durch ein entsprechendes Umweltcontrolling begleitet und werden hieraus Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet?

Welche Maßnahmen werden auf operativer Unternehmensebene ergriffen?

1. Wie oft haben Sie im zurückliegenden Monat zur Energieeinsparung beigetragen (z. B. Fenster geschlossen, Licht ausgeschaltet, Rechner heruntergefahren, Heizung abends oder zum Wochenende herunter geregelt): Mehrmals täglich | einmal täglich | einmal wöchentlich | einmal monatlich | niemals?
2. Wie oft haben Sie im zurückliegenden Monat zur Müllreduktion beigetragen (z. B. Mehrwegutensilien

eingesetzt, leere Tonertrömmeln an den Hersteller zurückgesandt): Mehrmals täglich | einmal täglich | einmal wöchentlich | einmal monatlich | niemals?

3. Wie viele Verbesserungsvorschläge haben Sie im zurückliegenden Monat eingereicht: Mehrere | einen | keinen?

Welche Maßnahmen werden bezüglich Ihrer Kunden ergriffen?

1. Werden Ihre Kunden über die neuesten Entwicklungen im Bereich des Umweltschutzes sowie über mögliche umweltschützende Maßnahmen im Alltag informiert (z. B. durch monatliche Infobroschüren)?
2. Werden Ihre Kunden regelmäßig in persönlichen Gesprächen oder auf Informationsveranstaltungen über den Nutzen und die Notwendigkeit eines umweltbewussten Verhaltens aufgeklärt?

Die strategischen Fragen orientieren sich an den Untersuchungsbereichen des EFQM-Modells. Sie sind grundsätzlich branchenunabhängig, können jedoch durch die Spezifika einer Branche geprägt sein und sollten daher, wo sinnvoll, in die Sprache der jeweiligen Branche übersetzt werden. Die operativen Fragen dienen der Detaillierung und Konkretisierung der strategischen Fragen. Sie sollten im Bedarfsfall ebenso branchenspezifisch ausformuliert werden.

Die Beantwortung und Auswertung der Fragen kann analog zum MAX durch geeignete Software unterstützt werden. Damit wird eine leichte Handhabbarkeit des FUX erreicht, die seiner Akzeptanz durch die Mitarbeiter (und die Unternehmensführung) zugutekommt.

5 Nachhaltigkeit zahlt sich aus

Nachhaltige Unternehmensführung, wie oben dargestellt, ist nicht umsonst zu haben. Die Investition von Zeit und Geld zahlt sich aber aus!

Um erfolgreich zu sein und Nachhaltigkeit erreichen zu können, ist zunächst eine Analyse der konkreten Situation im Unternehmen erforderlich. Anschließend sind die Nachhaltigkeitsziele zu definieren und zu priorisieren sowie Schritte zu ihrer Realisierung festzulegen. Diese Aufgaben sind entsprechend einem passenden Projektplan umzusetzen und regelmäßig in Bezug auf die erreichten Ergebnisse zu prüfen. Bei Bedarf sind geeignete Steuerungsmaßnahmen zu ergreifen, um das Projekt zum Ziel zu bringen.

Hier ist insbesondere das Management mit seinem Engagement gefordert. Erfolgsfaktor ist auch und gerade die Bereitschaft des Managements, sich persönlich hinter die Aufgaben und die Vision einer nachhaltig orientierten Unternehmensführung zu stellen.

Erfolgsfaktoren für Nachhaltigkeit sind ebenso die verfügbaren finanziellen Mittel. Erfahrungen zeigen, dass sich Investitionen in Nachhaltigkeit schon nach relativ kurzer Zeit durch Imagegewinn und Kundenzufriedenheit sowie durch Umsatzsteigerungen bei gleichzeitiger Kostenreduzierung auszahlen. Das eingesetzte Kapital kann also recht schnell wiedergewonnen werden.

Literatur

- EFQM (2003): Excellence einführen. [http://www.deutsche-efqm.de/download/Excellence_einfuehren_2003\(5\).pdf](http://www.deutsche-efqm.de/download/Excellence_einfuehren_2003(5).pdf) (Zugriff: 27.02.2009).
- EMAS (2009): EMAS-Teilnehmer. <http://www.emas.de/unterrubrik-38.html> (Zugriff: 27.02.2009).
- Freimann, J. (2006): Nachhaltig wirtschaften! Wider die Orientierung wirtschaftlichen Handelns am Vorbild der Homunkuli, in: Göllinger 2006: 35-56.
- Göllinger, Th. (Hrsg.) (2006): Bausteine einer nachhaltigkeitsorientierten Betriebswirtschaftslehre.
- Hugenroth, M.; Michel, R. (2003): Energiebericht 2001–2003 des LWL-Bau- und Liegenschaftsbetriebs.
- Kobjoll, K.; Scheiper, U.; Wiesmann, M. (2005): MAX – Das revolutionäre Motivationskonzept.
- Vogel, A. (2007): SAP Research Project Footprint. <https://www.sdn.sap.com/irj/scn/go/portal/prtroot/docs/library/uuid/606f45ad-e186-2a10-40bc-984918ea1bab> (Zugriff: 27.02.2009).
- Zabel, H.-U. (2006): Von der Nachhaltigkeitskonzeption zur Nachhaltigkeitsökonomik und zum Nachhaltigkeitsmanagement, in: Göllinger 2006: 89-104.

Autoren

Prof. Dr. Bertil Haack

TH Wildau [FH]

Dekan Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht

bertil.haack@tfh-wildau.de

Claudia Schmidt (B.A.)

Ernst & Young GmbH

Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

schmidt-claudia80@arcor.de

Cathleen Sommer (B.A.)

FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld

Fachbereich Umweltwirtschaft/-recht

Masterstudiengang Umwelt- und Betriebswirtschaft

Postfach 1380, 55761 Birkenfeld

cathleen.sommer@gmx.de

Determination of carcinogen 4,4'-diamino diphenyl methane (MDA) in polyols derived from flexible polyurethane foam solvolysis by combination of SEC and GC/MS

Eckhart Kornejew, Valentin Stoychev

Zusammenfassung

Vorgestellt wird eine Methode zur quantitativen Bestimmung der krebserregenden Substanz 4,4'-Diaminodiphenylmethan (MDA) in Polyolen, die aus Polyurethan-Weichschäumen durch Solvolyse hergestellt wurden. Dabei wird zunächst der niedermolekulare Anteil mittels Gelpermeationschromatographie abgetrennt und enthaltenes MDA anschließend über Gaschromatographie/Massenspektrometrie bestimmt.

Abstract

A method is presented to determine the concentration of the carcinogen 4,4'-diamino diphenyl methane (MDA) in polyols derived from polyurethane flexible foam solvolysis by combination of size exclusion chromatography (SEC) and gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC/MS).

The first step of the method is the separation of the MDA containing fraction by SEC while the second step consists in the quantitative analysis of the MDA amount by GC/MS.

Quantitation limits of the method are lower than 0.05 % MDA in the polyol samples with an accuracy of ± 12 % of the determined values.

1 Introduction

Polyurethanes (PUR) of any kind may be treated with glycols and/or amines to obtain polyol products, which can be introduced into polyurethane formulations again [1] (Behrendt et. al. 2009). This process called PUR solvolysis, in particular glycolysis and aminolysis, can be applied to industrial wastes of PUR and represents the major way of chemical recycling in this branch [2] (Behrendt et. al. 2005: 85-92), [3] (Raßhofer 1995), [4] (Thor et. al. 2005), [5] (Parrinello et. al. 1997), [6] (Kierkus et. al. 1998), [7] (Gassan et. al. 1992).

The PUR solvolysis, i.e. the cleavage of the urethane bond, leads mainly to polyols, ω -(hydroxyalkyl)urethanes, and poly urea compounds. During the solvolysis of polyurethanes based on aromatic diisocyanates side reactions occur, one of which is the formation of primary aromatic diamines [1] (Behrendt et. al. 2009). In the case of polyurethanes produced with 4,4'-diphenyl methane diisocyanate (MDI) the resulting aromatic

diamine is 4,4'-diamino diphenyl methane (MDA). 4,4'-MDA is considered as a Class IIA carcinogen [18] (WHO, IARC Monographs 57: 1993) and therefore subject to certain restrictions. Thus, the maximum amount of MDA in substances to be shipped is limited to 0.1 % by European legislation [19] (REGULATION (EC) No 1272/2008).

Hence it is very important to know the concentration of MDA in polyols derived from PUR solvolysis. Depending on the results it is usually necessary to reduce the MDA level by means of deamination [4] (Thor et. al. 2005) to meet the legal requirements.

4,4'-MDA is a white to yellowish solid compound having a melting point of 92 °C and a boiling point of 398 °C. As a result of the technical grade 4,4'-MDI used in the PUR production, which always contains smaller amounts of 2,4'- and 2,2'-MDI isomers, the MDA formed during the PUR solvolysis is consequently a mixture of three isomers as well:

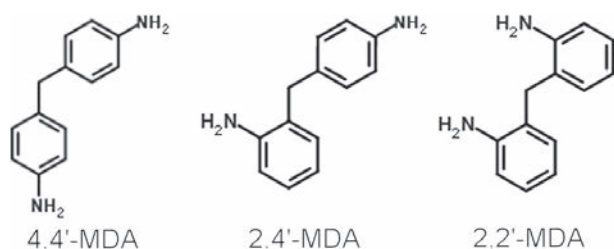


figure 1: main isomers of MDA

Analytical methods for the determination of MDA have been developed for several purposes. A large part of it relates to the analysis of MDA in environmental samples or liquids like urine or blood plasma from workers exposed to MDI, using the MDA as a bio marker for MDI [9] (Skarping et. al. 1995), [10] (Neumeister 1994).

The instrumental equipments used for the determination of MDA are HPLC, LC/MS, or GC/MS [11] (Shintani et. al. 1989), [12] (Mattrel et. al. 1995), [13] (Mazzu et. al. 1997). In some cases the GC/MS analysis is preceded by a derivatization of MDA [14] (Schmidt et. al. 1997).

The method described here was developed with the objective to be sensitive and accurate enough to determine an MDA amount in the polyol samples lower than 0.1%, and furthermore, to attain an easily applicable method without special sample preparation or derivatization by combination of SEC and GC/MS.

2 Experimental

2.1 Polyol preparation

The PUR based polyols were obtained by aminolysis of high resiliency foam (F.S. Fehrer Automotive GmbH) using diethylene triamine and N(2)-methyl diethylene triamine as reagents. After the reaction was considered to be complete the upper liquid polyol phase was separated from the lower precipitated poly urea phase [8] (Stoychev et. al. 2006). When choosing only amines as solvolysis reagents the reaction products are polyol(s) and oligo ureas with unknown amounts of MDA accompanying the polyol(s) only.

2.2 Size Exclusion Chromatography (SEC)

Size Exclusion Chromatography (SEC), also known as Gel Permeation Chromatography (GPC), is a method to separate molecules in solution based on their hydrodynamic volume, i.e. the size of a molecule combined with its shape [15] (Mori 1999).

In our method developed, the SEC is used to isolate the MDA containing fraction of low molecular size from the higher molecular size polyol.

Device configuration

The analytical SEC device manufactured by Viscotek and connected to a ViscoGEL GMH HR-N column was run with tetrahydrofuran (THF) as the solvent at a flow rate of 0.8 ml/min and an injection volume of 100 μ l. For detection only the RI signal was employed and interpreted using the Software OmniSEC v4.2.

Range of fractionation

To fractionate the eluent its delay to cover the distance between analyzer and outlet had to be determined. This was simply done by injecting a solution of phenolphthalein and observing the color change when the eluent dropped into a potassium hydroxide solution which continuously flowed through a slightly inclined glass tube. Thus, the difference between the start of appearance of the phenolphthalein peak and the beginning of color change was measured as well as the delay from the end point of the peak until total clearance of the eluent/KOH stream.

A solution of pure 4,4'-MDA provided by courtesy of Performance Chemicals Handels GmbH was injected to determine the range the eluent flow had to be cut within. This range of fractionation was broadened by 0.2 ml in both directions to ensure the capture of all MDA contained in a sample.

Reference samples

To calibrate the method a series of reference samples was prepared by mixing a polyol with different quantities of 4,4'-MDA, ranging from 0.05 % to 10%, and dissolving the mixture in THF (each sample 50 mg/ml). The polyol used was Lupranol® 2095, a trifunctional standard polyether polyol with primary hydroxyl groups, provided by courtesy of Elastogran GmbH.

As the concentration of a sample injected to the analytical SEC device is limited to 50 mg/ml not to overload the column, the resulting vial concentration of MDA in THF is 50 μ g/ml in case of a reference sample containing 0.1 % MDA. Thus the total MDA amount in the eluent fraction after injecting 100 μ l of this sample equals only 5 μ g. Therefore each sample was injected two times and the separated eluent portions joined together to increase the amount of analyzable MDA and minimize the margin of error.

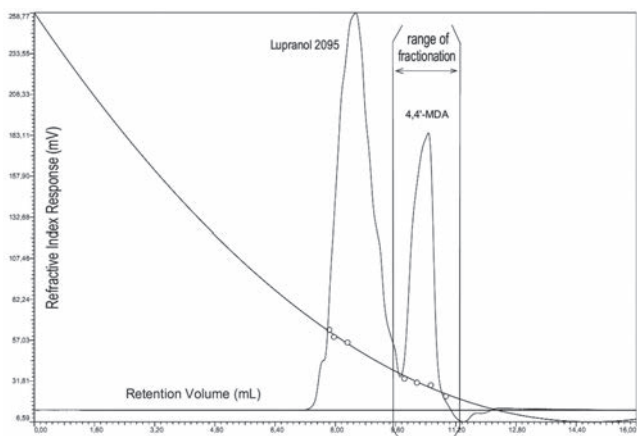


figure 2: size exclusion chromatogram of 10 % 4,4'-MDA in Lupranol 2095 with the range of fractionation marked

Polyol sample run

The polyol samples obtained by PUR aminolysis were treated in the same manner: dissolved in THF (50 mg/ml), injected twice and the separated eluent portions joined.

2.3 Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

Device configuration

The GC device applied in this method was a HP 5890 series II with a ZEBRON ZB-35 capillary column of intermediate polarity, helium as carrier gas adjusted to a column head pressure of 60 kPa and an injection split ratio of ca. 10:1. The temperature of the injector was set to 300 °C as well as the initial oven temperature, which after injection followed a heating rate of 10 K/min up to a final temperature of 400 °C.

The attached MS was a HP 5970 series device with a quadrupole detector, set to start with scanning at 3 minutes after injection.

The Software used was MS ChemStation and NIST MS Search v2.0 (175K spectra).

Reference sample run and calibration curve

The solvent of the SEC derived eluent fractions of each reference sample was evaporated at 60 °C. Next, the residue was dissolved in 200 µl THF.

10 µl of any of the calibration samples prepared in this way were injected into the gas chromatograph using five runs for each sample. Based on the MDA concentrations of the original reference samples before SEC and the average values of the resulting GC peak areas a calibration curve was calculated (table 1, figure 3).

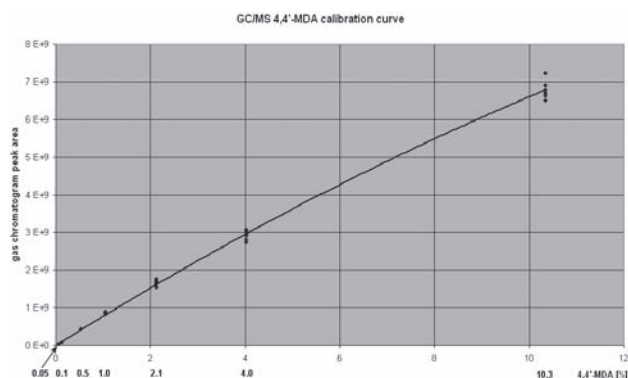


figure 3: GC/MS 4,4'-MDA calibration curve

Polyol sample run

The SEC derived eluent fractions of the polyol samples were treated in the same way as the reference samples: solvent evaporated at 60 °C, residue dissolved in 200 µl THF and 10 µl of each vial injected several times.

MDA isomers

As mentioned above, the MDA formed during the PUR foam solvolysis usually is a mixture of 4,4'-MDA as the main component and smaller amounts of 2,4'- and 2,2'-MDA isomers.

Figure 4 shows the gas chromatogram of a polyol sample with 4,4'-MDA as the largest peak and two smaller ones, which could clearly identified as being

4,4'-MDA calibration data									
C _{MDA} [%]	peak area 10 ⁶					statistics			
	inj. № 1	2	3	4	5	μ	σ	Cv	
0,05	27,8	28,6	26,7	28,1	26,8	27,6	0,8	0,030	
0,12	93,8	89,5	90,4	91,2	93,4	91,7	1,9	0,020	
0,54	442,3	441,2	444,0	438,7	442,1	441,7	1,9	0,004	
1,05	838,6	888,0	843,6	863,0	850,4	856,7	19,7	0,023	
2,13	1.707,6	1.642,6	1.538,5	1.750,5	1.649,6	1.657,8	80,0	0,048	
4,02	3.077,7	2.955,4	3.020,4	2.805,0	2.739,6	2.919,6	143,2	0,049	
10,34	6.627,5	6.692,5	6.500,5	7.222,0	6.908,0	6.790,1	283,0	0,042	

table 1: 4,4'-MDA concentrations and GC peak areas

isomers of MDA. Unfortunately, the mass spectra of both isomers did not sufficiently match the library records, and reference samples of the MDA isomers were not available. Thus, an explicit identification of isomer A and B was not possible. Considering the isomer distribution in technical grade MDI, which is a result of different chemical reactivities of the carbon atoms in a substituted aromatic ring during the synthesis process, it can be assumed that isomer A is 2,2'-MDA and isomer B 2,4'-MDA. This is supported by the distribution of MDI isomers in liquid MDI which consists of approximately 54 wt % of the 4,4'-isomer, 45 % of the 2,4'-isomer, and about 1 % of the 2,2'-isomer (first fraction of pure MDI distillation).

Detection limit

To determine the limit of detection (LOD), which in GC/MS approximately is the concentration of substance where the signal response is three times the background noise, several injections with lower MDA concentrations were made. Thus, a detection limit of approximately 2 ng 4,4'-MDA per μl THF was found.

3 Results

Seven samples of the high resiliency PUR foam derived polyols were analyzed resulting in the following 4,4'-MDA concentrations:

sample	C _{MDA} [%]					statistics		
	inj. № 1	2	3	4	5	μ	σ	Cv
VSA14	7,0	6,9	7,1	6,6	7,2	7,0	0,19	0,03
VS14AcAc	1,7	1,6	1,9	1,7	1,8	1,7	0,10	0,06
VS127	6,3	5,9	6,2	5,8	5,7	6,0	0,22	0,04
VSA	4,3	4,4	4,8	4,3	4,7	4,5	0,22	0,05
VSA+50	2,9	3,0	3,2	3,4	3,1	3,1	0,17	0,06
VS113-1+GE	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,06	0,09
VS113-3+M	6,3	5,9	5,6	5,8	5,9	5,9	0,24	0,04

table 2: 4,4'-MDA concentrations in polyol samples

Table 3 depicts the values of the MDA isomer distribution of the analyzed polyol samples. Due to the uncertainties in the isomer identification the concentration values of the isomers other than 4,4'-MDA were assigned to the isomers labeled A and B. Furthermore, the total MDA content was calculated:

sample	C _{MDA} [%]			total MDA content
	4,4'-MDA	MDA isomer A	MDA isomer B	
VSA14	7,0	0,4	4,1	11,5 ± 0,3
VS14AcAc	1,7	0,3	1,6	3,6 ± 0,3
VS127	6,0	0,3	3,7	10,0 ± 0,4
VSA	4,5	0,3	3,0	7,8 ± 0,4
VSA+50	3,1	0,2	2,1	5,4 ± 0,3
VS113-1+GE	0,7	0,2	1,0	1,9 ± 0,2
VS113-3+M	5,9	0,4	3,8	10,1 ± 0,4

table 3: MDA isomer distribution in polyol samples

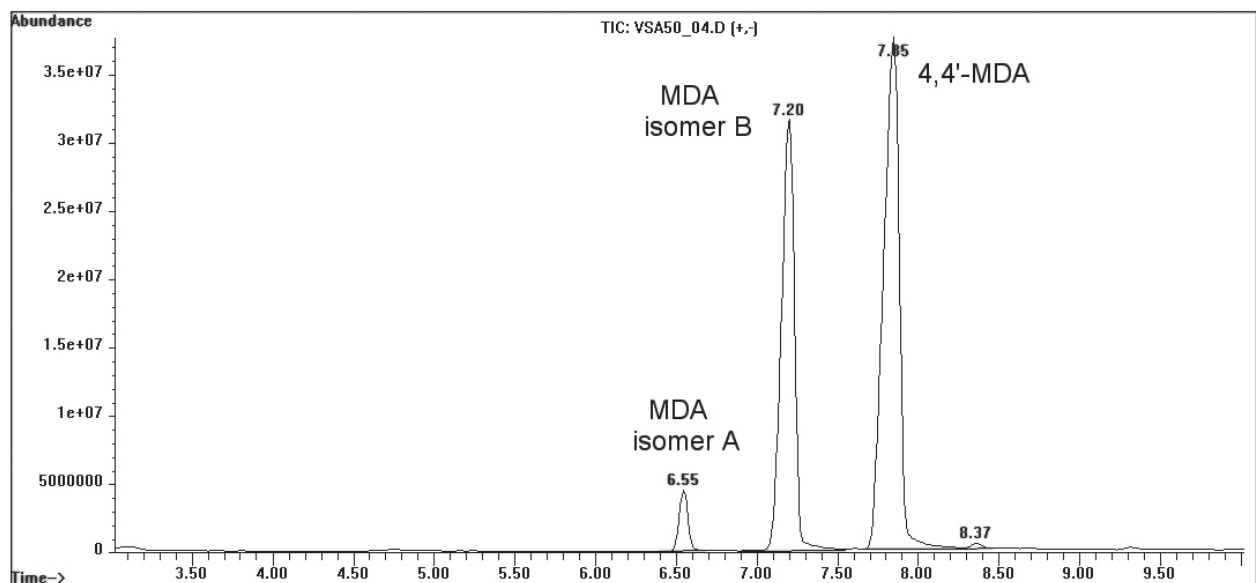


figure 4: gas chromatogram of the MDA containing fraction – sample VSA50

4 Discussion

4.1 MDA concentrations in polyol samples and deamination

Considering the determined remarkable high MDA concentrations in the polyols derived from flexible PUR foam solvolysis up to 7% for 4,4'-MDA and 11.5% for the total amount of MDA isomers, it results that the hitherto existing concept of the MDA formation must be extended. According to the current theory the formation of MDA during the solvolysis of the polyurethanes essentially depends on the existence of water in the PUR material [1] (Behrendt et. al. 2009), but this would not explain the rather large amounts of MDA formed. It can be assumed, that the thermolysis of the urethane group, possibly as a catalyzed process, is the major source of the MDA formation [17] (Saunders 1967). To a full explanation further investigations have to be made.

Because of the high MDA concentrations detected it is necessary to implement a deamination treatment to the polyols. The deamination can be performed either by adding a deamination reagent like long chain glycidyl ethers to the solvolysis reaction mixture to transform the MDA just in the nascent state into less toxic amino alcohols [7] (Gassan et. al. 1992), or by carrying out the deamination as a second reaction step after the PUR solvolysis [4] (Thor et. al. 2005).

By way of example one of the analyzed polyol samples (VS113-1+GE) is a product of a subsequent deamination treatment with 2-ethyl-hexyl-glycidylether and has a 4,4'-MDA concentration of only 0.7%. This is still much more than the legally allowed value, but could be further decreased by variations in technology or by increasing the added amount of glycidyl ether.

4.2 Limits of the method

The accuracy of the method is limited essentially by the observational error caused by fluctuations of the instrument precision, while the sensitivity of the method depends mainly on the amount of analyzable MDA after the SEC fractionation procedure. In general, uncertainties related to the sample handling by the instrument as well as to the instrument signal itself lead to higher coefficients of variation (c_v) when the substance causing the signal response is present in lower amounts.

Regarding the GC/MS detection limit of ca. 2 ng 4,4'-MDA per μ l THF, which corresponds approximately to a value of 0.01% MDA in a polyol sample before SEC,

this leads in combination with the margins of error of both analytical steps to a limit of quantitation (LOQ) of about 0.04% MDA in a polyol sample. To accurately determine the limit of detection and the limit of quantitation further injections followed by statistical calculations have to be made [16] (Hübschmann 2008).

4.3 Improvement of the method

Retaining the applied instrumental equipment the method itself could be improved by repeating the step of SEC fractionation several times for one sample to gain a higher amount of analyzable substance and/or by increasing the injection volume at the GC/MS.

5 Conclusions

The method developed to determine the concentration of 4,4'-diamino diphenyl methane (MDA) in polyols derived from PUR foam solvolysis proved to be applicable for MDA concentrations as low as 0.05% up to values greater than 10% MDA in polyol samples.

The hitherto existing concept of the MDA formation during the PUR solvolysis has to be extended to fully explain the high amounts of MDA determined.

To the polyols obtained by such a solvolysis process a deamination procedure has to be applied to decrease their remarkable high MDA content.

References

- [1] Behrendt, G.; Naber, B. W. (2009): The chemical recycling of polyurethanes (review), *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 44, 1, 3-23, Sofia.
- [2] Behrendt, G.; Stoychev, V.; Lehmann, D. (2005): *Chemisches Recycling von Polyurethan-Blockweichschäumen*, in: *Wiss. Beiträge 2005 der Techn. Fachhochschule Wildau*, 85-92.
- [3] Raßhofer, W. (1995): *Das Recycling von Polyurethanen*, Carl-Hanser-Verlag, München.
- [4] Thor; Koch; Stuhr; Naber (2005): *Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Recyclatpolyolen aus Polyurethanen*, DE-OS 10 2005 038 375.
- [5] Parrinello; Thorpe; Verheist; Hopper; De Witte (ICI PLC) (1997): *Recycling of Flexible Foam*, USP 5,691,389.
- [6] Kierkus, P. C.; You, K. K. (1998): *Process for the preparation of recycle polyols having a low amine content*, USP 5,763,692.
- [7] Gassan; Naber; Neiss; Moeckel; Weisflog (BASF Schwarzheide GmbH) (1992): *Preparation of Recyclate Polyols and the Use thereof in the Preparation of Polyurethanes*, USP 5,357,006; DE-OS 42 35 335.
- [8] Stoychev; Klockemann; Werner (2006): *Verfahren und Vorrichtung zur Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Polyurethanen*, DE102006034613A1.

- [9] Skarping, G.; Dalene, M. (1995): Determination of 4,4'-methylenediphenyldianiline (MDA) and identification of isomers in technical-grade MDA in hydrolysed plasma and urine from workers exposed to methylene diphenyldiisocyanate by gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*. 663, 209-216.
- [10] Neumeister, C. (NIOSH/DPSE) (1994): 4,4'-Methylenedianiline - HPLC, UV and Electrochemical Detection, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition.
- [11] Shintani, H.; Nakamura, A. (1989): Analysis of the carcinogen 4,4'-methylenedianiline (MDA) in gamma-ray and in autoclave-sterilized polyurethane, *Fresenius Z. Anal. Chem.* 333:637-640.
- [12] Mattrel, P.; Richter, K. (1995): Methode zur Bestimmung der Emission von Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat (MDI) aus isocyanatgebundenen Holzwerkstoffen, *Holz als Roh- und Werkstoff* 53, 321-326 @ Springer-Verlag.
- [13] Mazzu, A.L.; Smith, C. P. (2004): Determination of extractable methylene dianiline in thermoplastic polyurethanes by HPLC, *Journal of Biomedical Materials Research*, Volume 18 Issue 8, 961-968.
- [14] Schmidt, T. C.; Haas, R. et al. (1997): Derivatization of aromatic amines for analysis in ammunition wastewater I. Derivatization via bromination of the aromatic ring, *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, Volume 357, Number 7.
- [15] Mori, S. (1999): *Size Exclusion Chromatography*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg.
- [16] Hübschmann, H.-J. (2008): *Handbook of GC/MS: Fundamentals and Applications*, Wiley-VCH, 2nd ed.
- [17] Saunders, J. H. (1967): Thermal Degradation and Flammability of Polyurethane Foams, *Nat. Acad. Sci. Publ.* No. 1462, Washington, p. 123.
- [18] WHO, IARC Monographs 57 (1993), 39 (1985).
- [19] REGULATION (EC) No 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of December 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures.

Authors

Dipl.-Chemiker Eckhart Kornejew

TH Wildau [FH]

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Tel. +49 3375 508-296

eckhart.kornejew@tfh-wildau.de

Diplom-Ingenieur Valentin Stoychev

TH Wildau [FH]

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Tel. +49 3375 508-338

valentin.stoychev@tfh-wildau.de

Neue Materialien zur Beseitigung von Ölverschmutzungen

Michael Herzog, Sanchi Nenkova, Radka Garvanska, Valeria Gancheva

Zusammenfassung

Der Beitrag berichtet von der Entwicklung eines als Absorptionsmittel geeigneten Kompositmaterials auf der Basis von verschiedenen Zellulosestrukturen aufweisen den Ausgangsstoffen und einem Bindemittel. Solche Absorptionsmittel sind einsetzbar für die Aufnahme von Mineralölprodukten aus wässrigen Phasen, beispielsweise aus belasteten Oberflächengewässern. Hierzu wurden geeignete biogene Ausgangsstoffe identifiziert sowie ein Verfahren zur Herstellung von Sorptionsmitteln entwickelt und dessen prinzipielle Eignung demonstriert.

Abstract

In this paper we report on the development of composite materials applicable as absorption agent based on cellulose of special structures and a binder. Such agents may be used for the take-up of mineral oils from aqueous phases like contaminated surface water. To this end, suitable raw materials and processing parameters were established to demonstrate the properties and performance of the products.

1 Einleitung

Ölverschmutzungen von Gewässern greifen schon bei geringen Kontaminationen störend in die vielfältigen Stoffwechselprozesse in natürlichen und anthropogenen Lebensräumen ein und stellen noch immer offensichtliche und als besonders besorgniserregend wahrgenommene Umweltbelastungen dar.

Durch Tankschiffe verursachte Ölkatastrophen haben sich im Verlauf der letzten 30 Jahre signifikant reduziert [Huijer 2005]. Wie Abbildung 1 zeigt, betrug die durchschnittliche Anzahl noch in den 70er Jahren ein Vielfaches im Vergleich zur gegenwärtigen Dekade. Dieser Trend ist dem zumindest seit 1985 stetig ansteigenden Seehandel mit Erdöl bzw. Mineralölprodukten entgegengesetzt und spiegelt den Erfolg vielfältiger internationaler Bemühungen zur Vermeidung des Eintrags von wassergefährdenden Stoffen wider.

Seit dem Unglück der »Prestige« vor der spanischen Küste im November 2002, bei dem von den 70.000 t Schweröl an Bord ein großer Teil in den Atlantik austrat und hunderte Kilometer Küste verschmutzte, sind weltweit keine Störfälle vergleichbarer Größenordnung zu verzeichnen gewesen.

Allerdings verursachen Unfälle auch heute noch großflächige Schädigungen von aquatischen Biotopen und haben mit den erforderlichen Reinigungsmaßnahmen

in Küstenregionen und der Beeinträchtigung von Fischerei und industrieller Wassernutzung drastische Auswirkungen und verursachen erhebliche volkswirtschaftliche Schäden.

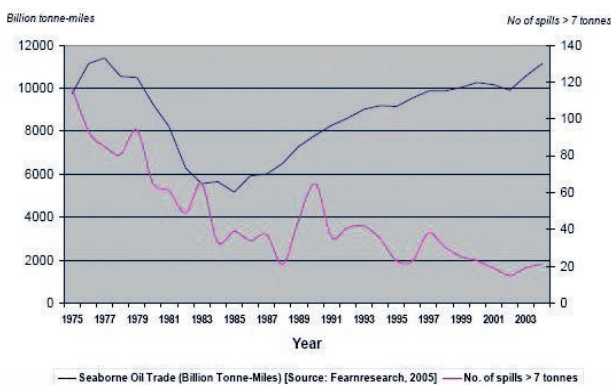


Abb. 1: Vergleich von Transportleistung und Anzahl größerer Tankerunfälle [Huijer 2005]

Während die Belastung der Weltmeere durch spektakuläre Tankerunfälle seit den 70er Jahren deutlich zurückgegangen ist, stammt der überwiegende Teil der in Gewässer gelangten Mineralöle heute aus relativ kleinteiligen Quellen im Bereich der küstennahen wirtschaftlichen Aktivitäten mit im Einzelfall nur geringem Eintrag von Schadstoffen in aquatische Systeme [UN 1993].

Übliche, oft chronische Ölverschmutzungen wie sie überall in den Küstengewässern in der Nähe von

Industriegebieten oder Schifffahrtswegen auftreten, beschränken sich im Allgemeinen auf relativ dünne Ölfilme, die auf der Wasseroberfläche schwimmen und nicht unmittelbar mit der Vegetation in Tiefen unter etwa einem halben Meter in Berührung kommen [Schramm 1972].

Für länger zurückliegende Katastrophen wie den Unfall der »Exxon Valdez« im Prince William Sound im März 1989 sind das Ausmaß der Belastungen sehr detailliert dokumentiert und auch die Langzeitwirkungen erfasst worden. Hierbei hat sich gezeigt, dass eine weitgehende Erholung der natürlichen Systeme bereits in relativ kurzen Zeiträumen erfolgt [Exxon 2008]. Dem tieferen Verständnis der Ausbreitungsmechanismen und der Konzeption von Schutz- und Vorsorgemaßnahmen dienten Arbeiten zur Modellierung von Ölfreisetzungen [Li 2007]. Maßnahmen wie starre und flexible Barrieren sind für verschiedene Bedingungen hinsichtlich Strömung und Wellengang mit dem Ziel modelliert worden [Amini et al. 2008], eine möglichst vollständige Entfernung von aufschwimmenden Leichtölen zu erreichen.

Dies betrifft vor allem sensible bzw. schützenswerte Naturräume; insbesondere stellen die Auswirkungen auf industrielle Anlagen wie Meereswasserentsalzungsanlagen für die Trinkwasserversorgung sowie landwirtschaftliche und industrielle Verbraucher eine unmittelbare Gefährdung für urbane Siedlungsräume dar [Elshorbagy/Elhakeem 2008].

Ferner wurden einige gesetzliche Maßnahmen wie der Oil Pollution Act erlassen, die mit Doppelhüllentankern und Zuverlässigkeitsprüfungen wesentliche Elemente zu einer maßgeblichen Minimierung des Gefahrenpotenzials in den 90er Jahren beigetragen haben [Homan/Steiner 2008]. Solche Maßnahmen sind auch in ihrer wirtschaftlichen Effektivität bewertet worden [Vanem et al. 2008]. Für eine umfassende Darstellung sei auf die Arbeit von Ornitz und Champ [2002] verwiesen.

Mit der Entschließung der Europäischen Gemeinschaft zur Erstellung eines Aktionsprogramms auf dem Gebiet der Überwachung und Verringerung der Ölverschmutzung des Meeres wurde transnational gravierenden Störfällen begegnet [EU 1978].

Dies beinhaltet die Reduzierung der Gefährdung und Minimierung der Auswirkungen durch verbindliche technische Anforderungen und eine klare Regelung der Verantwortlichkeiten für die Vorsorge und Gefahrenabwehr sowie klare Szenarien für Aktionen bei Eintreten eines Störfalls.

2 Aufgabenstellung

Die aus einer Vielzahl angepasster Einzelmaßnahmen bestehenden Schutzkonzepte erfordern häufig geeignete Sorptionsmittel zur Abbindung und Entfernung von Ölen aus aquatischen Systemen, die einfach in ihrer Anwendung und gut lagerfähig sind.

Im Rahmen der Kooperation der Technischen Hochschule Wildau und der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie Sofia wurden bislang Komposite auf der Basis von Holz und verschiedenen Bindemitteln auf der Basis von Polyestern oder Polyurethanen im Rahmen von Diplomarbeiten entwickelt [Evtimova et al. 2004]. Komposite aus Holz und Polyurethan-Prepolymeren auf der Basis von Recyclatpolyolen sind ebenfalls untersucht worden [Behrendt et al. 2004]. Dieses Verfahren sind auch auf pulverförmige bzw. granuliert Polyurethan-Hartschaum-Reststoffe angewendet worden, wofür feste Polyurethan-Bindemittel mit geeignetem Schmelzpunkt und Klebverhalten entwickelt wurden [Georgieva et al. 2005].

Auf Grund der Hydrophobierung der Holzoberflächen bei gleichzeitigem Erhalt der Ölbindekazapazität erscheinen solche Systeme gut geeignet als Sorptionsmittel und sollten daher einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Hierbei soll insbesondere die Wasseraufnahmefähigkeit als Kriterium der Instabilität derartiger Komposite und die Ölaufnahmefähigkeit als Maß für die Sorptionskapazität erfasst werden. Mit einem einfachen Ansatz zur Verteilung der aktiven Zentren der Komponenten soll die Hydrophobierung geometrisch begründet werden.

3 Ergebnisse

Die Sorptionsmittel wurden als Komposite von zellulosehaltigem Material mit einem PUR-Prepolymer als Bindemittel formuliert.

Die Herstellung der Prepolymere erfolgte nach der in [Georgieva et al. 2005] beschriebenen Methode, wobei als Polyol ein Aromatisches Polyesterpolyol (APP) mit einer OH-Zahl von 320 mg KOH/g und einer Viskosität von 3180 mPas (25 °C) verwendet wurde. Ein solches APP wurde nach [Behrendt et al. 1998] durch die Umsetzung von Polyethyleterephtalat (PET) mit Diethylenglycol (DEG) erhalten.

Das APP wurde mit einem Poly-Isocyanat (p-MDI) umgesetzt; als günstig erwies sich ein NCO : OH Ver-

hältnis von 1:2,7. Dies entspricht Masseanteilen von 32,6% APP und 67,4% MDI. Der Rest-NCO-Gehalt wurde zu 5,9% bestimmt, der Schmelzpunkt wurde mittels DSC zu 40,2 °C ermittelt.

Als zellulosehaltiges Material wurden Sägespäne (Kiefer, Korngröße 2 – 4 mm, Wassergehalt 5%, spezifisches Schüttvolumen 8 l/kg) eingesetzt, die mit dem pulverförmigen Prepolymer innig vermischt in eine plane Form (200 x 100 mm) gegeben wurden. Die Probekörper wurden in der Heißpresse unter einem Pressdruck von 7,5 MPa bei einer Temperatur von 100 °C hergestellt, wobei die Verweildauer jeweils 10 Minuten betrug.

Das für den Einsatz in aquatischen Systemen wesentliche Quellverhalten des hergestellten Materials wurde an Proben mit der Dimension Länge x Breite x Dicke = 40 x 15 x 4 mm durch Lagerung in 150 ml Wasser im Becherglas bei 25 °C untersucht und ergab die in Tabelle 1 dargestellten Resultate.

		W 27-081	W 27-08	W 27-082	W 27-083
Holzspäne [Ma-%]		80	85	90	95
Prepolymer [Ma-%]		20	15	10	5
Wasseraufnahme nach einem Tag [Ma-%]		15,0	20,5	43,0	80,5
Dimensionsänderung nach einem Tag	Länge [%]	0,5	1,0	2,3	3,0
	Breite [%]	0,4	1,0	1,2	2,0
	Dicke [%]	10,5	21,5	40	70
Wasseraufnahme nach 27 Tagen [Ma-%]		27,0	34,5	53,5	90,0
Dimensionsänderung nach 27 Tagen	Länge [%]	1,7	2,0	3,8	4,5
	Breite [%]	1,3	1,0	1,6	2,7
	Dicke [%]	20,0	28,8	46,0	85,5

Tabelle 1: Wasseraufnahme von Holz-Prepolymer-Kompositmaterial in Abhängigkeit vom Prepolymeranteil

Eine exemplarische elektronenmikroskopische Aufnahme in Abb. 2 zeigt die Verdichtung in Pressrichtung und eine resultierende schichtartige Struktur des Sorptionsmittels.

Zur Charakterisierung der Eignung als Sorptionsmittel wurde die Ölbindekapazität in Kombination des o. g. Holzmaterials mit einem pulverförmigen Faserabrieb (ca. 50 Ma-% Wolle, ca. 25 Ma-% Viskose und ca. 25 Ma-% Polyamid), einem Reststoff der Textilindustrie, ermittelt. Als Öl wurde ein Mineralöl der Dichte 0,85 kg/l verwendet.

Mit der in [Nenkova et al. 2008] beschriebenen dynamischen Methode wird ein Glasrohr mit Material be-

50 µm

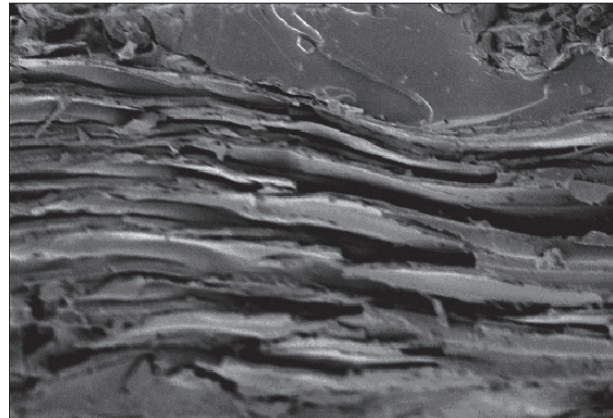


Abb. 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Holz-Prepolymer Komposits an der Bruchkante eines Kryobruchs

füllt und mit definierten Mengen Öl versetzt. Anhand des Durchbruchs der Ölfront mit dem Abtropfen des ersten Öltropfens am Boden wird die Kapazität ermittelt, die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Komponenten	Anteil [Ma-%]	Sorptionskapazität [göl/gSorptionsmittel]	
		Pulver	Presskörper
Holzspäne	95		
Prepolymer	5	1,26	1,08
Abrieb Holzspäne	90		
	10	2,61	
Holzspäne	85		
Abrieb	5	1,64	1,35
Prepolymer	10		
Abrieb Prepolymer	90		
	10	1,50	1,50

Tabelle 2: Absorptionskapazität der Kompositmaterialien für Mineralöl

Die ermittelten Eigenschaften liegen letztlich in der molekularen räumlichen Struktur der wesentlichen Komponenten begründet. Zur Veranschaulichung wurden hierzu mittels einer Simulation Modellvorstellungen zur Verteilung der reaktiven Zentren erarbeitet, die in Abbildung 3 dargestellt sind.

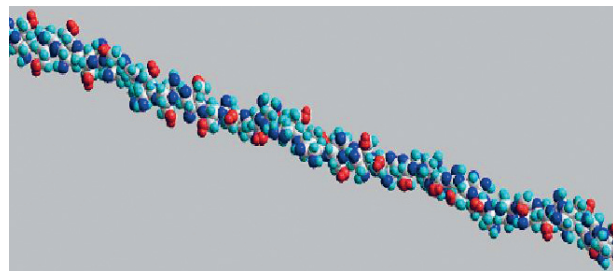


Abb. 3a: Ausschnitt aus einem Zellulose-Molekül (ca. 20 Monomere); weiß = Kohlenstoff, blau = Sauerstoff, cyan = Wasserstoff, grün = Stickstoff, rot = reaktive funktionelle Gruppen (-OH bzw. -NCO).

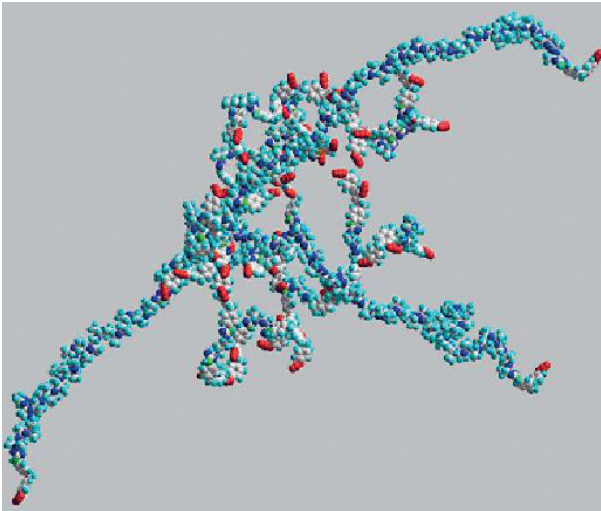


Abb. 3b: Vereinfachte Darstellung eines Prepolymer-Gemisches; weiß = Kohlenstoff, blau = Sauerstoff, cyan = Wasserstoff, grün = Stickstoff, rot = reaktive funktionelle Gruppen ($-OH$ bzw. $-NCO$).

Die Abbildung 3b zeigt ein Prepolymer, wie es aus recyceltem PUR-Kaltweichschaum [Georgieva et al. 2005] durch Umsetzung mit MDI erhalten wird. Es wurden dazu die langkettigen Polyetherpolyole (Molmasse ca. 5000) und Dipropylenglycol mit dem Isocyanatgemisch Polymer-MDI im ca. 3-fachen Überschuss eingesetzt. Die im Prepolymer ebenfalls vorhandenen Oligoharnstoffe und Amine sind aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen worden.

4 Diskussion

Die Untersuchungen zur Quellung in Wasser zeigen ein anisotropes Quellverhalten mit nahezu ausschließlicher Quellung in Richtung der bei der Herstellung durch den Pressvorgang reduzierten Probendicke, wobei mit steigendem Bindemittelanteil die Proben zunehmend hydrophobiert werden. Bereits mit 15 % Prepolymer weisen die Materialien eine Stabilität über einen Tag auf, mit 20 % Prepolymer können die Materialien über 4 Wochen im Wasser verbleiben ohne zu zerfallen.

Das ermittelte Ölrückhaltevermögen war stets höher als das Eigengewicht des Absorptionsmittels. Der Einsatz eines Bindersystems und der Pressvorgang reduzieren allerdings merklich die Sorptionskapazität. Die Beimengung geringer Mengen von Faserabrieb wirkt einer Reduktion der Sorptionskapazität entgegen.

Das als Bindemittel für zellulosehaltige Materialien eingesetzte Prepolymer weist Abstände zwischen den reaktiven NCO-Gruppen im Bereich von ca. 3 nm auf

und ist damit im Vergleich mit der Dichte an primären OH-Gruppen von Zellulose in der Lage, nur einzelne, relativ weit voneinander entfernte chemische Bindungen auszubilden. Dies ist offensichtlich hinreichend zur Herstellung von Kompositmaterialien, die in wässrigen Medien für einige Tage stabil sind und eine beträchtliche Kapazität zur Aufnahme von Mineralölen aufweisen.

5. Ausblick

Für zellulosehaltige Materialien, die über eine Stützstruktur verfügen, bieten sich neben der Anwendung als Absorptionsmittel weitere interessante Anwendungspotenziale, z. B. als Filtermaterial in biologischen Abluftreinigungsanlagen. Reiner Rindenmulch oder andere Schüttgüter scheiden hier häufig wegen des schwer zu kontrollierenden Druckverlusts, des Eigengeruchs und einer geringen Standzeit aus. Eine gezielte Modifizierung sowohl der Oberflächeneigenschaften für eine biologische Besiedlung als auch der Körnung für die verfahrenstechnischen Parameter ist mit der vorgestellten Technologie prinzipiell zugänglich.

Acknowledgement

Dank gilt der NATO für die großzügige Unterstützung der Entwicklung der Zusammenarbeit der bulgarischen und deutschen wissenschaftlichen Einrichtungen mit einem Collaborative Linkage Grant unter dem Förderkennzeichen CLG 98 2877.

Literaturverzeichnis

- Amini, A.; Bollaert, J.; Boillat, J.-L.; Schleiss, A. J. (2008): Dynamics of low-viscosity oils retained by rigid and flexible barriers *Ocean Engineering*, 35, 1479-1491.
- Behrendt, G.; Lobeda, A.; Pohl, M. (1998): Verfahren zur Herstellung von Polyesteralkoholen sowie Polyesteralkohole, WO 99/54380, DE-OS 199 18 650.
- Behrendt, G.; Hunger, H.-D.; Madjanova, R.; Georgieva D.; Evtimova, R. (2004): Polymer-Holz Komposite mit Recyclaten, Vortrag auf dem 4. Beckmann-Kolloquium, Wismar 04.06.2004.
- Elshorbagy, W.; Elhakeem, A.-B. (2008): Risk assessment maps of oil spill for major desalination plants in the United Arab Emirates *Desalination*, 228, 200-216.
- EU (1978), Entschließung des Rates vom 26. Juni 1978 zur Erstellung eines Aktionsprogramms der Europäischen Gemeinschaften auf dem Gebiet der Überwachung und Verringerung der Ölverschmutzung des Meeres Amtsblatt Nr. C 162 vom 08.07.1978, 0001 – 0004.
- Evtimova, R.; Madjanova, R.; Georgieva, D.; Hunger H.-D.; Behrendt, G. (2004): Polymer Wood Composites Based on Recycling Products from Condensation Polymers, Paper presented at the Conference »Manufacturing and Management in the 21st Century«, Ohrid, September 2004.
- Exxon Valdez Oil Spill Trustee Council (2008), Statusreport.
- Georgieva, D.; Nenkova, S.; Hunger, H.-D.; Behrendt, G. (2005): Kompositwerkstoffe aus Kombination von Polyurethan-Reststoffen, *Wissenschaftliche Beiträge 2005 der Technischen Fachhochschule Wildau 2005*, 79-84.
- Homan, A. C.; Steiner, T. (2008): OPA 90's impact at reducing oil spills, *Marine Policy* 32, 711-718.
- Huijjer, K. (2005): Trends in Oil Spills from Tanker Ships, 28th Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, 7-9 June 2005, Calgary, Canada.
- König, G. (2007) in: *GASWINNERS 2/2006*.
- Li, Y. (2007): Control of spatial discretisation in coastal oil spill modelling *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9, 392-402 (2007).
- Nenkova, S.; Georgieva, D.; Garvanska, R.; Gancheva, V.; Herzog, M. (2008): Development and study of wood polymer sorbents for cleaning of oil polluted water, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy Sofia*, 43, 2, 2008, 217-222.
- Ornitz, B. E.; Champ, M. A. (2002): *Oil spills first principles: prevention & best response*, Amsterdam, Elsevier Science Ltd.
- Schramm, W. (1972): Untersuchungen über den Einfluß von Ölverschmutzungen auf Meeresalgen, *Marine Biology* 14, 189-198.
- United Nations Environment Programme (1993) Report No. 50.
- Vanem, E.; Endresen, O.; Skjong, R. (2008): Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 1354-1368.

Autoren

Dr. rer. nat. Michael Herzog

TH Wildau [FH]
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Tel. + 49 3375 508-354
 michael.herzog@tfh-wildau.de

Prof. Dr. habil. Sanchi Nenkova

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

Prof. Dr. habil. Radka Garvanska

University of Chemical Technology and Metallurgy
 8 Kl. Ohridski bul.
 1756 Sofia, Bulgaria
 Tel. + 359 897 461 949
 garvanska@uctm.edu

Dr. rer. nat. Valeria Gancheva

Institute of Polymers
 Bulgarian Academy of Science
 Acad. G. Bontchev str. 103 A
 1113 Sofia, Bulgaria
 Tel. + 359 2 870 03 09
 valeragi@polymer.bas.bg

Herstellung von Gewinden durch Gewindeschneiden in Gegengewichtsbohrungen von Großkurbelwellen

Norbert Miersch, Rainer Berghaus, Martin Lustig, Steffen Drechsler

Zusammenfassung

Das Thema beschäftigt sich mit dem Herstellen von Gewinden in Gegengewichtsflächen von Großkurbelwellen. Diese Publikation ist ein Teil der angewandten Forschung. Bei großen Gewindebohrungen ist das Gewindeschneiden produktiver als Gewindefräsen. Die Geschäftsführung der Gröditzter Kurbelwelle GmbH (GKW GmbH) möchte das Verfahren in die Produktion einführen. Der Herstellungsprozess muss dazu reproduzierbar und sicher und die Lebensdauer der Gewindebohrer bekannt sein.

Abstract

The theme deals with the production of threads in counterweights planes for large crankshafts. This publication is part of applied research. For large thread holes is thread cutting more productive than thread milling. The management of the company Gröditzter Kurbelwelle GmbH (GKW GmbH) would like to implement this method in the production. The manufacturing process has to be reproducible and ensured. Therefore the threading tool's lifetime has to be well known.

Die TH Wildau [FH] hat im Drittmittelprojekt »Gewindeschneiden« im Team mit Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch und den Studenten Rainer Berghaus und Martin Lustig die Problematik des Gewindeschneidens wissenschaftlich bearbeitet und eine praktische, anwendungsorientierte Lösung erarbeitet. Die Ergebnisse wurden der GKW GmbH präsentiert und das Projekt zu einem positiven Abschluss gebracht.

1 Einleitung und Motivation

In der Firma Gröditzter Kurbelwelle Wildau GmbH (GKW GmbH) werden Großkurbelwellen im Längenbereich von 6 m bis 12 m hergestellt. Die mechanische Bearbeitung ist durch den Einsatz moderner, numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, die zum größten Teil Sondermaschinen sind, geprägt. Zu nennen wären hier die GFM-Großkurbelwellenfräsmaschine zur Grundformgebung (Scheibenfräser mit Durchmessern von 1,60 m und 2,10 m), Drehfräsmaschinen für die Vor- und Fertigbearbeitung, Schmierlochbohrmaschinen (Einlippenbohren) sowie Dreh-, Fräs- und Schleifmaschinen.

Sehr produktiv sind die Drehfräsmaschinen, mit denen man in der Fertigbearbeitung die Grund- und Hublager einer Kurbelwelle durch Drehfräsen bearbeiten kann. Mit diesen Sondermaschinen kann auch eine

Vielzahl von Nebenformelementen hergestellt werden, wie beispielsweise Gewinde in Gegengewichtsflächen der Kurbelwellenwangen. Als Herstellungsverfahren wird das Gewindefräsen und das Gewindeschneiden angewandt.

Die Fertigungstechnologie wird bei Wiederholproduktion unter Berücksichtigung des aktuellen Technikstandes schrittweise angepasst (optimiert). Dabei werden progressive Werkzeuge eingesetzt. Zu nennen wären zum Beispiel Hartmetallstufenbohrer zum gleichzeitigen Bohren und Fasen der Kernbohrung eines Gewindes. Das An- und Vorbohren der Kernlochbohrung entfällt.

Die modernen, kostensparenden Technologien führen anfangs nicht immer zum gewünschten Erfolg (Einsparung der Grundzeit). So beträgt beim Gewindefräsen von Gewinden M 52x3 die Herstellungszeit der Gegengewichtsbohrungen für eine Kurbelwelle mit 24 Gewinden ca. 8 – 12 Stunden. Dabei kann die Qualität der Gewindebohrungen als gleichbleibend gut und ohne Ausschuss beurteilt werden. Für die gleichen Gewinde und gleiche Gewindeanzahl beträgt die Herstellungszeit durch den Einsatz des Gewindeschneidens nur die halbe Zeit, ca. 4 – 6 h. Bei den gefertigten Gewinden gibt es jedoch Qualitätsmängel. Der Gewindebohrer hat einen unkontrollierten Verschleiß sowie Beschädigungen (Ausbrüche der Schneide). Die dadurch ent-

standenen fehlerhaften Gewindebohrungen können im schlimmsten Fall (worst case) den Ausschuss der gesamten Kurbelwelle zur Folge haben.

Ein weiteres Problem stellt der unsichere Gewindeherstellungsprozess in der Fertigung dar (nicht reproduzierbare und unkontrollierte Einflussgrößen). Aufgrund der höheren Produktivität des Gewindeschneidens gegenüber dem Gewindefräsen wurde durch die Geschäftsführung der GWK GmbH angedacht, dieses Verfahren wieder in die Fertigung aufzunehmen. Um sichere Aussagen bezüglich der Einsatzdauer von Gewindebohrern bezogen auf die Anzahl zu fertigender Gewindebohrungen zu erhalten, waren spezielle Zerspanungsversuche mit der Aufnahme prozessrelevanter Parameter erforderlich.

2 Literaturrecherche

Das Gewindeschneiden ist ein bewährtes spanendes Herstellungsverfahren, das über viele Jahre in der mechanischen Bearbeitung von Einzelteilen und der Montage von Baugruppen im Maschinenbau eingesetzt wird. Bezogen auf die bestimmten Einflussgrößen wie Art des Gewindes, Fertigungsverfahren, Werkzeugbeschichtung, Kühlschmierung, Temperatur, Schnittkraft, Drehmoment, Schneidstoff, Werkstückwerkstoff und Schnittgeschwindigkeit gibt es viele Neuerungen (Optimierungsansätze), die sich im Wesentlichen auf kleinere Gewinde wie M10 bis M20 beziehen.

Um den Gewindeschneidprozess sicherer zu gestalten, werden im Verbund von Werkzeugmaschine/Werkzeugaufnahme Sensoren zur Prozesskontrolle eingesetzt (beispielsweise Temperatur-, Kraft- und Drehmomentensensoren). Moderne Werkzeugaufnahmen werden vom Werkzeughersteller heutzutage mit einem Drehmomentausgleich und/oder Längenausgleich ausgestattet.

Auch die Werkzeugmaschinenhersteller bieten eine integrierte Sensorik zur Prozesskontrolle des Zerspanungsprozesses an (z. B. Anzeige der Zerspanungsleistung, Werkzeugbruchkontrolle).

In [1] wird beschrieben, dass viele Hersteller das Zirkularfräsen dem noch weit verbreiteten Gewindebohren vorziehen. Es werden hier noch weitere Gewindeherstellungsverfahren wie das Bohrgewindefräsen und Sonderkombinationen genannt. Dabei wird darauf hingewiesen, dass nur ein qualifizierter Vergleich für den konkreten Anwendungsfall eine wirtschaftliche Lösung hervorbringt.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Bemühungen (Auszug) bezogen auf das Gewindeschneiden zusammengestellt.

3 Grundlagen des Kernlochbohrens

Kernlochdurchmesser und Toleranzen

Um die Herstellung eines Innengewindes zu ermöglichen, muss eine Grundbohrung mit einem Kernlochdurchmesser erzeugt werden. Nach [13] wird der Kernlochdurchmesser des Innengewindes mit

$$D_1 = d - 1,0825 \cdot P \quad (1)$$

D_1 – Kerndurchmesser des Innengewindes [mm]

d – Gewindenennendurchmesser [mm]

P – Steigung des Gewindes [mm]

berechnet. In [14] wird darauf hingewiesen, dass bei zähen Werkstoffen durch Gratbildung vor dem Schneiden erhöhte Werkzeugbruchgefahr besteht. Hierzu sollte der Lochdurchmesser für die Grundbohrung etwas größer sein als der Kerndurchmesser.

Nach [14] wird dazu folgende Formel angegeben:

$$d_k \approx d - 1,1 \cdot P_w \quad (2)$$

d_k – Lochdurchmesser [mm]

d – Gewindenennendurchmesser [mm]

P_w – Steigung des Gewindes [mm]

Um die Berechnung der Kernbohrung zu verdeutlichen, wird folgendes Berechnungsbeispiel angegeben.

Beispiel:

Für ein Gewinde M52x3 mit Toleranzklasse 6H soll in einem Vergütungsstahl aus 42CrMoNi4V [A1] eine Kernbohrung erzeugt werden.

Gewählt wird hierzu ein Wendeschneidplattenbohrer der Firma Stellram [18] mit langem Weldon [A2] Schaft nach Artikel S6300W440R für einen Kerndurchmesser $D_1 = 49$ mm. Auswahl der Wendeschneidplatte Form P für legierte Stähle.

Lösung:

Für die Toleranzklasse des Gewindes 6H für 52x3 können aus den Toleranztabellen [15] folgende Größt- und Kleinste Maße entnommen werden:

$$D_{1\min} = 48,752 \text{ mm}$$

$$D_{1\max} = 49,252 \text{ mm}$$

Nach Formel (1) ergibt das einen Kerndurchmesser D_1 von mindestens 48,752 mm. Wobei nach Formel (2) ein Lochdurchmesser von mindestens $d_k \approx 48,7$ mm empfohlen wird. Diese Werte stellen die unteren Toleranz-

Einflussgröße, Maßnahme	Quelle	Jahr	Beschreibung
Beschichtung	[2]	2006	<ul style="list-style-type: none"> intelligente Beschichtung als »Zweifachbeschichtung« F&E-Projekt der »Leitz Metalworking Technology Group« und »Fette GmbH« PVD-Technik mit ca. 300 °C für HSS- und HSSE-Werkstoffe Beschichtung von HSS-Gewindebohrer mit Zweifachschicht: <ol style="list-style-type: none"> Schicht auf Schneidstoff: ALTiN; 3500 HV hohe Verschleiß- und Temperaturbeständigkeit Schicht auf TiN-Basis: 200 HV auf 1. Schicht Abbildung der Rauigkeit der 1. Schicht passt sich Kraftfluss, Spänefluss an (glättet sich in die Rauigkeit der 1. Schicht) Ergebnisse (Versuche): Gewinde M10x1,5/Werkstoff 42CrMo4, vc=25 m/min, Gewindetiefe 25 mm, 2700 Gewinde nur 1800 Gewinde mit herkömmlicher TiN-Beschichtung
	[3]	2003	<ul style="list-style-type: none"> Firma »Kennametal Inc.«, Entwicklung neuer Schneidstoffe optimierte Schneidengeometrien mit dünnen Schichten durch PVD-Verfahren an Bohr- und Gewindebohrwerkzeugen PCD-Beschichtung (Masse mit Diamantpartikeln in einer Metallmatrix) für Bearbeitung von NE-Metallen
	[4]	2002	<ul style="list-style-type: none"> Firma »Fraisa« stellt eine spezielle PVD-Arc-Technologie vor gezielte Einstellung von Schichtaufbau und -struktur (Abstimmung Schneidstoff, Werkzeuggeometrie und Beschichtung) Fraisa (TiAl)CN – Universalschicht »Unicut-4x« für HSS- und HM-Werkzeuge Gewindebohren hat durch Drehrichtungsumkehr ungünstige Schneidenbeanspruchung dazu Sonderschicht für Gewindebohrer Schicht beeinflusst Spanablaufgeschwindigkeit, Spandicke, Spankrümmung gute Schutzwirkung gegenüber Verschleiß
	[5]	1999	<ul style="list-style-type: none"> besondere Vakuum-Plasma-Anlage für Spanwerkzeuge mit TiN, (Ti,Al)N; (Zr,Al)N; (Mo,Al)N auch CVD-Verfahren: einschichtig, bei 800 – 100 °C, für HM-Werkzeuge, Titanitrid, Titancarbid, Titancarbonitrid auch PVD-Verfahren: HSS-Werkzeuge, TiN, TiCN, TiAlN, CrN
	[6]	2005	<ul style="list-style-type: none"> ISF-Dortmund (Institut für Spanende Fertigung, TU Dortmund) experimentelle Analysen Temperatur-, Kraft- und Drehmomentmessung Untersuchung der thermischen Effekte des Gewindebohrens bei Magnesiumbearbeitung
Prozessanalyse	[7]	2005	<ul style="list-style-type: none"> Online-Prozessüberwachung der Innengewindeherstellung Einbindung in WZM-Steuerung kontinuierliche Erfassung Drehmoment und axiale Kraft Anwendung von Dehnmessstreifen (DMS) Kombination optimiertes Werkzeug, angepasste Aufnahme und Prozessüberwachungssystem
	[8]	2008	<ul style="list-style-type: none"> Gewindebohrer der Fa. Walter, Typ »Paradur Short Chip« Werkzeug HSS-E, Gewindetiefe 3,5xD spezielle Spanbrecherfeatures für weiche Werkstoffe, lange Späne
Schneide, Schneidstoff	[9]	2004	<ul style="list-style-type: none"> Schumacher GmbH & Co. KG, Remscheid neuer Vollhartmetallgewindebohrer Werkstoffe: S235JR(St37-2), S355J2G3(St52-3N), V2A, EC80, C45, - vc = 50 – 70 m/min, Synchronspindel Tiefe 2D – 2,5 D, 80 bar Innenkühlung, 6%ige Emulsion
	[10]	2005	<ul style="list-style-type: none"> Kosteneinsparung durch Umstellung der Schmierung Minimalmengenschmierung, Trockenbearbeitung Grundlochgewindebohren mit VHM und HSS-E-PM Anpassung der Schneidengeometrie (Freiwinkel erhöhen) Multilayer-Hartstoffbeschichtung für HSS-E mit TiAlN strömungstechnische Anpassung der Kühlschmierstoffkanäle
Kühl-schmierung	[11]	2002	<ul style="list-style-type: none"> Patent »Unicut-Duplex-Spraying-System« neuartige Minimalmengenschmierung (MMS) Kombination zweier nicht mischbarer Fluide gesonderte Kühlkanäle, Kühlung mit Wasseranteil Funktionen Kühlung und Schmierung Anwendung bei Gewindebohren für Stähle (hochfest, austenitisch), Ni, Ti – Legierungen
	[12]	2001	<ul style="list-style-type: none"> Anwendung biologisch abbaubarer Kühlschmierstoffe und Minimalmengenschmierung positive Ergebnisse bei Gewindebohren von Superlegierungen (Cr, Ni – Basis), Alu-Legierungen Alternative zur konventionellen Schmierung
	[11]	2002	<ul style="list-style-type: none"> Patent »Unicut-Duplex-Spraying-System« neuartige Minimalmengenschmierung (MMS) Kombination zweier nicht mischbarer Fluide gesonderte Kühlkanäle, Kühlung mit Wasseranteil Funktionen Kühlung und Schmierung Anwendung bei Gewindebohren für Stähle (hochfest, austenitisch), Ni, Ti – Legierungen

Tab. 1: Auszüge aus der internationalen Literaturrecherche

grenzen für die Abmaße der Kernlochbohrung nach 6H dar [15].

In [15] wird der Vorbohrdurchmesser nach DIN 336 angegeben. Er ist abhängig vom Verhalten des Materials und den schneidtechnischen Betriebsverhältnissen. Es wird in [15] darauf hingewiesen, dass andere Vorbohrdurchmesser, besonders bei Serienfertigung, individuell zu ermitteln sind. Dabei ist eine wirtschaftliche Gewindefertigung bei Ausnutzung der oberen Toleranzgrenze besser gegeben.

Fehlerursachen, Fehlerbeseitigung

In [15] wird in einer übersichtlichen Tabelle folgende Fehlerbetrachtung zu den Kernlochbohrungen zusammenfassend dargestellt.

Werkzeuge zum Kernlochbohren in der GWK GmbH

Zur Herstellung der Grundbohrungen in den Gegengewichtsflächen der Kurbelwellenwangen werden Wendeschneidplattenbohrer verwendet.

Hierzu wird die Hauptspindel an der Drehfräsmaschine in den Koordinatenachsen Y,Z in Bohrposition gefahren (X-Achse ist der Verfahrenweg für die Bohrungstiefe). Die Bohrung wird ohne An- und Vorbohren hergestellt.

Die Gewindefase kann durch eine zusätzliche Stufe im Bohrer gleichzeitig mit erzeugt werden. Abb. 1 zeigt beispielhaft einen in der Fa. GWK GmbH angewandten Wendeschneidplattenbohrer.

Zur Herstellung einer Kernlochbohrung $D_1=49$ mm für ein Gewinde M52x3 werden in der GWK GmbH folgende technologischen Arbeitswerte vorgegeben:

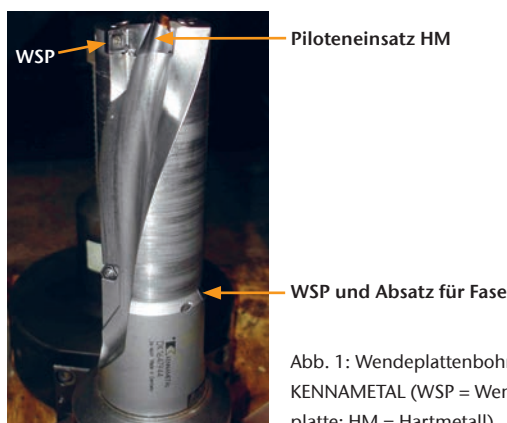
$n_w = 550$ U/min (Bohrerdrehzahl)

$v_c = 85$ m/min (Schnittgeschwindigkeit)

$F = 200$ mm/min (Vorschubgeschwindigkeit)

$z = 2$ (Anzahl der Schneiden)

$f_z = 0,18$ mm/U (Vorschub pro Zahn)



4 Auswahl der Werkzeugaufnahme

Für das Gewindeschneiden müssen Gewindebohrer und Werkzeugaufnahme (Schneidfutter) aufeinander abgestimmt sein [15]. Da die in der GWK GmbH eingesetzte Drehfräsmaschine zur Herstellung der Gewindebohrungen keine Synchronspindel besitzt, muss aufgrund der Fehlertoleranz des benutzten Vorschubantriebes an der WZM ein axialer Toleranzausgleich durch die Werkzeugaufnahme sichergestellt werden. Außerdem sollte das Schneidfutter ein maximal vertretbares Gewindegewicht begrenzen. Dafür gibt es Überlastkupplungen an bestimmten Schneidfuttern. Die Einstellung erfolgt durch die Mitarbeiter der Werkzeugvoreinstellung in der GWK. Die Überlastkupplung ermöglicht eine Begrenzung des Drehmomentes für das Gewindeschneiden. Das einzustellende Grenzdrehmoment kann der Bedienungsanleitung [19] entnommen werden. Es ist von der jeweiligen Gewindegröße abhängig.

Nach Recherchen in [16] wird das Gewindegewicht zum Maschinentyp abgestimmt. Der Gewindebohrer wird durch den Vierkant formschlüssig in das Futter aufgenommen. So wurde von der Fa. EMUGE zum Schneiden des Gewindes M52x3 das Gewindegewicht HF 20/IKZ empfohlen. Aufgrund der Möglichkeit der inneren Kühlmittelzufuhr (IKZ) besitzt das Ausgleichsfutter nur die Funktion des axialen Längenausgleichs in Druck- und Zugrichtung (Abb. 2). Weitere mögliche Ausgleichsfunktion für Gewindegewichte werden in [15] und [16] beschrieben. Der Längenausgleich kompensiert Differenzen zwischen Spindelvorschub und Gewindebohrersteigung (Abb. 2).

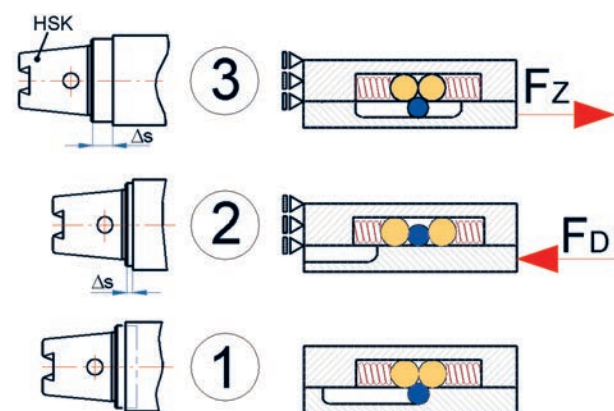


Abb 2: Funktion des Längenausgleichs beim Gewindegewicht HF 20/IKZ (1 Schneidvorgang ohne Längenausgleich; 2 Schneidvorgang mit Längenausgleich in Druckrichtung; 3 Schneidvorgang mit Längenausgleich in Zugrichtung; F_D = Druckkraft durch Toleranzabweichung bzw. Überlastung; F_z = Zugkraft durch Toleranzabweichung; HSK = Hohlschaftkegelaufnahme (Maschinenspindelaufnahme))

5 Gewindebohren

Benennungen und Definitionen am Gewindebohrer

Wichtige Kenngrößen und Winkel werden in Abb. 3 dargestellt.

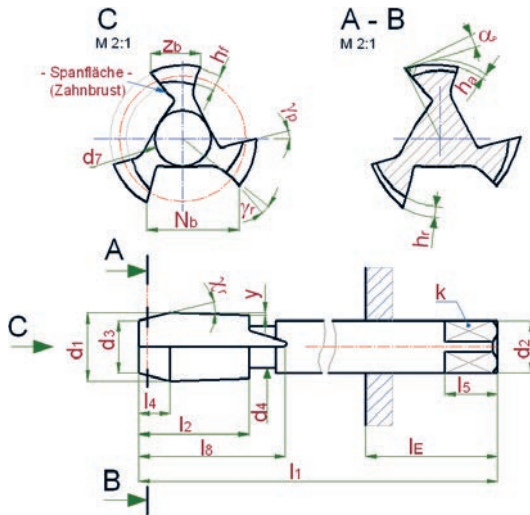


Abb. 3: Kenngrößen und Winkel am Gewindebohrer in Anlehnung an [15]
 d_1 = Gewindenenn \varnothing ; d_2 = Schaft \varnothing ; d_3 = Ansnitt \varnothing ; d_4 = Hals \varnothing ;
 d_7 = Seelen \varnothing ; l_1 = Gesamtlänge; l_2 = Gewindelänge; l_4 = Ansnittlänge;
 l_5 = Vierkantlänge; l_8 = Nutenlänge; l_E = Einspannlänge; γ_e = Einstellwinkel;
 γ_p = Spanwinkel (erster voller Zahn); γ_r = Rückenwinkel; α_p = Ansnittfreiwinkel; y = $\frac{1}{2}$ Durchmessererjüngung; k = Vierkantmaß; z_b = Zahnbreite; N_b = Nutenbreite; h_s = Ansnitthinterschliff (auf Zahnbreite); h_f = Ansnitthinterschliff (pro Teilung); h_r = Flankenhinterschliff (auf Zahnbreite)

Anschnittsformen

Jede Gewindebohrerart hat eine definierte Anschnittsform. Die Anschnittsformen und Anschnittslängen sind nach DIN 2197 festgelegt (siehe auch [15]).

Verfahrensanalyse

Der Drehmomentverlauf beim Gewindeschneidvorgang kann in Zeitabschnitte eingeteilt werden. Die den Zeitabschnitten zugeordneten Drehmomente werden in Abb. 4 dargestellt.

Schnittgeschwindigkeit und Kühlschmierung

Bei den Schnittgeschwindigkeiten wird nach [15] für beschichtete Gewindebohrer (HSS-E mit TiN) bezogen auf Vergütungsstähle (z. B. 42CrMo4V) ein Geschwindigkeitsbereich von $v_c(2...20)$ m/min bei $R_e = 900 - 1100$ N/mm² empfohlen. Als Kühlschmierstoff wird ein speziell von EMUGE entwickeltes Gewindeschneidöl für vertikales Gewindebohren und Schneidpaste für horizontales Gewindebohren vorgeschlagen. Schneidöl und Schneidpaste werden in Abhängigkeit vom Werkstückwerkstoff aus einer Tabelle in [16] ausgewählt. Bei

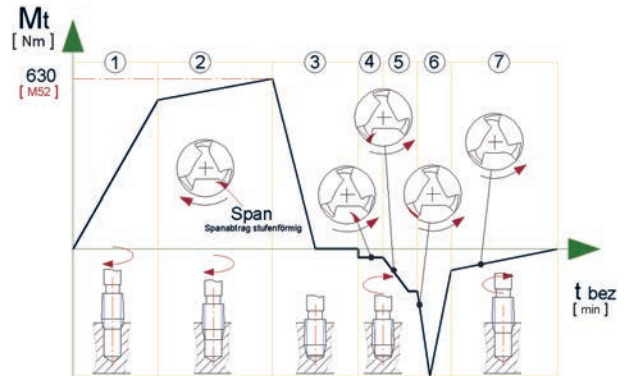


Abb. 4: Drehmomentverlauf beim Gewindeschneiden in einer Grundbohrung (M_t = Drehmoment in [Nm]; t_{bez} = Zeit bezogen auf das Schneiden eines Gewindes in [min])

Zeitstufe (Beschreibung): 1 (Anschneiden); 2 (Gewindeschneiden voller Eingriff); 3 (Abbremsen bis Stillstand); 4 (Rücklauf – bis Kontakt Span an Spansteggrücken); 5 (Rücklauf – Abscheren des Spans); 6 (Rücklauf – Zurückformen der Scherstelle des Spans); 7 (Rücklauf – Gleitreibung)

ausreichendem Druck, um die Kühlung und Späneentsorgung zu gewährleisten (ca. 50 – 80 bar), können auch Werkzeuge mit innerer Kühlmittelzufuhr (IKZ) unter Verwendung von Bohremulsion eingesetzt werden. Andere Literaturquellen wie [13], [14], [17] geben weitere (abweichende) Schnittgeschwindigkeitsbereiche an. Dazu werden noch Kühlschmiermittel Rüböl oder Schneidöl geschwefelt vorgeschlagen. Der Anwender muss also die zweckmäßigen Schnittgeschwindigkeiten selbst festlegen oder durch Versuche ermitteln. Die Auswahl der zweckmäßigen Schnittgeschwindigkeit hängt im Wesentlichen von den Einflußgrößen

- Werkstückwerkstoff,
- Kühlschmierung,
- Gewindetiefe,
- Gewindedurchmesser,
- Werkstückspannung und
- Werkzeugmaschine ab.

Zur Festlegung wird nach Abb. 5 folgende Hilfestellung gegeben:

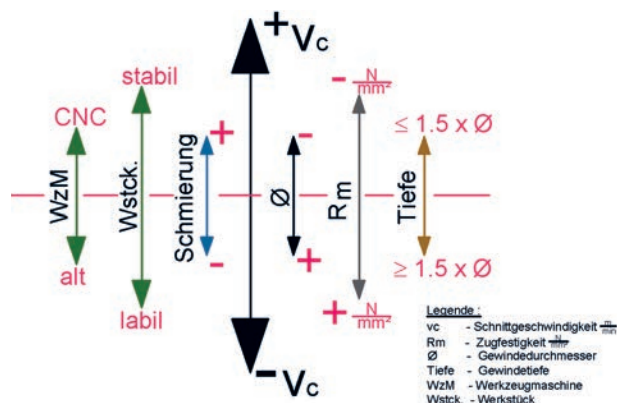


Abb. 5: Hilfe zur Auswahl der Schnittgeschwindigkeit v_c [m/min]

Gewindebohrer

Entsprechend dem zu bearbeitenden Werkstoff und der Gewindegröße, der Art der Grundbohrung (Grundbohrung, Durchgangsbohrung) und der Tiefe der Gewindebohrung können aus [15] und [16] der Typ des Gewindebohrers, die Bauform und die entsprechenden Merkmale ausgewählt werden. Es werden in der GWK GmbH im Wesentlichen zwei Typen von Gewindebohrern der Fa. EMUGE [16] für das Herstellen von Gegenbohrungen verwendet (siehe Tabelle 2).


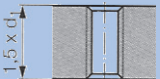
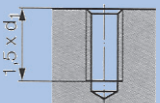
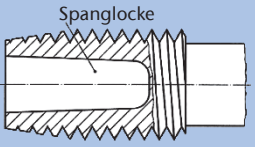


Fehleranalyse beim Gewindeschneiden

Beim Gewindeschneiden wirken mehrere Einfluss-

größen einzeln oder zusammenhängend. Zusammenfassend können die Einflussgrößen den Kategorien

- Werkzeug,
- Werkzeugmaschine,
- Werkstück,
- Hilfsstoff

zugeordnet werden. Die Erfahrung eines qualifizierten Maschinenbedieners wird hier vorausgesetzt. Systematisiert man grundlegende Gewindefehler, die aus diesen Einflussgrößen resultieren, so können Herstellungsfehler bezogen auf das Gewindeschneiden, mögliche Fehlerursachen und Vorschläge zu deren Beseitigung in Tabelle 3 zusammengefasst (siehe [15]) werden.

Typ	Anwendung	Besonderheiten
Robust 2X nach [15] 	Werkstückwerkstoff <ul style="list-style-type: none"> ■ Vergütungsstähle 850 ... 1100 N/mm² Ausführung <ul style="list-style-type: none"> ■ HSSE ■ Eingängig ■ ISO 2/6H ■ DIN Form C/2-3 Beschichtung <ul style="list-style-type: none"> ■ Typ .VA rostfrei für langspanende Werkstoffe ■ Typ .TiN beschichtet mit Titanitrid für <ul style="list-style-type: none"> * ↓ R_a, R_z, R_t * ↑ v_c [m/min] * ↑ T [min] Gewindearten <ul style="list-style-type: none"> ■ Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13 ■ Toleranz 6H ■ von M 20 x 1,5 bis M 120 x 6 nach [15] 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Durchgangsbohrung  ■ Grundbohrung  ■ begrenzte Spanaufnahme Gewindetiefe 1,5 x d₁  ■ Spannuten nur bis zum Führungsteil Kühlschmierung: P/O <ul style="list-style-type: none"> ■ Schneidöl – vertikal schneiden ■ Paste – horizontal schneiden ■ keine IKZ
Record 2DF-IKZ TIN nach [15] 	Werkstückwerkstoff <ul style="list-style-type: none"> ■ Vergütungsstähle 850 ... 1100 N/mm² Ausführung <ul style="list-style-type: none"> ■ HSSE ■ Eingängig ■ ISO 2/6H ■ DIN Form C/2-3 ■ IKZ Beschichtung <ul style="list-style-type: none"> ■ Typ .TiN beschichtet mit Titanitrid für <ul style="list-style-type: none"> * ↓ R_a, R_z, R_t * ↑ v_c [m/min] * ↑ T [min] Gewindearten <ul style="list-style-type: none"> ■ Metrisches ISO-Feingewinde DIN 13 ■ Toleranz 6H ■ von M 3 x 0,5 bis M 52 x 5 nach [1] 	Lochform <ul style="list-style-type: none"> ■ geeignet für Grundlochgewinde mit ausreichendem Auslauf  Schneidengeometrie <ul style="list-style-type: none"> ■ zusätzliche Anteilung »F« (Freischliff) im Anschnittbereich, der entgegen dem Drallwinkel gerichtet ist ■ dadurch Erzeugung kurzer Wendelspäne, keine Spanverwicklungen Kühlschmierung <ul style="list-style-type: none"> ■ Emulsion, Schneidöl ■ mit IKZ

Tab. 2: Gewindebohrertypen nach [15], [16] für den Einsatz in der GWK GmbH (d₁ = Gewindenennendurchmesser [mm]; R_m = Zugfestigkeit [N/mm²]; v_c = Schnittgeschwindigkeit [m/min]; T = Standzeit [min]; IKZ = Innere Kühlmittelzufuhr; C/2-3 = Anschnittform C mit 2 – 3 Gängen im Anschnitt)

Fehler (Gewinde)	Ursache	Beseitigung
zu groß	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falsche Auswahl Geometrie der Schneide ungeeignet hohe Verschleißmarkenbreite schlechte Spanabfuhr 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart arbeitsscharfes Werkzeug wählen geeignetes Ausgleichsfutter wählen
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> zu hohe Vorschubtoleranz der WZM-Spindel bei Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich Schnittgeschwindigkeit zu hoch 	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> Schnittgeschwindigkeit verringern andere Werkzeugmaschine wählen
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> zu kleine Kernlochbohrung falsche Werkstückspeisung 	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen Werkstückspeisung ändern
Ausreißen	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falsche Auswahl hohe Verschleißmarkenbreite verschlissener Gewindebohrer veränderliche Werkstoffeigenschaften schlechte Spanabfuhr, drücken beim Herausdrehen 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart arbeitsscharfes Werkzeug wählen geeignetes Ausgleichsfutter wählen Auswahl nach Werkstofffestigkeit korrigieren
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> zu hohe Vorschubtoleranz der WZM-Spindel bei Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich Schnittgeschwindigkeit zu hoch 	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> Schnittgeschwindigkeit verringern andere Werkzeugmaschine wählen
	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> Versagen der Kühlschmierung 	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> Gewindebohrer mit Möglichkeit einer ausreichenden Kühlschmierstoffzufuhr wählen Kühlschmierstoffart ändern
axial verschnitten	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> schlechte Spanabfuhr, drücken beim Herausdrehen 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Auswahl korrigieren nach Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart geeignetes Ausgleichsfutter wählen Überlastkupplung der Aufnahme korrekt einstellen
	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> geringe Genauigkeit der Vorschubachse 	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> andere Werkzeugmaschine wählen
zu eng	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falsche Auswahl Toleranzangabe auf dem Gewindebohrer ist nicht identisch mit der Toleranzangabe in der Zeichnung oder der Gewindelehre 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Gewindebohrer mit entsprechender Toleranz verwenden
konisch	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Gewindebohrer schneidet nicht steigungsgenau (Gewinde-Gut-Lehrdorn lässt sich nicht vollständig einschrauben) 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich verwenden
		Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden Werkzeugmaschine mit Synchronspindel
Vorweite	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falscher Anschnittsdruck Winkel oder Positionsfehler der Gewinde-Kernlochbohrung 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich einsetzen
		Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> übermäßige Axialkräfte während des Schneidvorganges vermeiden Werkzeugmaschine mit Synchronspindel verwenden und mit Zwangsvorschub arbeiten
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> Wechsel der technologischen Basis Toleranzabweichung durch falsche Lagebestimmung 	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen Werkstückspeisung ändern
schlechte Oberfläche	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falsche Auswahl hohe Verschleißmarkenbreite verschlissener Gewindebohrer schlechte Spanabfuhr 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart arbeitsscharfes Werkzeug wählen scharfen Kernbohrer verwenden
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> schlechte Oberfläche der Kernbohrung 	Werkzeugmaschine <ul style="list-style-type: none"> Schnittgeschwindigkeit verringern
	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> Versagen der Kühlschmierung 	Hilfsstoff <ul style="list-style-type: none"> Gewindebohrer mit Möglichkeit einer ausreichenden Kühlschmierstoffzufuhr wählen Kühlschmierstoffart ändern: Schneid fett bei waagerechter Bohrung, Schneidöl bei senkrechter Bohrung für ausreichend Druck und Fördermenge bei Bohremulsion sorgen ausreichender Fettgehalt bei Emulsion
Bruch	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> falsche Auswahl hohe Verschleißmarkenbreite verschlissener Gewindebohrer schlechte Spanabfuhr 	Werkzeug <ul style="list-style-type: none"> Auswahl korrigieren nach Materialgruppe, Kühlschmierung, Spannuten, Anschnitt, Bohrungsart arbeitsscharfes Werkzeug wählen geeignetes Ausgleichsfutter wählen
	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> Spanverklümmungen, Spänestau Gewindekernlochbohrung zu klein Auflaufen des Gewindekernlochbohrers auf Kernlochgrund Winkel bzw. Positionsfehler der Bohrung 	Werkstück <ul style="list-style-type: none"> Kernlochdurchmesser nach DIN 13 und DIN ISO 965-1 fertigen Werkstückspeisung ändern

Tab 3: Mögliche Fehler beim Gewindeschneiden mit Maschinengewindebohrer (v_c = Schnittgeschwindigkeit [m/min]; WZM = Werkzeugmaschine)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Gewindeschneiden in Metall ist ein bewährtes und altes Herstellungsverfahren. In [20] (1940) wird das Verfahren bereits ausreichend erläutert. Aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen (multiple Einflüsse) auf Werkstück und Werkzeug ist das Gewindeschneiden großer Bohrungen (z. B. M52x3 in 42CrMo4V) bei seiner Anwendung in der Großkurbelwellenfertigung noch zu unsicher. Der Ausschuss eines Gewindes kann im schlimmsten Fall zum Ausschuss der gesamten Kurbelwelle führen.

Aufgrund der hohen Anforderungen der Motorenhersteller werden an eine Kurbelwelle immer höhere Qualitätsanforderungen gestellt. Besonders die Gewinde zur Montage der Gegengewichte müssen den immer größer werden Massekräften standhalten und dürfen keine Fehler aufweisen.

Durch die wissenschaftliche Aufarbeitung der Problematik, vor allem auch unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse wurde in diesem 1. Teil auf den Stand der Technik eingegangen. Somit kann diese Veröffentlichung als praxisorientierte Ergänzung des Unterrichtsstoffes zum Gewindeschneiden angesehen werden. Bei der Betrachtung wurden bereits folgende Eingrenzungen berücksichtigt:

- Großkurbelwellen aus Vergütungsstahl 42CrMo4V, 42CrMoNi4V, 34CrNiMo6;
- Herstellung der Bohrungen zur Montage der Gegengewichte an der Kurbelwelle;
- spezielle Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Bedingungen aus der GWK GmbH.

Die internationale Forschung versucht das Verfahren vor allem in folgenden Schwerpunkten zu optimieren:

- Schneidstoffe;
- Schneidgeometrie;
- Beschichtung der Schneide;
- Erfassung und Auswertung von Prozessparametern;
- Kühlschmierung und Späneableitung.

Ein Forschungsteam der TH Wildau (Teamleiter Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch) bearbeitete dieses Thema. Es wurden neben der Recherche zum Stand der Technik umfangreiche Zerspanungsversuche durchgeführt.

Kurzzeichenverzeichnis

Zeichen	Beschreibung	Einheit
γ_p	Spanwinkel (erster voller Zahn)/Gewindebohrer	°
α_p	Anschnittfreiwinkel/Gewindebohrer	°
γ_r	Einstellwinkel/Gewindebohrer	°
γ_r	Rückenwinkel/Gewindebohrer	°
C	Anschnittsform C/Gewindebohrer	
CNC	Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine (computational numerical control)	
d	Gewindenenddurchmesser	mm
D_1	Durchmesser der Kernlochbohrung nach DIN 336	mm
d_1	Gewindenenddurchmesser	mm
$D_{1\max}$	Größtes Abmaß der Kernlochbohrung	mm
$D_{1\min}$	Kleinstes Abmaß der Kernlochbohrung	mm
d_2	Schaftdurchmesser/Gewindebohrer	mm
d_3	Anschnittdurchmesser/Gewindebohrer	mm
d_4	Halsdurchmesser/Gewindebohrer	mm
d_7	Seelendurchmesser/Gewindebohrer	mm
d_k	Lochdurchmesser	mm
F_D	Druckkraft	N
f_z	Vorschub pro Zahn	mm/U
F_z	Zugkraft	N
GKW	Gröditzer Kurbelwelle Wildau	
Go	Höchstmaß	
Gu	Mindestmaß	
h_a	Anschnitthinterschliff (auf Zahnbreite)/Gewindebohrer	mm
h_f	Flankenhinterschliff (auf Zahnbreite)/Gewindebohrer	mm
HM	Hartmetall	
h_r	Anschnitthinterschliff (pro Teilung)/Gewindebohrer	mm
HSK	Hohlschaftkegelaufnahme	
HSS	Legierter Werkzeugstahl	
HSSE	Legierter Werkzeugstahl mit erhöhtem Kobalt-Anteil	
IKZ	Innere Kühlschmierstoffzufuhr, axial	
IKZN	Innere Kühlschmierstoffzufuhr, axial mit Austritt in den Nuten	
KHM	Vollhartmetall-Kopf	
KSEM	KENNAMETAL Bohrer	
l_1	Gesamtlänge/Gewindebohrer	mm
l_2	Gewindelänge	mm
l_4	Anschnittlänge/Gewindebohrer	mm
l_5	Vierkantlänge/Gewindebohrer	mm
l_8	Nutenlänge/Gewindebohrer	mm

Zeichen	Beschreibung	Einheit
l_e	Einspannlänge/Gewindebohrer	mm
M_t	Drehmoment	Nm
N_b	Nutenbreite/Gewindebohrer	mm
n_w	Drehzahl des Werkzeuges	min ⁻¹
P	Gewindesteigung	mm
R_e	Streckgrenze	N/mm ²
R_m	Zugfestigkeit	N/mm ²
T	Toleranz	μ m
T	Standzeit	min
t_{bez}	Zeit bezogen auf das Schneiden eines Gewindes	min
TiN	Titan Nitrid	
v_c	Schnittgeschwindigkeit	m/min
VHM	Vollhartmetall	
WZM	Werkzeugmaschine	
y	½ Durchmesserjüngung/Gewindebohrer	mm
z	Zähnezahl der Bohrer	
z_b	Zahnbreite/Gewindebohrer	mm

Anmerkungen

- [A1] Der Werkstoff 42CrMoNi4V ist eine Modifikation des Werkstoffes 42CrMo4V. Der zusätzliche Nickelanteil (0,8% Ni gegenüber 0,4% Ni) sorgt für eine bessere »Durchvergütung«. So kann auf eine zusätzliche Vergütung nach der Vorbearbeitung verzichtet werden.
- [A2] Ein Weldon-Schaft ist neben der Morsekegelaufnahme (MK), Steilkegelaufnahme (SK) bzw. Hohlchaftkegelaufnahme (HSK) eine Aufnahme des Werkzeuges in der Werkzeugmaschinen-spindel. Bei Drehfräsmaschinen wird für die Hauptspindel, die eine HSK 160-Werkzeugaufnahme besitzt, ein zusätzlicher Adapter von HSK zu Weldon benötigt. Ideal wäre ein Bohrwerkzeug mit einer HSK 160-Aufnahme für die GKW-Drehfräsmaschinen.

Literatur

- [1] Anonym (2003): VDI-Z Integrierte Produktion Special, 2, 45-46.
- [2] Diethard, T. (2006): MM – Maschinenmarkt, 23, 110-113.
- [3] Warurzyniak, P. (2003): Manufacturing Engineering, 3, 51-59.
- [4] Rechberger, J. (2002): WB – Werkstatt und Betrieb, 12, 39-42.
- [5] Balkov, V. P.; Baskov, V. M. (1999): Vestnik Masinostroenja, 1, 35-37.
- [6] Hammer, N.; Weinert, K. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 12, 27-30.
- [7] Linss, M.; Lange, D.; Watzke, R. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 2005, 6, 38-42.
- [8] Anonym (2008): MegaLink Precision Heft Extra Innovation, 80-83.
- [9] Schniering, B.; Nötzel, V. (2004): MM – Maschinenmarkt, 5, 28-30.
- [10] Heiler, R. (2005): WB – Werkstatt und Betrieb, 10, 54-56.
- [11] Anonym (2002): MM – Maschinenmarkt, 36, 58-61.
- [12] Grundlach, F. (2001): Report, 1-76.
- [13] Fischer, U. (2002): Tabellenbuch Metall, Verlag Europa Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co, 42. Auflage.
- [14] Düniß, W.; Neumann, M.; Schwartz, H. (1968): Trennen, Spanen und Abtragen, VEB Verlag Technik Berlin 1968.
- [15] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2004): Handbuch der Gewindetechnik und Frästechnik, Anwendungen, Tipps, Tabellen, EMUGE-FRANKEN, Lauf/Rückersdorf.
- [16] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2005): Gewindefrästechnik, Spanntechnik, Werkzeugkatalog, April 2005.
- [17] Degner, W.; Lutze, H.; Smejkal, E. (2002): Spanende Formung, Theorie, Berechnung, Richtwerte, 15. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien.
- [18] STELLRAM GmbH (2006): Werkzeug Katalog, Stellram Präzisionswerkzeuge für alle Werkzeuganwendungen, 01/2006.
- [19] EMUGE-Werk Richard Glimpel GmbH & Co KG (2005): Bedienungsanleitung für die Schnellwechselfnahmen der Typen HF 20, HF 30 vom 01.09.2005.
- [20] Preger, E.; Reindl, R. (1940): Klingenberg, Technisches Hilfsbuch, Verlag von Julius Springer.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch

TH Wildau [FH]
 Maschinenbau/Werkzeugkonstruktion
 Tel. +49 3375 508-193
 norbert.miersch@tfh-wildau.de

Rainer Berghaus

Student M07
 Fichtestraße 97, 15745 Wildau
 Tel. +49 3375 219385
 rainer.berghaus@tfh-wildau.de

Martin Lustig

Student M07
 Buchenweg 7, 14943 Luckenwalde
 Tel. +49 3371 636656
 martin.lustig@tfh-wildau.de

Dipl.-Ing. Steffen Drechsler

GKW GmbH
 Leiter Kompetenzzentrum
 Schmiedestraße, 15745 Wildau
 Tel. +49 3375 586-334
 drechsler.s@kurbelwellewildau.de

Erfolgs- und Risikofaktoren von Auslandsdirektinvestitionen in Polen. Eine empirische Studie über das Investitionsverhalten deutscher Unternehmen.

Sławomir Smyczek, Mario Glowik

Zusammenfassung

Im Zuge der Erweiterung der Europäischen Union im Jahre 2004 haben sich interessante Möglichkeiten aber auch Risiken für jene Unternehmen ergeben, die ihre internationalen Geschäftsaktivitäten um die zentral- und osteuropäischen Länder erweitern wollen. Vor dem Hintergrund, dass ein Auslandsengagement nicht immer linear und erfolgreich verläuft, werden im vorliegenden Artikel Motive, Eintrittsformen, Eigentumsstrukturen und Nachhaltigkeit von Auslandsinvestitionen deutscher Unternehmen, die sich in Polen in den letzten Jahren engagiert haben, untersucht.

Abstract

The expansion of the European Union (EU) in 2004 towards Central European and Eastern European countries opened new business opportunities for firms which seek to expand their international activities in upcoming markets. Based on the assumption that international business is not necessarily a forward directed, successful, and linear approach, this paper evaluates foreign direct investment (FDI) motives, modes, ownership structures, and the longevity of business of German firms, which have invested in recent times in Poland.

1 Einleitung

Durch die EU-Erweiterung im Jahre 2004 haben sich interessante Möglichkeiten für jene Unternehmen ergeben, die ihre internationalen Aktivitäten auf den zentral- und osteuropäischen Märkten erweitern wollen. Der Wegfall tarifärer und nicht-tarifärer Handelshemmnisse ermöglicht einen nahezu ungehinderten Fluss von Produkten, Dienstleistungen und Kapital innerhalb der Gemeinschaft. Die neuen EU-Mitgliedsländer bieten attraktive Märkte mit hohen Wachstumspotenzialen. Zudem können ausländische Investoren in der Regel mit umfangreichen Investitionsbeihilfen rechnen.

Einerseits hat das Thema Auslandsinvestitionen in den letzten Jahren zu einer steigenden Anzahl von Veröffentlichungen in der einschlägigen Literatur geführt (Hennart and Park, 1993; Hennart and Reddy, 1997; Brouthers et al., 2001; Lopez-Duarte and Vidal-Suarez, 2008; Driscoll and Paliwoda, 1997; Larimo, 2003). Andererseits ist die Anzahl von wissenschaftlichen Beiträgen, die sich mit der Entwicklung von Auslandsinvestitionen in den zentral- und osteuropäischen Staaten am Beispiel Polen beschäftigen immer noch begrenzt (Meyer and Estrin, 2001; Chidlow et al., 2009). Darü-

ber hinaus hat der überwiegende Teil der Forschung eine makroökonomische Perspektive und untersucht Entwicklungen in Zusammenhang mit den volkswirtschaftlichen Transformationsprozessen von einer staatlich gelenkten Planwirtschaft zu einer Marktwirtschaft (Domanski, 2003; Weresa, 2001; Kowalle, 2009; Hardy, 1994; Witkowska, 2007). Eine qualitative Forschung auf der Basis von Unternehmensfallstudien, die eine Mikroperspektive bezüglich der Entwicklung von Auslandsinvestitionen in Polen ermöglicht, ist in der einschlägigen Literatur, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, noch immer unterrepräsentiert (Gorynia et al., 2007; Gorynia et al., 2005).

Der vorliegende Artikel versucht diese Forschungslücke zu schließen. In einer Fallstudienanalyse werden Motive, Markteintrittsformen und Nachhaltigkeit von Investitionen deutscher Unternehmen in Polen untersucht.

2 Methodologie

Das Forschungsvorhaben ist zeitlich im Wesentlichen in zwei Phasen gegliedert: Im Jahre 2007 wurden im

Rahmen einer Vorstudie zunächst die thematische Forschungsrelevanz von Auslandsinvestitionen in Polen evaluiert und die einschlägige Literatur zu diesem Thema ausgewertet. Darüber hinaus wurden im gleichen Jahr dreizehn persönliche Interviews (ein Interview hatte durchschnittlich eine Länge von einer Stunde) mit Unternehmensvertretern, die über Erfahrungen in Zusammenhang mit Auslandsaktivitäten in Polen verfügen, durchgeführt.

Die Auswertung der Daten unter Nutzung der Delphi-Methode (Berekoven et al., 2001) bestätigte die Relevanz und Aktualität des Forschungsvorhabens, u. a. wurde sowohl ein steigendes Interesse als auch eine zunehmende Anzahl von Investitionen deutscher Unternehmen in Polen attestiert. Die Vorstudie hatte auch ergeben, dass der Großteil der befragten Unternehmen Polen wegen seiner Marktattraktivität (z. B. relativ hohe Wachstumsraten) und nicht aufgrund von prognostizierten Kosteneinsparpotenzialen als Investitionsstandort in Erwägung zieht. Im Ergebnis wurden die Forschungsaktivitäten fortgesetzt und von der Vorstudie im Jahr 2007 in die Hauptforschungsphase im Zeitraum 2008/2009 überführt.

Im Zuge der Hauptforschungsphase wurde zunächst eine Stichprobe von 68 Firmen aus einem Datenbestand (»Thomson market survey«) gezogen. Das Datenmaterial, das von der Universität von Vaasa (Finnland) kostenlos für dieses Forschungsvorhaben zur Verfügung gestellt wurde, enthält eine umfangreiche Statistik zu Auslandsinvestitionen deutscher Unternehmen im europäischen Ausland seit dem Jahre 1990. Im Resultat der Stichprobe wurden 22 deutsche Unternehmen gefunden, die zwischen 1992 und 2008 in Polen investiert haben. In einem weiteren Schritt wurden Daten in Zusammenhang mit den Auslandsaktivitäten dieser Unternehmen in Polen zusammengetragen und ausgewertet (z. B. Jahr des Markteintritts, Investitionsmotive, Zielbranche und polnische Partnerfirma). Außerdem wurden die bevorzugten Formen von Auslandsinvestitionen (z. B. Kapitalbeteiligung oder 100-prozentige Tochtergesellschaft) untersucht und ob die jeweiligen Firmen ihre Auslandsengagements seit ihrem Markteintritt in Polen erfolgreich fortgeführt oder mittlerweile beendet haben. Darüber hinaus wurde die Entwicklung der Kapitalbeteiligung (z. B. Höhe und ggf. Jahr der Änderung der Kapitalstruktur) im polnischen Unternehmen, aus Sicht des deutschen Investors, evaluiert.

Die unternehmensrelevanten Informationen wurden mithilfe einer Sekundäranalyse durch Auswertung

von Unternehmensbilanzen, Presseveröffentlichungen, Unternehmenspräsentationen sowie durch die Nutzung des Internets zusammengetragen. Außerdem wurden insgesamt zwölf Interviews mit Firmenvertretern durchgeführt, um den Informationsgehalt des vorhandenen Datenmaterials zu hinterfragen.

Im Resultat der Forschungsaktivitäten sollen die Auslandsinvestitionen deutscher Unternehmen in Polen auf Basis der empirischen Feldstudie näher beschrieben werden. Ziel des Forschungsvorhabens sind vertiefende Kenntnisse der Investitionscharakteristika deutscher Unternehmen in Polen.

3 Motive von Auslandsdirektinvestitionen

Dunning (2000) kategorisiert folgende Motive für Auslandsinvestitionen von Unternehmen:

- Faktorbedingungen (ressourcenorientiert),
- Marktbedingungen (nachfrageorientiert),
- Rationalitäts- und Effizienzvorteile, und
- strategische Gründe.

Die erste Kategorie (Faktorbedingungen) basiert auf dem ressourcenbasierten Ansatz (Wernerfelt, 1984; Fahy, 2002; Bamberger and Wrona, 1996). Nach diesem Modell erwägen Unternehmen insbesondere dann Auslandsinvestitionen, wenn sie sich dadurch Zugang zu knappen Ressourcen verschaffen können (z. B. Rohstoffe, die im Inland nicht oder nur sehr schwer verfügbar sind). Weitere ressourcenrelevante Vorteile ergeben sich aus der lokalen Verfügbarkeit von Wissen, z. B. Qualifikation des Personals, wissenschaftliches Umfeld bzw. Anzahl und Dichte von Universitäten und Forschungseinrichtungen (Chidlow et al., 2009; Cantwell and Janne, 1999).

Die zweite Kategorie, der nachfrageorientierte Ansatz, postuliert, dass Unternehmen insbesondere in Wachstumsmärkten Auslandsinvestitionen in Erwägung ziehen sollten, weil sie dadurch ihren eigenen Umsatz bzw. ihren Marktanteil (im Vergleich zu einem möglicherweise stagnierenden Inlandsmarkt) steigern können. Darüber hinaus ergeben sich Vorteile durch eine bessere Kundennähe, z. B. Kenntnisse über Designvorstellungen und Serviceerwartungen (Cluse, 1999; Kowalle, 2009; Rama, 2008).

Die dritte Kategorie (Rationalitäts- und Effizienzvorteile) berücksichtigt Anreize für Auslandsdirektinvestitionen, wenn Unternehmen indirekte Kostenvorteile

erzielen, u. a. weil sie Transportkosten sparen oder die Lieferflexibilität, durch eine lokale Produktion im Auslandsmarkt, verbessert werden kann (Dunning, 1993). Keillor et al. (2001) haben auf der Basis einer empirischen Analyse nachgewiesen, dass Firmen verstärkt Auslandsdirektinvestitionen in Erwägung ziehen, wenn der ausländische Markt durch tarifäre und nichttarifäre Handelshemmnisse abgeschirmt wird.

In Bezug auf die vierte Kategorie (strategische Gründe) argumentieren Forssbaek und Oxelheim (2008), dass Firmen insbesondere dann Auslandsinvestitionen in Erwägung ziehen sollten, wenn sie beispielsweise auf einem Auslandsmarkt Zugang zu günstigem Kapital oder besserem Investitionsumfeld (z. B. Subventionen, Steuervergünstigungen) im Vergleich zum Heimatmarkt haben. Aus Sicht dieser Autoren sind demnach diese finanzpolitischen Aspekte kein «by-product», sondern bieten Unternehmen die Möglichkeit, signifikante Wettbewerbsvorteile zu erzielen. »Financial characteristics and proactive financial strategies make a significant contribution towards understanding the decision to make a foreign direct investment« (Forssbaek and Oxelheim, 2008: 640).

4 Formen von Auslandsdirektinvestitionen

Ein Unternehmen hat die Möglichkeit, sein Auslandsengagement in Form vertraglicher Beziehungen, z. B. indirekte oder direkte Exporte, Lizenzen, Franchising, Auftragsproduktion etc., zu gestalten. Alternativ kann ein Unternehmen seinen ausländischen Markteintritt durch sogenannte »hybride Formen«, z. B. strategische Allianz, internationales Joint Venture oder eben durch eine Auslandsdirektinvestition, z. B. Kapitalbeteiligung, Firmenkauf, Unternehmensneugründung, gestalten. Der jeweils gewählten Form des Markteintritts liegen strategische Entscheidungsparameter zu Grunde (vgl. Abb. 1). Dazu gehören:

- a) Markteintrittsschnelligkeit,
- b) Marktnähe,
- c) Investitionsrisiko,
- d) hierarchische Kontrolle.

Im Fall vertraglicher Beziehungen, z. B. Exporte, sind die gestalterischen Möglichkeiten der Unternehmensführung sowie die finanzielle Ressourcenbereitstellung auf das Inland beschränkt. Auslandsdirektinvestitionen hingegen routen die Managementanstrengungen

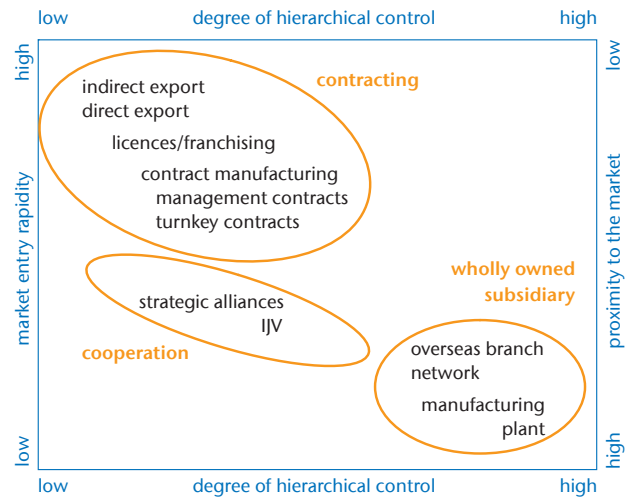


Abb. 1: Market entry mode grouping based on four decision determinants (Source: Glowik, 2009)

und den Kapitalfluss ins Ausland. Somit verlagert sich nicht nur das Investitionsrisiko ins Ausland, es steigt in der Regel auch, weil sich das Unternehmen neuen und möglicherweise fremden Umweltbedingungen, z. B. Rechtssystem oder soziokulturellen Aspekten wie Ethik und Religion, gegenüberstellt. Diesen Risiken steht der Vorteil der hierarchischen Kontrolle und direkten Einflussnahme in den unternehmenseigenen Verkaufs- und Produktionsstätten gegenüber (Glowik, 2009). Dong et al. (2008) empfehlen, den Grad der hierarchischen Kontrolle vom Ausmaß des gebundenen Kapitals im Ausland abhängig zu machen (je größer das finanzielle Auslandsengagement, desto eher empfiehlt sich eine Direktinvestition, weil dadurch bessere Kontrollmöglichkeiten geschaffen werden).

5 Auslandsdirektinvestitionen in Polen

Seit Mitte der 1990er Jahre sind insgesamt die Zuflüsse an Auslandsdirektinvestitionen in die zentral- und osteuropäischen Staaten kontinuierlich gestiegen. Im Vergleich zu seinen Nachbarstaaten, wie beispielsweise die Tschechische Republik, Ungarn, Slowakei, Rumänien, Estland, Litauen und Lettland, kann Polen regelmäßig auf die höchsten Zuflüsse von Auslandsdirektinvestitionen für den untersuchten Zeitraum von 1993 bis 2008 verweisen. Lediglich in den Jahren 1993 und 1995 konnten Ungarn, in 2002 und 2005 die Tschechische Republik und in 2002 die Slowakei höhere Zuflüsse an ausländischem Kapital als Polen für sich verbuchen (siehe Tabelle 1 auf der Folgeseite). In den letzten Jahren hat Polen die Höhe der ausländischen Investitionsvolu-

Country	1993 ¹	1994 ¹	1995 ¹	1996 ¹	1997 ¹	1998 ¹	1999 ¹	2000 ¹
Poland	1208	1320	2577	3168	3457	4482	5120	10334
Hungary	1647	807	3136	1602	1530	1434	1387	2998
Czech Republic	460	612	1804	1006	916	2618	4454	5404
Slovakia	140	190	166	247	163	498	301	2089
Romania	66	240	295	185	862	1437	709	1147
Estonia	114	150	142	106	187	409	215	425
Lithuania	21	22	51	107	250	652	343	412
Latvia	32	151	126	269	367	251	245	447
Country	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Poland ³	6372	4371	4067	10237	8330	15741	16674	10970
Hungary ²	4391	3185	1888	3633	6099	4874	3923 ¹	3600 *
Czech Republic ²	6296	9012	1863	4007	9374	4752	7634 ⁴	7329 ^{4*}
Slovakia ²	1768	4397	1914	2441	1694	3324	2300 ¹	2000 *
Romania ²	1294	1212	1946	5183	5213	9082	7250 ⁵	9084 ⁵
Estonia ²	603	307	822	776	2349	1282	1748 ¹	1400 *
Lithuania ²	449	772	160	623	826	1426	1362 ¹	1200 *
Latvia ²	147	269	270	513	582	1303	1530 ¹	1100 *

Tab. 1: FDI Development 1993 – 2008 for Poland in comparison with other countries of the CEE region | Source: ¹ UNCTAD; ² The Vienna Institute for International Economic Studies; ³ Polish Information and Foreign Investment Agency; ⁴ Deutsch-Tschechische Industrie- und Handelskammer; ⁵ Romanian Agency for Foreign Investment; *expected

mina im Vergleich zu den anderen neuen EU-Mitgliedstaaten wie Ungarn, die Slowakei und die Tschechische Republik ausbauen können. Rumänien, als Investitionsstandort in den neunziger Jahren relativ unbedeutend, konnte seine Position seit 2004 signifikant verbessern. Rumänien wird, wenn der derzeitige Trend anhält, in der Zukunft mit Polen zunehmend im Wettbewerb um ausländische Investoren stehen (UNCTAD, 2009; DTIH, 2009; PAIZ, 2009a; RAFI, 2009).

Im Zuge der EU-Mitgliedschaft hat Polen seine rechtlichen Bedingungen im Sinne des Gemeinschaftsrechts sukzessiv harmonisiert. Somit können sich die ausländischen Investoren auf dieselben Rahmenbedingungen berufen wie heimische Unternehmen. Lediglich für den Immobiliensektor wurden zwei Übergangsregelungen vereinbart. So dürfen Ausländer für einen Übergangszeitraum von fünf Jahren keine privaten Grundstücke und Gebäude erwerben. Der Erwerb von landwirtschaftlichen Nutzflächen ist ausländischen Investoren für einen Zeitraum von 12 Jahren, ab Beitritt 2004 gerechnet, untersagt (Bremme, 2004; PAIZ, 2009b).

Die EU unterstützt Polen mit Subventionen für den Aufbau von wettbewerbsfähigen Industrien, der Entwicklung neuer Technologien und für den Ausbau der Infrastruktur. Für den Zeitraum von 2007 bis 2013 sind rund 67 Milliarden Euro für Polen im EU-Etat vorge-

sehen. Die polnische Regierung hat darüber hinaus vierzehn Sonderwirtschaftszonen im Land etabliert. Großunternehmen, die dort investieren, können von Steuervergünstigungen bis zu 50 Prozent, kleine und mittelständische Unternehmen kommen in den Genuss von Steuererleichterungen von bis zu 65 Prozent. Durch die geografische Nähe können insbesondere deutsche Unternehmen von Aufträgen in Zusammenhang mit Investitionsvorhaben in Polen profitieren (Bundesministerium, 2009; Jochheim, 2007). Die Vergünstigungen in den Sonderwirtschaftszonen werden spätestens 2020 auslaufen (Botschaft_Polen, 2008).

Für das Jahr 2006 hat das Polnische Amt für Statistik 18.015 Firmen mit ausländischem Kapital in Polen registriert, 7 Prozent mehr als 2005. 1.675 von 1.831 eingetragenen Firmen, die sich in Polen angesiedelt haben, sind Neugründungen (englisch: »greenfield investment«). Kleinunternehmen (Anzahl der Beschäftigten bis 49) stellen mit 14.500 zahlenmäßig die Mehrheit ausländischer Investoren. 1.008 Unternehmen, die im Jahre 2006 in Polen investiert haben, sind der Kategorie der Großunternehmen zuzuordnen (über 250 Angestellte) (PAIZ, 2009c).

Nach den Ursprungsländern betrachtet kommen die meisten ausländischen Investoren aus Deutschland (5.718), gefolgt von niederländischen (1.944) und fran-

zösischen Firmen (1.075) (PAIZ, 2009c). Kowalle (2009) stellt fest, dass sich die Markteintrittsaktivitäten ausländischer Investoren für den Zeitraum 1989 bis 2003 kontinuierlich erhöht haben. Während der 1990er Jahre standen der Bank-, Telekommunikations- und Energiesektor im Zentrum des Interesses ausländischer Investoren. Im Laufe der Zeit wurden diese Branchen vom Versicherungs- und Logistiksektor als primäre Investitionsziele abgelöst (Kowalle, 2009).

Weresa (2001) hat im Zuge der empirischen Forschung ermittelt, dass 75 Prozent der Auslandsinvestitionen in den neunziger Jahren ihren Ursprung in einem EU-Mitgliedsland haben. Nach Domanski (2003) gibt es signifikante regionale Unterschiede bei den Investitionszuflüssen zwischen infrastrukturell entwickelten Regionen (z. B. Śląskie) und schwachen Regionen (z. B. im Osten Polens). Außerdem können Gebiete mit urbanem Charakter (z. B. Katowice, Gdansk und Warszawa) wesentlich höhere Investitionszuflüsse für sich verbuchen als ländliche Regionen. Im Gegensatz zu europäischen Firmen, bevorzugen vor allem amerikanische und asiatische Unternehmen urbane Investitionsstandorte, insbesondere die Region Warszawa.

Chidlow et al. (2009) hat ermittelt, dass Investoren in forschungsintensiven Branchen bevorzugt die Mazowieckie-Region (Warszawa) als Standort auswählen. Firmen, die sich in erster Linie Kosteneinsparungen durch einen Markteintritt in Polen erhoffen, u. a. durch Produktionsverlagerungen, tendieren dazu, in ländlichen Gegenden zu investieren.

Die durchschnittliche Arbeitslosenquote ist in Polen von 19,6 Prozent (2004) auf 9,5 Prozent (2008) gefallen. Allerdings gibt es auch hier signifikante regionale Unterschiede. Das durchschnittliche Lohnniveau ist in Polen zwar immer noch niedriger als in den meisten westeuropäischen Ländern. Aber ein Investor sollte einkalkulieren, dass für qualifiziertes, serviceorientiertes Personal bzw. für Angestellte mit Managementqualitäten wesentlich höhere Gehälter gezahlt werden müssen als aus den amtlichen Statistiken fälschlicherweise abstrahiert werden könnte. Insbesondere in Regionen mit hohen ausländischen Investitionszuflüssen (z. B. Warszawa, Śląskie) kann sich ein eventuell vorschnell prognostizierter Lohnkostenvorteil im Vergleich zum Heimatmarkt schnell relativieren (Domanski, 2003; Germany_Trade_and_Invest, 2009).

Neben den Herausforderungen in Zusammenhang mit der Beschaffung qualifizierten Personals könnten sich weitere Risiken aus der momentanen Finanz- und

Wirtschaftskrise ergeben. Polnische Firmen haben tendenziell einen hohen Investitionsbedarf. Hieraus könnten sich Liquiditätsprobleme in der Zukunft ergeben, zumal auch die polnische Wirtschaft, ähnlich wie Deutschland, exportorientiert ist. Bei einer nur langsamen Erholung der Weltwirtschaft dürfte die polnische Staatsverschuldung steigen, die sozialen Sicherungssysteme möglicherweise überstrapaziert und die Kaufkraft der Bevölkerung zumindest temporär wieder sinken. Für Investoren, die einen Aufbau von Produktionskapazitäten in Polen in Erwägung ziehen, sollte daher nicht nur die Verfügbarkeit und Qualität von Zulieferclustern und Logistikfirmen, sondern, wenn möglich, auch deren wirtschaftliche und finanzielle Potenz von Interessen sein, um ein langfristiges Engagement zu sichern (Napolitano, 2009).

6 Datenanalyse

Im Resultat der Vorstudie im Jahre 2007 konnte ermittelt werden, dass 11 von 13 Firmen Polen auf Grund der erwarteten Umsatzpotenziale (Marktattraktivität) als Investitionsstandort gewählt haben. Lediglich zwei Unternehmen hatten sich für Polen wegen prognostizierter Kostenvorteile (Produktionsverlagerung aus Deutschland) entschieden. Diese zwei Unternehmen haben jedoch ihr Engagement in Polen relativ schnell beendet. Die Interviewpartner gaben vor allem Qualitätsprobleme, mangelnde Zuverlässigkeit der Geschäftspartner und eine schlechte Zahlungsmoral als Hauptkritikpunkte bzw. Gründe für den Marktaustritt an. Auf der anderen Seite waren jene 11 Firmen, die ihren Markteintritt in Polen auf Grund erwarteter Absatzpotenziale initiiert hatten, mit der Geschäftsentwicklung außerordentlich zufrieden. Insbesondere die relativ hohe Nachfrage (im Vergleich zu gesättigten Märkten in Westeuropa) wurde von den Investoren als positiv bewertet.

Im Zuge der Hauptstudie im Zeitraum 2008/09 wurden weitere 22 deutsche Unternehmen, die in Polen investiert haben, untersucht. Von diesen 22 Firmen sind 18 in der industriellen Produktion, zwei in der Bauindustrie und jeweils ein Unternehmen im Handel bzw. in der Energieerzeugung tätig. Folgende Forschungsergebnisse können aus den Fallstudien abgeleitet werden.

Erstens, 21 Firmen haben in Polen auf Grund der erwarteten Marktwachstumsraten und nicht aus Kostengründen im Vergleich zu Deutschland investiert. Daneben ist die geografische Lage (z. B. Einsparung

von Transportkosten, größere Auftragsflexibilität, besserer Zugang zu anderen zentral- und osteuropäischen Märkten) für die meisten Unternehmen, die sich in Polen engagiert haben, von Bedeutung. Lediglich ein Unternehmen (AEG/Elektrolux) hat die Produktion von Deutschland nach Polen mit dem Hinweis auf erhoffte Kosteneinsparpotenziale verlagert.

Zweitens, der Großteil (18 Unternehmen) beurteilt seine Geschäftsaktivitäten auf dem polnischen Markt als erfolgreich. Neben attraktiven Marktbedingungen haben die befragten Unternehmen angegeben, dass die lokalen polnischen Unternehmen oftmals nicht über die ausreichenden Ressourcen verfügen, um gegen ihre westlichen Wettbewerber erfolgreich zu agieren. Somit wird, nach Angaben einiger befragter Interviewpartner, eine erfolgreiche Marktpositionierung in Polen tendenziell leichter empfunden als in gesättigten westeuropäischen Märkten mit langjährig positionierten Wettbewerbern.

17 von 22 untersuchten Firmen in der vorliegenden Studie haben ihren Markteintritt durch eine Kapitalbeteiligung an einem polnischen Partnerunternehmen vollzogen. Zu dem gleichen Ergebnis sind Gorynia et al. (2007) gekommen, nämlich dass ausländische Investoren mehrheitlich durch Kapitalbeteiligungen oder Firmenkäufe ihren Markteintritt in Polen in die Wege leiten. Diese Aussage wird darüber hinaus von der offiziellen polnischen Statistik gestützt, die relativ wenig Joint-Venture-Gründungen, dafür aber eine starke Präferenz ausländischer Firmen für Kapitalbeteiligungen an etablierten polnischen Unternehmen bzw. deren Kauf ermittelt hat (PAIZ, 2009c).

Im Ergebnis der vorliegenden Studie konnte darüber hinaus herausgearbeitet werden, dass sich 18 von 22 Unternehmen mit einer Mehrheitsbeteiligung (mehr als 50 Prozent des Firmenkapitals) am polnischen Partnerunternehmen engagiert haben. Lediglich vier Unternehmen waren eine Minderheitsbeteiligung (weniger als 50 Prozent des Firmenkapitals) eingegangen. Sieben von 22 Unternehmen haben ihre Kapitalbeteiligung im Laufe der Jahre (jeweils seit ihrem Markteintritt) sukzessiv erhöht und sich von einem Minderheits- zu einem Mehrheitseigner entwickelt. Eine Mehrheitsbeteiligung an einem ausländischen Unternehmen geht in der Regel mit einem höheren Investitionsrisiko einher. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die Mehrheit der deutschen Investoren in Polen offensichtlich bereit, ein solches Risiko einzugehen. Hierfür lassen sich folgende Gründe anführen:

Erstens: Der Großteil der Unternehmen, die in Polen investiert haben, empfindet offensichtlich eine nur geringe Unsicherheit im Zuge des Markteintritts. Ein entscheidender Faktor spielt in diesem Zusammenhang die EU-Mitgliedschaft Polens, d. h. Investoren können von gleichlautenden rechtlichen Rahmenbedingungen in Zusammenhang mit ihren wirtschaftlichen Aktivitäten ausgehen wie auf dem westlichen Heimatmarkt. Darüber hinaus dürften die soziokulturellen Unterschiede im Konsumentenverhalten weitaus geringer sein als gemeinhin angenommen, was möglicherweise zu einem relativ schnellen Umsatzerfolg beiträgt und in einer Mehrheitsbeteiligung bzw. dem vollständigen Kauf des polnischen Unternehmens mündet.

Zweitens: Das polnische Partnerunternehmen hat meistens einen hohen Investitionsbedarf (z. B. für den Aufbau moderner Betriebsanlagen, Verbesserung von Qualität und Effizienz in der Produktion, um weltweit wettbewerbsfähig zu bleiben/werden). Hieraus folgt eine tendenziell schwächere Position in den Verhandlungen mit ausländischen Investoren, die somit leichter eine Mehrheitsbeteiligung anstreben können. Umgekehrt verfügen jene westlichen Investoren in der Regel über bessere finanzielle Ressourcen, haben die modernere Technologie und sind darüber hinaus seit Jahrzehnten in den Märkten Westeuropas bzw. in der Welt aktiv.

Insgesamt hat die Studie eine relativ hohe Erfolgsquote von Auslandsinvestitionen deutscher Unternehmen in Polen ergeben. 18 von 22 (rund 80 Prozent) untersuchten Unternehmen haben ihre Geschäftsaktivitäten seit ihrem jeweiligen Markteintritt in Polen erfolgreich fortgeführt. Lediglich vier Unternehmen (20 Prozent) haben ihr Engagement in Polen eingestellt. Unter diesen Firmen war beispielweise die »Holsen Bierbrauerei«, die 1999 in den polnischen Markt eingetreten war, diesen aber auf Grund eines relativ hohen Wettbewerbsdrucks im Jahre 2001 wieder verlassen hat. Die Firma »MVV Energie« hat im Jahre 2001 den Versuch unternommen, sich auf dem polnischen Energiemarkt zu etablieren, diesen aber 2008 wegen »Infrastrukturproblemen« wieder verlassen. Der Hygieneartikelhersteller »Condomi« hat sich im Jahre 1999 an einem polnischen Partnerunternehmen (Unimil Sp) beteiligt und sukzessive die Kapitalbeteiligung bis auf 74,4 Prozent (2000) erhöht. Auf Grund finanzieller Probleme im deutschen Mutterhaus musste das Unternehmen im Jahre 2005 Konkurs anmelden und wurde von seiner ehemals polnischen Tochtergesellschaft vollständig übernommen. Das vierte Unternehmen in

der Studie, der Bushersteller Neoplan, war seit 1996 in Polen mit Lizenzverträgen aktiv. Im Zuge einer Restrukturierung und dem Verkauf der Bussparte von Neoplan an MAN im Jahre 2000 sind auch die polnischen Geschäftsaktivitäten eingestellt worden. Die Firma MAN ist seitdem in Polen erfolgreich in der Busproduktion sowie der LKW-Fertigung tätig.

7 Resümee

Im Resultat der Studie zu Motiven, Markteintrittsformen und der Nachhaltigkeit von Auslandsinvestitionen deutscher Unternehmen in Polen können folgende Erkenntnisse zusammengefasst werden:

Erstens: Im Zentrum des Interesses deutscher Investoren in Polen stehen überwiegend Bereiche der industriellen Produktion. Mit weitem Abstand folgen die Bauindustrie, der Handel und die Energieerzeugung. Der weitaus größte Teil der Unternehmen hat sich in Polen auf Grund von erwarteten Marktwachstumsraten (nachfrageinitiiertes Markteintritt) und nicht aus Kostengründen im Vergleich zu Deutschland (ressourceninitiiertes Markteintritt) engagiert. Daneben sehen viele Unternehmen Polen auf Grund seiner geografischen Lage als ideale Plattform für einen Zugang zu anderen osteuropäischen Märkten (z. B. Einsparung von Transportkosten, Lieferflexibilität).

Zweitens: Joint-Venture-Gründungen spielen offensichtlich eine marginale Rolle als Markteintrittsform für deutsche Unternehmen in den polnischen Markt. Deutsche Investoren haben eine klare Präferenz für Mehrheitsbeteiligungen bzw. für eine Tochtergesellschaft in Alleineigentum.

Drittens: Im Resultat der Studie kann für Auslandsdirektinvestitionen deutscher Unternehmen in Polen eine Erfolgsquote von 80 Prozent ermittelt werden. Mit anderen Worten hat der weitaus überwiegende Teil der untersuchten Unternehmen seine Geschäftsambitionen in Polen langfristig erfolgreich umsetzen können. Lediglich 20 Prozent der untersuchten Firmen haben ihr Engagement in Polen eingestellt. Die Gründe hierfür sind verschieden (z. B. Restrukturierungen im deutschen Mutterkonzern) und sind keineswegs nur auf ein schlechtes Marktumfeld zurückzuführen.

Viertens: Die Wahrscheinlichkeit für einen Misserfolg ist allerdings für jene Unternehmen besonders hoch, die einen Markteintritt in Polen einseitig auf Grund von Kostenaspekten in Erwägung ziehen. Die Annah-

me, kurzfristig signifikante Produktionskosteneinsparungen bei gleichbleibender Qualität und Innovation realisieren zu können, hat sich bei den betreffenden Unternehmen in der Studie als Fehleinschätzung erwiesen. Hinzu kommt, dass der Bedarf an qualifiziertem Personal, wie in allen anderen Märkten, auch in Polen weiter zunehmen wird. Unternehmen, die eine industrielle Fertigung oder Serviceleistungen in Polen in Erwägung ziehen, sollten daher höhere Löhne und Gehälter einkalkulieren (insbesondere in industriellen Ballungsgebieten), als man aus den Durchschnittswerten in den amtlichen Statistiken fälschlicherweise ableiten könnte.

Fünftens: Polen kann in der Gruppe der neuen EU-Mitgliedsländer seit den neunziger Jahren den Großteil ausländischer Investitionsflüsse, gefolgt von Ungarn und der Tschechischen Republik, für sich verbuchen. Rumänien konnte seine Position als Investitionsstandort seit 2004 signifikant verbessern. Sollte dieser Trend anhalten, wird Rumänien mit Polen in Zukunft zunehmend in einen Wettbewerb um die höchsten ausländischen Investitionszuflüsse treten.

Auf der Basis von 22 Unternehmensfallstudien ist die Ableitung von generalisierten Aussagen tendenziell mit Risiken behaftet. Dennoch liefert die Studie weiterführende Ergebnisse, die das Investitionsverhalten deutscher Unternehmen in Polen näher beschreiben. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten eine Basis für weitere Forschungsaktivitäten. Eine erweiterte Datenbasis erlaubt in der Konsequenz eine größere Belastbarkeit und hoffentlich, aus Sicht der Autoren, eine Verifikation der oben getroffenen Aussagen.

Danksagung

Die vorliegende Publikation entstand in Kooperation mit Herrn Prof. dr hab. Sławomir Smyczek von der Karol Adamiecki Wirtschaftsuniversität in Katowice, Polen. Studierende des Fachbereichs Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik der Technischen Hochschule Wildau [FH] haben im Sommersemester 2009 im Fach Marktforschung relevante Firmendaten zusammengetragen, die in Auszügen im vorliegenden Artikel verwendet worden sind. Darüber hinaus wurden Bachelorarbeiten vergeben, die sich mit den Themen EU-Erweiterung, internationale Markteintrittsformen sowie Investitionen deutscher Unternehmen im Ausland inhaltlich auseinandersetzen und deren Ergebnisse in das Forschungsprojekt einfließen konnten. Der

Beitrag unterstreicht somit die anwendungsorientierte Lehre an der Technischen Hochschule Wildau [FH] im Verbund mit renommierten Partneruniversitäten im Ausland und liefert zugleich praxisrelevante Erkenntnisse für Unternehmerinnen und Unternehmer, die einen Markteintritt in Polen in Erwägung ziehen. Ich danke allen Beteiligten für Ihr Engagement zum erfolgreichen Gelingen dieses Forschungsprojektes.

Prof. Dr. Mario Glowik

Anmerkungen

- [1] Remarks: 1Original figures by UNCTAD in USD; converted from USD into Euro based on an exchange rate 1 Euro = 1,42 USD (19.8.2009)

Literatur

- Bamberger, I. & Wrona, T. (1996): Der Ressourcenansatz im Rahmen des Strategischen Managements. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 25, 386-391.
- Berekoven, L.; Eckert, W. & Ellenrieder, P. (2001): *Marktforschung. Methodische Grundlagen und praktische Anwendung*, Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Botschaft_Polen (2008): Konzeption für die Entwicklung von Sonderwirtschaftszonen [online]. [cited 16.04.2009] Available from World Wide Web:<URL:http://berlin.trade.gov.pl/de/Sonderwirtschaftszonen/article/detail,1883,Konzeption_fur_die_Entwicklung_von_Sonderwirtschaftszonen>.
- Bremme, C. (2004): *Rechtliche Kriterien für Investitionsformen und Standortwahl in Polen, Slowakei, Tschechien und Ungarn*. Germany, Köln: Linklaters Oppenhoff & Rädler.
- Brouthers, K. D.; Brouthers, L. E. & Wilson, B. J. (2001): Start-up versus acquisition: making the right diversification mode choice. *Global Focus*, 13 (1), 27-35.
- Bundesministerium (2009): *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Europäische Kohäsions- und Strukturpolitik* [online]. [cited 16.04.2009]. Available from World Wide Web:<URL:http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Europa/eu-strukturpolitik,did=143850.html>.
- Cantwell, J. & Janne, O. (1999): Technological globalisation and innovative centres: the role of corporate technological leadership and locational hierarchy. *Research Policy*, 28, 119-144.
- Chidlow, A.; Salciuviene, L. & Young, S. (2009): Regional determinants of inward FDI distribution in Poland. *International Business Review*, 18, 119-133.
- Cluse, R. (1999): *Ausländische Direktinvestitionen in den Transformationsstaaten Mittel- und Osteuropas: Ansätze zur Verbesserung der Standortqualität*. Schriftenreihe des Instituts für Allgemeine Wirtschaftsforschung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bd. 62.
- Domanski, B. (2003): Industrial change and foreign direct investment in the postsocialist economy. *European Urban and Regional Studies*, 10 (2), 99-118.
- Dong, B., Zou, S. & Taylor, C. R. (2008): Factors that influence multinational corporations' control of their operations in foreign markets. An empirical investigation *Journal of International Marketing*, 16, 98-119.
- Driscoll, A. & Paliwoda, S. J. (1997): Dimensionalizing International Market Entry Mode Choice. *Journal of Marketing Management*, 13, 57-87.
- Dtjh (2009): *Deutsch- Tschechische Industrie- und Handelskammer; Foreign direct investment* [online]. [cited 17.8.2009]. Available from World Wide Web:<URL:http://tschechien.ahk.de/fileadmin/user_upload/Wirtschaftsdaten/Statistiken_CZ_2002-08_17-04-2009.pdf>
- Dunning, J. H. (1993): *The globalization of business*, London: Routledge.
- Fahy, J. (2002): A resource-based analysis of sustainable competitive advantage in a global environment. *International Business Review*, 11, 57-78.
- Forssbaek, J. & Oxelheim, L. (2008): Finance-specific factors as drivers of cross-border investment-An empirical investigation. *International Business Review*, 17, 630-641.
- Germany_Trade_and_Invest (2009): *Wirtschaftstrends Polen Jahreswechsel 2008/09* [online]. [cited 12.04.2009]. Available from World Wide Web:<URL:http://www.gtai.com/homepage/search/search/>.
- Glowik, M. (2009): *Market entry strategies*, Munich: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Gorynia, M.; Nowak, J. & Wolniak, R. (2005): Motives and modes of FDI, firm characteristics and performance case studies of foreign subsidiaries in Poland. *Journal of Transnational Management*, 10, 55-87.
- Gorynia, M.; Nowak, J. & Wolniak, R. (2007): Motives of FDI in Poland. An exploratory qualitative study. *Journal of East European Management Studies* 12 (2), 132-151.
- Hardy, J. (1994): Eastern promise? Foreign investment in Poland. *European Business Review*, 94 (5), 28-37.
- Hennart, J.-F. & Park, Y.-R. (1993): Greenfield vs. acquisition: the strategy of Japanese investors in the United States. *Management Science*, 39 (9), 1054-1070.
- Hennart, J.-F. & Reddy, S. (1997): The choice between mergers/acquisitions and joint ventures: the case of Japanese investors in the United States. *Strategic Management Journal*, 18 (1), 1-12.
- Jochheim, E. (2007): *Innovation gefragt - für KMU stehen Fördertöpfe bereit*. *Ost-West-Contact* 6/2007.
- Keillor, B.; Davila, V. & Hult, T. G. (2001): Market entry strategies and influencing factors: a multi-industry/multi product investigation *The Marketing Management Journal* 11, 1-11.
- Kowalle, J. (2009): *Foreign direct investment into infrastructure. Analysis of determinants and modes of market entry. Empirical study of Poland during the transformation process 1989-2003*. Faculty VII. Berlin: Technische Universität Berlin.
- Larimo, J. (2003): Forms of investment by Nordic firms in world markets *Journal of Business Research*, 56, 791-803.
- Lopez-Duarte, C. & Vidal-Suarez, M. M. (2008): Foreign direct investment through partial acquisitions: hostage effect or conflicts enhancement. *Journal of Management and Governance*, 12, 287-308.
- Meyer, K. & Estrin, S. (2001): Brownfield entry into emerging markets. *Journal of International Business Studies*, 32 (3), 575-584.
- Napolitano, M. (2009): *Poland*. The Economist Intelligence Unit Limited. London.

- Paiz (2009a): Foreign direct investments in Poland [online]. [cited 15.8.2009]. Available from World Wide Web: <URL: <http://www.paiz.gov.pl/index/index.php?id=59112692262234e3fad47fa8eabf03a4>>
- Paiz (2009b): Free movement of capital [online]. [cited 17.08.2009] Available from World Wide Web: <<http://www.paiz.gov.pl/index/index.php?id=ddf88ea64eae0f3de5531ac964a0a1a>>.
- Paiz (2009c): Polish information and foreign investment agency. List of major foreign investors in Poland. Warsaw.
- Rafi (2009): Romanian Agency for Foreign Investment [online]. [cited 19.2.2009]. Available from World Wide Web: <URL: <http://arisinvest.ro/en/why-romania/fdi-statistics/>>
- Rama, R. (2008): Foreign investment innovation: a review of selected policies. *Journal of Technology Transfer*, 33, 353-363.
- Unctad (2009): United Nations Conference on Trade and Development - Statistics [online]. [cited 17.8.2009]. Available from World Wide Web: <URL: http://www.unctad.org/sections/dite_fdostat/docs/wid_cp_hu_en.pdf>.
- Werresa, M. (2001): The impact of foreign direct investment on Poland's trade with the European Union. *Post-Communist Economics*, 13 (1), 71-83.
- Wernerfelt, B. (1984): A resource based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5 (2), 171-180.
- Witkowska, J. (2007): Foreign direct investment in the changing business environment of the European Union's new member states. *Global Economy Journal*, 7 (4), 1-30.

Autoren

Prof. dr hab. Sławomir Smyczek

The Karol Adamiecki University of Economics
Faculty of Management
Ul. 1 Maja 50, 40-287
Katowice, Poland

Prof. Dr. Mario Glowik

TH Wildau [FH]
Department of Business Administration/Business Informatics
mario.glowik@tfh-wildau.de

Gesundheitstourismus in Brandenburg

Handlungsempfehlungen für die Ansprache der arabischen Golfstaaten als neuer Perspektivmarkt für die Region Berlin-Brandenburg

Frank Sistenich

Zusammenfassung

Die Nachfrage nach medizinischen Dienstleistungen von internationalen Patienten in Deutschland steigt in den letzten Jahren deutlich an. Einer der wichtigsten Märkte stellt dabei die arabische Halbinsel dar, deren Gäste bislang vor allem die Region München als Destination ausgewählt haben. Da die Region Berlin-Brandenburg sowohl die Felder touristischer Dienstleistungen wie auch Medizin- und Wellnessbranchen als Wachstumsmärkte definiert hat, ist zu untersuchen, inwieweit der arabische Raum ein lohnender Perspektivmarkt ist. Eine Kooperation der Tourismusverantwortlichen beider Bundesländer lässt für die Zukunft ein großes Wachstumspotenzial für die Region erkennen, das auszuschöpfen ist. Voraussetzung ist eine konkrete Ausrichtung der Marketingpolitik auf die arabische Zielgruppe. Konkrete Handlungsempfehlungen für die Politik werden abgeleitet.

Abstract

The demand for medical services of international patients in Germany is rising significantly in recent years. One of the major markets thereby sets the Arabian Peninsula, whose guests have been especially selected the Munich region as a destination. For the Berlin-Brandenburg region, both the fields of tourism services as well as health and wellness industry has been defined as growth markets. It is to examine to what extent the Arab world market is a worthwhile perspective. A close future collaboration of the tourism leaders of both states is mandatory to be successful in these markets. The prerequisite is a specific orientation of the marketing policy to Arab Audience. Concrete recommendations for political actors are derived.

Ausgangslage

Der Dienstleistungssektor und hier im Besonderen touristische Dienstleistungen gehören zu den ausgewiesenen Wachstumsmotoren der Region. Aktuell beläuft sich der Bruttoumsatz in diesem Sektor auf 3,3 Milliarden Euro allein in Brandenburg. Obwohl Brandenburg heute bereits im Rahmen der innerdeutschen Destinationen an Bedeutung gewonnen hat, liegt der bedeutendere Wachstumsmarkt im Ausland. »Zum eigentlichen Wachstumsmotor – vor allem im Hinblick auf die kommenden Jahre – entwickelt sich jedoch der Inbound Tourismus (TMB 2008: 9).« [1] Die Investitionen des Landes in den Ausbau und die Internationalisierung der Nachfrage haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Bislang stehen im Besonderen die angrenzenden Nachbarstaaten im Fokus der Bemühungen, als Perspektivmärkte werden Indien und China definiert; von

den arabischen Golfstaaten ist an keiner Stelle die Rede. Dies ist aus einer doppelten Perspektive kritisch zu werten. Zum einen hat der Senat von Berlin die arabische Region jüngst zu einem der zentralen Wirtschaftsmärkte für die Region definiert und widmet in naher Zukunft ein großen Teil der freien Ressourcen der Ansprache der Golfregion. Der Senator für Wirtschaft hat aus diesem Grund im September 2008 ein internes Strategiepapier entwickeln lassen, mit dessen Umsetzung bereits in ersten Schritten begonnen wurde. [2] So leitete der Senator für Wirtschaft, Harald Wolf, erstmalig im Januar 2009 eine Berliner Delegation auf der größten Gesundheitsmesse der Region in Dubai, der Arab Health. Auch im Januar 2010 wird er wieder auf der Messe vertreten sein. Zum anderen ist die Vernachlässigung der arabischen Golfregion aus Brandenburger Perspektive auch deshalb nicht schlüssig, da inhaltliche Schwerpunktsetzungen im Sinne einer touristischen Profilbildung

des Bundeslandes im Strategischen Marketingplan definiert sind, die augenfällig mit den Schwerpunkten der touristischen Nachfrage aus der Golfregion kongruent sind. Hier ist unmittelbar das Feld des Gesundheits-, Medizin- und Wellness-tourismus angesprochen. Zur Ausrichtung thematischer Schwerpunkte hat sich das Land an verschiedenen empirischen Studien orientiert, die für bestimmte Segmente große Wachstumspotenziale skizzieren (vgl. TMB 2008: 9). Das skizzierte Feld hat auf der Basis des vorhandenen Angebotsprofils für das Reiseland Brandenburg die besten Zukunftschancen.

Die Perspektive des Gesundheits-tourismus und die Entwicklung der arabischen Golfstaaten

Abseits der klassischen Tourismuskörner hat sich in den letzten Jahren im Schatten der offensichtlichen Entwicklung der Reiseströme ein neuer Markt etabliert, der sog. »Gesundheitstourismus«. Forschungstechnisch wird dem Feld seit wenigen Jahren Aufmerksamkeit gewidmet. Erste konzeptionelle Überlegungen zu internationalen Reiseströmen aus den arabischen Golfstaaten liegen im Markt vor (vgl. Juszczak/Ebel 2008), zudem wird der Themenkomplex auch empirisch erforscht (vgl. Bandemer et al. 2007). [3] Aus genereller Perspektive; d. h. nicht nur aus den arabischen Golfstaaten, können in den letzten Jahren v. a. Bayern, Berlin, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern zunehmend internationale Gastpatienten gewinnen (vgl. Braczko 2008). Das Feld des Gesundheitstourismus wird dabei auf der Angebotsebene mit dem Markt der Wellness- sowie Sport- und Freizeiteinrichtungen verglichen. Die Aufgabe der Entwicklung und Förderung des Marktes wird dabei sowohl als staatliche Aufgabe gesehen (Bund, Länder und Gemeinden), als auch durch privatwirtschaftliche Zusammenschlüsse (Vereine, Verbände und Marketingzusammenschlüsse) und Einzelakteure

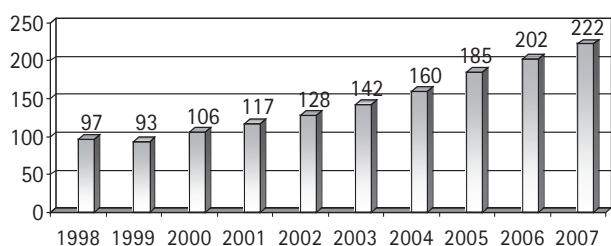


Abb. 1: Entwicklung der Ankünfte aus den arabischen Golfstaaten in Deutschland 1998 – 2007 in Tsd. | Quelle: Statistisches Bundesamt, 2008

(Kliniken, Ärzte, Reha-Einrichtungen, Hotels, Fluglinien, Patientenvermittler, vgl. Küng 2008: 6) betrieben. [4] Allein im Jahr 2006 wurden 806 saudi-arabische Patienten auf Kosten ihrer Regierung für 149.727.186 € in Deutschland behandelt (vgl. Shobokshi 2007). [5]

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts haben sich die Ankunfts-zahlen der Gäste der gesamten Golfregion deutlich positiv entwickelt. Im Jahr 2007 sind in Summe ca. 222.000 Gäste der arabischen Halbinsel in die Bundesrepublik gereist (siehe Abb. 1).

Ähnlich positiv haben sich auch die Übernachtungszahlen der Gäste aus den arabischen Ländern der Golfhalbinsel entwickelt (siehe Abb. 2).

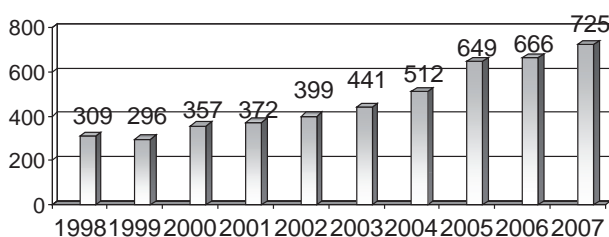


Abb. 2: Entwicklung der Übernachtungszahlen aus den arabischen Golfstaaten in Deutschland 1998 – 2007 in Tsd. | Quelle: Statistisches Bundesamt 2008.

Das bedeutet, von 1998 auf 2007 konnte eine Wachstumsrate der Übernachtungen von fast 134 % erzielt werden, das sind im Schnitt jährlich 11,4%.

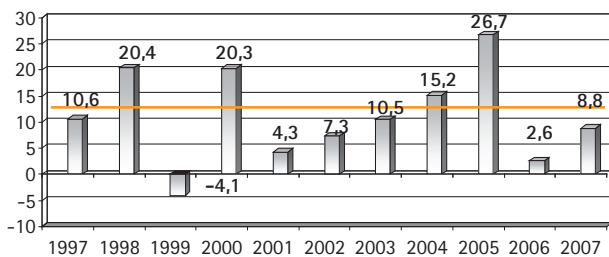


Abb. 3: Wachstum der Übernachtungszahlen aus den arabischen Golfstaaten in Deutschland 1998 – 2007 in % | Quelle: Statistisches Bundesamt, 2008

Ein weiterer Aspekt der empirischen Analyse spricht für die Bedeutung der Gesundheitsreisen: Nach Europa reisende Araber waren im Jahr 2007 durchschnittlich 37 Jahre alt und entstammten primär den gehobenen und hohen Bildungs- und Einkommenschichten. Deutschlandbesucher dagegen waren durchschnittlich 45 Jahre alt und damit deutlich älter als der durchschnittliche Europareisende (und im ähnlichen Maße den gehobenen sozialen Schichten angehörig). Erwähnenswert ist zusätzlich, dass das Durchschnittsalter in der Golfregion deutlich niedriger ist als in den westlichen oder auch in einigen asiatischen Ländern. Mehr als die Hälfte ist

jünger als 24 Jahre und nur 17 % sind älter als 40 Jahre. Die Verweildauer bzw. Länge einer Deutschlandreise betrug 20 Tage, wobei die Länge der durchschnittlichen (Europa-)Privatreisen (zu denen die Gesundheitsreisen zu zählen sind) 26 Tage beträgt.

Auch im Zusammenhang mit dem Thema Gesundheit/Wellness ist der besondere Stellenwert der Familie in der arabischen Welt zu beachten. Insgesamt suchen Araber den Kontakt zur Familie und engen Freunden besonders, wenn sie krank sind. Ein Großteil der Krankenhäuser in der arabischen Welt verfügt daher über Räume/Unterbringungsmöglichkeiten für Verwandte, damit sich der Kranke während des Klinikaufenthaltes nicht einsam fühlt und seine engste Familie um sich hat. Die Einrichtung solcher zusätzlichen Räume hat den Krankenhäusern Münchens einen Wettbewerbsvorteil beschert (s. u.). Eine wichtige Rolle bei der Auswahl des Behandlungsortes spielen touristische Angebote wie etwa erstklassige Einkaufsmöglichkeiten, attraktive Umgebung mit interessanten Unterhaltungsmöglichkeiten sowie Hotels mit erstklassigem Service (vgl. DZT 2009: 11).

Handlungsempfehlungen

Die Rahmenbedingungen der Region Berlin-Brandenburg zeigen deutliche Vorteile zur Partizipation am internationalen Gesundheitstourismus, auch für Gäste der Golfregion. Brandenburg strebt zum einen eine deutliche Ausweitung des Inbound Tourismus an und konzentriert sich u. a. auf das Feld des Gesundheits- und Wellness-tourismus. Zum anderen sind der Gesundheitstourismus und die Reiseströme aus der arabischen Golfregion positiv in ihrer Entwicklung für die Region, ohne dass dies aber konzeptionell auch nur in Ansätzen in den strategischen Marketingüberlegungen seinen Niederschlag finden würde. Der Markt der arabischen Halbinsel kann als lohnender Perspektivmarkt für die strategische Tourismusentwicklung in Brandenburg gesehen werden. Dies ist bislang noch nicht hinreichend geschehen.

Erste Erkenntnisse zeigen, dass die Basis der aktuellen Internationalisierungsbemühungen des Tourismus in Brandenburg eine empirische Marktforschungsstudie darstellt, die einer dringenden Aktualisierung bedarf. [6] Eine solche ist zudem auch vor dem Hintergrund geopolitischer Entwicklungen zu diskutieren. [7] Der Vertrauensvorsprung deutscher Produkte und Dienst-

leistungen innerhalb der Golfregion als geopolitische Rahmenbedingung kann und muss zur Gewinnung neuer Touristen genutzt werden. Vier zentrale Handlungsfelder lassen sich als Empfehlungen für einen Handlungsrahmen extrahieren:

1 Ansprache der Golfregion auf höchster politischer Ebene

Das Beispiel Berlins (zudem auch Münchens) zeigt, dass die Intensivierung des Austauschs politischer Kontakte auf höchster Ebene eine notwendige Voraussetzung für den Erfolg des Gesundheitstourismus ist. Allein in der zweiten Jahreshälfte 2007 und der ersten Hälfte 2008 haben mehrere Spitzenpolitiker der Golfregion das Land Berlin besucht. Zu Gast waren u. a. König Abdallah von Saudi-Arabien; Prinz Faisal von Saudi-Arabien; der Vizepräsident und Premierminister der Vereinigten Arabischen Emirate, Scheich Mohammed bin Rashid Al Maktoum, und der Präsident von Jemen, Ali Abdallah Saleh. Brandenburg kann von den Staatsbesuchen arabischer Regierungen und insbesondere von der örtlichen Nähe zu den arabischen Botschaften in Berlin profitieren. »Das Interesse der Golfregion verlagert sich schon seit einigen Jahren von den ehemaligen Schwerpunkten München, Wiesbaden und Baden-Baden stärker nach Berlin« (Strategiepapier Berlin 2008: 2). [8] Auch die Berliner Krankenhäuser selbst werden aktiv. So hat Vivantes im vergangenen Jahr mit der Dubai Health Authority, mit der Qatar Health Authority sowie mit Saudi-Arabien eine Vereinbarung zum Patiententransfer nach Berlin abgeschlossen.

Das Fehlen einer nationalen Leitmesse zum Thema »Gesundheit in Berlin« wird von der Branche als mögliches Defizit der Gesundheitsregion Berlin-Brandenburg angesehen. Die Gesundheitswirtschaft sieht die internationale Ausrichtung der zurzeit angebotenen Studiengänge zudem als nicht ausreichend an. Dies stellt einen Wettbewerbsnachteil für Berlin dar. Bei der notwendigen Internationalisierung der Studiengänge sollte insbesondere auch ein stärkerer Schwerpunkt auf das Thema Public Health gelegt werden.

Die arabische Leitmesse im Feld der Gesundheitswirtschaft, die »Arab Health« in Dubai, wird seit Jahren regelmäßig von der Bayerischen Staatsregierung in Form von Delegationsreisen besucht und ist mittlerweile größer als die größte deutsche Messe »Medica« in diesem Bereich. Die bayerische Sozialministerin Barbara

Stamm hat die Messe im Jahr 2003 gemeinsam mit dem Herrscher des Emirats eröffnet. Die Repräsentanz der hohen Politik muss in der Golfregion als Türöffner interpretiert werden. Dies ist die notwendige Bedingung für den Erfolg der produkt- und kommunikationspolitischen Aktivitäten der Regionen.

Health Capital hat im September 2008 bereits ein detailliertes Papier mit dem Titel »Gesundheitsexport und Patiententransfer als Chance der Gesundheitsregion Berlin-Brandenburg – Überlegungen für den Nahen und Mittleren Osten« vorgelegt. Eine Veranstaltung der Gesundheitswirtschaft mit den arabischen Botschaftern und Partnern aus der Region im Herbst 2009 ist geplant und sollte den Akteuren aus Brandenburg empfohlen werden.

2 Brandenburg und Berlin als Kooperationspartner für Dienstleistungen der Tourismus- und Gesundheitspolitik

Nach Auffassung des Senats von Berlin (vgl. Strategiepapier Berlin 2008: 5) ist auf Grund des Trends in der Golfregion, verstärkt Systemlösungen zu fordern, zu prüfen, inwieweit Berliner Unternehmen dem Rechnung tragen können bzw. welche Kooperationen/Konsortien mit Anbietern von Komponenten, über die Berlin nicht verfügt, notwendig sind. Hier muss sich an erster Stelle Brandenburg angesprochen fühlen, die angebotenen Dienstleistungen Berlins sinnvoll zu ergänzen. Diese komplementären Angebote können sich zum einen auf den Medizinsektor beziehen. Auch die Untersuchung ausländischer Patienten in deutschen Reha-Kliniken stellt ein eigenständiges und interessantes Forschungsfeld dar (vgl. Langwasser-Greb 2008), zumal Brandenburg im Rehabilitationsmarkt erfolgreiche Leistungsangebote aufzuweisen hat (z. B. Reha-Angebote in Wandlitz). Der Schwerpunkt der Kopplungsleistungen sollte aber v. a. touristische Dienstleistungen umfassen.

Nach Einschätzung des Geschäftsführers von NBMC ist damit zu rechnen, dass sich mittelfristig die Nachfrageperspektive der Araber sogar verschieben wird [9]: Während bislang der Gesundheitsaspekt im Vordergrund der Destinationsbestimmung steht und der Behandlungsort (neben der Bonität des behandelnden Arztes) nachrangig durch die ergänzenden touristischen Dienstleistungen ausgesucht wird (s. München), wird künftig der touristische Aspekt nicht nur an Be-

deutung gewinnen, sondern Superiorität zugesprochen bekommen. [10] Die gleiche Einschätzung der künftigen Marktentwicklung vertritt Stephan Bandemer. Die künftige Attraktivität Deutschlands bzw. deutscher Standorte und Regionen zur Gewinnung arabischer Gesundheitstouristen wird an erster Stelle von den touristischen Dienstleistungen bestimmt werden. Dominant wird der Wunsch nach Urlaub und Erholung im nicht arabischen Ausland stehen. Die medizinische Behandlung wird dann als »Zusatznutzen« in Anspruch genommen. [11]

Ein Blick auf die Entwicklung der arabischen Zielgruppen könnte dies bestätigen. Urlaub außerhalb des eigenen Landes bzw. sogar außerhalb arabischer Destinationen gewinnt zunehmend an Bedeutung. In Saudi-Arabien bspw. existieren Reisebüros erst seit dem Jahr 1995. In der gesamten Golfregion gibt es ein sehr hohes Potenzial, da in der Vergangenheit kaum verreist wurde. Dies trifft im Besonderen auf die Zielgruppe der wohlhabenden Privatpatienten zu. Die Ankündigung eines neuen Gesundheitsversicherungswesens in den Ländern der Golfregion wird dazu führen, dass zumindest öffentliche Kostenträger bei Verfügbarkeit eigener Behandlungsstätten auf lokale Nähe drängen werden, um die Kosten zu begrenzen, sobald und sofern medizinische Dienstleistungen im eigenen Land zur Disposition stehen.

Nach Ansicht des Generalsekretärs der Deutsch-Arabischen Industrie- und Handelskammer (GHORFA), Abulaziz Al Mikhlafi, in Berlin spricht ein weiteres Indiz für die vorgenannte These: Die arabischen Länder der Golfregion haben gerade erst damit begonnen, dem Tourismus einen eigenständigen Stellenwert einzuräumen, indem den Wirtschaftsministerien Tourismusabteilungen bzw. -verantwortliche zugeordnet werden. Diese dienen zwar primär dem Incoming Tourismus der Länder, haben aber auch einen großen Einfluss auf eine neue bzw. steigende Reise- und Urlaubsintensität der Bewohner der arabischen Halbinsel. [12]

Privatpatienten werden, so die Antizipation der Experten, Urlaub und die Wahl der Destination als Statussymbol erkennen (dies ist in ersten Ansätzen heute schon der Fall) und danach auswählen, wohin sie reisen, um dort zeitgleich auch medizinische Behandlungen durchzuführen. Sollte sich diese Entwicklung einstellen, liegen die Potenziale Brandenburgs auf der Hand.

Eine empirische Erhebung des FH Bonn-Rhein-Sieg aus dem Jahr 2007 zeigt, dass unter allen Kooperationspartnern zu erfolgreichen Vermittlung arabischer Patienten nach Deutschland Patientenvermittler (46,2),

externe Dolmetscher (42,3) und Ministerien/Botschaften/Konsulate (40,4) die wichtigste Bedeutung haben (vgl. Juszczak 2008: 26).

3. Kommunikationspolitik als Erfolgsfaktor

Während die leistungspolitischen Potenziale in Brandenburg bereits teilweise durch die landschaftlichen Gegebenheiten und historischen Artefakte definiert sind (und auch in Einklang mit der leistungspolitischen Positionierung der TMB stehen), stehen die kommunikationspolitischen Aktivitäten noch am Anfang und es scheint nicht sicher, ob der Rang dieser Instrumente seitens der verantwortlichen Akteure auch erkannt wird. In diesem Zusammenhang sind als erster konkreter Baustein im Besonderen imagebildende Maßnahmen zu sehen, wie sie, um die Grundlage für einen Erfolg in dieser Region darzustellen, in Delegationsreisen unter Einbindung der Staatskanzlei zu sehen sind. Vor allem im Zusammenspiel mit der Deutsch-Arabischen Industrie- und Handelskammer mit Sitz in Berlin (GHORFA) werden diese regelmäßig von Berlin aus angeboten und durchgeführt. In diesem Zusammenhang sind auch gesundheits- und tourismuspolitische Themen aktuell. Auf der Internationalen Tourismusbörse Berlin (ITB) im März 2009 wurde zu diesem Thema ein Tourismusforum durchgeführt. [13]

Die notwendige Netzwerkbildung der gesundheits- und tourismuspolitischen Akteure Brandenburgs steht heute erst am Anfang und läuft der Entwicklung anderer Bundesländer deutlich hinterher. Zentral ist, dass die Marketingmaßnahmen vor Ort, d. h. in den arabischen Ländern, greifen müssen. Dies ist nach Auffassung von M. Ibrahim, dem Geschäftsführer der auf arabisch-deutsche Austauschbeziehungen spezialisierten »Deurabika« noch zu wenig der Fall bzw. wird unprofessionell durchgeführt. [14] Eine wichtige Funktion wird hierbei in der Ansprache bzw. Einbindung der medizinischen Verbindungsbüros gesehen, die die Golfstaaten zur Entlastung ihrer Botschaften gegründet haben. Diese medizinischen Verbindungsbüros übernehmen einen Teil der administrativen Tätigkeiten für die Gäste als Bürger ihrer Länder und sind organisatorisch nicht immer direkt an die Botschaften angebunden. So befindet sich das Büro Kuwaits in Frankfurt/Main, das der Emirats und von Katar in Bonn [15], das Saudi Arabiens in Berlin.

Wie sehr sich die Märkte aber gerade in diesem Umfeld dynamisch entwickeln, zeigt das Beispiel Hamburg. Die Hansestadt hat die arabischen Golfstaaten seit 2006 offiziell als Zukunftsmarkt definiert (und damit 2 Jahre früher als Berlin) und wird bereits marketingtechnisch aktiv (vgl. Röttgers 2008: 8). Seit 2006 richtet Hamburg jährlich im Oktober das Deutsch-Arabisches Gesundheitsforum aus, angeschlossen sind eine Vielzahl touristischer Institutionen der Region, die auch vor Ort kommunizieren. [16] Die Klinik in Hamburg-Eppendorf hat eine eigene Station für die arabischen Gäste eingerichtet, wird von dem leitenden ägyptischen Stationsarzt Achmed Abdulgawad und Leonore Boscher geführt und erzielte im Jahr 2007 allein mit arabischen Gästen über 5 Millionen Euro Umsatz. Die Klinik hat sich dem Tagesablauf der Gäste angepasst: »Fünf mal am Tag wird es ruhig auf der internationalen Station, dann beten die Muslime. An die Gebetszeiten halten sich auch die Ärzte des Krankenhauses« (Harenbrock 2007). Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der arabischen Patienten beträgt hier zwischen 4 und 5 Wochen. Auch die Region Bonn hat aktuell zur Ansprache internationaler Gäste ein »Bonn Medical Network« unter Einbindung touristischer Institutionen der Region gegründet und ist dabei, dieses auszubauen. [17] Im September 2009 fand eine internationale Konferenz zum Thema »Medizintourismus« statt. [18]

München bietet als »notwendige Bedingung« eine optimale gesundheitspolitische Versorgung. Zudem sind es aber gerade die »hinreichenden Bedingungen« eines ergänzenden touristischen Angebots der gesamten Region (bis hinein nach Österreich), die den Standort nach Auskunft der Tourismusverwaltung gegenüber anderen Regionen in der Bundesrepublik attraktiv machen. [19]

Eine jüngste Umfrage bei den arabischen Botschaften und Konsulaten zeigt, dass die Region Berlin von allen deutschen Gesundheitszentren die höchste Priorität an Potenzial zugesprochen bekommt (vgl. Juszczak 2008), das nun umgesetzt werden muss. Damit dies gelingt und hinreichende Attraktivitätspotenziale erarbeitet werden, bedarf es einer touristischen Ergänzung des Medizinangebots Berlins. Hierin sieht der Verfasser im Wesentlichen die Potenziale zur Stärkung der Region Brandenburg.

In Fortführung der Ausführungen von Küng (2008: 10) bedarf es zur Stärkung des Medizintourismus folgender Maßnahmen:

- regelmäßige Messebesuche
- Intensivierung der Kontakte zu den Konsultaten und Botschaften bzw. deren Gesundheitsabteilungen
- Staatliche und privat organisierte Kontaktreisen
- Austausch von Wissenschaftlern
- Intensivierung eines integrierten Kommunikationskonzeptes unter Berücksichtigung von Internet, Zeitschriften, Broschüren in arabischer Sprache)
- Kongressbesuche

Der Anteil der Kliniken, die Werbematerialien in arabischer Sprache bereitstellen, hat sich von 2005 auf 2007 von 20,5 % auf 50 % deutlich erhöht. Generell ist in jüngster Zeit eine zunehmende Internationalisierung der Kommunikationspolitik zu verzeichnen (89,3 % verfügen über englische Kommunikationsmittel). Der Anteil deutscher Kliniken, die spezielles Werbematerial für ausländische Patienten verwenden, ist im gleichen Zeitraum von 48,3% auf 56,0% gestiegen. Die wichtigsten Kommunikationswege im Jahr 2007 waren Internet (67,3 %), Weiterempfehlungen/Referenzen (49 %) Patientenvermittler (42,8 %), persönliche Kontakte (38,8 %), Messen/Kongresse (30,6 %), Kliniken/Ärzte im Ausland und Ministerien/Botschaften/Konsulate (jeweils 28,6 %, vgl. Juszczak 2008: 24f). Für den internationalen Medizintourismus hat sich mittlerweile ein mehrsprachiges Web-Portal etabliert (vgl. Ehret 2008).

4 Institutionelle Verankerung und Bündelung der gesundheits-touristischen Angebots- und Vermarktungspolitik

Obwohl in den letzten Jahren erfolgreich Netzwerke gegründet wurden (v. a. im medizinischen Bereich), ist deren Status quo nicht befriedigend. Es fehlt an einer Angebot bündelnden Instanz, die Kompetenzverstärkungsfunktion für auswärtige Interessenten hat und maßgeschneidert professionelle Angebotspakete sowohl medizinischer wie auch freizeit- und touristischer Dienste schafft. Bislang sind die Anbieter in der Region zu solitär unterwegs, v. a. die größeren, nicht oder kaum in Netzwerken engagierten Großkliniken kämpfen für sich alleine und die Abstimmung von Angebotspaketen unter Berücksichtigung geeigneter Koppelprodukte findet nur sporadisch und nicht systematisch statt. Diese Kliniken sind es dann auch, die semiprofessionell scheinbar attraktive Kopplungsprodukte auswählen und damit ein Kompetenzspektrum

bedienen, das nicht annähernd zu ihren Kernkompetenzen gehört. Eine Option wäre, den neuen Aufgabenbereich über ein separates Servicecenter zu organisieren; eine Alternative, die generell von der TMB in Potsdam bereits angedacht wurde und die weiter zu spezifizieren wäre, so deren Geschäftsführer. [20]

Die erfolgreichen Beispiele anderer Regionen zeigen, dass die zentrale, bündelnde Instanz keine medizinische sein darf, da diese kaum neutral empfehlen würde und die Angebote, v. a. der eigenen medizinischen Leistungen, nachvollziehbar dominieren würden. So kommt es darauf an, eine Beratungs- und Vermittlungskompetenz zu schaffen, die Anfragen aus den arabischen Ländern sortiert und systematisch nach deren Interessen bearbeitet. [21] Diese Instanz müsste sowohl die Angebotsvielfalt der medizinischen wie auch freizeitorientierten und touristischen Dienstleistungen der Region überblicken und nachfrageorientiert bündeln, um geeignete Angebote bzw. Empfehlungen zu unterbreiten. In München hat sich ein solches Modell eng mit der Tourismuszentrale der Stadt etabliert.

Um ein solches Geschäftsmodell anzudenken, wäre zuerst ein produktpolitisches Marketingkonzept notwendig, das v. a. die bisher vernachlässigten Kopplungsprodukte bündelt und untersucht, welche freizeitorientierten und touristischen Angebote in der Region in welchem Umfang zu Verfügung stehen. Die medizinischen Leistungsangebote sind über die Netzwerke bekannt. Worauf es zunehmend ankommt, ist die Aufarbeitung der Komplementärleistungen. Diese müssen in einem ersten Schritt erfasst, daraufhin in ein Leistungsbündel integriert und anschließend mit vermarktet werden. Der Konkurrenzkampf der Regionen wird nicht mehr alleine über die (noch) Kerndienstleistung »Medizin« entschieden. Dies umso mehr, als gerade die arabischen Zielgruppen überproportional lange in den Destinationen verweilen und zudem viele Familienangehörige mit an den Reiseort nehmen. Nach Auffassung des Präsidenten der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften sind institutionelle Optimierungsprozesse zwingend notwendig, allen voran die symbiotische Synthese von Wirtschafts- und Technologieförderung im Land. Bislang versuchen zu viele Einzelakteure isoliert und in (un-)mittelbarem intra- und interlandespolitischen Konkurrenzkampf ihr Glück. [22] Auch hier wäre von anderen Regionen (Beispiel München) erfolgreich zu lernen.

Fazit

Vor dem Hintergrund eines wachsenden Marktes im Segment des »Gesundheitstourismus« bleibt zu fragen, was zu tun ist, damit die offenkundigen Potenziale auch umgesetzt werden können. Die Chancen des Clusters »Gesundheit und Gesundheitstourismus« ist mit seinen vor- und nachgelagerten Diensten und Produkten sowohl aus der Perspektive der Beschäftigtenzahlen wie auch aus der Perspektive der Wertschöpfung für die Region »gigantisch«. [23] Obwohl die Potenziale vorhanden sind, bleibt unbestritten, dass die konkreten Bemühungen der Bundesländer, Berlin und Brandenburg, bislang nicht ausreichend sind und sich die Vormachtstellung Münchens verstärkt (bzw. weitere Regionen wie Hamburg und Bonn sich etablieren können) [24], sofern nicht aktiv gegengesteuert wird. Dies wirkt umso betrüblicher, da die grundlegenden infrastrukturellen Bedingungen und Services bereits vorhanden sind: In Berlin die medizinische Dienstleistung, ergänzt um die Möglichkeiten des Shoppings, in Brandenburg die Reha-Institutionen, ergänzt um touristische und freizeitpolitische Aspekte (diese Schwerpunkte werden von beiden Ländern und deren verantwortlichen Akteuren sogar offiziell benannt). Zusammengeführt werden sie allerdings kaum, schon gar nicht für das Segment des Gesundheitstourismus.

Das Beispiel München zeigt, dass eine zentrale Anlaufstelle (One-Stop-Agency) sinnvoll wäre, die die Patientenvermittlung und -information übernimmt bzw. verantwortlich leitet. Es bedarf einer unabhängigen Instanz, die medizinische Expertise aufnehmen bzw. integrieren sollte, aber selbst nicht direkt in den Konkurrenzkampf der Krankenhäuser eingebunden ist. Vor dem Hintergrund der Bekanntheit der Hauptstadt wäre es empfehlenswert, diese über eine Kooperation mit der TMB/BTM anzusiedeln, damit diese die Patientenvermittlung zugleich über die ergänzenden Kopplungsprodukte bzw. Dienstleistungen touristischen Charakters steuert bzw. ein international konkurrenzfähiges Paket in direkter Kooperation bietet. Für die BTM ist das Thema in der dargelegten Form hoch aktuell, eine separate Behandlung scheidet aber bislang an der unzureichenden Ressourcensituation. Dies betrifft Geld- und Personalmittel. [25] Es kann nicht sein, dass sich die einzelnen Krankenhäuser bzw. deren Akteure selbst (teilweise in ihrer Freizeit) um das »Rahmenprogramm« für die internationalen Patienten kümmern, wie es bislang in der Region Berlin-Brandenburg der Fall ist. [26]

Für Brandenburg wäre es in einem unmittelbar folgenden Schritt sinnvoll, die eigenen komplementären Leistungspakete zu erarbeiten, um diese in Ergänzung zu den Berliner Medizindiensten zu vermarkten. Von besonderer Bedeutung, auch vor dem Hintergrund des bisher erreichten Status Quo der Region, ist dabei der Aspekt einer professionellen interkulturellen Kommunikation in Anbetracht der neuen arabischen Zielgruppe. [27] Das Land hat in seinem Strategischen Marketingplan 2008 – 2012 die Marschroute selbst vorgegeben und aktiv definiert, die Fokuspunkte sind bekannt und decken sich mit den Nachfragewünschen der arabischen Zielgruppe. Koppelprodukte im Bereich Gesundheit, Historie und Kultur als Angebote der Region, wie u. a. in Bad Wilsnack, Bad Saarow, Bad Freienwalde, im Spreewald, Tropical Islands oder die Schlösser sind als Kernleistungen etabliert und müssen in den neuen Kontext integriert werden. Zu untersuchen wäre, welche Brandenburger Akteure auf welche Weise eingerichtet sind, um ihr eigenes Angebot in ein Gesamtpaket der Region Berlin-Brandenburg zur Ansprache der arabischen Gesundheitstouristen einzubinden.

Wenn beide Bundesländer sich dem Markt annehmen, muss eine eigene Profilbildung vorgenommen werden, die die Leistungspotenziale Berlins und Brandenburgs verknüpft. Als Forschungsperspektive ist es in einem weiteren Schritt interessant, sich internationale Benchmarks im Markt des Gesundheitstourismus näher anzusehen, denen es gelingt, internationale Patienten zu gewinnen. Jüngste Entwicklungen zeigen, dass es Singapur und Bangkok binnen weniger Jahre gelungen ist, sich dominant im Gesundheitstourismus zu positionieren und sowohl Patienten aus der arabischen Welt als auch aus anderen Industriestaaten zu gewinnen. Amerikanische Beispiele wären die Mayo-Klinik, die John Hopkins-Klinik oder die Cleveland Clinic. Bei einer Untersuchung dieser Beispiele muss aber immer mit reflektiert werden, dass sich erst in den jüngsten Jahren das touristische Reiseverhalten der arabischen Völker entwickelt hat und hier enorme Wachstumspotenziale antizipiert werden, sofern es gelingt, die Nachfrage dieser Länder für sich zu gewinnen. [28] Das bedeutet, dass künftig v. a. solche Angebote Erfolg versprechen, denen es gelingt, die touristische und medizinische Dienstleistung erfolgreich miteinander zu kombinieren, aufeinander zu beziehen und als Gesamtpaket zu vermarkten.

Anmerkungen

- [1] Ein Beleg für die gestiegene Bedeutung des Inbound-Tourismus für Brandenburg und die Anerkennung durch das Land ist die Investition in einen eigenen Arbeitsbereich innerhalb der TMB. Dieser Bereich ist 2007 neu geschaffen worden und wird von Martin Fennemann in Potsdam geleitet.
- [2] Das Konzeptionspapier heißt: »Neue Schwerpunktsetzung der Berliner Außenwirtschaftsstrategie – Die Potenziale der Berliner Wirtschaft in der MENA Region.« Schwerpunkt dieser Region sind die Mitglieder des Golfkooperationsrates, dazu zählen Saudi-Arabien, VAE, Qatar, Kuwait, Bahrain, Oman. Zudem sind Jemen und die Länder Nordafrikas zusätzlich im Strategiepapier thematisch unkludiert.
- [3] Federführend ist hier das BMDF. Das Ministerium fördert im Rahmen des Verbundprojekts »Exportfähigkeit und Internationalisierung von Dienstleistungen« diverse einzelne Projekte zur Gesundheitswirtschaft. Die Koordination hat das IAT (Institut für Arbeit und Technik) in Gelsenkirchen übernommen, so auch für das Projekt »Wirtschaftsfaktor Gastpatienten.«
- [4] Claudia Küng ist Geschäftsführerin des 2002 gegründeten Health Care Bayer e. V. in München. Der Verein umfasst u. a. über 130 Kliniken, Vorsitzende ist die Vizepräsidentin des Bayerischen Landtages, Barbara Stamm.
- [5] Prof. Dr. O. A. Shobokshi ist aktuell Botschafter des Königreichs Saudi-Arabien in Deutschland und war zuvor Gesundheitsminister seines Landes und Hochschullehrer für Medizin.
- [6] Die aktuellen strategischen Empfehlungen werden in der Hauptuntersuchung der Forschungsarbeit näher ausgeführt, basieren jedoch auf der Studie »Incoming Tourismus Land Brandenburg«, Endbericht vom Mai 2004 des Instituts Freizeit- und Tourismusberatung GmbH, Köln. Der den Strategieempfehlungen zugrunde liegende Datensatz bezieht sich meist auf einen Zeitraum bis zum Jahr 2003 und ist kaum mehr aktuell.
- [7] Hier spielt eine Rolle, dass die Attraktivität der Bundesrepublik aus der Perspektive der Araber auch mit der Verweigerung einer aktiven Einbindung in den 2. Golfkrieg verbunden wird. In diesem Zusammenhang haben vor allem bislang im Gesundheitstourismus engagierte Länder wie die USA an Bonität eingebüßt und Gesundheitstouristen verloren.
- [8] Für das Strategiepapier wurden Materialien des DIHK, bfai, Gesprächsvermerke mit AHKs in Saudi-Arabien (SA) und Dubai, Wirtschaftshandbuch SA, Informationen von BP, IHK, SenGes-Stadt, BMWi, AA, Near and Middle East Economic Handbook 2006 (NuMOV), Ghorfa-Newsletter, verwendet.
- [9] Experteninterview Prof. Dr. Brauns am 09.11.2009.
- [10] Experteninterview Prof. Dr. Brauns am 02.02.2009.
- [11] Experteninterview mit Stephan Bandemer/IAT Gelsenkirchen (Telefoninterview) am 29.01.2009 sowie am 02.11.2009.
- [12] Experteninterview mit dem Generalsekretär der GHORFA, Abdulaziz Al-Mikhlafla, am 06.02.2009.
- [13] Experteninterview mit dem Generalsekretär der GHORFA und Botschafter Jemens, Abdulaziz Al-Mikhlafla, am 06.02.2009.
- [14] Experteninterview mit Mohamed Ibrahim (Geschäftsführer Deurabika) am 04.02.2009.
- [15] Hierin ist ein Grund zu sehen, warum die Region Bonn sich in jüngster Zeit deutlich im Wettbewerb um die arabischen Patienten positioniert hat.
- [16] Das jüngste 4. Deutsch-Arabische Gesundheitsforum fand am 21. und 22. Oktober 2009 wiederum in Hamburg statt.
- [17] Vgl. hier: <http://www.bonnmedicalpartners.de/>, ab dem 01.01.2009 sind die Bonn Medical Network Hotels angeschlossen.
- [18] Sankt Augustin (bei Bonn) am 18.09.2009.
- [19] Auskunft von Ralf Zednik, Marketing-Direktor der Tourismuszentrale München, Telefoninterview 08.12.2008. Auch eine erste Sicht einer Dokumentenanalyse lässt eine hochprofessionelle Ansprache der Zielgruppe erkennen (alle Broschüren und Stadtpläne existieren auf arabisch, zudem eine arabische Internetseite Münchens zur Ansprache der Zielgruppe im Sinne einer gesundheitspolitischen Reise nach Bayern. Infos (hier nur in arabisch) unter: www.munich.de/health.
- [20] Experteninterview mit Dieter Hütte, Geschäftsführer der TMB Potsdam, am 24.04.2008.
- [21] Experteninterview mit Dr. Jürgen Varnhorn, Referatsleiter Europa-Politik, Internationale Kooperationen, Außenwirtschaft in der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen Berlin, und Franz Bertsch, Abt. Ltr. Außenwirtschafts- und Ost-West-Wirtschaftskooperationen am 21.04.2009.
- [22] Experteninterview Prof. Dr. G. Stock, 03.11.2009.
- [23] Experteninterview Raphael Krüger, Health Capital, 06.04.2009.
- [24] So findet das nächste Deutsch-Arabische Gesundheitsforum am 21. - 22. Oktober 2009 wieder in Hamburg statt.
- [25] Experteninterview (Telefon) mit Sabine Wendt, Assistenz des Büros des Geschäftsführers der BTM am 15.04.2009.
- [26] Experteninterview Raphael Krüger, Health Capital, 06.04.2009. So beraten bspw. die Mitarbeiter des Herzzentrums Berlin die ausländischen Patienten für deren Rahmenprogramm. Der persönliche Service der Mitarbeiter reicht von der Visumshilfe bis zur Begleitung zum Flughafen. Der Anteil ausländischer Patienten im Herzzentrum liegt bei ca. 5% und damit an der Spitze aller deutschen Kliniken.
- [27] Experteninterview Dieter Hütte, Geschäftsführer der TMB in Potsdam am 24.04.2009.
- [28] Die Untersuchung der DZT zeigen, dass in Europa bislang England von den Reisen der Araber am stärksten profitiert (vgl. DZT 2009). Dies ist weniger angebotspolitisch als historisch begründet.

Literaturangaben

- Ambühl, I.; Seiler, R. (2004): Harter Kampf um Patienten. Schweizer Spitäler verdienen über eine Milliarde Franken mit ausländischen Patienten, in: Cash, 02.12.2004, 18.
- Bandemer, S.; Salewski, K.; Schwanitz, R. (2009): Die Internationalisierung der Gesundheitswirtschaft: Was kommt nach Medizintechnik und Pharmaindustrie? In: IAT, Forschung aktuell 11/2009, 1-13.
- Bandemer, S.; Dahlbeck, E.; Middendorf, A.-S. (2007): Jahrbuch des Instituts für Arbeit und Technik 2006, Gelsenkirchen.
- Barth, K.; Theis, H.-J. (1998): Hotelmarketing, 2. Auflage, Wiesbaden.
- Berlin Tourismus GmbH (2008): Ankunfts- und Übernachtungsstatistik der Hauptstadt, Berlin.
- Braczo, C. (2008): IAT untersucht Wirtschaftsfaktor Gastpatienten, Pressemitteilung IAT Gelsenkirchen 11.08.2008, Gelsenkirchen.
- Clark, T. (2009): Arabisches-Steh-auf-Männchen. Dubai hält der Krise stand, in: Die Welt, 19.03.2009, 6, Gastkommentar.
- Deutsche Zentrale für Tourismus (2009): Marktinformation Golfstaaten 2009, vorläufige Fassung, Frankfurt/M.
- Ehret, J. (2008): ONMEDIX – das mehrsprachige Web-Portal für den internationalen Medizintourismus, in: Juszczak, J.; Ebel, B. (2008), 118-122.

- Faltin, G. (2008): Kopf schlägt Kapital. Die ganz andere Art, ein Unternehmen zu gründen, München.
- Goldschmidt, A. W.; Hilbert, J. (Hrsg.). (2009): Schriftenreihe Gesundheitswirtschaft und Management-Band 1: Gesundheitswirtschaft in Deutschland – Die Zukunftsbranche
- Harenbrock, K. (2007): Araber zum Check-UP nach Deutschland, TV Beitrag, Archiv Deutsche Welle.
- Health Capital (Hrsg.) (2009): Arab Health 2009 Special Edition: Health+, Berlin.
- Hilbert, A. J.; Goldschmidt, A. (Hrsg.) (2009): Schriftenreihe Gesundheitswirtschaft und Management, Band 1: Gesundheitswirtschaft in Deutschland.
- Institut für Freizeit- und Tourismusberatung (2004): Incoming Tourismus Land Brandenburg, Untersuchung der Auslandsmärkte, Endbericht, Empfehlungen für das Marketing, Köln/Potsdam 21.05.2004.
- Juszcak, J. (2008): Medizintourismus in Deutschland, Vortrag zur Medica Media in Düsseldorf, 22.11.2008.
- Juszcak, J.; Ebel, B. (Hrsg.) (2008): Dienstleistungen für internationale Patienten, Tagungsband zur Konferenz Medizintourismus Sankt Augustin 28.09.2007, Band 21 der Schriftenreihe des FB Wirtschaftswissenschaften der FH Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin.
- Küng, C. (2008): Medizintourismus in Bayern, in: Juszcak, J./Ebel, B. 2008, 3-15, Sankt Augustin.
- Langwasser-Greb, B. (2008): Ausländische Patienten in Reha-Kliniken, in: Juszcak, J.; Ebel, B. 2008, 61-68.
- Meyer, C.; Övelgönne, S. (2007): Araber lieben München – Interview Christian Meyer und Stefan Övelgönne, Süddeutsche Zeitung vom 01.08.2007.
- Müller, H. (2004): Qualitätsorientiertes Tourismusmanagement, Bern.
- Nahrstedt, W. (Hrsg.) (1999): Freizeit und Wellness-Gesundheitstourismus in Europa, Bielefeld.
- Netzwerk Gesundheitswirtschaft (Hrsg.) (2007): Masterplan Gesundheitsregion Berlin-Brandenburg.
- Ossberger, B. (2006): Grüss Gott Herr Scheich!, in: Die Welt 30.06.2006, WELT online, am 25.01.2009.
- o.V. (2009): Säumige Scheichs, in: der SPIEGEL, 06.04.2009, 76.
- Röttgers, B. (2008): Hamburg Tourismus Monitoring, Hamburg.
- Schmidt, F. (2007): Arabische Touristen – München als Mekka, in: FAZ, Hintergründe, Nr. 199, 28.08.2007, 8.
- Shafy, S. (2009): Forschungspolitik – Wunder im Nirgendwo – Saudi-Arabien wappnet sich für die Zeit nach dem Öl, in: Der SPIEGEL, 11.04.2009, 122-125.
- Statistisches Bundesamt (2008): Ergebnisse der monatlichen Beherbergungsstatistik 1997–2007, Wiesbaden.
- Strobel, B. (2008): Der Orient-Exzess. Zwischen Klinik und Kaufrausch – Im Sommer wird München zum Mekka für Araber, in: FOCUS Reportage, Nr. 35, 25.08.2008.
- Tourismus Marketing Brandenburg (2008): Strategische Marketingplanung 2008–2012, Potsdam.
- Weiss, D. (2001): Kultur und Entwicklung. Entwicklung ist, was geschieht, wenn Kreativität sich entfalten kann, in: Thiel, E. R.: Neue Ansätze zur Entwicklungstheorie. Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung (DSE). Informationszentrum Entwicklungspolitik (IZEP), Bonn: DSE/IZEP, 2. Auflage 2001, 355-378.
- Wiesner, K. (2006): Strategisches Tourismusmarketing, Berlin.
- Wöhler, K. (1997): Marktorientiertes Tourismusmanagement, Berlin.

Autor

Prof. Dr. Frank Sistenich

Direktor Institut für Marketing

TH Wildau [FH]

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik

Tel. +49 3375 508-583

frank.sistenich@tfh-wildau.de

Innovative Klimafolgenanpassung als Chance für die mittelständische Wirtschaft

Rainer Voß, Frank Hartmann

Zusammenfassung

Mit seinen Herausforderungen in den Bereichen Klimaschutz und Klimafolgenanpassung ist der Klimawandel in den vergangenen Jahren weltweit immer mehr in den Fokus von Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit gerückt. Die bisherigen Arbeiten und Diskussionen haben zu zahlreichen Ergebnissen geführt, die von der Abschätzung von Klimafolgen für einzelne Regionen bis hin zum Aufzeigen von geeigneten Anpassungsstrategien in den unterschiedlichen Anpassungsbereichen reichen. Zahlreiche Umsetzungsmaßnahmen auf Bundes- und Landesebene sind auf den Weg gebracht worden, um Regionen bei der Bewältigung dieser Prozesse zu unterstützen. Was in der Forschung und in der umsetzungsorientierten Praxis bisher weitgehend unberücksichtigt geblieben ist, ist die Frage nach der Umsetzung der Anpassungsstrategien und -maßnahmen, die letztlich nur durch das Hervorbringen innovativer Leistungsangebote durch Unternehmen erfolgen kann. Damit ist auch eine gewisse Perspektiverweiterung verbunden, weg von der Betroffenheit einzelner Anpassungsbereiche hin zu der Frage, wie kleine und mittlere Unternehmen am Prozess der Klimafolgenanpassung partizipieren können, indem sie mit innovativen Leistungsangeboten Zukunftsmärkte und Geschäftsfelder entwickeln.

Abstract

Climate change with its challenges in the fields of protection and adaption has more and more become in the focus of science, policy and public during the last year's world wide. Discussions and investigations up to now led to numerous results reaching from the assessment of climate impacts for single regions up to the showing of suitable adaption strategies in different adoption fields. Numerous implementation measures have been started in order to support regions in facing the processes of climate change. However, broadly unconsidered has been the question of transferring adoption strategies and measures in to innovative supplies by firms. With this to some extent a change in perspective is connected, away from concernment of different adoption fields towards to the question how small and medium sized firms can participate in the process of climate adaption developing innovative products and processes and herewith new markets and business segments.

1 Einleitung

Die deutsche Wirtschaft ist sehr stark mittelständisch geprägt. Von den fast 3,6 Mio. Unternehmen haben 99,5 % unter 250 Beschäftigte. Insgesamt generieren diese Firmen 38 % des Umsatzes der gewerblichen Wirtschaft und haben einen Anteil von 55 % an den Beschäftigten in diesem Bereich (ifm bonn, 2009). Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft hängen wesentlich davon ab, dass sich immer wieder wachsende Nachfragen nach Produkten und Dienstleistungen der vielen kleinen und mittleren Unternehmen herausbilden und diese mit innovativen Leis-

tungsangeboten darauf reagieren. Es ist deshalb eine anspruchsvolle strategische Aufgabe des Innovationsmanagements, das Entstehen und die Entwicklung von Zukunftsmärkten zu verfolgen, an deren Erschließung Mittelstandsunternehmen nachhaltig partizipieren können.

Solche Zukunftsmärkte lassen sich verallgemeinert nach bestimmten Kriterien charakterisieren, wie insbesondere:

- langfristig stabile Problemlagen großer gesellschaftlicher Gruppen bzw. der Gesamtgesellschaft (national, international, global), z. B. demografischer Wandel, Gesundheit, Ernährung, Umwelt),

- großes Marktpotenzial mit wachsendem Marktvolumen,
- zunehmende Überschneidungen zwischen individuellen, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Interessen bezogen auf Problemlösungsbedarfe und -strategien,
- hohe Variabilität und Dynamik in der Nachfrage nach zunehmend komplexen Problemlösungen (Produkten, Verfahren und Dienstleistungen),
- zukunftsfähiges Problemlösungspotenzial in Forschungs- und Technologiefeldern als Basis für ständig neue und verbesserte Leistungsangebote der Unternehmen,
- Wachstum verläuft über Innovations- und Qualitätswettbewerb,
- großer Handlungsspielraum für die Marktteilnehmer, insbesondere für alte und neue Anbieter.

Seit etwa 10 Jahren zeichnet sich z. B. verstärkt ab, dass mit Prozessen der zunehmenden Alterung moderner Industriegesellschaften und des individuellen Alterns hier lebender Menschen (überwiegend bis ins höhere Alter aktiv und leistungsfähig) die Entwicklung eines Zukunftsmarktes für innovative Problemlösungen in vielen Lebensbereichen älterer Menschen und für die Daseinsvorsorge der Gesellschaft verbunden ist (Brandt et al. 2003). Nach Auffassung der Autoren lassen sich nun auch begründete Argumente dafür entwickeln, dass sich auch in Folge des bisherigen und noch zu erwartenden Klimawandels, der daraus resultierenden Anforderungen des Klimaschutzes, insbesondere aber aus den Erfordernissen der Anpassung an aktuelle und zukünftige Klimafolgen ebenfalls ein neuer Zukunftsmarkt für vielfältige innovative Leistungsangebote, gerade auch von mittelständischen Unternehmen, herauszubilden beginnt. Ein erster Blick auf die oben genannten Kriterien lässt bereits erahnen, dass sich im Bereich Klimafolgenanpassung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein sogenanntes »window of opportunity« für wirtschaftlich nutzbare Chancen öffnen wird. Dies soll im Weiteren begründet werden.

Der Klimawandel ist längst nicht mehr nur Gegenstand naturwissenschaftlicher Forschung, sondern rangiert seit mehreren Jahren auf den vorderen Rängen der Themenliste von Politik und Verwaltung auf nahezu allen Ebenen und vielfältige Maßnahmen, wie z. B. bundesweite Wettbewerbe (Klima zwei, KLIMZUG und KLIWAS), werden ergriffen, um den Herausforderungen zu begegnen. Die Fragestellung, welche

Funktion kleine und mittlere Unternehmen bei der Klimafolgenanpassung haben und wie dies mit einer erfolgreichen Regionalentwicklung in Zusammenhang gebracht werden kann, ist zwar politisch artikuliert (Grünbuch 2007, S. 13), aber wissenschaftlich bisher kaum untersucht. Mit dem folgenden Beitrag soll ein Zugang zur Problematik des Klimawandels vorgestellt werden, der insbesondere auf regionalwissenschaftlichen und innovationstheoretischen Ansätzen beruht und mit dem erklärt werden kann, warum und wie insbesondere kleine und mittlere Unternehmen an den unterschiedlichsten Prozessen der Klimafolgenanpassung partizipieren können und welche Unterstützungsmaßnahmen hierfür in frühen Phasen der Marktentstehung sinnvoll entwickelt werden können.

2 Klimafolgenanpassung

Der Klimaschutz zielt hauptsächlich auf die Verringerung von Emissionen. Damit kann er dazu beitragen, die einerseits erforderlichen Zeiträume für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu schaffen und den Anpassungsdruck soweit zu verringern, dass Anpassungsmaßnahmen überhaupt sinnvoll möglich werden. Nachhaltige Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels müssen andererseits immer auch den Klimaschutz unterstützen. Beide stehen in einem engen Zusammenhang, verlangen aber auch spezifische Strategien und Maßnahmen für unterschiedliche Klimafolgenbereiche wie Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Verkehr, Tourismus, Gesundheit, Raum- und Siedlungsentwicklung, Naturschutz und Biodiversität einschließlich der Wirtschaft. So wurden in den vergangenen Jahren basierend auf wissenschaftlicher Expertise und praktischen Erfahrungen Klimafolgen in ausgewählten Anpassungsbereichen und darauf ausgerichtete Anpassungsstrategien bzw. -maßnahmen herausgearbeitet (Zerbisch et al. 2005; BMU 2008; Schuchardt et al. 2008). Eine beispielhafte Übersicht dazu zeigt die Tabelle 1.

Bisherige Forschungsarbeiten zum Klimawandel thematisieren seine Ursachen, schätzen seine eher direkten Folgen (z. B. Temperatur, Niederschlag, Wind) auf Bereiche ab, die unmittelbar klimarelevant sind (Land- und Forstwirtschaft, Biodiversität, Gesundheit u. a.). Sie gehen noch einen Schritt weiter, indem sie die prinzipiellen Erfordernisse zur Anpassung an die-

Anpassungs- bereich	Klimafolgen	Anpassungsmaßnahmen
Wasserwirtschaft	Gefahr von Hochwasser	Technischer Hochwasserschutz/ Künstliche Rückhalte erhalten und erweitern
Landwirtschaft	Trockenstress im Sommer	Angepasste Bewässerungs- verfahren
Forstwirtschaft	Erhöhte Wald- brandgefahr	Vorsorge gegen Waldbrände
Gesundheit	Mehr heiße Sommertage	Verbesserung der Kühlung für besondere Personenkreise und Gebäudetypen
Tourismus	Mehr heiße Sommertage	Steigerung der Attraktivität
Verkehrs- infrastruktur	Extremwetter; Hitze, Sturm, Starkregen, Eis	Schutz von Straßen gegen Extremereignisse
Bau- und Siedlungs- wesen	Extremwetter, Starkregen	Niederschlagskontrolle, verbesserte Dachentwässerung

Tabelle 1: Beispiele für Klimafolgen, Anpassungsbereiche und -maßnahmen

se Folgen aufzeigen und bewerten (Vulnerabilität und Anpassungskapazität) (Umweltbundesamt 2005). Dies erfolgt unter methodischen Gesichtspunkten ganz wesentlich auf der Basis von Modellen und Szenarien. Thematisiert wird auch die Betroffenheit bzw. die Anfälligkeit der Wirtschaft (z. B. in den Bereichen Energie, Wasser und Verkehr) von bzw. für Klimafolgen. Bisher kaum thematisiert werden dagegen Fragen nach den Akteuren und Akteurskonstellationen sowie nach den Bedingungen, unter denen diese auf verschiedene Folgen in definierten Regionen und bestimmten Bereichen mit Anpassung reagieren können. In dem hier zu entwickelnden Zugang geht es folglich auch darum, eine *Perspektiverweiterung* bezogen auf den Zusammenhang von Klimafolgen und Wirtschaft zu vollziehen, von der Betrachtung der Wirtschaft als ein von Folgen betroffener Bereich hin zur Betrachtung der *Wirtschaft als ein Hauptakteur* bei der Klimafolgenanpassung. In diesem Verständnis wäre danach zu fragen, wie Unternehmen mit wem innovative Lösungen entwickeln können, um die Anfälligkeit verschiedener gesellschaftlicher Bereiche, einschließlich der Wirtschaft, zu verringern und deren Anpassungskompetenz und -kapazität zu erhöhen.

3 Klimafolgenanpassungskompetenz und Innovation

Einen interessanten Ansatz stellt in diesem Zusammenhang die Rolle des Ressourcenaustausches zwischen Unternehmen und Unternehmensumwelten bei der Hervorbringung von Innovationen dar (Voß 1996). Entsprechend diesem Ansatz kombinieren Unternehmen im Prozess der Leistungserstellung unternehmensinterne und -externe Ressourcen, wobei sich die externen Ressourcen und die sie gestaltenden Akteure in den so genannten generellen Unternehmensumfeldern (vom ökologischen, makroökonomischen bis hin zum technologischen Umfeld) und spezifischen Unternehmensumfeldern (vom Arbeitsmarkt, über den Finanzmarkt bis hin zu Kunden und Zulieferern) verorten lassen. In den entsprechenden Ressourcenaustauschprozessen liegen die Möglichkeiten und auch die Notwendigkeiten für die Hervorbringung von Innovationen durch Unternehmen begründet: Sei es, dass sich Ressourcen verknappen, sich neue Kombinationsmöglichkeiten auftun oder mehrere Kombinationsprozesse im Wettbewerb stehen. Auch stammen Innovationsimpulse häufig aus diesen Unternehmensumfeldern, die in engen Wechselwirkungen stehen und auf unterschiedlich konditionierte Unternehmen wirken. Diese Unternehmensumfelder bzw. ihre Komponenten haben neben der funktional-inhaltlichen Dimension auch eine räumliche Dimension, weshalb die regionale Komponente für die Problematik des Innovierens von Unternehmen überhaupt erst Bedeutung erlangt. Zahlreiche Innovationsansätze der vergangenen Jahre gehen davon aus, dass räumliche Nähe Transaktionskosten senkend und/oder Vertrauen bildend wirken kann, was zu solchen Konzepten wie »Innovationsnetzwerke«, »Cluster« oder »regionale Innovationssysteme« geführt hat, so dass der Regionalbezug diesen Konzepten zwar immanent war, jedoch eher sekundär blieb, thematisiert durch das Zusammenspiel unterschiedlicher, an Innovationsprozessen von Unternehmen beteiligter regionaler Akteure. Viele dieser Ansätze lassen sich unter dem Oberbegriff »*innovationsorientierte Regionalpolitik*« zusammenfassen, *in deren Kern es darum geht, die regionalen Bedingungen für das Innovieren von Unternehmen zu verbessern* (Koschatzky 2002; Fritsch 2003; Porter 1998; Ellwein et al. 1982). Im Mittelpunkt dieser Ansätze stehen die an der Hervorbringung und Realisierung von Innovationen beteiligten Akteure, weniger die Region. In dieser

Perspektive würden Klimawandel und Klimafolgenanpassung einhergehen mit Veränderungen in generellen und spezifischen Unternehmensumfeldern, die Innovationen herausfordern könnten, und je nachdem welche Ressourcen getauscht werden müssten und wie deren räumliche Ausprägung aussähe, regional hervorgerufen werden könnten oder auch nicht.

Einen Schritt weiter geht der Ansatz der so genannten »regionalorientierten Innovationspolitik«, in dessen Zentrum die Region als Subjekt steht, auf die sich die Innovationsaktivitäten der Unternehmen und anderer an der Hervorbringung und Durchsetzung von Innovationen beteiligter Akteure, vornehmlich aus der Region, richten (Voß 2005). In diesem Verständnis haben Regionen selbst einen Innovationsbedarf, der sich etwa im Erneuerungsbedarf einer einzelnen regionalen Entwicklungsbedingung (z. B. der Verkehrsinfrastruktur) äußern kann. Zugleich verfügen Regionen über endogene Potenziale, die in der Lage sind, auf diese Innovationsbedarfe durch die Hervorbringung von Innovationen zu reagieren (etwa im Bereich der regionalen Wirtschaft). In dieser Perspektive würden Klimawandel und Klimafolgenanpassung direkt mit der Regionalentwicklung in Zusammenhang gebracht, da diese direkt auf einzelne regionale Entwicklungsbedingungen (z. B. den regionalen Wasserhaushalt) wirken (negativ oder positiv) und damit das Innovationsbedarfspotenzial der Region erhöhen. Weil die regionalen Entwicklungsbedingungen unter zunehmenden Anpassungsdruck geraten, wird das regionale Innovieren stimuliert. Die Region erscheint zugleich als Voraussetzung (regionale Entwicklungsbedingungen sind für Innovationsprozesse erforderlich und haben darauf bezogen eine Versorgungsfunktion) und Ziel des Innovierens.

Besonders erfolgreiche Regionen sind als solche mit hoher **Innovationskompetenz**, die an der Schnittstelle von »Innovationspotenzial«, »Innovationsfähigkeit«, »Innovationsbereitschaft« und »Handlungsspielräume« entsteht und die Fähigkeit zur rechtzeitigen Wahrnehmung und Bewertung regional bedeutsamer Veränderungen in den Unternehmensumfeldern und zur Entwicklung darauf bezogener regionaler strategischer Innovationsansätze einschließt. **Klimafolgenanpassungskompetenz** wäre demzufolge eine spezifische Komponente einer so verstandenen regionalen Innovationskompetenz und könnte wie folgt im Grundzusammenhang von Klimawandel und Klimafolgenanpassung verortet werden (vgl. Abb. 1).

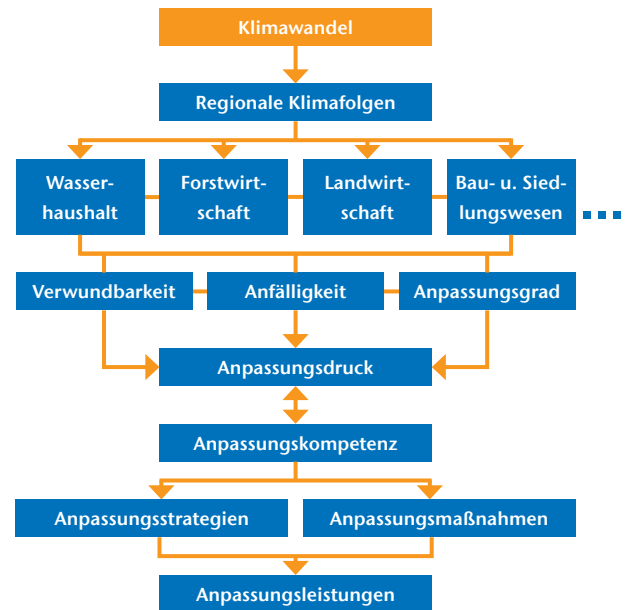


Abb. 1: Verortung der Klimafolgenanpassungskompetenz

Anpassungskompetenz wäre in diesem Verständnis die Fähigkeit zur Aufnahme des Anpassungsdrucks aus den verschiedenen Anpassungsbereichen und zur Transformation dieses Drucks in Anpassungsstrategien und -maßnahmen als strategische Orientierungsfelder für die Hervorbringung und Durchsetzung innovativer Anpassungsleistungen durch die Wirtschaft in einer Region. Auch diese Kompetenz entsteht aus der Integration von erforderlichem Wissen, Fähigkeiten und Erfahrungen, hoher Motivation/Bereitschaft und notwendigen Handlungsspielräumen, um

- Klimafolgen als gesamtgesellschaftliche, regionale, sektorale und personale Problemlagen in unterschiedlichen Folgenbereichen frühzeitig in ihrer Entstehung und möglichen Entwicklung wahrzunehmen,
- Klimafolgen hinsichtlich ihrer Ursachen, Abhängigkeiten und Wirkungszusammenhänge zu bewerten,
- Anpassungsstrategien und -maßnahmen sowie Anpassungsleistungen für die Vorbeugung, Verzögerung, Verminderung oder Vermeidung von Klimafolgen hervorzubringen und anzuwenden und
- dafür die erforderlichen Potenziale und Akteure zu mobilisieren. (vgl. Abb. 2).

Klimafolgenanpassungskompetenz wird permanent durch Informations-, Kommunikations-, Kooperations- und Vernetzungsaktivitäten (z. B. zwischen Unternehmen, wissenschaftlichen Einrichtungen, Kommunalverwaltungen, Intermediären, Behörden, Medien und Privatpersonen) entwickelt. Neben der Sensibilisierung von Unternehmen, Kommunen, Wissenschafts- und

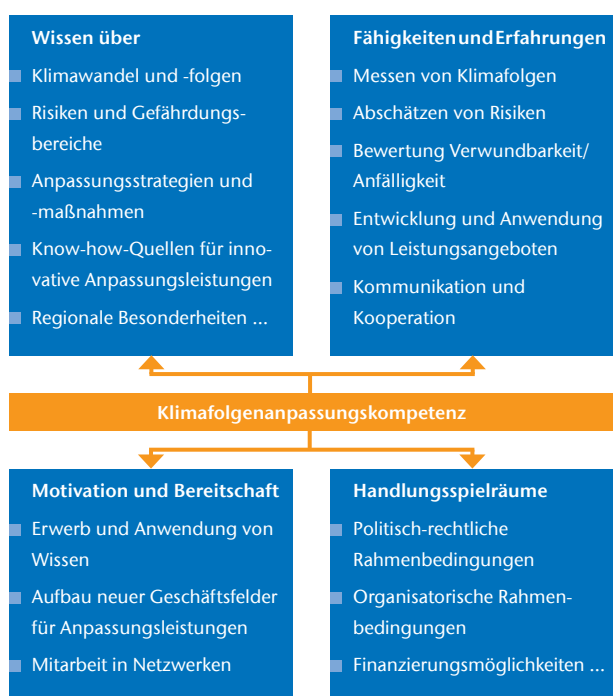


Abb. 2: Klimafolgenanpassungskompetenz

Bildungseinrichtungen, Verwaltung und Politik bis hin zu betroffenen Privatpersonen und der Erhöhung ihrer Anpassungskompetenz spielt der Aufbau entsprechender regionale Netzwerke eine Rolle, da ein solcher Prozess in der Regel nicht von einem einzelnen regionalen Akteur (Person oder Institution) zielführend und problemlösungsorientiert realisiert werden kann.

4 Unternehmerische Leistungsangebote zur Klimafolgenanpassung und Suchraum für Geschäftsfelder

Aufgrund des steigenden Anpassungsdrucks gilt für alle oben genannten Anpassungsbereiche, dass sie in den nächsten Jahren und Jahrzehnten Anpassungsmaßnahmen, basierend auf Anpassungsstrategien, entwickeln

müssen (vgl. Abbildung 1). Daraus entstehen zunehmend Problemlösungsbedarfe für eine adäquate Anpassung an Klimafolgen und damit Bedarfe und Nachfragen nach Produkten, Verfahren und Dienstleistungen, welche die bereichsspezifischen Anpassungsstrategien und -maßnahmen ermöglichen bzw. unterstützen (Ott et al. 2008). Eine wesentliche Aufgabe besteht dabei darin, die *Brücke von den Anpassungsstrategien zu den innovativer Leistungsangeboten* der Wirtschaft zu schlagen und dies nicht nur konzeptionell, sondern auch praktisch, indem Unternehmen für die Thematik sensibilisiert und bei der Markterschließung unterstützt werden. Hierfür können verschiedene Innovationsmanagementansätze herangezogen werden.

Ausgewählte Beispiele für mögliche Leistungsangebote im Bereich der Anpassung an Klimafolgen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Bereits diese wenigen Beispiele deuten auf eine große Vielfalt hin, lassen aber auch die Komplexität der entsprechenden Anwendungskontexte erahnen, die für entsprechende Leistungsangebote relevant sind.

Um sich der Hervorbringung und Vermarktung von Innovationen zur Klimafolgenanpassung systematischer zu nähern, können sich Unternehmen beim Aufbau von Geschäftsfeldern an einem speziellen »Suchraum« orientieren, der durch die Dimensionen »Klimafolgentyp«, »Anpassungsbereiche (Nachfrager)« und »Leistungsbereiche« gebildet wird (vgl. Abbildung 3). In diesen Raum können Unternehmen, aber auch andere Leistungsanbieter, »Schnitte« legen, um basierend auf ihren Kompetenzen neue Geschäftsfelder aufzubauen. Dieser Suchraum ist auch geeignet, Unternehmensgründungen gezielt am Markt zu platzieren. Auch für unternehmensübergreifende Aktivitäten im Bereich der Klimafolgenanpassung, etwa beim Aufbau entsprechender Netzwerke, kann dieser dreidimensionale Suchraum als heuristisches Element genutzt werden.

Anpassungsbereich	Klimafolgen	Anpassungsmaßnahmen	Leistungsangebote
Wasserwirtschaft	Gefahr von Hochwasser	Technischer Hochwasserschutz/Künstliche Rückhalte erhalten und erweitern	Einlaufbauwerke für gesteuerte Polder; neue Antriebs-elemente im Stahlwasserbau
Landwirtschaft	Trockenstress im Sommer	Angepasste Bewässerungsverfahren	Automatisierte, wasser- und energiesparende Beregnungsanlagen; Pumptechnik, Düsen...
Gesundheit	Mehr heiße Sommertage	Verbesserung der Kühlung für besondere Personenkreise und Gebäudetypen	Hybride Heiz- und Kühlsysteme; Baustoffe; Passivbauhaus; Erdreichwärmetauscher für Gebäudekühlung; Durchlüftbarkeit von Gebäuden; Dachbegrünung
Bau- und Siedlungswesen	Extremwetter, Starkregen	Niederschlagskontrolle, verbesserte Dachentwässerung	Mess- und Registriersysteme; Schutzauslöser; neue Baumaterialien und -technologien; Dachrinnen

Tab. 2: Beispiele für mögliche Leistungsangebote zur Klimafolgenanpassung

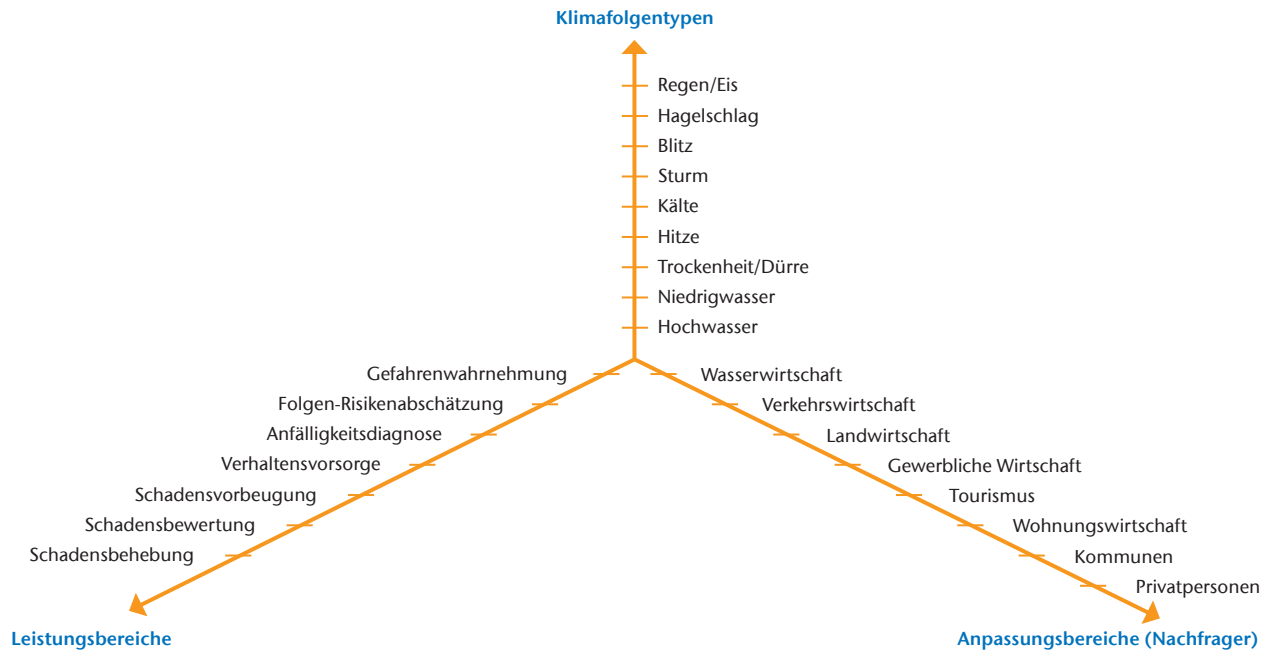


Abb. 3: Suchraum für mögliche Geschäftsfelder von KMU im Bereich Klimafolgenanpassung

Je nach Kompetenzen eines Unternehmens und die Entwicklungen im Unternehmensumfeld berücksichtigend können Unternehmen entlang der Dimension »Leistungsbereiche« bezogen auf einzelne Komponenten Geschäftsfelder aufbauen oder auch Komponenten übergreifend agieren. Gleiches trifft auf die anderen beiden Dimensionen »Klimafolgen« und »Nachfrager« zu (vgl. Abbildung 3).

Im Falle zu hoher Komplexität und zu großer *technischer, marktlicher oder planungsseitiger Unsicherheiten* bestimmter Geschäftsfelder für einzelne Unternehmen werden sich Netzwerke zwischen Unternehmen aufbauen. Bei der Entwicklung neuer Leistungsangebote dürften Innovationsnetzwerke eine Rolle spielen, in die auch Forschungseinrichtungen eingebunden sein werden.

Das Spektrum von Branchen die innovative Anpassungsleistungen hervorbringen, ist erheblich und reicht von der Energie- und Wasserversorgung über den Maschinen- und Anlagenbau, die Metallerzeugung und -bearbeitung, Informationstechnologie, Elektronik, Elektrotechnik, Sensorik, Messtechnik, Verkehr und Nachrichtenübermittlung, Automobil- und Luftfahrtindustrie, Bauwirtschaft (Hoch- und Tiefbau, Bauinstallation, Ausbau, Wasserbau, Straßenbau), Kreditinstitute und Versicherungen, Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen, Abwasser- und Abfallbeseitigung bis hin zur Pflanzenzüchtung und zum Pflanzenbau.

Die Nachfrage nach Anpassungsleistungen wird sich im Bereich der Wirtschaft selbst entwickeln (z. B. in der

Landwirtschaft oder in der Forstwirtschaft), öffentlich (etwa in der kommunalen Daseinsvorsorge) bzw. privat sein (etwa im Gebäudeschutz). Unterstützt wird die Marktentwicklung durch staatliche Regulierung und versicherungswirtschaftliche Interessenlagen. Zeitliche und quantitative Aussagen über mögliche Märkte im Bereich der Klimafolgenanpassung können gegenwärtig noch nicht getroffen werden. Hierfür ist das mögliche Leistungsspektrum zu breit, Aussagen aus der Klimaforschung sind in vielen Fällen noch vage und zukünftige Rahmenbedingungen noch häufig unklar. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sich das Zeitfenster für den Einstieg der KMU in die Thematik geöffnet hat. Die Aufgabe wird nun darin bestehen, zunächst für ausgewählte Bereiche zukünftige Märkte zu eruieren, was die Abschätzung von Klimafolgen für bestimmte Anpassungsbereiche und die Analyse von Technologieentwicklungen als Basis für innovative Leistungsangebote einschließen muss. Hierbei handelt es sich um ein interdisziplinäres Unterfangen, das den Aufbau entsprechender Kooperationsbeziehungen erfordert.

Technische, marktliche und planungsseitige Unsicherheiten sind nicht nur der Grund, warum sich innovierende Unternehmen zu Netzwerken zusammenschließen, sondern auch dafür, warum sich in frühen Phasen der Entwicklung von Themenbereichen oder auch Technologiefeldern Zentren als Knoten entwickeln, die den organisatorischen und räumlichen Rahmen für die gemeinsame Überwindung solcher

Unsicherheiten bilden, entsprechende Kompetenzen bündeln und Markt vorbereitend wirken. Aus diesen Gründen wird davon ausgegangen, dass die Nutzung der entstehenden Chancen im Bereich der Klimafolgenanpassung durch den Aufbau eines entsprechenden Innovationszentrums wesentlich befördert werden kann. In einem solchen Innovationszentrum könnten Pilotlösungen sowohl für innovative Anpassungsleistungen als auch für Klimaschutzleistungen in Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen und Unternehmen entwickelt, aus- oder neugegründete Unternehmen angesiedelt und innovative Leistungsangebote demonstriert sowie spezifische Beratungsleistungen angeboten werden.

Im Rahmen des Projekts »Möglichkeiten einer zukünftigen Nachnutzung des Kernkraftwerkstandortes Rheinsberg« im Auftrag der Energiewerke Nord GmbH haben die Autoren des vorliegenden Beitrages empfohlen, ein solches Innovationszentrum für Klimafolgenanpassung aufzubauen. Entsprechende Umsetzungsmaßnahmen wurden im Sommer 2009 eingeleitet.

Literatur

- Bastian Schuchardt et al. (2008): Deutschland im Klimawandel. Anpassung ist notwendig, hrsg. vom Umweltbundesamt.
- BMU 2008: BMU-Konferenz »Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel« am 15./16.4.2008 in Berlin.
- Brandt, M.; Voß, R.; Große, U.; Hartmann, F. (2003): Innovative Technik für Senioren – ein Zukunftsmarkt?, 1. Aufl. – Berlin: News & Media (Wildauer Schriftenreihe Innovationsmanagement Bd. 3).
- Bullmann, U.; Heinze, R. G. (Hrsg.) (1997): Regionale Modernisierungspolitik – Nationale und Internationale Perspektiven, Opladen, 299-316.
- Ellwein, T.; Bruder, W. (1982): Innovationsorientierte Regionalpolitik, Opladen.
- Fritsch, M. (2003): Von der innovationsorientierten Regionalförderung zur regionalisierten Innovationspolitik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiburger Arbeitspapiere 06/2003.
- Grünbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2007 Ifm-bonn 2009, www.ifm-bonn.org/index.php.
- Koschatzky, K. (2002): Innovationsorientierte Regionalentwicklungsstrategien: Konzepte zur regionalen Technik- und Innovationsförderung. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Arbeitspapiere Unternehmen und Region, Nr. R2/2002.
- Ott, Hermann E.; Caspar Richter (2008): Anpassung an den Klimawandel – Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen, Wuppertal Paper.
- Porter, M.E. (1998): Clusters and the new economics of competition. Harvard business review, nov-dec. 1998.
- Studie (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis zum Jahr 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Land- und Forstwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven, PIK-Report 83.
- Umweltbundesamt (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht 201 41 253.
- Voß, R. (1996): Innovationsmanagement in kleinen mittelständischen Unternehmen – Ansatzpunkte für ein Forschungskonzept mit Beratungsoptionen. In: Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau, Heft 1/1996, 83-91.
- Voß, R. (2005): Ländlicher Raum und Innovation – eine regionalpolitische Daueraufgabe. In: Voß, R. (Hrsg.) (2005): Modernisierung ländlicher Regionen. Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation, Bildung, Netzwerke, Berlin.
- Zebisch et al. (2005): Klimawandel in Deutschland. (08/05) Forschungsbericht 20141253 UBA-FB 000844.

Autoren

Prof. Dr. Rainer Voß

TH Wildau [FH]
 Forschungsgruppe Innovations- und Regionalforschung
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Tel. +49 3375 508-910
rainer.voss@tfh-wildau.de

Dr. Frank Hartmann

TH Wildau [FH]
 Forschungsgruppe Innovations- und Regionalforschung
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Tel. +49 3375 508-214
frank.hartmann@tfh-wildau.de

Polen – das zukünftige Zentrallager in Europa?

Ireneusz Fechner, Tomasz Janiak

Zusammenfassung

Die Rekonfigurierung des Distributionsnetzes großer internationaler Produktions- und Handelsunternehmen hat die Verschiebung von Distributionszentren in Richtung Osten, darunter Polen, zur Folge. Darüber hinaus spielt Polen eine wichtige Rolle in den pan-europäischen Transportkorridoren. Das Ziel dieses Betrages ist es, den gegenwärtigen Stand bei der Entwicklung von Logistikimmobilien in Polen aufzuzeigen.

Abstract

Poland – the future Central Warehouse in Europe ?

The Rearranging of Distribution Networks of big international production and trade companies causes the relocating of distribution centers towards East Europe, including Poland. Furthermore, Poland plays an important role in the Pan-European transport corridors. This paper presents the current development of logistics facilities in Poland.

1 Einleitung

Polen hat eine strategische Bedeutung für die Entwicklung von Zentraleuropa. Es ist das Land mit dem größten Markt unter den neuen EU-Mitgliedern. Durch die damit verbundene Öffnung des europäischen Binnenmarktes wurden neue Wettbewerbsbedingungen geschaffen. Dies bedingt aber auch einen wachsenden Anteil Polens an den internationalen Lieferketten. Mit dem Beitritt Polens und anderer MOE Länder begann ein Prozess der Rekonfigurierung der Distributionsnetze großer internationaler Produktions- und Handelsunternehmen. Dieser Umstand hat die Verschiebung von Distributionszentren in Richtung Osten zur Folge.

2 Vorteil der geographischen Lage Polens

Aus der Perspektive der globalen Wirtschaft ist die geographische Lage Polens zwischen der Europäischen Union und Russland, Ukraine, China und anderen asiatischen Ländern eine Chance für einen sehr attraktiven Logistikstandort. Nur über Polen verlaufen pan-europäische Transportkorridore, die den Transit zwischen diesen Wirtschaftsräumen ermöglichen. Darüber hinaus verlaufen durch dieses Land Transportkorridore, die Südeuropa und Mitteleuropa mit den Baltikumstaaten Litauen, Lettland, Estland

und Finnland verbinden. Die östliche Grenze Polens ist die östliche Außengrenze der Europäischen Union und zugleich die Grenze des europäischen Zollgebietes der Gemeinschaft. Der pan-europäische Transportkorridor VI und die Seehäfen in Gdynia und Gdansk sowie die Häfen in Szczecin und Swinoujscie verbinden Polen mit dem Wirtschaftsräumen der Ostseeregion, deren Integration im Rahmen des europäischen Interreg-Programms stattfindet.



Abb. 1: Europäische Transportkorridore, die über Polen verlaufen.

Quelle: bulletin.rec.org/bull103/corridors.html

Transit als solcher weckt zwar keinen Bedarf an Logistikimmobilien, aber auf Grund der Tatsache, dass Polens östliche Grenze die Außengrenze des Zollgebietes bildet, kann angenommen werden, dass ein Teil des Warenflusses, der in den EU-Raum von Osten eingeführt wird, in den polnischen Lagerhäusern temporär gelagert wird.

3 Vorteil der Wirtschaftlage Polens

Die Wirtschaft Polens entwickelt sich seit einigen Jahren dynamischer als die Wirtschaften der »alten« EU-15. Aufgrund der konkurrenzfähigen Arbeitskosten im Vergleich zu Westeuropa steigt die internationale Kooperation im Produktionsbereich. Aus diesem Umstand resultieren die zunehmende Anzahl ausländischer Industrieunternehmen in Polen, insbesondere aus der Automobilbranche und der Unterhaltungselektronik, sowie das Wachstum des polnischen Marktes für Logistikdienstleistungen, der 2007 den Wert von 120 Mrd. PLN überschritten hat.

4 Polen als Markt für Lagerflächen

Die aufgeführten günstigen Rahmenbedingungen hatte einen Anstieg der Nachfrage an modernen Lagerflä-

chen, die vor dem Jahr 1990 praktisch nicht zugänglich waren, zur Folge. Die 1989 begonnene Änderung des Wirtschaftssystems hatte auch eine Veränderung des nationalen Logistiksystems zur Folge; ein Markt für Logistikimmobilien (Abb. 3) begann sich zu entwickeln. Komplexe Güterverkehrszentren (GVZ), die sich von Lagerzentren durch das Vorhandensein intermodaler Transportlösungen unterscheiden, entwickeln sich jedoch nur langsam. Der Markt für moderne Lagerflächen ist momentan von monomodalen Lagerzentren geprägt. Der Bedarf an modernen Lagerflächen wird in Polen gegenwärtig hauptsächlich durch die Errichtung von Lagerobjekten durch Bauherren (Developer) ohne zusätzliche intermodale Infrastruktur erfüllt, da Polen nie ein nationales Programm für die Gründung von GVZ hatte. Alle Initiativen in diesem Bereich fanden keine Unterstützung seitens des Staates und der öffentlichen Finanzen (Abb. 2).

Daher ist die Gründung von folgenden vier Logistikzentren (GVZ):

1. Śląskie Centrum Logistyki S.A. in Gliwice,
2. Wielkopolskie Centrum Logistyczne Konin-Stare Miasto S.A. in Konin
3. Centrum Logistyczno-Inwestycyjne Poznań Sp, z o.o. (CLIP) in Swarzędz bei Poznan
4. Euroterminal Slawkow

eine Spitzenleistung und das Ergebnis der Willenskraft der Gründer. Abbildung 3 zeigt die GVZ-Standorte.

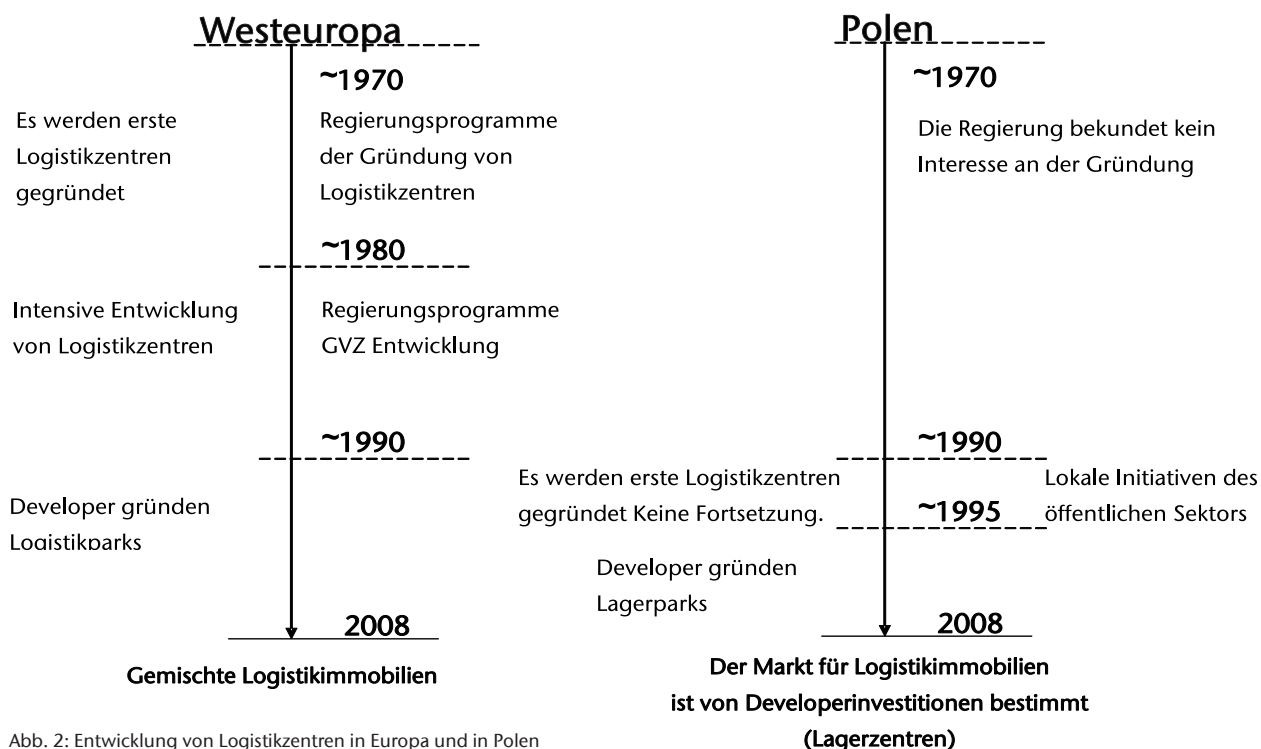


Abb. 2: Entwicklung von Logistikzentren in Europa und in Polen

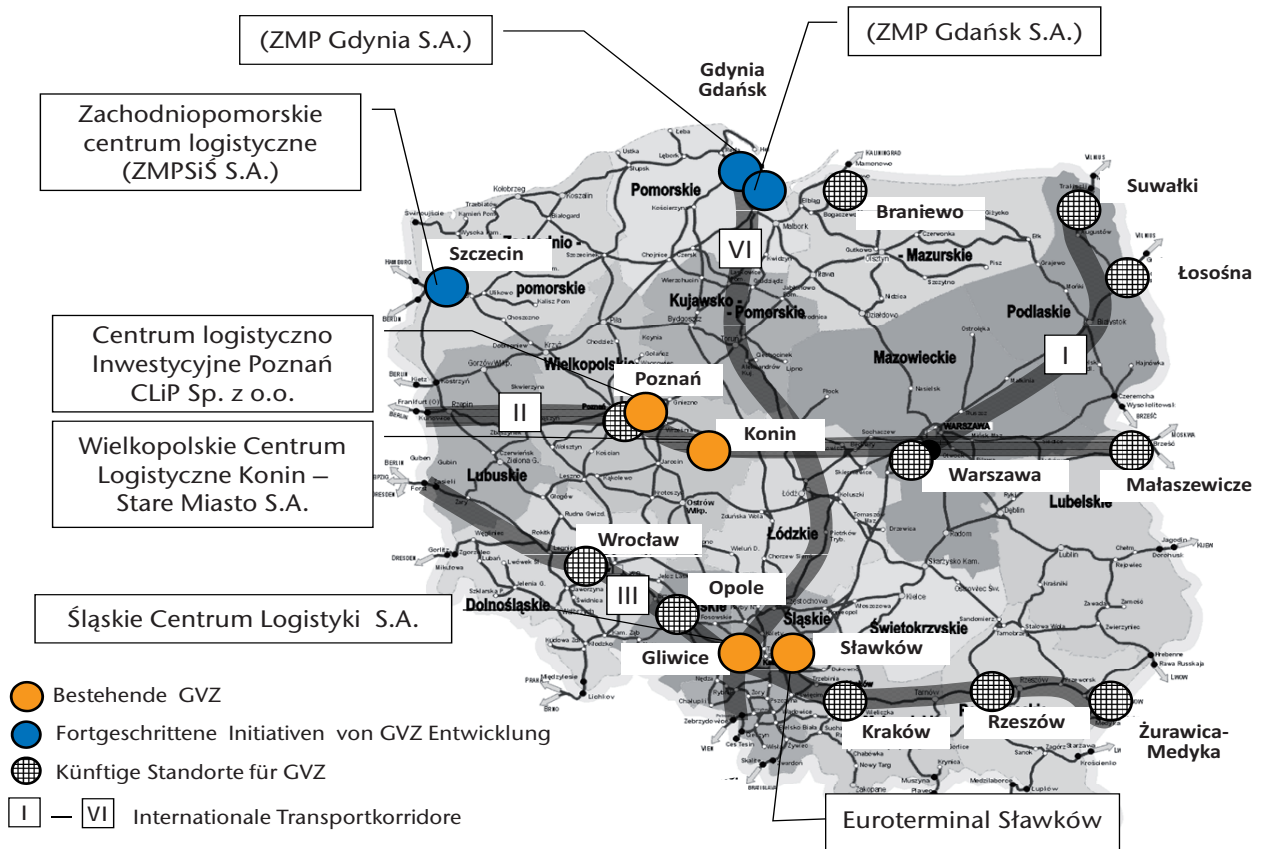


Abb. 3: GVZ Standorte in Polen, Quelle: Eigenstudie, Karte [http:// www.pr.pkp.pl/](http://www.pr.pkp.pl/)

Besonders bemerkenswert ist die Entwicklung des **Śląskie Centrum Logistyki SA in Gliwice**. Dieses Logistikzentrum liegt im Bereich der Freihandelszone an der Kreuzung zweier Europäischen Transportkorridore: Berlin/Dresden-Wrocław-Lvov-Kiev (III) und Gdańsk-Katowice-Zylin (IV). Der auf dem Gelände befindliche Binnenhafen wurde 1939 in Betrieb genommen. Auf der Liste der Investitionspläne stehen u. a. der Bau von 80.500 m² Lagerfläche (geschlossen), 25 500 m² Lagerplatz (befestigt), Vergrößerung des Containerterminals bis zu 7,4 ha (Technische Daten des Terminals: Stellplatzkapazität 3.000 TEU, Jahresumschlag 60.000 TEU, 6 Bahngleise, 4 Reachstacker).



Abb. 4: GVZ in Gliwice

Andere moderne Logistikimmobilien entstehen vor allem in den fünf Woiwodschaften [1]: Mazowieckie, Łódzkie, Wielkopolskie, Śląskie und Dolnośląskie (Abb. 5). In diesen Woiwodschaften konzentrieren sich über 97% der nach 1995 neu geschaffenen Lagerfläche.

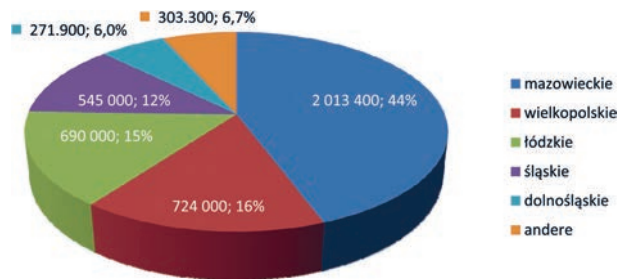


Abb 5: Moderne Lagerflächen in Polen 2008 (Logistyka Polsce 2007)

Über den Standort neuer Logistikimmobilien entscheiden vor allem folgende Faktoren: Größe der Ballungszentren, Einwohnerzahl, Kaufkraft, Charakter und Umfang der Produktion, Zugang zur Verkehrsinfrastruktur, wobei die Straßenanbindung den Vorzug hat. Die meisten Lagerobjekte in Polen haben keinen Anschluss an die Schienen-Infrastruktur.

Polen hat zahlreiche Vorteile, eine europäische Logistikregion mit einer großen Anzahl moderner Lager-

objekte zu werden, jedoch gibt es auch Probleme und Widersprüche:

Paradoxon 1 – der schlechte Zustand der Straßeninfrastruktur begünstigt die Nachfrage an neuen Lagerflächen. Dieser Umstand steht nicht im Widerspruch zu der stattgefundenen Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur, denn dieser Prozess verläuft nur allmählich und lokal. Wachsende Anforderungen der Unternehmen an Zuverlässigkeit und Servicegrad werden mit Problemen konfrontiert, die bei der Planung und Realisierung der Infrastruktur auftreten, denn durch den schlechten Zustand mehrerer Straßen in Polen werden termingerechte Lieferungen gestört. Aus diesem Grund müssen Bestände in Kundennähe gelagert werden, was einen Zuwachs an Lagerobjekten zur Folge hat.

Paradoxon 2 – durch eine geringe Integration der Lieferketten ist die Möglichkeit des Abbaus der Bestände nur beschränkt, was die wachsende Nachfrage an neuen Lagerflächen ebenfalls begünstigt.

Ausblick

Bis einschließlich 2008 haben Investoren – vor allem Developer wie: Prologis, Panattoni und Segro – über 4,5 Mio. Quadratmeter moderner Lagerfläche in Polen bereitgestellt. Diese Zahl berücksichtigt jedoch nicht die Lager von Produktionsunternehmen, die für betriebs-eigene Zwecke errichtet werden. Schätzungen zufolge ist der Inlandsmarkt für Lagerflächen bei Weitem noch nicht gesättigt. Abhängig von der Entwicklung der polnischen Wirtschaft (BNP, Arbeitskosten, Wert der Landeswährung etc.) wird der Bedarf an neuen Lagerflächen in den kommenden fünf Jahren weitere 5 bis 7 Mio. m² betragen. Diese werden jedoch aller Voraussicht nach nicht in den GVZ entstehen, sondern vor allem in monomodalen Lagerparks.

Anmerkungen

[1] Woiwodschaft ist ein polnischer Verwaltungsbezirk als oberste Stufe der territorialen Gliederung.

Referenzen

»Logistyka Polsce. Raport 2007«. Instytut Logistyki i Magazynowania Poznań 2008.

Literatur

- Fechner, I.; Przybycin, W. (2008): Rynek nieruchomości komercyjnych na cele budowy obiektów magazynowych i jego ograniczenia, LOGISTYKA 1/2008 Styczeń – Luty str. 14-16.
- Fechner, I. (2007): Wpływ rozproszenia suprastruktury logistycznej na kształt krajowej sieci logistycznej, LOGISTYKA 3/2007 str. 20-22.
- Fechner, I. (2007): Budowa nowych centrów logistycznych w Europie. XVI Międzynarodowa Konferencja Nowe trendy w transporcie i logistyce. Symbioza jakości transportu i ekologii. Uniwersytet Gdański Wydział Ekonomiczny Katedra Transportu i Logistyki. 12-13 czerwca 2007 r. Sopot.
- Fechner, I.; Szyszka, G. (2007): Koncepcja rozwoju intermodalnego systemu infrastruktury transportowej. VII Międzynarodowa Konferencja TRANSLOG 2007 13-14 września 2007 Szczecin, Wydział Zarządzania i Ekonomiki Usług Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Fechner, I. (2007): Wpływ sektora publicznego na powodzenie budowy centrum logistycznego. II Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Centra logistyczne w aspekcie zrównoważonego rozwoju regionów. Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu. 26.10.2007 Wrocław.
- Logistyka Polsce (2007): Logistyka Polsce. Raport 2007. Instytut Logistyki i Magazynowania Poznań.

Autoren

Dr.-Ing. Ireneusz Fechner

The Poznan School of Logistics
Institute of Logistics and Warehousing
Estkowskiego 6, 61-755 Poznan/Poland
Tel. +48 618504954, Ireneusz.fechner@wsl.com.pl

Mag. Tomasz Janiak

Institute of Logistics and Warehousing
Estkowskiego 6, 61-755 Poznań/Poland
Tel. +48 618504922, Tomasz.janiak@ilim.poznan.pl

Decomposition of dynamic tasks of the optimum control

Khu Ven-Tsen

The method of decomposition for complex multivariate problems of management, based on the account of situations during the moment of acceptance of operating decisions is offered. Unlike known methods of decomposition, it does not show special require-

ments to structure of a problem of management. Assumes data of an initial problem of management to the modified problem considering situations, and a problem of identification of the situations, solved in common at two levels.

Optimization tasks, decisive in automatic systems of control are generally dynamic and must be formulated as follows:

$$F(x, u, y, t) \rightarrow \max_{u(t)}$$

$$\tilde{\alpha}(t) \in X, u(t) \in U, y(t) \in Y \quad (1)$$

where $x(t)$ – is a vector of revolting influence to the object of control; $u(t)$ – is a vector of control; $y(t)$ – is a vector of exits of the object, t – is a variable of time, f – is a criterion function; x – set of possible meanings of a variable $x(t)$ to the account; u, y – set of the allowable meanings for $u(t)$ and $y(t)$ included.

The function of time may be defined as a decision of the given task that provides maximum criterion function $F(x, y, t)$ in changing in the time of revolting influence.

Generally we can see the task as follows:

$$G(x, u, y, t) \rightarrow \max_{u(t) \in U}$$

$$U = \{u : g(x, u, y, t) = 0; h(x, u, y, t) \geq 0\} \quad (2)$$

where g and h – are given vector-marked function in a mathematic model of the object of control and restrictions of the task.

All ratios considered in the task as models and restrictions are set in the class of integrate-differential equations and inequalities.

To the industrial object of a scale of complete production, groups of production considered in the given work as the objects of control of a class of complex tech-

nological system, the number of similar ratios are usually great, and vectors of variable have a big dimension. It causes the increased complexity of the task of control the CTS, decision of which in an automatic system of control with saving exploitation requirements as a rule is quite complicated or impossible.

In similar situations the use of methods of decomposition can be a decision of the problem, realized in centralized systems of control with hierarchical structural organization.

They suppose to reduce the item of information of an initial task to the set of more simple local tasks by separate structural elements in the structure of the CTS and the task of coordination.

Thus, as a decision of the task of coordination appears such meanings of its variable in which decisions of the local task cause the decision of the initial task of control. In case of its increased complexity we can use the two-leveled procedure of decisions for the local tasks of control. In result a common procedure of the decision of the initial task of control becomes multi-leveled in which the tasks of different levels are connected with hierarchical system of co-subordination.

The methods of decomposition are developed just for statistic tasks of control, but they cannot be used to the dynamic tasks. There is also a decompositional approach to the decision of dynamic tasks of control based on the reduction of the initial task to the consequence of the statistic tasks reflecting current situation on the object of control. In result the decisive task is decomposed by situations.

Thus a simplified statistic task of control may correspond to the considered situation.

The meaning of the suggested approach is concluded in the following situation;

Let us suppose that the revolting influence $x(t)$ on the set of (x) have a nature of peaceable-permanent function. Such allowance is quite legal because the basic influences in controlling the objects of the considered class are appeared by changing the parameters of a quality of the processed raw material when there is a transition from one party of the raw material to the next, or changes of loading to technological aggregates.

In both cases a meaning of the revolting parameters is saved without changes for a sufficient long time.

Taking into account this assumption we can see the possible reduction of dynamic task of control to the consequent decisive statistic tasks in the following situation.

$$F(x, u, y) \rightarrow \max_{u \in U} \\ U = \left\{ u : \begin{array}{l} g(x, u, y) = 0 \\ h(x, u, y) \geq 0 \end{array} \right\} \quad (3)$$

Generally the structure of the given task is left unchanged. But if it is still complex and difficult to solve owing to its big dimension, complexity and the large numbers of functional links between the variables, then we can use the methods of decomposition for static tasks of control. The suggested approach is based on that the task of control in the moment of taking controlling decisions is modified by the structure of variables, and criterion function used by mathematic models and considered restrictions. The aim of such modification is to simplify the task to the maximum on the account of reducing the number of variables and corresponding reformations of the criterion function and considered conditions to the minimum.

Thus, the modified task saves its equivalency to the initial task. The result of this modification is a possibility of efficient decision of reformed task with the use of traditional methods of non-linear programming in the frame of centralized systems of control which have not any special demands to the productivity of the calculating devices. Accordingly, taking of controlling decision is realized by solving the tasks of control of the variable structure.

So we can speak about its original decomposition as the initial task of control is reduced to the set of simplified private task which are solved separately and their coordination corresponds to the choice of the private tasks. In this case the decomposition may be tractate

as temporary, that is realized in the time but not in the space. However, it does not mean a direct account in the task of factor of time.

In the suggested situation it reflects just the next modification of a task in a moment of taking controlling decisions. It is necessary to note that pointed modification of the initial task of control and its transformation to a more simplified private task certainly means their some rudeness.

Generally we cannot guarantee a complete coincidence of decisions of the initial and modified tasks. It is possible only with some error. So speaking about the equivalency of the given tasks we must take into account that it is implied in definite limits and might be estimated by different parameters of correspondence. However, this circumstance cannot be an obstruction to the practical use of suggested approach. In the ranked decision of the similar tasks in the system of control we cannot define the required optimum, but its some approximation, in the form of any point, from given vicinity of a point of the optimum, that is the decision is always found with some error.

So some disconnection in solving an initial and modified task is quite allowable. The important thing is that it ought not to exceed its given limiting meaning.

Achieving decisions of the tasks of control with high accuracy is not important in real conditions because their reproduction on the object of control with the use of automatic system of regulation and technical executive devices are always realized with some error, materially exceeding the allowed errors in the decision of the tasks of control.

On the base of the modifications of the tasks of control lies an estimation of the situation in the CTS to the moment of taking controlling decision. Generally under the situation we mean some generalized characteristic of the current condition of the object of control. It can be defined by the set of meanings of coordinates of a condition, structure of its elements, receiving an increment, the size and mark of the given increment, the degree of conformity of settlement meanings of parameters of a condition of object and the degree of the observance of working restrictions.

There are different possible ways of an estimation of the situation in the certain tasks of control. In most cases when adoption of the controlling decision is connected not only with the appearance of the revolting influence on the object, as an estimation of the situation we can use the current meaning of the entrance

variable x . The structure of an efficient variable of the tasks of control, mathematic models of the CTS and conditions in restrictions are defined in accordance with the suggested approach and on the basis of analysis of the current situation.

In result all insignificant variables are cut out, so the criterion function, the models and restrictions are aptly transited and simplified that lead to the simplification of the tasks of control on the whole.

The important advantage of the suggested approach is that it does not have any special requirements on the structure of the tasks of control, its criterion function and considering conditions as it happened in the methods of decomposition above. The basic requirement here is an opportunity of division and recognition.

Let us look at the substantial party of the suggested approach called decomposition on situations or situate decomposition. The initial task of control is reduced to the set of private subtasks, each of that corresponds to the definite situation in the object of control. There is also an additional task of recognition of the current situation appeared on the object of control, and on account of which there is an appeal to the private subtask. The task of recognition of the situation is tractate as the task of coordination when the private subtask is considered as a counterpart of the local task of control.

The task of recognition of the current situation, identified with a task of coordination is formulated as follows:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & R \\ (x, u, y) : \rightarrow i, M_i \end{matrix} \quad (4)$$

where $\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ (x, u, y) \end{matrix}$ – are concrete meanings of the entrance variable x , of the control u and exits of y objects of control, i – is a number of situation, M_i – is a set of variable of the task of control, considering in i -situations, $M_i \subset M = X \cup U \cup Y$, X, U, Y – set of variables x, u, y , as well, R -is an operator of representation of the vector (x, u, y) , in pare with i, M_i .

The meaning of the formulated task is that vector of the current meanings of the variable x, u, y in a moment of taking decisions are displayed on means of the operator R in the number of situation i and set of M_i variables of the task (3), efficient in a given situation. Meanings of the functions f, g and h cannot be taken into account, as they are defined by meanings of their arguments x, u, y . Private or local task is formulated as follows:

$$F_i(x_i, u_i, y_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i \subset U}$$

$$U_i = \left\{ u_i : \begin{matrix} g_i(x_i, u_i, y_i) = 0 \\ h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0 \end{matrix} \right\}$$

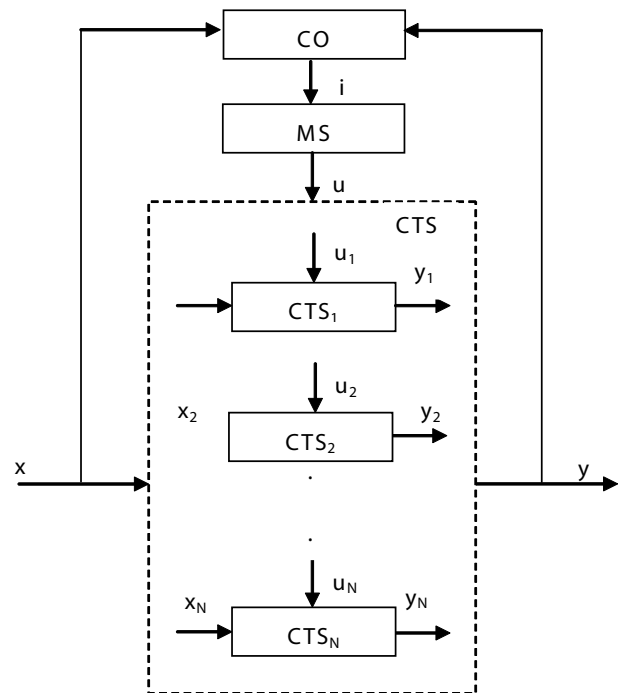
$$\bigcup U_i = U$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Here i – is a number of current situation, N – is a number of possible situations, x_p, u_p, y_i – modified vectors of the entrances, control and exits of the object, F_i – is modified criterion function, caused by modified vector-marked functions, g, h, U – set of the allowable decision of the initial task. The tasks suggest two-levelled plan of adoption of controlling decisions. Corresponding system of control gains a structure given in the picture 1. CTS_{*i*}, $i=1, 2, \dots, N$ – CTS, modified with i -situations, CO – is a coordinating organ, MS – is a managing system, deciding the modified task of control.

In a suggested systems of control, CO makes current estimation of the situation in CTS by its identification on the set of considered situations and forms a structure of modified task on the basis of a task on account of excluding the variables of a small importance.

Co-component composition of vectors of the variables x_p, u_p, y_i in the task may be different and implies some numerous M_p , number of full composition variables M . Components of vectors x_p, u_p, y_i having been chosen by this way are most efficient in this situation.



Picture 1: The structure of systems of control, realizing the method of situate decomposition.

The suggested principle of control may be considered as a counterpart of an adaptive control. The difference in this case is that the identification of situation on the object is realized with consecutive change of the initial task of control of modified task, instead of identification of the mathematic model of the object control.

So in case of adaptive control the structure of a model and tasks of control remain without changes, but the structure of modified task might change.

Generally identification of the situation is connected with the decision of the task of its recognition, the content and methods of decision which depends on specification of the objects of control and considering situation in managing given object.

So the system of control gains the property of a system with a variable structure and the object of control becomes decomposed on situations.

The system of control is centralized and distributed at the same time, connecting the principle of centralized control in the frame of current situation with decomposition of the object of control on situations, causing decentralization of control on the whole.

Literature

- Ven-Tsen, Khu; Volodin, V. M. (2007): About the algorithm of decomposition in the tasks of optimization of chemical-technological system ZH. TOHT AN UCSR, t. HP, No 6, p. 889-895.
- Ven-Tsen, Khu; Umbetov, U. (2007): Decentralized control of multi-measured objects with decomposition on situations. ISSN 0002-3191. Intelligence of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, the physical- mathematical series, 2007, p.82-85.

Author

Khu Ven-Tsen

South Kazakhstan State University named M. Auezov.

Shymkent city, Kazakhstan

Situational decomposition in controlling complex objects

Khu Ven-Tsen

The method of optimum control of the complex multivariate objects, based on the account of situations during the moment of acceptance of operating decisions is offered. The method allows to reduce the initial problem of management complicated for

the decision, to set of more simple consistently solved problems representing the modified initial problem. The method is realized in a control system of the variable structure combining principles of centralized and decentralized management.

To a creation of automatic system for the optimum control by major industrial objects often prevents a high complexity appeared in the task of control caused by a big dimensionality and presence of numerous functional links between the parameters of the condition, which obstructs its effective decision. In similar situations we can use the methods of decomposition, letting to reduce the complex and multivariate task of control to the set of more private subtasks, joint decision of which can lead to the decision of an initial task.

In this article the author suggests some aspect of realization of one of these methods, which is called decomposition on situations.

The well-known methods of decomposition, which are applied to the tasks of control by the object, allowing a division to some numbers N -structural elements-subsystems, for each of that we can formulate own purpose of operation (for). So these tasks must have a property of separity, that is to allow a division to the subtasks. They can be formulated as follows:

$$\sum_{i=1}^N f_i(x_i, u_i) \rightarrow \max_u$$

$$g_i(x_i, u_i) = 0, i = 1, 2, \dots, N$$

$$h_i(x_i, u_i) \geq 0, i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{j=1}^N C_{ij} y_j, i = 1, 2, \dots, N$$

where x_i, u_i - are vectors of entrances and controls of i -subsystem, g_i, h_i - are given vector-marked functions in the mathematic models of subsystems and considered restrictions; C_{ij} - is a matrix of zeroes and units, de-

scribing the connection of i subsystem with the exits of j subsystem.

In result of decomposition the task is reduced to N local task of control:

$$f_i(x_i(s_i), u_i(s_i)) \rightarrow \max_{u_i \in U_i}, i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

and to the task of coordination:

$$\sum_{i=1}^N f_i(s_i) \rightarrow \max_{s \in S} \quad (3)$$

$$s=(s_1, s_2, \dots, s_N), S=S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N$$

where s_i, U_i - is a parameter of coordination and a set of allowable decisions to i -local tasks, s - is a set of allowable meanings of parameters of coordination; S_i - is a subset of S to i -local tasks.

The difference of the method of decomposition on situation is that it does not have any special requirements to the structure of the task of control. Thus, it suggest an allocation of only one local task, that in different situation of adoption of controlling decision can change its structure. The property of the method is concluded in simplification of the task of control, on account of the account of situation of decision making, in which only a part of the variable from the full structure can be efficient.

It means that the other variables does not have an observable influence on condition of the object of control. In this case the initial task of control is formulated as follows:

$$F(x, u, y) \rightarrow \max_{u \in U} \quad (4)$$

$$U = \{u : g(x, u, y) = 0; h(x, u, y) \geq 0\}$$

where x, u, y – are vectors of entrances, control and outputs of the object of control; U – a set of allowable control; g, h – are given vector-marked functions in a model of object and restrictions.

And the task is reduced to a set of modified private tasks, considering the situation of decision making, as;

$$F_i(x_i, u_i, y_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i \subset U}$$

$$U_i = \left\{ u_i : \begin{array}{l} g_i(x_i, u_i, y_i) = 0 \\ h_i(x_i, u_i, y_i) \geq 0 \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\bigcup U_i = U$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

and to the task of coordination as:

$${}^0_0 R(x, u, y) : \rightarrow i, \overline{D}_i \quad (6)$$

here i – is a number of current situation, N – is a number of possible situations, x_i, u_i, y_i – are modified vectors of entrances, controls, and outputs. F_i – is a modified criterion function, U_i – are modified set of U , given with account of modified functions g, g_i, h, h_i, x, u, y – are meanings of variables x, u, y in the moment of decision making. \overline{D}_i – is a set of variables of the task of control, considering in i -situations. $\overline{D}_i \subset D = X \cup U \cup Y, X, U, Y$ – are set of the structure of component vectors x, u, y as well. R – is an operator of reflection of the vector in pare with i, \overline{D}_i .

The task will evidently be less complicated than the task. But together with that, parts of them can still be left complicated. Their use in the system of control will be complicated on the point of provision of the time of decision, setting in the periods between the appeared situations.

In this case the possible variant is when the task is solved earlier and its result is entered in the memory of the computer. In necessity it is reproduced without the immediate decision of the tasks of control. By the similar way we can also act with the repeating situations. Besides if a structure of the task allows, that is, if the task is separable then it can be decomposed in accordance with one of the known methods.

The basic problem, connected with the realization of the considered approach is consisted in the building of the operator of the reflection R for identification of the current situation. Its task, in an analytical form, in particular cannot be possible in the form of function $R(x, u, y)$ as a rule, because it is difficult to reveal the

regularities, connecting the constant changing meanings of the variables of the task with discrete meanings of the numbers of situation. By this reason as the basic method of the task of operator R becomes the use of numerical procedures of selective selection of signs of situations. In general the number of possible situations are exceedingly big and a full specification of each situation requires the account of big numbers of signs, that leads to the complex calculating schemas or to the necessity of building of the expert systems.

Another problem consists in revealing the important variables of \overline{D}_i , in the modified task to the each number of situation i . Such separation suggests making the estimation of sensibility of the output variables y , to the allowable in- i -situations, changes of controlling variables, on the given meaning, or the decision of additional tasks, an identification of the model of object of control with the definition of optimum structure of a model.

To the decision of the pointed problem we suggest to consider not all possible situations but only the standards which are significantly less.

Appearing current situations are correlated with standards and in saving the definite conditions is equated to the concrete typical situations. In condition of real production usually a systematization of standard situations is possible, connected with taking of controlling decision to the concrete object.

Thus, for each standard situation there may be formulated the modified tasks of control in which only the efficient variables and conditions in restrictions are considered. At the same time the systems of signs may be built on which a concrete variables of standard situation is identified. In this case the consistent excess of a system of signs of standard situation guarantees the identification of current standard situation.

The quality of control may be exceeded on account of simultaneous account of two or more standard situations when the appearing current situation cannot be uniquely referred to the one of standard situations. On this event a mechanism of discovery of a general variable must be provided for crossing situations, from which is formed a composition of variable of the modified task of control, with addition of private variables of considered situation.

In the real systems of control the production of controlling decision is connected with the appearance of revolting influences caused by changes of meanings of the factors of quality of processed raw material or

changes of loading on the technological equipment. So the estimation of situation is realized on meanings of the variable x .

On this method of estimation their possible number N in general is enough great as it is defined by the number of possible combinations of the component vector x , but also by the number of possible discrete meaning to each component of x_i . But if the dimensionality of vector x is equaled to n , and the number of possible discrete meaning to each of components are equaled to m , the quality of situation on the account is defined by correlation

$$N = \sum_{i=1}^n i \cdot m \cdot \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (7)$$

The identification of such number of possible situation is changed to a difficult problem, which complicates a practical use of the considered method. In this connection we take into account only the standard situations. The standard situation applicable to the considered situation is characterized with its efficiency in the definite part of the component vector of control u , that is only these components have an influence on the condition of the object of control and are considered as given constants.

For the standard situations a task can be simplified on the account of reduction of the numbers of considered variables, corresponding the simplification of the criterion function and mathematic models and restrictions.

In result a decision of the given task and control of the object is simplified as a whole.

The control with the use of standard situations is approached to the principles of control by productive and technological processes realized by a person. The use of a full composition of parameters of control is here observed in exclusive situations than in usual practice. Herewith, coming to a conclusion a person acts by his gained experience and systemized standard situations with which he correlates the appearing current situations.

Normal move of the processes is valued as collection of staff, that is the standard situation for which known and worked out an efficient algorithm of the reaction and decision making. Supernumerary situations are considered as exclusive, requiring to find the corresponding algorithm of the reaction and production of the controlling decision. Such algorithms are usually built on the base of a combined account of the standard

situation. If this built algorithm of decision making turns out to be efficient it is remembered and but the corresponding situation is translated in the category of staff. Thereby in the course of time the number of possible supernumerary situations is reduced and the control is approached to the actions in a condition of only staff situation. The last circumstance may be referred to a certain dignity of the situational principle of control and it can be characterized as the control with accumulation of information about a behavior of the object of control.

The system of control realizing the given principle gains a property of self-training.

Now we can formulate the considered principle of control with decomposition on situations.

Let us mark through D -set of situations considered in the task (5) for each of which corresponds their own structure of the efficient variables.

Let us suppose that the given set of D allows a division on L subsets D_k , $k=1,2,\dots,L$ corresponding to the standard situation.

All current situations are valued on attribute to determinate the set of D_k , $k=1,2,\dots,L$, but the task (5) is changed by equivalent task for standard situation D_k .

Division of the set D into subsets D_k , $k=1,2,\dots,L$ can be realized on a base of formatting the system of distinguishers of the standard situation. As such signs besides the meaning of component vector x , there may be used the number component, receiving increment, the size and mark of this increment and other quantitative estimations.

In the most simple event the selected standard situations will not have an intersection that is:

$$D_k \cap D_j = \emptyset, k=1,2,\dots,L; j=1,2,\dots,L; k \neq j \quad (8)$$

It means that only separate standard situation will exist in the process of control in its clean type.

However such a delimitation presents an exception than a rule. In the most general case the condition is not executed, t.e the standard situation can be crossed on separate signs. Then in the task must be taken into account all standard situations on which exists an intersection.

Reference of the current situation to the standard is realized on a base of calculation of all distinguishers of the standard situation with their following collation with systems of signs for separate standard situation. It will correspond to such standard situation for which ex-

ists coincidence on all signs. The absence of such standard situation will mean a property of current situation to the crossing standard situations that is the presence of distinguishers of the current situation which belongs simultaneously to the different standard situations.

With the account of given circumstance the task of coordination for most general cases, may be formulated as the task of definition of distinguishers of the current situation, belonging to the different standard situations with following association of crossing situation. The given task can be formulated as follows:

$$\begin{aligned} d = 0; a_j = 0, j = 1, 2, \dots, L; \\ \exists k = 1, 2, \dots, L; p_s \in P_k, s = 1, 2, \dots, S \Rightarrow \\ \Rightarrow d = 1; b_k = 1; a_k = 1 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\bar{D} = \bigcup \bar{D}_j, j = 1, 2, \dots, L \quad (10)$$

where d, b_{ks} и a_j – are auxiliary variables used as the indicators, p_s – s a sign of situation, P_k – is a set of distinguishers of L -standard situation, D – is a set of variables considered in the modified task of control, \bar{D}_i – is a crossing set of standard situations for which $a_j \neq 0$.

In the absence of crossing signs the task is reduced to the following excess of system of the signs of standard situations P_k with the purpose of finding the system, which completely coincides with the signs of standard situation.

The given task may be formulated in the form of:

$$d = 1 \Rightarrow \sum_{s=1}^S b_{ks} \rightarrow \max, k = 1, 2, \dots, L; \bar{D} = D_{k^*} \quad (11)$$

A decision of the given task is $k=k^*$, to which the sum of meaningful signs of standard situation $\sum_{s=1}^S b_{ks}$ – is maximum.

Accordingly the set of considered variables of the modified task of control is – D_{k^*} .

Local task of the second level in this case may be presented as:

$$\begin{aligned} F_i(x_i, u_k, y_i) \rightarrow \max_{u_k \in U_k} \\ U_k = \left\{ u_k : \begin{cases} g_k(x_i, u_k, y_i) = 0 \\ h_k(x_i, u_k, y_i) \geq 0 \end{cases} \right\} \\ \bigcup U_k = U \\ i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (12)$$

Where i – is a number of current situation, k – is a number of standard situation. $i \in \{1, 2, \dots, N\}; k \in \{1, 2, \dots, L\}$.

The suggested method of decision of a task may be characterized as a method of decomposition on standard situation. Accordingly, the system of control, realizing the given method-will be decentralized system of situate control.

The method is also may be considered as a method of projection of an initial task U , the subsets $U_k, k=1, 2, \dots, L$.

The considered principle of control is considered quite perspective as it is approached to the principles of natural control, realized by a person. It promotes increasing a level of intellect of system of control, giving to it more high flexibility and increasing the number of the degrees of the liberty in ,that it does not present some special requirements to the structure of the problem of control, in connection with the area of its using can be broader in contrast with all known methods of decomposition.

Literature

- Ven-Tsen, Khu; Volodin, V. M.; Mamykov, D. U. (1989): Decomposition on situations in controlling complex CTS. Coll. Modeling and optimum control of technological processes. DD 4119-PR 88 p. 92-102, Deponir. scientific works of VINITI, No 3.
- Ven-Tsen, Khu; Umbetov, U. (2007): Decentralized control of the multivariate objects with decomposition on situation ISSN 0002-3191. Intelligence of the National academy of Science of the Republic of Kazakhstan, physico-mathematical series, No 1, p. 82-85.
- Ven-Tsen, Khu; Volodin, V. M. (1978): About the algorithm of decomposition in the tasks of optimization of chemo-technological system. TOHT AN UCSR, t. XII, No 6, p. 889-895.

Author

Khu Ven-Tsen
South Kazakhstan State University named M. Auezov.
Shymkent city, Kazakhstan

КАЗАХСТАНСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПЕРЕХОДЯТ НА МСФО

Е. М. Бутин (E. M. Butin)

Предисловие

В настоящее время все в большей степени получают признание два глобальных языка финансовой отчетности: Международные стандарты финансовой отчетности (International Financial Reporting Standards – IFRS) и Общепринятые принципы бухгалтерского учета США (Generally Accepted Accounting Principles – GAAP). Многие страны при выборе отдают предпочтение МСФО, так как, по свидетельству мировой практики, IFRS все в большей мере признаются достигшими уровня завершенности и точности при подготовке отчетов компаниями по международным стандартам.

В чем же проявляется необходимость и преимущества международной стандартизации бухгалтерского учета, обусловившие их становление и развитие? Выделим основные группы факторов:

- обеспечение потребностей инвесторов;
- облегчение работы транснациональных корпораций;
- совместное использование бухгалтерских знаний.

В текущем году почти все предприятия (за исключением государственных организаций) Республики Казахстан переходят на МСФО. Так, согласно Закону РК [2] определено, казахстанские компании должны составлять финансовую отчетность в соответствии с МСФО:

- для отдельных организаций, определяемых в порядке, установленном Правительством Республики Казахстан, – с 1 января 2003 г.;
- для акционерных обществ – с 1 января 2005 г.;
- для иных организаций – с 1 января 2006 г.

Казахстан

Как же этот вопрос решается в Казахстане? Отчетность по МСФО станет третьей, а для некоторых предприятий и четвертой системой учета, помимо налогового, бухгалтерского и управленческого учета. По своей сути бухгалтерский учет и финансовая отчетность составлялись отечественными предприятиями, в основном, только для пользователей налоговых органов, и не полно удовлетворялись требования других внешних пользователей. Между тем, согласно МСФО цель составления финансовой отчетности – это представление информации о финансовом положении, результатах деятельности, и изменениях в финансовом поло-

жении компании, которая нужна широкому кругу пользователей при принятии экономических решений [3].

Несмотря на определенный опыт казахстанских компаний в ведение учета и подготовки финансовой отчетности в соответствии национальных стандартов бухгалтерского учета, которые были гармонизированы к МСФО, тем не менее, вхождение их в МСФО потребует приложения определенных сил, времени и затрат. Основными препятствиями внедрения МСФО в Казахстане, преодоление которых будет сложным, являются:

1. Главная трудность для практических работников в том, что МСФО определяют общие принципы, подходы к учету и составлению финансовой отчетности, а не детальные процедуры. Они не выдвигают конкретных правил и инструкций, форм первичных документов и учетных регистров. Нет привычного для нашего бухгалтера Типового плана счетов и типовых бухгалтерских проводок. Нет того методического материала, который был привычен прежней системе учета и отчетности. Крайне затруднительно будет практикующим бухгалтерам при составлении финансовой отчетности учитывать такой принцип МСФО, как приоритет экономического содержания над формой.
2. Отсутствие перевода МСФО на государственный и русский языки.
В соответствие статьи 2-1 Закона РК [2] необходимы публикации МСФО одновременно как на казахском, так и на русском языках. Однако, ни русского, ни казахского отечественного перевода на сегодня в РК нет. Между тем, Комитет по международным стандартам финансовой отчетности (КМСФО) категорически запрещает странам, принявшим решение использовать МСФО, править первоначальный текст стандартов.
3. Отражение активов и обязательств по справедливой или рыночной стоимости. В связи с тем, что казахстанские стандарты бухгалтерского учета соответствуют в основном многим положениям МСФО, переклассификация статей баланса в казахстанском бухгалтерском учете будет не так сложна по сравнению, например, с российским бухгалтерским учетом.
4. Технические сложности могут возникнуть при принятии Нового плана счетов. Министерством финансов РК была

разработана Инструкция (основа) по разработке Рабочего плана счетов бухгалтерского учета, для организаций, составляющих финансовую отчетность в соответствии с международными стандартами финансовой отчетности. Введена в действие с 5 января 2006 года. Инструкция определяет общие требования для предприятий по разработке рабочего плана счетов организаций. Теперь бухгалтеры по своему усмотрению, в зависимости от потребностей, могут варьировать на одних и тех же счетах, те или иные детализированные их виды, что в целом не способствует единообразию в понимании экономической сути бухгалтерских счетов. В то же время, не может быть единого плана счетов для всех предприятий и организаций страны. Однако, новый План счетов разработан в усеченной форме. Так, здесь нет счета брак в производстве, расходы по эксплуатации оборудования, не в полной мере показаны затраты. Более приемлемо было бы вести учет дебиторов и кредиторов на одном синтетическом счете, нет надобности в открытии счетов коммерческих расходов и арендной платы. Одни счета чрезмерно детализированы, например, денежные средства, другие, наоборот, представлены в усеченной форме – «основные средства», что больше соответствует в Плане счетов подразделу, нежели синтетическому счету. Трудно согласиться по объединению на одном счете амортизации и обесценения (сущность которых не адекватна) по: основным средствам, инвестициям в недвижимость, разведочным и оценочным активам, а также нематериальным активам. И таких погрешностей и недостатков предостаточно. Предлагаемый новый План счетов неотреботан, предлагаемая модель синтетических счетов весьма громоздка, в ней нет внутреннего единства и взаимозависимости, она и неудобна для восприятия, здесь не учтены возможные ограничения при автоматизации учета.

4. Раскрытие информации о зависимых сторонах, которые в наших условиях, в ряде случаев, получить довольно сложно. Необходимость раскрытия операций между связанными сторонами обусловлена тем, что такие операции могут привести к результатам, отличающимся от результатов операций между несвязанными сторонами.
5. Противоречия с гражданским и налоговым законодательством. Бухгалтерский учет, его терминология, понятия и категории, являются составной частью законодательства, поэтому внедрение МСФО неизбежно повлечет конфликт, так как многие их положения противоречат соответствующим нормам действующего законодательства.
6. Наиболее сложным в составлении финансовой отчетности по МСФО является составление и раскрытие информации консолидированной отчетности. В консолидиро-

ванной финансовой отчетности должны быть раскрыты: сущность взаимоотношений между материнской компанией и дочерними предприятиями; доли капитала и доли голосующих акций; описание метода, используемого для учета дочерних компаний.

Дополнительные трудности возникают в связи с отдельными изменениями самих МСФО. Так, в 2004г. Комитет МСФО предпринял ряд дополнений, направленные на большее применение рыночной оценки активов и обязательств, а также на трансформацию стандартов учета с GAAP США.

Как известно, МСФО лишь регламентируют подготовку и составление отчетности, не затрагивая сам процесс учета, что вызывает много вопросов и непониманий среди бухгалтеров. Так, не совсем ясно, как будет регламентироваться сам процесс учета? Кто будет контролировать соответствие отчетности требованиям МСФО? Будут ли отменены ныне действующая система учета и отчетности? Как необходимо составлять рабочий план счетов?

Министерством финансов РК была разработана Инструкция (основа) по разработке рабочего плана счетов бухгалтерского учета для организаций, составляющих финансовую отчетность в соответствии с МСФО [4].

Рекомендуемая Инструкция определяет общие требования по разработке рабочего плана счетов бухгалтерского учета. Рабочий план счетов предусматривает четырехзначную кодификацию синтетических счетов бухгалтерского учета. Первая цифра номера указывает на принадлежность к разделам, вторая – на принадлежность к подразделам, третья – на принадлежность к группам синтетических счетов, четвертый знак не задействован, и оставлен свободным для самостоятельного использования организацией. Счета должны быть представлены по степени убывания ликвидности.

Рабочий план счетов содержит следующие разделы:

1. Раздел – «Краткосрочные активы».
2. Раздел – «Долгосрочные активы».
3. Раздел – «Краткосрочные обязательства».
4. Раздел – «Долгосрочные обязательства».
5. Раздел – «Капитал и резервы».
6. Раздел – «Доходы».
7. Раздел – «Расходы».
8. Раздел – «Счета производственного учета».

Как показывает мировая практика, такой подход характерен для многих западных предприятий.

Многие экономисты ошибочно считают, учетная система в развитых странах запада не регулируется государством, основную роль играют профессиональные бухгалтерские организации. Между тем, это не совсем так. Если обратим-

ся к опыту развитых зарубежных стран то, видим, что здесь существует как прямое регулирование на уровне государственного управления, так и косвенное посредством мандатного управления.

К прямому регулированию бухгалтерского учета следует отнести организацию учетного процесса Франции, Германии и др. Косвенное регулирование характерно для экономики Великобритании, США и др.

Рассмотрим основные положения регулирования системы учета в этих странах.

В связи с переходом на МСФО казахстанским предприятиям необходимо в первую очередь пересмотреть учетную политику и привести ее в соответствие с требованиями международных стандартов.

Учетная политика по своей структуре и форме изложения состоит из трех блоков:

- общий раздел;
- организационный раздел;
- методический раздел.

В первом разделе необходимо обеспечить соответствие финансовой отчетности компании требованиям всех Международных стандартов финансовой отчетности и Интерпретаций Постоянного комитета по Интерпретациям. Особо следует выделить случаи отступлений от общепринятых допущений при ведении учета и составлении финансовой отчетности, в случаях их допустимости и оправданности, с указанием причин и следствий.

Франция

Бухгалтерский учет французских компаний регламентируется на государственном уровне. Учет регулируется Торговым кодексом, Законом о производственно-торговых компаниях, Законом о национальных компаниях, Декретом 1967 года за №67/236 и налоговым законодательством.

Учетные стандарты разрабатывает государственный орган Национальный совет по бухгалтерии (Conseil National de la Comptabilité – CNC). Это общественная организация, работающая в тесном взаимодействии с Министерством экономики, финансов и бюджетов. Учетный процесс регламентируется Общим планом ведения бухгалтерии (Plan Comptable General – PCG), принятый 1982 году. Он содержит унифицированный план счетов, стандартные формы бухгалтерской отчетности, инструкции и рекомендации по ее составлению, а также другие методические рекомендации. Общий план ведения бухгалтерии включает следующие разделы: общие принципы; терминология; правила оценки; правила исчисления прибыли и убытков; сводные бухгалтерские документы для различных групп компаний;

порядок ведения бухгалтерских документов; ежегодные бухгалтерские документы; расчет себестоимости.

В связи четкой методологической направленностью, План счетов бухгалтерского учета Франции получил широкое распространение во многих странах мира. План счетов основывается на шестизначной системе кодирования счетов, где порядковый номер цифр означают:

- 1 – класс (раздел) счетов,
- 2 – счет,
- 3 – субсчет первого порядка,
- 4 – субсчет второго порядка,
- 5 – аналитический счет первого порядка,
- 6 – аналитический счет второго порядка.

Разделы Плана счетов разделяются на следующие классы:

- балансовые счета (классы 1-5);
- счета «затраты-выпуск» (6-7);
- специальные счета (класс 8)
- счета аналитической эксплуатации (класс 9)–счета управленческого учета;
- резерв для внутренних потребностей компании (класс 0).

Структура французского Плана счетов представлена в таблице 1 [5].

Классы счетов	Содержание
Финансовый учет	
1	Капитал
2	Внеоборотные активы
3	Запасы и незавершенное производство
4	Счета к получению и счета к оплате
5	Финансовые
6	Расходы
7	Доходы
8	Специальные
Управленческий учет	
9	Счета контроля за затратами, группировки и анализа

Таблица 1: Структура французского Плана счетов

Германия

Регулирование бухгалтерского учета осуществляется Коммерческим кодексом, Законом о балансах, Закона о налоге с оборота, Закона о подоходном налоге и Закона о налоге на корпорации. На основании, выше названных документов, приняты Основные положения по организации бухгалтерского учета. Особенностью организации германского учета является жесткая централизация государственного регулирования и использование двух видов отчетности – коммерческой и налоговой.

Ранее действовал единый план счетов. В настоящее время в Германии разработаны, рекомендуемые планы счетов для различных отраслей, исходя из их потребностей. Однако, рекомендуемый Перечень счетов может дополняться и изменяться в зависимости от развития компании.

Германские бухгалтерские счета, как и французские, подразделяются на классы, группы и подгруппы. Структура плана счетов Германии представлена в таблице 2 [5].

Классы счетов	Содержание
0	Постоянные активы и капитал
1	Финансовые счета
2	Доходы и расходы
3	Материалы
4	Затраты по элементам
5-6	Счета себестоимости
7-8	Счета управленческого учета
10	Счета балансовых остатков

Таблица 2: Структура Плана счетов Германии

Великобритания

Для Великобритании характерным является минимальное государственное регулирование. В основе управления лежит двухуровневая система регулирования учетным процессом. Совет по финансовой отчетности (Financial Reporting Council – FRC) осуществляет общее управление учетной политикой и утверждение стандартов. Разработкой самих стандартов, основных методологических документов, регулирующие ведение учета, выявления несоответствия финансовой отчетности стандартам осуществляются Советом по стандартам бухгалтерского учета (Accounting Standard Board – ASB), Оперативной рабочей группой (Urgent Issue Task Force – UITF), Экспертной группой по анализу финансовой отчетности (Financial Reporting Review Panel – FRRP) и Консультативным комитетом бухгалтерских организаций (Consultative Committee of Accounting Bodies – CCAB).

США

Разработкой национальной системой бухгалтерского учета и ее регулированием в США занимаются следующие уполномоченные организации:

1. Государственные органы.

- Комиссия по ценным бумагам и биржевым операциям (Securities and Exchange Commission -SEC);
- Правительственное управление бухгалтерских стандартов для государственных организаций (Governmental Accounting Standards Board – GASB).

2. Профессиональные бухгалтерские организации.

- Американский институт присяжных бухгалтеров (American Institute of Certified Public Accountants – AICPA);
- Комитет по стандартам финансового учета (Financial Accounting Standards Board – FASB);
- Национальная ассоциация бухгалтеров (National Association of Accountants – NAA);
- Американская бухгалтерская ассоциация (American Accounting Association – AAA);
- Институт управленческих бухгалтеров (Institute of Management Accountants – IMA).

Кроме вышеназванных организаций в США существуют и другие органы, которые оказывают определенное влияние на формирование учетной политики, методы учета и разработку стандартов. К ним относятся: Институт финансовых руководителей, государственный департамент по снабжению и налогам и др.

GAAP объединяют правила и процедуры, регулирующие принятую практику учета в определенное время. Документы GAAP разделяются на четыре категории (уровни) от обязательных, до рекомендательных [6].

В регулирование учета преобладает косвенное государственное управление. Основную роль в разработке GAAP в США играют профессиональные бухгалтерские организации, в целом, и FASB, в частности. Однако, при этом следует учесть, что эти полномочия FASB получила от государственной Комиссия по ценным бумагам и биржевым операциям, образованного Конгрессом США. Следовательно, роль государственного регулирования осуществляется через мандатную форму управления, то есть посредством предоставления полномочий определенным организациям от своего имени.

Бухгалтерские счета в США подразделяются на основные, неизменно присутствующие в учетном процессе, и эпизодические, которые используются в нетипичных, разовых операциях. В США отсутствует единый План счетов (Chart of Accounts), каждая компания, исходя из специфики деятельности, сама определяет свой План счетов бухгалтерского учета. Однако, формируемые в компаниях Планы счетов отражают влияние стандартов учета, требования которых сформулированы международными и профессиональными бухгалтерскими организациями.

План счетов разрабатывается на основе общей классификации счетов, которая, в свою очередь, опирается на пять основных элементов финансовой отчетности: активы, обязательства, собственный капитал, доходы и расходы. Поэтому, План счетов компаний содержит, как минимум эти пять основных элементов. Однако, наряду с этими счетами

отдельные предприятия используют такие специфические счета, как оценочные (valuation accounting), которые регулируют оценку отдельных активов, обязательств и капитала. Например, резерв по сомнительным долгам, величина дисконта по выпущенным облигациям, которые служат регулирующими статьями, соответственно для дебиторской задолженности и обязательств по облигациям. Оценочные статьи (счета) не входят в группу счетов, они корректируют стоимостную оценку соответствующих статей. Если оценочные счета увеличивают стоимость соответствующих статей, они называются добавочными (adjunct accounts), а если уменьшают стоимость, – контрсчетами (contra accounts). Добавочные и контрсчета, как правило, отражаются в балансе после тех статей, которые они регулируют. Однако имеют место, когда оценочные счета имеют свою собственную нумерацию. Впрочем, самостоятельно могут нумероваться и различные виды активов, обязательств, собственного капитала, доходов и расходов. Иначе говоря, для компаний США степень детализаций счетов, их названий и нумераций весьма индивидуальны.

Перечень (совокупность) всех счетов, используемых на предприятиях США, приводится на первой странице Главной книги (General Ledger), и представляет собой План счетов данной организации. Нумерация счетов у каждого предприятия индивидуальна, которая группируется по определенной системе. Например, профессиональный план счетов одной из компаний США имеет следующую нумерацию счетов: счета активов начинаются на 0001, счета обязательств – на 1000, счета собственного капитала – на 2000, продажи (счета доходов) – на 3000, административные затраты (счета расходов) – на 5000, счета неоперационные доходы и расходы – на 5040 [7].

Более того, в США нет единых, обязательных отчетных форм. Бухгалтерский баланс и отчет о прибылях и убытках американских компаний отличается большей компактностью и аналитичностью по сравнению с нашими аналогичными формами отчетности. Главные требования, предъявляемое к отчетности США, – понятность (understandability) и полезность для принятия решений (decision usefulness) информации для различных групп пользователей. В американской системе учета, в отличие от международных стандартов, нет единого документа, определяющего общие правила представления информации в финансовой отчетности. Среди разнообразных форм финансовой отчетности можно выделить:

- баланс;
- отчет о прибылях и убытках и совокупном доходе (последний отчет может представляться как самостоятельный отчет, объединяться с отчетом о прибылях и убытках

- или с отчетом об изменениях в собственном капитале);
- отчет об изменениях собственного капитала (в том числе может включать инвестиции и изъятия собственников);
- отчет о нераспределенной прибыли (может представляться как самостоятельный отчет или объединяться с отчетом о прибылях и убытках, или включаться в отчет об изменениях в собственном капитале);
- отчет о движении денежных средств;
- пояснения к данным отчетам.

Для обеспечения пользователей полезной информацией финансовые отчеты американских предприятий содержат сравнимую информацию за периоды, предшествующие отчетному. Баланс, принято представлять за два года (отчетный и предшествующий), а другие отчеты – за три года (отчетный и два предшествующих).

Наши отечественные предприятия, в соответствии с Приказом Министерства финансов РК № 427 от 22 декабря 2005 года [4] обязаны наполнять финансовые отчеты за периоды: бухгалтерский баланс – на начало и конец отчетного периода, а все остальные отчеты – за два года (отчетный и предыдущий).

Заключение

Таким образом, в заключение можно сделать следующие выводы:

Переход отечественных предприятий на МСФО сложный и длительный процесс. Как показывает мировой опыт, ни одна промышленно-развитая страна в мире не использует МСФО полностью как национальные стандарты. Как правило, схожи общие принципы национального учета и МСФО, однако зачастую системы учета имеют значительные отличия. Поэтому, нашему отечественному учету необходимо, используя международный опыт стандартизации учетного процесса и отчетности, стремиться к национальному наполнению системы бухгалтерского учета, творчески переработав тот богатый методологический опыт, который мы имели и имеем.

Думается, что вполне логичным и более предпочтительным было бы создание, на первых порах, управление учетным процессом на уровне государственных органов, с постепенным переходом к двух уровневой системе регулирования: государственных органов и профессиональных бухгалтерских организаций.

К государственным регулирующим органам Республики Казакстан следует отнести Министерство финансов РК, Агентство РК по статистике и Национальный банк РК. К профессиональным бухгалтерским организациям – Палату аудиторов РК, Институт профессиональных бухгалтеров Казахстана, Ассоциация бухгалтеров и аудиторов и др.

Естественно переход на МСФО потребует новых знаний как у специалистов компаний (бухгалтера, экономисты, юристы, производственники и др.), так и у всех других заинтересованных лиц.

Литература

- [1] Комитет по Международным Стандартам Финансовой Отчетности
Разъяснения Международных Стандартов Финансовой Отчетности.
ЮСАИД 2001.
- [2] Закон РК «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности» (с изменениями и дополнениями от 11.06.2004 г. №562-II)
- [3] International Accounting Standards 2002. – IASCF, 2002.-P.F-6.
- [4] Бюллетень бухгалтера / №3 январь 2006.
- [5] Хаханова Н.Н. Международные стандарты финансовой отчетности: Учебное пособие. Серия «Экономика и управление».- Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2002.с.23-24.
- [6] Wiley GAAP 2002. Interpretation and Application of Generally Accepted Accounting Principles 2002/ P.R. Delaney, V.J. Epstein, R. Nach, S.W. Budak.-John Wiley&Sons, Inc., 2001.- P.2-4.
- [7] Малькова Т.Н. Теория и практика международного бухгалтерского учета: Уч. пособие.- СПб.: Издательский дом «Бизнес – пресса», 2001.

Е.М.Бутин, к.э.н., доцент

Dr. oec. E. M. Butin

Академия Банковского Дела

г. Алматы

Dozent der Akademie für Bankwesen

der Stadt Almaty

Methopedia - Brainwriting

Explore

[Homepage](#)

[Search](#)

[Sorted titles](#)

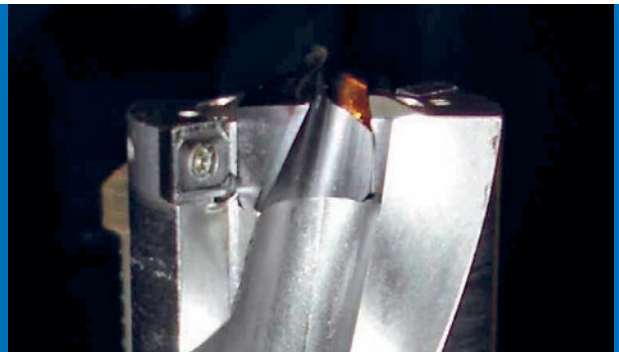
[Most visited](#)

[Brainwriting](#)

Contribute

[Login](#)

Short description



TH Wildau [FH]
Bahnhofstraße
15745 Wildau
www.th-wildau.de