

» Wissenschaftliche Beiträge **2014** «



## **FORSCHUNG, ENTWICKLUNG & LEHRE**

ERKENNTNISSE/KONZEPTE/PROJEKTE

### **SCHWERPUNKTE:**

- » Biosystemtechnik/Bioinformatik
- » Energie- und Umweltmanagement
- » Informations- und Kommunikationstechnologien
- » Logistik
- » Material- und Produktionstechnologie
- » Management und Innovation

# IMPRESSUM

## HERAUSGEBER

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

Prof. Dr. László Ungvári  
Hochschulring 1  
15745 Wildau

Telefon +49 (0) 3375 / 508-300  
Fax +49 (0) 3375 / 508-324

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

## REDAKTIONSKOLLEGIUM DER TH WILDAU [FH]

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme  
Prof. Dr.-Ing. Michael Hendrix  
Prof. Dr. rer. nat. Michael Herzog  
Prof. Dr. Tina Hubert  
Prof. Dr. phil. Olga Rösch

## REDAKTION

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

## GESAMTHERSTELLUNG

### **STÜRMER & DRÄNGER – Visuelle Kommunikation**

Richard-Sorge-Straße 37  
10249 Berlin

Telefon (030) 48 62 47 64  
[kontakt@stuermer-draenger.de](mailto:kontakt@stuermer-draenger.de)  
[www.stuermer-draenger.de](http://www.stuermer-draenger.de)

Titelfoto: Shutterstock

### **ISSN 0949-8214**

18. Jahrgang  
Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge bei Quellenangabe frei.

# WISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE 2014



# INHALTSVERZEICHNIS

Wissenschaftliche Beiträge 2014

## BIOSYSTEMTECHNIK/BIOINFORMATIK

- 7 Effekt unterschiedlich substituierter sulfonierter Polyaniline auf den Elektronentransfer mit Pyrrolochinolinchinon-abhängiger Glukosedehydrogenase  
*David Sarauli, Chenggang Xu, Birgit Dietzel, Burkhard Schulz, Fred Lisdat*
- 17 *Leishmania siamensis* als Erreger von autochthoner kutaner Leishmaniose bei Pferden in Deutschland – eine neue Infektionskrankheit in Mitteleuropa?  
*Denise Sinning, Kernt Köhler, Lutz-Ferdinand Litzke, Gabriele Schönian, Marcus Frohme, Katrin Kuhls*
- 27 Analyse komplexer biologischer Proben mittels oberflächenverstärkter Raman-Spektroskopie (SERS)  
*Janine Lange, Hamza Messaoudi, Susanta Kumar Das, Rüdiger Grunwald, Sigurd Schrader, Marcus Frohme, Friedhelm Heinrich*
- 33 Reannotation des Maize Oligonucleotide Arrays  
*Felix Seifert, Heike Pospisil*

## ENERGIE- UND UMWELTMANAGEMENT

- 37 Nutzung regenerativer Energie als Träger mechanischer Leistung in der Savannenregion Westafrikas  
*René von Lipinski, Jörg Reiff-Stephan*

## INFORMATIONEN- UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN

- 45 A Domain Specific Language for the Automatic Generation of Parser Classes for Text Protocols  
*Thomas Kistel, Ralf Vandenhouten*
- 53 Mobile Surveillance Sensor Network  
*Peter Bernhardt, Michael Hendrix*

## LOGISTIK

- 59 E-Learning-based competence development in logistics  
*Gaby Neumann, Michael Müller, Rudi Köhler*

## MATERIAL- UND PRODUKTIONSTECHNOLOGIE

- 71 New Aromatic Polyesterpolyols Derived from PET Industrial Wastes  
*Eckhart Kornejew, Kiril Dimitrov, Michael Herzog*
- 77 Bestimmung der Kohäsionsenergie- und Vernetzungsdichte von Polymeren mit Hilfe von Quellungsmessungen  
*Vesela Stoycheva, Harald Goering, Dietmar Wolff, Michael Herzog*

## MANAGEMENT UND INNOVATION

- 87 Hybrider Handel als Antwort auf Smart Shopping  
*Lukas Zühlke, Michael Stolle, Bertil Haack*
- 95 Transformation einer EPK in eine formalisierte Methode  
*Klaus D. Bösing, Jan Geldmacher*
- 103 Gründungsausbildung an Hochschulen in Deutschland  
*Christian Schultz, Dana Mietzner*
- 107 Legacy of European Enterprise: Teaching Business History in the International Management Curriculum  
*Marco Althaus*
- 117 Onlinekurs „Interkulturelles Lernen und Arbeiten“ als ein Baustein der interkulturellen Qualifizierung – Anmerkungen zum Einsatz  
*Olga Rösch, Margit Scholl, Bettina Strewe, Christian Niemczik, Anja Teske*



# VORWORT

## PROF. DR. LÁSZLÓ UNGVÁRI

Die Technische Hochschule Wildau hat auch im Jahr 2013 ihre positive Entwicklung fortschreiben können. Die Zahl der Studierenden an der TH Wildau lag 2013 mit ca. 4.250 Studierenden erneut deutlich über 4.000. Damit sind wir die größte Fachhochschule im Land Brandenburg. Im Wintersemester 2013/14 waren fast ein Viertel (23 %) der Erstsemester Bildungsausländer. In der gesamten eingeschriebenen Studentenschaft wuchs der Anteil auf fast 18 %. Über 900 junge Menschen konnten ihre Abschlusszeugnisse entgegennehmen. Seit Bestehen unserer Hochschule haben bislang fast 9.000 Frauen und Männer einen Abschluss der TH Wildau erworben.

Die TH Wildau hat in den vergangenen Jahren ihr Profil weiter geschärft. Strukturell einschneidend war die Zusammenlegung der beiden Fachbereiche Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik und Wirtschaft, Verwaltung und Recht zu dem neuen Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht, die zum Wintersemester 2013/14 vollzogen wurde. Die ingenieur-/naturwissenschaftliche Prägung der Hochschule bleibt sichtbar, wie der Anteil von Studierenden in naturwissenschaftlichen und technischen Studiengängen an der Gesamtstudierendenzahl zeigt. Dieser Wert lag im Wintersemester 2013/14 erneut bei ca. 55%.

Größte Veränderung im Jahr 2013 war die Inbetriebnahme der neuen Gebäude: das Verfügungsgebäude 16 mit Laboren und Büros sowie die Halle 17 mit einem neuen großen Hörsaal. Mit der Übernahme der Gebäude ist die Entwicklung der TH Wildau zur Campushochschule abgeschlossen. Professorinnen und Professoren sowie Mitarbeitern und Studierenden stehen von nun an 7.500 Quadratmeter für ihre Arbeit zur Verfügung.

Die Hochschule hat ihren anerkannten Ruf als Kompetenzzentrum für wichtige Wissenschaftsdisziplinen und als Netzwerkpartner in internationalen, bundesweiten und regionalen Forschungsverbänden für den Wissens- und Technologietransfer weiter gefestigt. Unsere Hochschule erwies sich erneut als ein Vorreiter für Innovationen in Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung. Wildauer Know-how und Erfahrung in der angewandten Forschung und Entwicklung sind gefragt – sowohl bei international tätigen Großunternehmen als auch bei innovativen kleinen und mittleren Unternehmen. Jährlich werden an unserer Hochschule über 220 Projekte von den Kolleginnen und Kollegen parallel bearbeitet. Durch erfolgreich beantragte Projekte und direkte Industrienaufträge konnte die TH Wildau 2013 insgesamt 9,25 Mio. Euro einwerben. Zum ersten Mal lag das Drittmittelaufkommen über 9 Mio. Euro. Durch die Drittmittel erhöhte sich der Haushalt der Hochschule um fast 75%. Das sind bundesweit Spitzenwerte.

Ein Teil der wissenschaftlichen Arbeit einer Hochschule besteht in der Veröffentlichung der Ergebnisse der Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Die Kolleginnen und Kollegen publizieren bereits seit Jahren in international renommierten Journalen. Die Wissenschaftlichen Beiträge der TH Wildau haben sich als wichtiges Medium etabliert, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Ergebnisse ihrer Forschung präsentieren. Dabei wird genauso zum Thema Lehre wie Forschungsschwerpunkten der Hochschule publiziert. Mittlerweile legen wir mit den Wissenschaftlichen Beiträgen 2013 die 19. Ausgabe der Publikationsreihe vor. Ich danke den Kolleginnen und Kollegen für das rege Interesse an den Wissenschaftlichen Beiträgen, und ich



bedanke mich herzlich bei dem Redaktionskollegium für die Begutachtung der eingegangenen Artikel sowie für die Betreuung der Wissenschaftlichen Beiträge.

**Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre der Wissenschaftlichen Beiträge 2014. Die Beiträge sind auch als PDF über das Internet abrufbar, besuchen Sie dazu die Internetseite:**

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

Prof. Dr. László Ungvári

Präsident  
der TH Wildau [FH]





# EFFEKT UNTERSCHIEDLICH SUBSTITUIERTER SULFONIERTER POLYANILINE AUF DEN ELEKTRONEN-TRANSFER MIT PYRROLOCHINOLINCHINON-ABHÄNGIGER GLUKOSEDEHYDROGENASE

David Sarauli, Chenggang Xu, Birgit Dietzel, Burkhard Schulz, Fred Lisdat

## Zusammenfassung

Sulfonierte Polyaniline erwiesen sich bereits als geeignete Polymere für den Aufbau von Biosensoren. Aus diesem Grund setzten wir unterschiedlich substituierte Polymerformen für die Untersuchungen der direkten Elektronenübertragung zum Redoxenzym PQQ-GDH (Pyrrolochinolinon-abhängige Glukosedehydrogenase) ein. Dafür wurden zuerst neue Copolymere synthetisiert. Als Basis für die Synthesen wurden 2-Methoxyanilin-5-Sulfonsäure (MAS), 3-Aminobenzensulfonsäure (ABS), 3-Aminobenzoessäure (AB) und Anilin (AN) ausgewählt und deren Verhältnisse variiert. Alle Copolymere wurden hinsichtlich der direkten Reaktion mit PQQ-GDH untersucht. Diese Wechselwirkung wurde zunächst in Lösung, anschließend auch auf Elektroden beobachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass nur die aus MAS- und AN-Einheiten bestehenden Copolymere in der Lage sind, mit dem Enzym in Lösung direkt zu interagieren, was wahrscheinlich dem Emeraldin Salz (ES) Redoxzustand des Polymers zuzuschreiben ist. Immobilisiert man die Polymere und das Enzym auf Kohlenstoffnanoröhrenbasierten Elektroden, generiert man direkte Bioelektrokatalyse auch im Falle der aus ABS/AB- und MAS/AB-Einheiten bestehenden Copolymere, die sich nach der Synthese im Pernigranilin Base (PB) Redoxzustand befinden. Im Gegensatz zur Situation in Lösung kann auf Elektroden das Potential zusätzlich genutzt werden, um Elektronen vom Enzym auf das Polymer zu übertragen. Solche Polymerbasierten Enzymelektroden besitzen Anwendungspotential in der Sensorik, aber auch in Biobrennstoffzellen.

## Abstract

Sulfonated polyanilines have become promising building blocks in the construction of biosensors, and therefore we use here differently substituted polymer forms to investigate the role of their structural composition and properties in achieving a direct electron transfer with the redox enzyme pyrroloquinoline quinone-dependent glucose dehydrogenase (PQQ-GDH). To this end, new copolymers containing different ratios of 2-methoxyaniline-5-sulfonic acid (MAS), 3-aminobenzenesulfonic acid (ABS) and 3-aminobenzoic acid (AB) units have been chemically synthesized. All polymers have been studied with respect to their ability to react directly with PQQ-GDH. This interaction has been monitored initially in solution, and subsequently on electrode surfaces. The results show that only copolymers with MAS and aniline units can directly accept electrons from PQQ-GDH in solution; the background can be mainly ascribed to the emeraldine salt redox state of the polymer, allowing rather easy reduction. However, when polymers and the enzyme are immobilized on the surface of carbon nanotube-containing electrodes, direct bioelectrocatalysis is also feasible in the case of copolymers composed of ABS/AB and MAS/AB, existing initially in pernigraniline base form. This verifies that a productive interaction of the enzyme with differently substituted polymers is feasible when the electrode potential can be used to drive the reaction towards the oxidation of the substrate-reduced enzyme. These results clearly demonstrate the potential of these polymer-based enzyme electrodes for the construction of biosensors and biofuel cells.

## I. EINLEITUNG

Sulfonierte Polyaniline, die zur Klasse der konjugierten, leitfähigen Polymere gehören, gewannen in der letzten Zeit besondere Aufmerksamkeit auf Grund ihrer hohen Leitfähigkeit im Vergleich zu unsubstituierten Polyanilinen, ihrer verbesserten Löslichkeit, den elektrischen Eigenschaften und der Redoxaktivität in einem weiten pH-Bereich (Liao et al. 2012: 1570; Malinauskas 2004: 214; Pornputtkul et al. 2010: 9982; Yue et al. 1992: 4410). Darüber

hinaus wurden verschiedene Strategien der Funktionalisierung der Polymere durch Dotiersubstanzen oder die Copolymerisierung von Anilinen mit unterschiedlich substituierten Derivaten verfolgt, um Polymere mit besseren elektrokatalytischen Eigenschaften herzustellen, die als Bausteine in der Konstruktion von Biosensoren angewandt werden können (Hatchett et al. 2008: 746; Sassolas et al. 2012: 489; Wallace et al. 2002: 953; Wie et al. 2006: 839; Cosnier et al. 2011: 2146). Da viele Enzyme unter physio-

logischen Bedingungen aktiv sind, ist die Notwendigkeit der Verwendung von leitfähigen Polyanilininformen, die bei physiologischem pH nicht zu Isolatoren werden, von besonderer Wichtigkeit (Liao et al. 2012: 1570; MacDiarmid 2001: 2581; Tran et al. 2009: 1487).

Selbstdotierung kann besonders effektiv durch die Einbringung der Sulfongruppen in Polyanilin erreicht werden. Die selbstdotierten Polyaniline wurden bereits in folgenden

Bereichen eingesetzt und untersucht: (i) Mediator-vermittelte Katalyse von Oxidationsreaktionen unterschiedlicher Alkohole (Saio et al. 2010: 2177) sowie die Detektion von kleinen Molekülen wie Ochratoxin A (Muchindu et al. 2011: 122) oder Diazinon (Michira et al. 2011: 469); (ii) Bindungsreaktionen – z.B. Detektion der DNA-Hybridisierung (Du et al. 2010: 1022; Yang et al. 2011: 140) und (iii) Interaktion mit Redoxproteinen wie Cytochrom c (Zhang et al. 2006: 1107; Sarauli et al. 2012: 3848) und Hämoglobin (Zhou et al. 2005: 303). Darüber hinaus können die negativ geladenen Sulfonsäure-Gruppen die Immobilisierung von Proteinen/Enzymen in einzelne sowie multiple Schichtsysteme auf Elektroden durch elektrostatische Wechselwirkungen begünstigen. Tatsächlich ist bereits über einige Nanostrukturen mit Cytochrom c (Sarauli et al. 2012: 3848; Beissenhirtz et al. 2004: 4357; Oh et al. 2004: 307; Sarauli et al. 2010: 14271) und/oder Redoxenzymen wie Tyrosinase (Mangombo et al. 2010: 267), Glukose Oxidase (Lee et al. 2010: 74), Sulfitoxidase (Spricigo et al. 2008: 972) und Bilirubinoxidase (Dronov et al. 2008: 3000) berichtet worden.

Das Enzym Pyrrolochinolinchinon-abhängige Glukosedehydrogenase (PQQ-GDH) setzt Glukose und andere Aldosen in entsprechende Laktone um. Zudem ist dieses Enzym sauerstoffinsensitiv und katalytisch aktiv bei physiologischem pH. Diese Eigenschaften machen PQQ-GDH vielversprechend sowohl für die Anwendung in der Biosensorik (Oubrie 2003: 143; Tkac et al. 2009: 53; Durand et al. 2010: 750) als auch für die Konstruktion von Biobrennstoffzellen (Flexer et al. 2011: 5721; Göbel et al. 2011: 1240; Razumiene et al. 2003: 83; Tanne et al. 2010: 530). Auch wenn ein direkter Elektronentransfer zwischen PQQ-GDH und Elektroden schwer zu erreichen ist (Ivnitski et al. 2007: 1562; Okuda et al. 2004: 1562), wurde bereits über die mediatorfreie bioelektrokatalytische Umsetzung von Glukose berichtet (Flexer et al. 2011: 5721; Göbel et al. 2011: 1240; Ivnitski et al. 2007: 1562; Sarauli et al. 2012: 4615; Schubart et al. 2012: 224; Razumiene et al. 2006: 5150). Deshalb wurde PQQ-GDH für die Untersuchungen

des direkten Elektronentransfers mit unterschiedlich substituierten Polyanilinen ausgewählt.

Zunächst wurden verschiedene Copolymere chemisch synthetisiert und charakterisiert. Zusammen mit einem bereits veröffentlichten Homopolymer sowie dem Kopolymer aus 2-Methoxyanilin-5-Sulfonsäure (MAS) und Anilin (AN) (Sarauli et al. 2012: 3848) wurden Copolymere herangezogen, die entweder aus MAS und 3-Aminobenzensulfonsäure (ABS) oder 3-Aminobenzoessäure (AB) Monomere bestehen (siehe Abb. 1). Alle diese Polymere wurden für die Untersuchungen des Elektronentransfers eingesetzt. Die Wechselwirkung mit dem Enzym wurde anfangs in Lösung, anschließend auf Oberflächen charakterisiert. Dafür wurden die Polymerfilme auf Buckypapier (zu Papierform gepresste mehrwändige Kohlenstoff-nanoröhren) immobilisiert. Der Einfluss der Polymerzusammensetzung auf die Effizienz des Elektronentransfers mit freier sowie gebundener PQQ-Glukose-dehydrogenase wird diskutiert.

## II. EXPERIMENTELLER TEIL

Alle Chemikalien und Lösungsmittel wurden bei Sigma, Acros Organics und Fluka gekauft und ohne weitere Reinigungsprozeduren benutzt. sGDH (*Acinetobacter calcoaceticus*) wurde von der Roche Diagnostics GmbH zur Verfügung gestellt. Das Enzym wurde in *Escherichia coli* rekombinant exprimiert. PQQ wurde von Wako Pure Chemical Industries bezogen. 18 MΩ deionisiertes Wasser (Eschborn, Deutschland) wurde in allen Untersuchungen benutzt. Frisch destillierte Lösungsmittel wurden für alle chemischen Synthesen eingesetzt. Die Synthesestrategien sind in (Sarauli et al. 2013: 8290) beschrieben. Die Referenzelektrode Ag/AgCl; 1M KCl wurde in dieser Arbeit benutzt.

## III. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, den Einfluss von unterschiedlich funktionalisierten sulfonierten Polyanilinen auf den Elektronentransfer mit dem Redoxenzym PQQ-GDH sowohl in Lösung als auch

im immobilisierten Zustand auf polymermodifizierten Elektroden zu evaluieren. Dafür wurden verschiedene Polymere eingesetzt (Abb. 1 und Tab. 1).

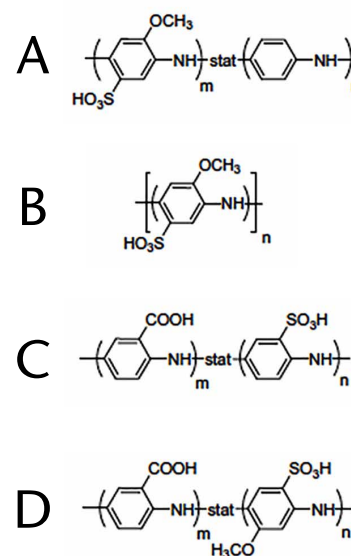


Abb. 1) Zusammensetzung der zu untersuchenden Polyanilin-Copolymere: A) Poly(2-Methoxyanilin-5-Sulfonsäure-co-Aniline) (PMSA1); B) Poly(2-Methoxyanilin-5-Sulfonsäure) (PMSA4); C) Poly(3-Aminobenzoessäure-co-3-Aminobenzen-sulfonsäure) (PABSA); D) Poly(3-Aminobenzoessäure-co-2-Methoxyanilin-5-Sulfonsäure).

Copolymere	Monomerverhältnisse		M <sub>n</sub> [G/Mol]	M <sub>w</sub> [G/Mol]
	m*	n*		
PMSA1	4.5	1	-	-
PMSA4				3680
PABSA1	1.1	1	12500	18700
PABSA2	1.8	1	11300	16700
PABMSA1	1	1.8	13400	15400
PABMSA2	2	1	12400	13500

Tab. 1) Zusammensetzung und Molmassen der zu untersuchenden Copolymere. m\* und n\* sind den Strukturformeln in Abb. 1 zu entnehmen.

SPEKTRALE CHARAKTERISIERUNG DER POLYMERE

Die IR- sowie NMR-Spektren von allen Polymeren wurden bereits veröffentlicht (Sarauli et al. 2012: 3848; Sarauli et al. 2013: 8290). Die UV-Vis-Spektren sind in der Abb. 2 dargestellt.

In der Abb. 2A sind die UV-Vis-Spektren von PMSA1- sowie PMSA4-Polymeren zusammengestellt. Die Anwesenheit von Methoxy- und Sulfongruppen am Anilinring beeinflusst die spektralen Eigenschaften sowie die strukturelle Konformation der Copolymeren. Die gepufferten PMSA1 und PMSA4-Lösungen sind gelb-grün; die Spektren beinhalten sowohl eine deutliche Polaron-Bande bei 469 nm als auch eine eher schwächere Bande bei 320 nm ( $\pi-\pi^*$  Übergang). Alle diese spektralen Eigenschaften charakterisieren den Emeraldin (ES) Zustand (gemischter Redoxzustand: siehe Pornputtkul et al. 2010: 9982).

Abb. 2B und 2C demonstrieren die UV-Vis Spektren von PABSA (siehe Abb. 1C) sowie PABMSA (siehe Abb. 1D). Hier konnten zwei signifikante Banden identifiziert werden: die intensivsten Banden bei 286-290 nm, die den  $\pi-\pi^*$  Übergängen im Benzoidring zuzuschreiben sind (B-Bande), aber auch die kleineren Banden bei 540-550 nm, die den Übergängen in Chinondiimin, Einheiten entsprechen (Q-Bande). Im Gegensatz zu PMSA1 und PMSA4 charakterisieren diese spektralen Eigenschaften den Pernigranilin (PB) Redoxzustand (vollständig oxidierte Form). Sowohl die als Peierls Übergang bezeichnete Q-Bande bei 540-550 nm (Albuquerque et al. 2000: 19; Mav-Golez et al. 2011: 1845) als auch das B/Q Extinktionsverhältnis  $EB/EQ \approx 2.6 - 3.0$  deuten auf den PB Redoxzustand.

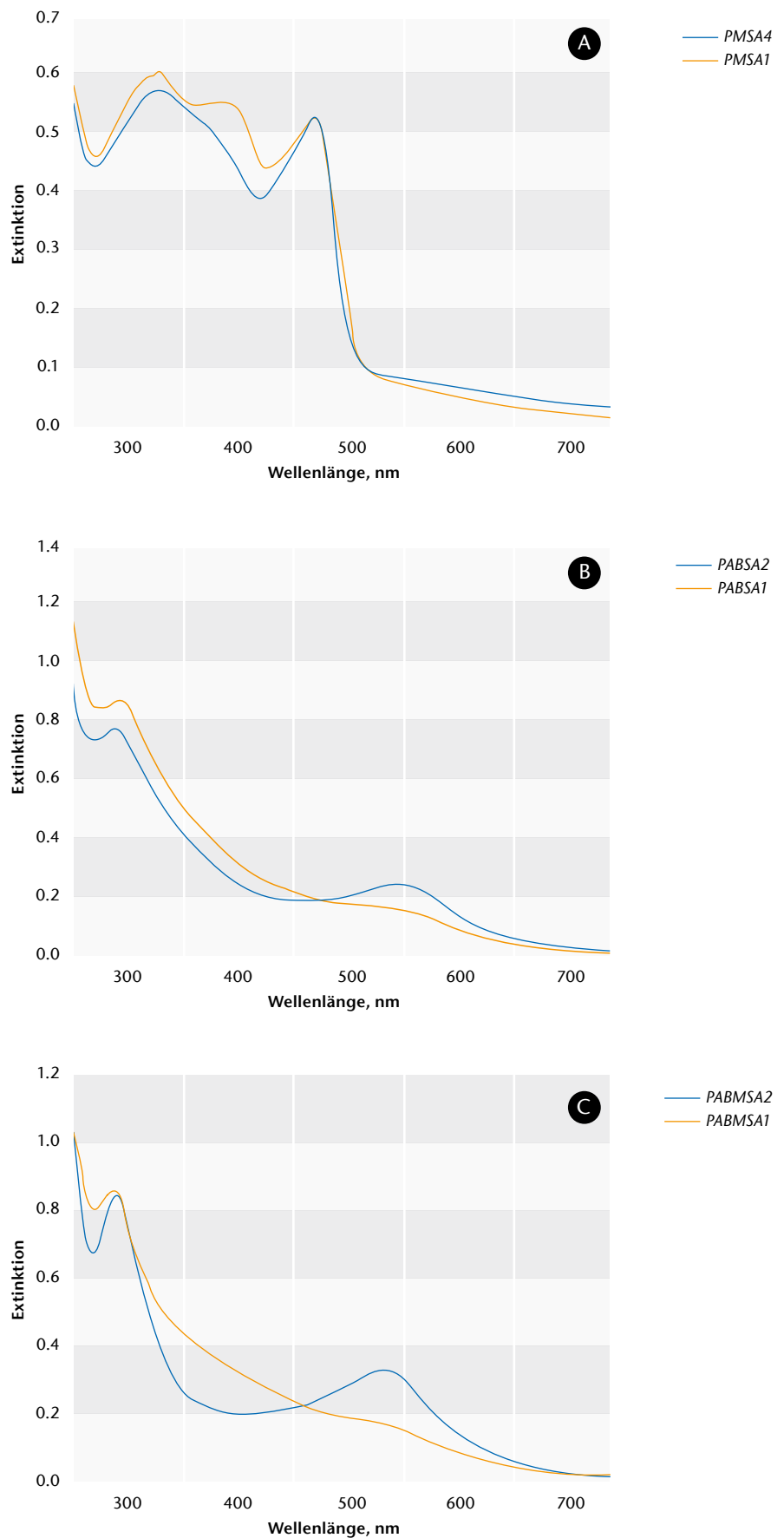


Abb.2) UV-Vis-Spektren der untersuchten Polymere. A) PMSA1 und PMSA4 (Abb. 1 A und B); B) PABSA1 und PABSA 2 (Abb. 1 C) und C) PABMSA1 und PABMSA2 (Abb. 1 D). Experimentelle Bedingungen: [Polymer]= 40 µg/ml, 5 MES + 1 mM CaCl2 Puffer, pH 7.

## WECHSELWIRKUNG MIT PQQ-GDH IN LÖSUNG

Um den Elektronentransfer zwischen den Polymeren und dem Enzym in Lösung festzustellen, wurden UV-Vis-Messungen mit allen in Tab. 1 aufgelisteten Polymeren durchgeführt. Abb. 3 fasst die spektralen Änderungen an den PMSA1- (A) und PMSA4- (B) Polymeren nach der Zugabe von Substrat (Glukose) zu den jeweiligen Polymerlösungen mit PQQ-GDH zusammen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Polymere

in Anwesenheit von Enzym und Substrat reduziert werden. Dies kann aus der Betrachtung der Peaks bei 344 nm und 408 nm geschlussfolgert werden (Pornputtkul et al 2010: 9982; Sarauli et al. 2012: 3848). Die Reduktion von PMSA1 und PMSA4 zeigt eindeutig, dass die Polymere als Reaktionspartner für die PQQ-GDH agieren. Erstaunlicherweise zeigen andere sulfonierte Polymere, die eine Karboxylgruppe

beinhalten, ein gegensätzliches Verhalten in Lösung. Die spektralen Änderungen nach der Zugabe von Substrat zu den Polymer/Enzym-Lösungen sind in der Abb. 4 dargestellt. Sowohl die Abb. 4A als auch 4B zeigen, dass keine Veränderungen an den Polymeren auftreten. Das Gleiche gilt auch für die zwei anderen Polymere (PABSA2 und PABMSA1), die hier nicht gezeigt werden.

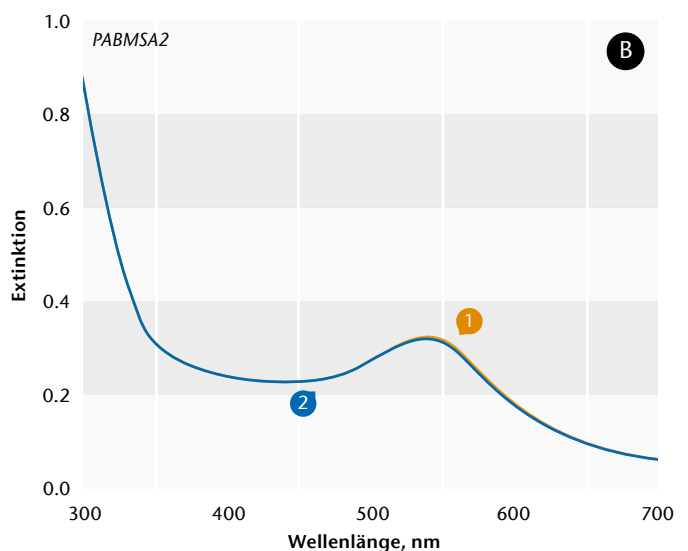
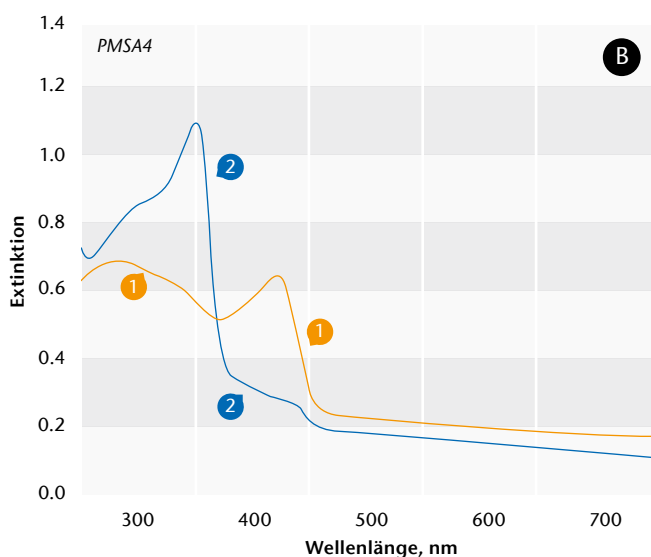
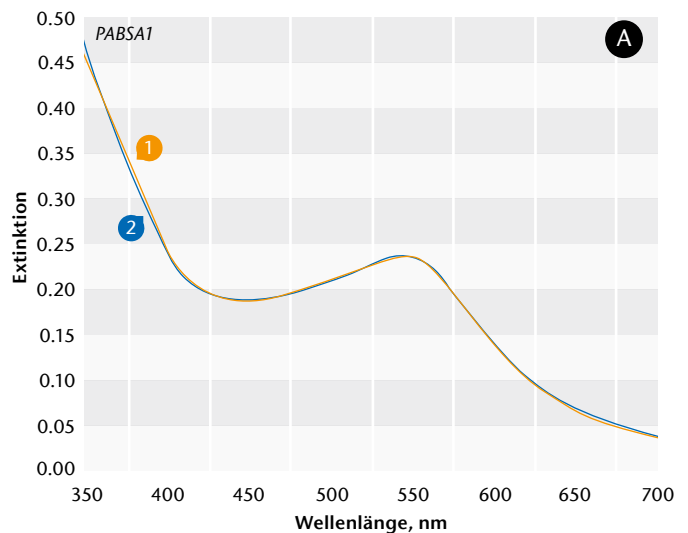
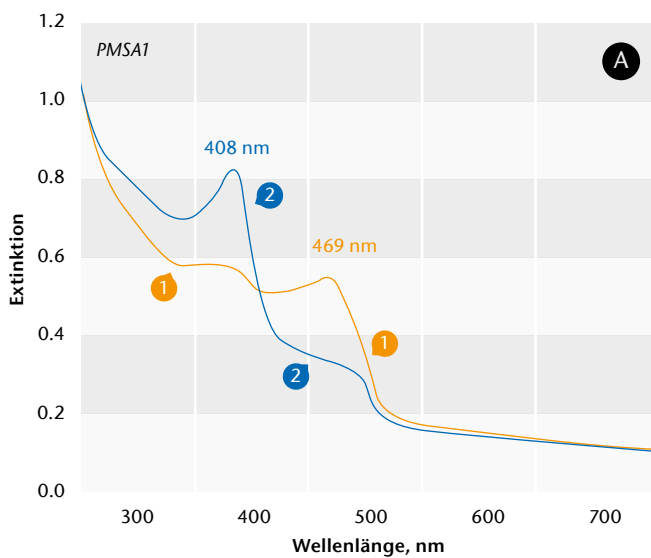


Abb. 3) UV-Vis-Spektren von PMSA1 (A) und PMSA4 (B) in Abwesenheit (1) sowie Anwesenheit vom Substrat Glukose. Experimentelle Bedingungen: [Polymer]= 40 µg/ml, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer, pH 7.

Abb. 4) UV-Vis-Spektren von PABSA1 (A) und PABMSA2 (B) in Abwesenheit (1) sowie Anwesenheit vom Substrat Glukose. Experimentelle Bedingungen: [Polymer]= 40 µg/ml, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer, pH 7.

Um dieses Verhalten besser zu verstehen, wurden alle Polymere mit Natriumdithionit chemisch reduziert. Abb. 5 präsentiert ein Diagramm, in welchem die Menge an Reduktionsmittel aufgetragen wurde, die für die vollständige Reduktion notwendig ist. Anhand dieser Auftragung kann geschlossen werden, dass PMSA1 und PMSA4 im Vergleich zu den anderen Polymeren leichter zu reduzieren sind. Das ist auf die verschiedenen Redoxzustände der Polymere nach der Synthese (ES und PB) zurückzuführen.

Um festzustellen, welche experimentellen Bedingungen für den Elektronentransfer mit PQQ-GDH am besten geeignet sind, wurden spektrophotometrische Messungen bei unterschiedlichen pH-Werten durchgeführt. Die pH-abhängigen Reduktionsgeschwindigkeiten für PMSA1 und PMSA4 bei 408 nm sind in der Abb. 6 zu sehen. Die Abhängigkeit zeigt, dass die Reduktion der Polymere in einem breiten pH-Bereich möglich ist; die höchsten Geschwindigkeiten wurden jedoch für beide Polymere bei pH 6 gemessen. Dies ist eine gute Übereinstimmung mit bereits bekannten Daten für das katalytische Verhalten der PQQ-GDH mit 2.6-Dichlorophenol-indolphenol als Elektronenakzeptor (Anthony 2001: 757; Dokter et al. 1986: 163). Es kann hier geschlossen werden, dass die Reaktion mit den Polymeren eher durch das Aktivitätsmuster des Enzyms und nicht durch den Elektronenaustausch zwischen dem Biomolekül und den Polymeren dominiert wird. Deshalb wurden alle weiteren elektrochemischen Untersuchungen bei pH 6 durchgeführt.

Das Verhalten wurde nun an unmodifizierten Goldelektroden elektrochemisch untersucht. Abb. 7 zeigt die zyklischen Voltammogramme von PMSA1- und PMSA4-Lösungen, die sowohl PQQ-GDH als auch Glukose beinhalten. Das elektrochemische Signal von PASA1 allein (Voltammogramm (1) in Abb. 7A) zeigt ein deutliches Redoxpaar mit dem formalen Potential ~ 0.18 V vs. Ag/AgCl und eine schwächere Redoxumwandlung bei ~ 0.05 V vs. Ag/AgCl. Bei PMSA4 (Abb. 7B) sind die Redoxpaare eher schwächer zu sehen, haben dennoch ähnliche Potential-

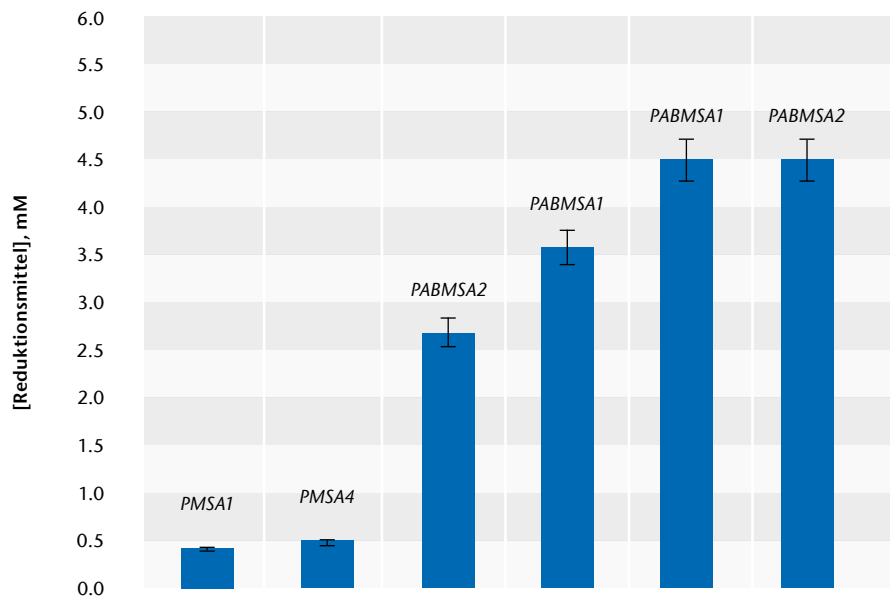


Abb. 5) Notwendige Menge an Reduktionsmittel Natriumdithionit für die vollständige Reduktion der Polymere (gemessen mit UV-Vis). Experimentelle Bedingungen: [Polymer] = 40 µg/ml, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer, pH 7.

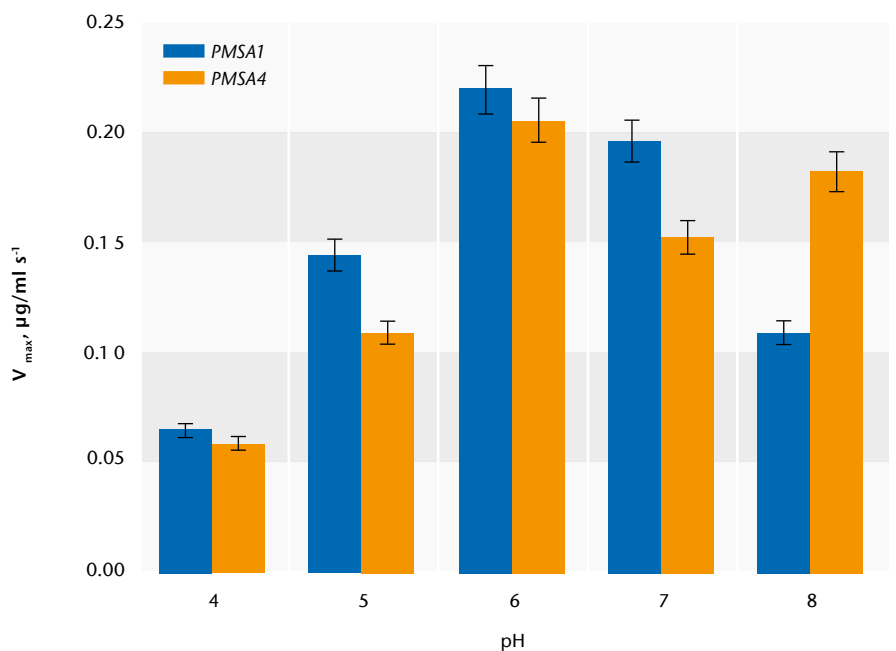


Abb. 6) pH-abhängige Reduktionsgeschwindigkeiten V<sub>max</sub> für PMSA1 und PMSA4 in Anwesenheit von PQQ-GDH und Glukose (gemessen mit UV-Vis). Experimentelle Bedingungen: [Polymer] = 40 µg/ml, [PQQ-GDH] = 10 µM, [Glukose] = 5 mM, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer.

werte. Durch die Zugabe von Enzym in Lösung (Voltammogramme (2) in Abb. 7) sind keine deutlichen Veränderungen feststellbar.

GDH mit 2.6-Dichlorophenol-indolphenol als Elektronenakzeptor (Anthony 2001: 757; Dokter et al. 1986: 163). Es kann hier geschlossen werden, dass die Reaktion mit den Polymeren eher durch das Aktivitätsmuster des Enzyms und nicht durch den Elektro-

naustausch zwischen dem Biomolekül und den Polymeren dominiert wird. Deshalb wurden alle weiteren elektrochemischen Untersuchungen bei pH 6 durchgeführt.

Das Verhalten wurde nun an unmodifizierten Goldelektroden elektrochemisch untersucht. Abb. 7 zeigt die zyklischen Voltammogramme von PMSA1- und PMSA4-Lösungen, die sowohl PQQ-GDH als auch Glukose be-

inhalten. Das elektrochemische Signal von PASA1 allein (Voltammogramm (1) in Abb. 7A) zeigt ein deutliches Redoxpaar mit dem formalen Potential  $\sim 0.18$  V vs. Ag/AgCl und eine schwächere Redoxumwandlung bei  $\sim 0.05$  V vs. Ag/AgCl. Bei PMSA4 (Abb. 7B) sind die Redoxpaare eher schwächer zu sehen, haben dennoch ähnliche Potentialwerte. Durch die Zugabe von Enzym in Lösung (Voltammogramme (2) in Abb. 7) sind keine deutlichen Veränderungen feststellbar.

Allerdings ändert sich die Situation drastisch durch die Zugabe von Glukose (Voltammogramme (3): signifikante bioelektrokatalytische Ströme erscheinen für beide Polymere ( $\Delta I \approx 3$   $\mu$ A bei 0.4 V). Dieser Prozess startet bei  $E \sim 0$  V vs. Ag/AgCl. Die Messungen bestätigen den Befund aus den spektrophotometrischen Studien, nämlich dass die Polymere in der Lage sind, die Elektronen vom substrat-reduzierten Enzym aufzunehmen. Darüber hinaus können die Elektronen weiter zur Elek-

trode transportiert werden. Da dieser Prozess bei einem relativ niedrigeren Potential beginnt, muss das Polymer nicht vollständig oxidiert sein, um einen Elektronentransfer einzugehen.

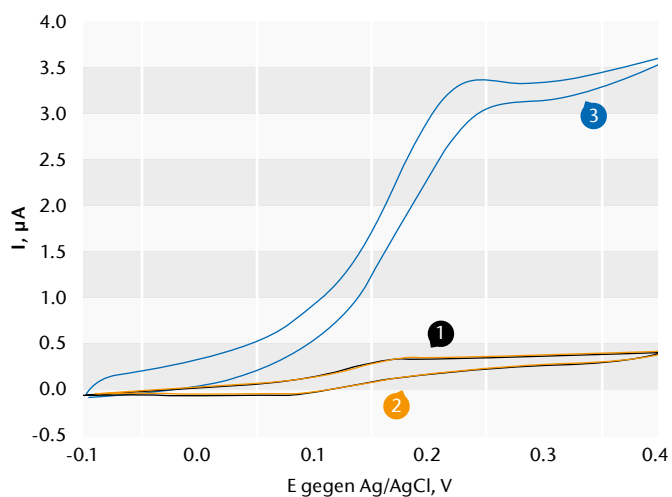
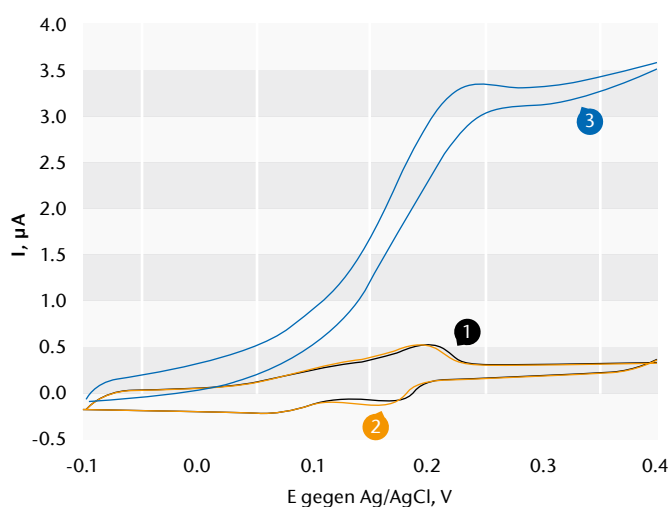


Abb. 7) Zyklische Voltammogramme von (A) PMSA1- und (B) PMSA4-Polymerlösungen ohne Enzym (1), mit Enzym (2) und mit Enzym und Glukose (3). Experimentelle Bedingungen: [Polymer] = 200  $\mu$ g/ml, [PQQ-GDH] = 10  $\mu$ M, [Glukose] = 5 mM, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer, pH 6.

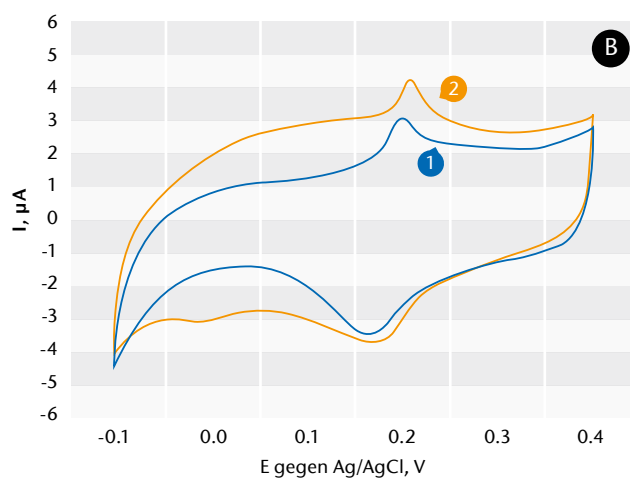
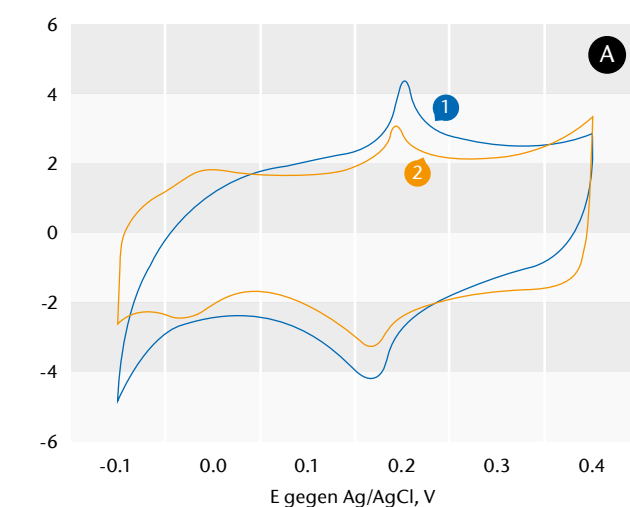


Abb. 8) Zyklische Voltammogramme von Buckypapier Elektroden: (A) PMSA1-Polymerfilme (1) und PMSA1-PQQ-GDH-Filme (2); (B) PMSA4-Polymerfilme (1) und PMSA4-PQQ-GDH-Filme (2). Experimentelle Bedingungen: Scanrate 5 mV/s, 5 MES + 1 mM CaCl<sub>2</sub> Puffer, pH 6.



## DIREKTER ELEKTRONENTRANSFER MIT PQQ-GDH AUF ELEKTRODEN

Für den nächsten biosensorisch relevanten Anwendungsschritt wurde ein kohlenstoff-nanoröhrenhaltiges Material – Buckypapier - als Oberfläche ausgewählt. Der Grund dafür ist die große und nanostrukturierte Oberfläche, die für die Konstruktion von Enzymelektroden gut geeignet ist (Ahmadalinezhad et al. 2011: 287; Chatterjee et al. 2012: 302; Hussein et al. 2011: 4133).

Zunächst wurden die Filme von PMSA1 und PMSA4 aus wässriger und gepufferter Polymerlösung auf Buckypapier abgeschieden, anschließend wurden

Abb. 9 fasst die zyklischen Voltammogramme von Buckypapier-PMSA1-PQQ-GDH- und Buckypapier-PMSA4-PQQ-GDH-Elektroden in Anwesenheit von Glukose zusammen. Es ist ersichtlich, dass ein signifikanter bioelektrokatalytischer Strom in Anwesenheit von Glukose erscheint ( $\Delta I \approx 15 \mu\text{A}$  bei 0.4 V für beide Elektroden). Dieser Strom beginnt bei  $E = -0.025 \text{ V}$  vs. Ag/AgCl und ist konzentrationsabhängig (siehe Einfügung in der Abb. 9). Die Bioelektrokatalyse zeigt deutlich, dass ein Elektronentransfer zwischen dem Redoxzentrum des Enzyms und der Elektrode erreicht werden kann. Um Wechselwirkungen zwischen der PQQ-GDH und den Kohlenstoffnano-

immobilisiert, danach das Enzym aufgebracht und anschließend das elektrochemische Verhalten der Elektroden in Anwesenheit von Glukose untersucht. Die Ergebnisse sind in der Abb. 10 zusammengefasst. Aus den Voltammogrammen ist ersichtlich, dass in beiden Fällen eine Bioelektrokatalyse beobachtet werden kann. Die Intensitäten der bioelektrokatalytischen Ströme sind zwar kleiner als die PMSA1 und PMSA4 modifizierten Elektroden (PABSA1:  $\Delta I \approx 5-6 \mu\text{A}$  und PABMSA2:  $\Delta I \approx 11-12 \mu\text{A}$  bei 0.4 V), dennoch deutlich größer als die Ströme von unmodifiziertem Buckypapier. Die Bioelektrokatalyse erscheint trotz der Tatsache, dass diese Polymere keine direkte

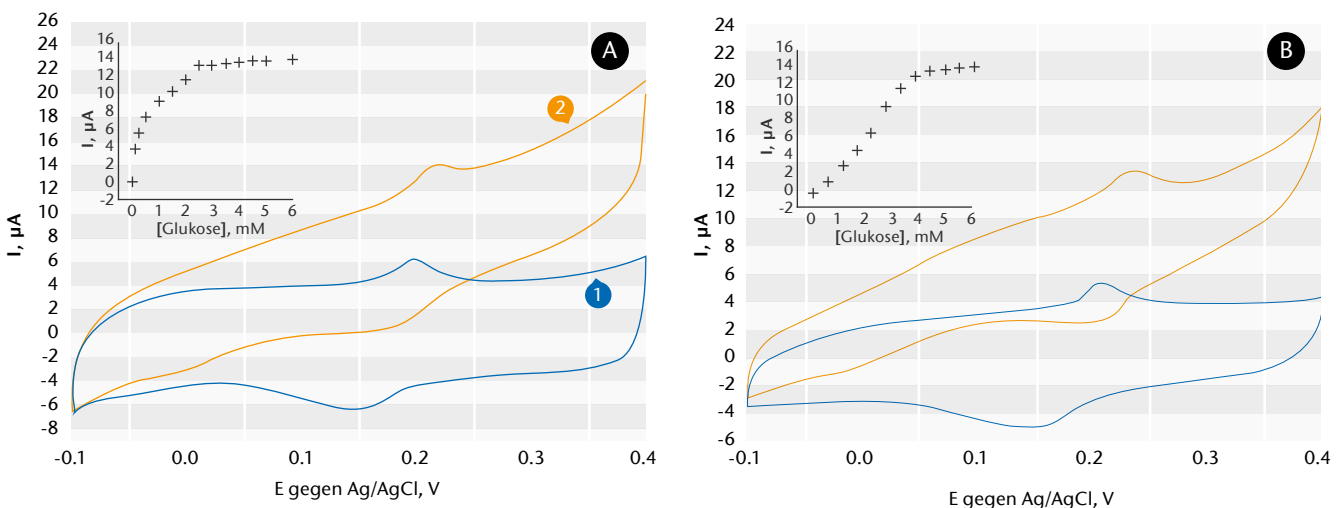


Abb. 9) Zyklische Voltammogramme von Polymer-Enzym-Filmen auf Buckypapier-Elektroden: (A) PMSA1-PQQ-GDH und (B) PMSA4-PQQ-GDH Filme in Abwesenheit (1) sowie Anwesenheit von Glukose (2); Die Einfügung: das konzentrations-abhängige katalytische Verhalten bei  $E = 0.4 \text{ V}$ . Experimentelle Bedingungen: Scanrate  $5 \text{ mV/s}$ ,  $[\text{Glukose}] = 5 \text{ mM}$ ,  $5 \text{ MES} + 1 \text{ mM CaCl}_2$  Puffer,  $\text{pH } 6$ .

diese Filme voltammetrisch untersucht (Voltammogramme (1) in Abb. 8). Als Nächstes wurde darauf das Enzym durch Adsorption aus konzentrierter Lösung immobilisiert (Voltammogramme (2) in Abb. 8). Zwei Redoxpaare können im letzten Fall detektiert werden: deutliche Redoxumwandlungen der Polymere bei  $E = +0.18 \text{ V}$  vs. Ag/AgCl zusammen mit schwächeren Redoxpaaren bei  $E = -0.025 \text{ V}$  vs. Ag/AgCl, die der adsorbierten PQQ-GDH zuzuschreiben sind (da sie nur dann erscheinen, wenn das Enzym immobilisiert ist - Vergleich (1) und (2) in der Abb. 8A und 8B). Das formale Potential ( $E \sim -0.025 \text{ V}$  vs. Ag/AgCl) stimmt mit bereits veröffentlichten Daten für immobilisierte PQQ-GDH ungefähr überein (Göbel et al. 2011: 1240; Ivnitski et al. 2007: 1562).

röhren zu evaluieren, wurden Messungen auch ohne Polymer durchgeführt. Der bioelektrokatalytische Strom erscheint auch ohne Polymerfilm, jedoch ist seine Intensität deutlich geringer ( $\Delta I \approx 3 \mu\text{A}$  bei 0.4 V). So kann man definitiv schlussfolgern, dass die Anwesenheit des Polymers auf der Elektrode die Intensität der Bioelektrokatalyse deutlich steigert. Der Grund dafür ist in erster Linie die optimale Oberfläche, auf der sich das Enzym vorteilhaft orientieren kann, aber auch die hohe Dichte an Andockstellen für das Enzym.

Auch wenn der Elektronentransfer zwischen PQQ-GDH- und PABSA- sowie PABMSA-Polymeren in Lösung nicht beobachtet werden konnte, wurden die Polymere auf Buckypapier

Wechselwirkung mit dem Enzym in Lösung eingehen. Diese Messungen bestätigen die Idee, dass der ursprüngliche Redoxzustand der Polymere einen Einfluss auf den Elektronentransfer mit Biomolekülen hat. Offensichtlich liegt hier kein chemisches „Missfit“ in den Eigenschaften der Polymere in Bezug auf eine Interaktion mit dem Enzym vor und das Potential kann als zusätzliches Mittel benutzt werden, um die Reaktion zur Elektrode zu steuern. Das Startpotential, ab welchem der elektrokatalytische Strom beobachtet werden kann, ist in guter Übereinstimmung mit den Redoxeigenschaften des Enzym-gebundenen PQQ. Man kann auch feststellen, dass keine hohen Potentiale notwendig sind, um die Elektronen aus der bioelektrokata-

lytischen Oxidation der Zuckermoleküle zu „sammeln“. Diese Ergebnisse sind interessant und demonstrieren, dass die Untersuchungen in Lösung nur erste Hinweise auf die Auswahl geeigneter Polymere liefern. Weitere Faktoren beeinflussen die erfolgreiche Konstruktion von mediatorfreien Enzymelektroden. Auch die Oberfläche

ist hierfür von besonderer Wichtigkeit. Die polymermodifizierte Kohlenstoffnanoröhren-basierte Buckypapieroberfläche bietet offensichtlich ein für die Bindung der Biomoleküle geeignetes Interface. Nichtsdestotrotz soll hier auch erwähnt werden, dass die zwei Polymere, die eine direkte Wechselwirkung mit dem Enzym in

Lösung eingehen, auch die effizienteste Bioelektrokatalyse auf Buckypapier zeigen.

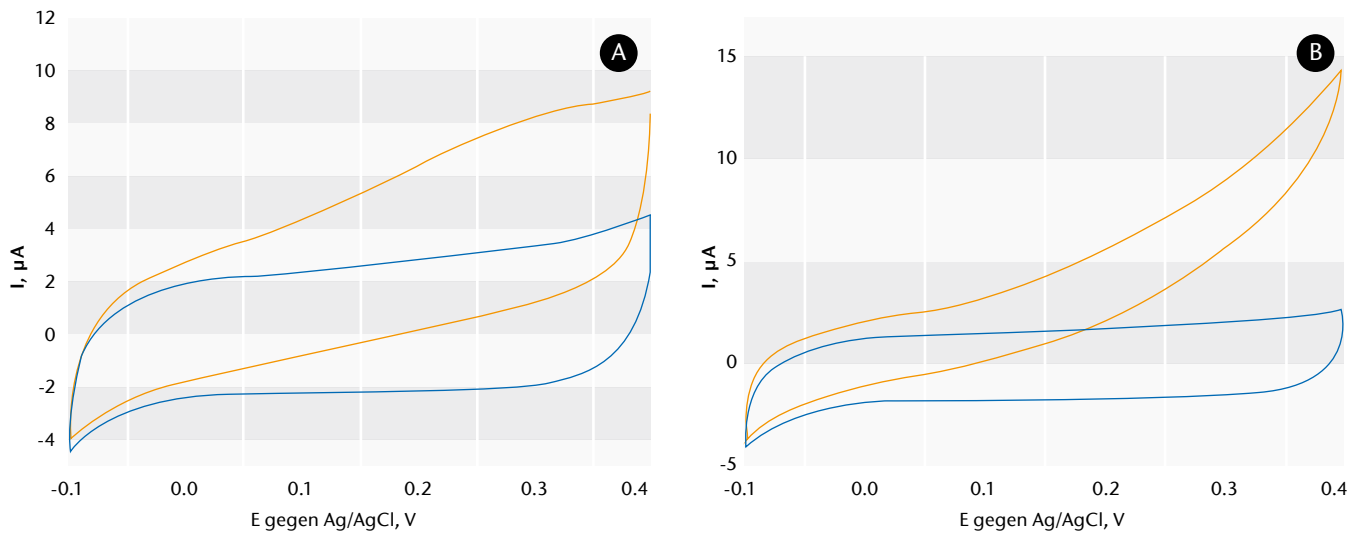


Abb. 10) Zyklische Voltammogramme von Polymer-Enzym-Filmen auf Buckypapier-Elektroden: (A) PABSA1-PQQ-GDH und (B) PABMSA2-PQQ-GDH Filme in Abwesenheit (1) sowie Anwesenheit von Glukose (2); Experimentelle Bedingungen: Scanrate 5 mV/s, [Glukose] = 5 mM, 5 MES + 1 mM  $\text{CaCl}_2$  Puffer, pH 6.



### III. SCHLUSSFOLGERUNG

Chemisch synthetisierte sulfonierte Polyanilin-Copolymere, die aus verschiedenen Monomer-Bausteinen aufgebaut sind, können nach der Synthese in unterschiedlichen Redoxzuständen vorliegen. Die Copolymere, die nur zusätzliche Methoxygruppen am sulfonierten Anilinring besitzen, befinden sich in einem gemischten Redoxzustand (ES). Sie können direkt mit dem Enzym PQQ-GDH in Lösung reagieren. Der Elektronentransfer wurde sowohl spektrophotometrisch als auch elektrochemisch nachgewiesen. Die letztere Methode zeigte die Generierung von bioelektrokatalytischen Strömen in Anwesenheit vom Substrat Glukose beginnend bei Potentialen oberhalb des enzymgebundenen PQQs. Die Karboxylgruppen-tragenden Polymere befanden sich dagegen im vollständig oxidierten Zustand (PB). Sie sind nicht in der Lage, Elektronen mit dem Enzym in Lösung auszutauschen. Wenn diese Polymere aber auf Kohlenstoffnanoröhren-basierten Buckypapier-Elektroden immobilisiert werden, kann man eine direkte Bioelektrokatalyse beobachten. Das heißt, dass das modifizierte Buckypapier auf Grund seiner hohen Oberfläche ein für biosensorische Zwecke gut geeignetes Interface bildet. Diese Ergebnisse sind wichtig für ein besseres Verständnis von Faktoren, die die Effektivität der Interaktion von Enzymen mit Elektroden beeinflussen, aber auch für praktische Anwendungen wie z.B. die Kopplung von Enzymen an Anoden in Biobrennstoffzellen.

### DANKSAGUNG

Wir bedanken uns beim BMBF Deutschland (Projekt: 03IS22011) für die finanzielle Unterstützung.

### LITERATUR

Ahmadalinezhad A, Wu GS, Chen AC. *Biosens Bioelectron* 2011;30:287-93.

Albuquerque JE, Mattoso LHC, Balogh DT, Faria RM, Masters JG, MacDiarmid AG. *Synth Met* 2000;113:19-22.

Anthony C. *Antioxid Redox Signal* 2001;3:757-74.

Beissenhirtz MK, Scheller FW, Stocklein WFM, Kurth DG, Mohwald H, Lisdat F. *Angew Chem-Int Edit* 2004;43:4357-60.

Chatterjee S, Chen AC. *Biosens Bioelectron* 2012;35:302-7. Cosnier S, Holzinger M. *Chem Soc Rev* 2011;40:2146-56.

Dokter P, Frank J, Duine JA. *Biochem J* 1986;239:163-7.

Dronov R, Kurth DG, Moehwald H, Scheller FW, Lisdat F. *Communication in a protein stack: Angew Chem-Int Edit* 2008;47:3000-3.

Du M, Yang T, Jiao K. *Talanta* 2010;81:1022-7.

Durand F, Stines-Chaumeil C, Flexer V, Andre I, Mano N. *Biochem Biophys Res Commun* 2010; 402:750-4.

Flexer V, Durand F, Tsujimura S, Mano N. *Anal Chem* 2011;83:5721-7.

Göbel G, Schubart IW, Scherbahn V, Lisdat F. *Electrochem Commun* 2011;13:1240-3.

Hatchett DW, Josowicz M. *Chem Rev* 2008;108:746-69.

Hussein L, Rubenwolf S, von Stetten F, Urban G, Zengerle R, Krueger M, et al. *Biosens Bioelectron* 2011;26:4133-8.

Ivnitski D, Atanassov P, Apblett C. *Electroanalysis* 2007;19:1562-8.

Lee KP, Komathi S, Nam NJ, Gopalan AI. *Microchem J* 2010;95:74-9.

Liao YZ, Strong V, Chian W, Wang X, Li XG, Kaner RB. *Macromolecules* 2012;45:1570-9.

MacDiarmid AG. *Angew Chem-Int Edit* 2001;40:2581-90.

Malinauskas A. *J Power Sources* 2004;126:214-20.

Mangombo ZA, Baker P, Iwuoha E, Key D. *Microchim Acta* 2010;170:267-73.

Mav-Golez I, Pahovnik D, Blaha M, Zigon M, Vohlidal J. *Synth Met* 2011;161:1845-55.

Michira I, Akinyeye R, Baker P, Iwuoha E. *Int J Polym Mater* 2011;60:469-89.

Muchindu M, Iwuoha E, Pool E, West N, Jahed N, Baker P, et al. *Electroanalysis* 2011;23:122-8.

Noll T, Noll G. *Chem Soc Rev* 2011;40:3564-76.

Oh SY, Oh IS, Choi JW. *Mater Sci Eng C-Biomimetic Supramol Syst* 2004;24:307-9.

Okuda J, Sode K. *Biochem Biophys Res Commun* 2004;314:793-7.

Oubrie A. *BBA-Proteins Proteomics* 2003;1647:143-51.

Pornputtkul Y, Strounina EV, Kane-Maguire LAP, Wallace GG. *Macromolecules* 2010;43:9982-9.

Razumiene J, Vilkanauskyte A, Gureviciene V, Laurinavicius V, Roznyatovskaya NV, Ageeva YV, et al. *J Organomet Chem* 2003;668:83-90.

Razumiene J, Vilkanauskyte A, Gureviciene V, Barkauskas J, Meskys R, Laurinavicius V. *Electrochimica Acta* 2006;51:5150-6.

Saio D, Amaya T, Hirao T. *Adv Synth Catal* 2010;352:2177-82.

Sarauli D, Tanne J, Xu CG, Schulz B, Trnkova L, Lisdat F. *Phys Chem Chem Phys* 2010;12:14271-7.

Sarauli D, Xu CG, Dietzel B, Stiba K, Leimkuhler S, Schulz B, et al. *Soft Matter* 2012;8:3848-55.

Sarauli D, Riedel M, Wettstein C, Hahn R, Stiba K, Wollenberger U, et al. *J Mater Chem* 2012;22:4615-8.

Sarauli D, Xu CG, Dietzel B, Schulz B, Lisdat F. *acta Biomaterialia* 2013; 9:8290-8298

Sassolas A, Blum LJ, Leca-Bouvier BD. *Biotechnol Adv* 2012;30:489-511.

Schubart IW, Göbel G, Lisdat F. *Electrochimica Acta* 2012;82:224-32.

Sprigco R, Dronov R, Rajagopalan KV, Lisdat F, Leimkuhler S, Scheller FW, et al. *Soft Matter* 2008;4:972-8.

Tanne C, Göbel G, Lisdat F. *Biosens Bioelectron* 2010;26:530-5.

Tkac J, Svitel J, Vostiar I, Navratil M, Gemeiner P. *Bioelectrochemistry* 2009;76:53-62.

Tran HD, Li D, Kaner RB. *Adv Mater* 2009;21:1487-99.

Wallace GG, Kane-Maguire LAP. *Adv Mater* 2002;14:953-60.

Wei D, Ivaska A. *Chem Anal* 2006;51:839-52.

Yang T, Feng YY, Zhang W, Ma SY, Jiao K. *J Electroanal Chem* 2011;656:140-6.

Yue J, Gordon G, Epstein AJ. *Polymer* 1992;33:4410-8.

Zhang L, Jiang X, Niu L, Dong SJ. *Biosens Bioelectron* 2006;21:1107-15.

Zhou B, Sun RG, Hu XF, Wang LH, Wu HP, Song SP, et al. *Int J Mol Sci* 2005;6:303-10.

### AUTOREN

**Dr. rer. nat. David Sarauli**  
Biosystemtechnik, TH Wildau  
Bahnhofstr. 1, 15745 Wildau  
david.sarauli@th-wildau.de

**Dr. Chenggang Xu**  
UP Transfer GmbH  
Am Neuen Palais 10, D14469 Potsdam  
xucg@physik.hu-berlin.de

**Birgit Dietzel**  
Institut für Dünnschichttechnologien und  
Mikrosensorik Technologies e. V.  
Kantstr. 55, 14513 Teltow  
B.Dietzel@gmx.net

**Dr. Burkhard Schulz**  
Universität Potsdam, Institut für Chemie  
Karl-Liebknecht-Straße 24-25, 14476 Potsdam  
buschu@uni-potsdam.de

**Prof. Fred Lisdat**  
Biosystemtechnik, TH Wildau  
Bahnhofstr. 1, 15745 Wildau  
flisdat@th-wildau.de



# LEISHMANIA SIAMENSIS ALS ERREGER VON AUTOCHTHONER KUTANER LEISHMANIOSE BEI PFERDEN IN DEUTSCHLAND – EINE NEUE INFektionsKRANKHEIT IN MITTELEUROPA?

Denise Sinning, Kernt Köhler, Lutz-Ferdinand Litzke, Gabriele Schönian, Marcus Frohme, Katrin Kuhls

## Zusammenfassung

Aus mitteleuropäischer Sicht ist die durch Parasiten verursachte und von Sandmücken übertragene Leishmaniose eine in Ländern tropischer und subtropischer Regionen auftretende Infektionskrankheit. In zunehmendem Maße werden jedoch autochthone Fälle in Mitteleuropa, insbesondere in Süddeutschland, verzeichnet. Dies ist vermutlich auf die globale Erwärmung und die Ausdehnung des Verbreitungsgebietes der Sandmücken nach Norden zurückzuführen. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Identifizierung und phylogenetischen Charakterisierung der Erreger dieser Fälle. Dazu wurden verschiedene Marker im Leishmaniengenom sequenziert und mit bekannten Arten verglichen. Die untersuchte DNA stammte von autochthonen kutanen Leishmaniosen bei Pferden und einem Rind, die in den letzten zehn Jahren in Deutschland und der Schweiz auftraten. Aufgrund identischer Sequenzen konnten die Parasiten als *L. siamensis* identifiziert bzw. verifiziert werden, eine erst im Jahr 2008 neu beschriebene Art, die in Thailand humane viszerale Leishmaniose verursacht. Die phylogenetischen Analysen zeigten die Ähnlichkeit von *L. siamensis* mit weiteren bisher nicht identifizierten Stämmen aus Martinique und Ghana, die kutane Leishmaniose bei Menschen verursachen. Um die Frage zu beantworten, ob sich die Leishmaniose zu einer in Mitteleuropa endemischen zoonotischen Krankheit entwickeln könnte, müssen weitere Studien über kompatible Vektoren, mögliche Reservoir- und zur Virulenz durchgeführt werden.

## Abstract

From our Central European point of view leishmaniasis is a vector-borne parasitic disease that occurs mainly in tropical and subtropical countries. In recent years there is however an increasing number of reports of autochthonous cases in Central Europe, especially in southern Germany. This is probably caused by climate change and global warming and the northward shift of the occurrence of the sandfly vectors. The aim of the present study was the identification and phylogenetic characterization of the causative agents of these cases. To this end we sequenced several markers of the *Leishmania* genome and compared them with those of the known *Leishmania* species. The studied DNA originated from several autochthonous cases of cutaneous leishmaniasis in horses and a cow that occurred during the last decade in Germany and Switzerland. The parasites were identified or verified as *L. siamensis*, a newly described species that causes human visceral leishmaniasis in Thailand. The phylogenetic analyses also showed the similarity with previously not identified strains that caused human cutaneous leishmaniasis in Ghana and Martinique. To answer the question whether leishmaniasis is becoming endemic as a zoonotic disease in Central Europe further research has to be done on vector compatibility, virulence and possible reservoir animals.

## I. EINFÜHRUNG

Die Leishmaniose ist eine durch Vektoren übertragene Infektionskrankheit, die von obligaten Protozoen der Gattung *Leishmania* verursacht wird. Laut WHO [WHO 2010] ist die Leishmaniose in 88 Ländern endemisch, mit ca. 12 Mio. infizierten Menschen weltweit und jährlich ca. 2 Mio. Neuinfektionen. Das Verbreitungsgebiet der Leishmaniose umfasst die tropischen und subtropischen Regionen aller Kontinente, einschließlich des europäischen Mittelmeerraumes. Die Parasiten werden durch Phlebotomen (Sandmü-

cken) übertragen. Je nach Erreger und Verbreitungsgebiet kann die Leishmaniose anthroponotisch oder zoonotisch sein, der Transmissionszyklus umfasst je nach Ökosystem spezifische Parasiten-, Sandmücken- und tierische Wirtsarten bzw. den Menschen.

Es gibt verschiedene klinische Ausprägungen der Erkrankung, bei denen entweder die Haut bzw. Schleimhaut (kutane und mukokutane Leishmaniose – CL und MCL) oder das gesamte Immunsystem und innere Organe des Infizierten (viszerale Leishmaniose, auch Kala-Azar genannt - VL) betrof-

fen sind (**Abb. 1**), wobei die viszerale Leishmaniose bei Nichtbehandlung gewöhnlich letal verläuft. Es existieren ungefähr 30 Leishmanienarten, von denen etwa 20 im Menschen Leishmaniose auslösen können. Zu den wichtigsten gehören *L. infantum* und *L. donovani* (Auslöser der VL), *L. major*, *L. tropica* (Auslöser der CL) und *L. braziliensis* und *L. guyanensis* (Auslöser der CL und MCL). Die im europäischen Mittelmeerraum auftretende Leishmaniose wird durch *L. infantum* verursacht.

In Deutschland tritt die Leishmaniose üblicherweise nur in Verbindung mit



Abb. 1) Beispiele für die kutane Leishmaniose bei verschiedenen Patienten (mit freundlicher Genehmigung von Dr. Amer Al-Jawabreh, Leishmaniasis Research Unit, Jericho, Palestine).

Reisen in Endemiegebiete auf [Harms et al. 2003, Weitzel et al. 2005] und ist bisher nicht meldepflichtig. Im Jahr 1991 wurde jedoch der erste autochthone (-einheimische) Fall beschrieben [Gothe 1991], ca. 17 weitere kamen in den folgenden Jahren bis 2012 dazu. Zwischen 1991 und 2008 wurden 11 autochthone Fälle bestätigt, von denen jedoch nur vier publiziert wurden [Naucke et al. 2008], weitere 7 Fälle kamen bis 2012 dazu [Müller et al. 2009, Kuhls et al. 2013]. Generell sind verschiedene autochthone Fälle aus Mitteleuropa (Schweiz, Österreich, Deutschland, Niederlande) bei Menschen, Hunden und Pferden seit den 60er Jahren bekannt geworden, jedoch nur wenige davon wurden veröffentlicht (Tabelle 1). Diesen Meldungen wurde bis 1999 wenig Bedeutung zugeschrieben, da man davon ausging, dass der Vektor in diesen Ländern nicht vorkommt.

Im Jahr 1999 wurden das erste Mal Sandmücken in Deutschland (Baden-Württemberg) nachgewiesen [Naucke & Pesson 2000, Naucke 2002], es handelte sich um *Phlebotomus mascittii*, dessen Transmissionspotenzial für *Leishmania* jedoch bisher nicht getestet wurde. Bis 2007 wurde *Ph. mascittii* an 16 verschiedenen Stellen in Baden-Württemberg und einer Stelle in Rheinland-Pfalz (Cochem-Mosel)

gefunden. Cochem ist die bisher nördlichste Fundstelle von Sandmücken in Europa (50°19'41.2"N). Im Jahr 2001 wurde *Phlebotomus perniciosus* (Vektor für *L. infantum*) das erste Mal in Deutschland entdeckt [Naucke & Schmitt 2004]. Es wird angenommen, dass *Ph. perniciosus* von Frankreich über das Saarland nach Deutschland gekommen ist. Die Ausbreitung von *Ph. mascittii* verläuft entlang des Rheingrabels und der Mosel. Desweiteren muss man davon ausgehen, dass die bisherigen Funde nicht das eigentliche Ausmaß der Verbreitung und die Häufigkeit dieser Sandmücken widerspiegeln. Auch in Österreich (Kärnten) [Naucke et al. 2011], der Süd- und Westschweiz [Galli-Valerio 1912, Vogel 1931, Knechtli & Jenni 1990, Grimm et al. 1990, 1993], Belgien [Depaquit et al. 2005] und Frankreich nahe der Grenze zu Deutschland [Callot 1950] treten Sandmücken (*Ph. mascittii*) auf. Die theoretische Verbreitungsgrenze stellt die 10°C-Jahresisotherme dar. Auch das Verbreitungsgebiet von *Ph. perfiliewi*, eines in Norditalien zirkulierenden Vektors für *L. infantum*, verschiebt sich aufgrund der globalen Erwärmung derzeit nordwärts [Maroli et al. 2008], so dass diese Art in den nächsten Jahren bis zum 49. Breitengrad vorkommen wird (Baden-Württemberg, Bayern, Schweiz, Österreich). Erste Modellierungsansätze hinsichtlich der zukünftigen Klimaveränderungen in Mitteleuropa und den Auswirkungen auf die Verbreitung von Sandmücken deuten darauf hin, dass sich die Habitat-Bedingungen bis zur Hälfte des 21. Jahrhunderts so stark ändern werden, dass sie für alle der untersuchten *L. infantum* Vektoren geeignet sind [Fischer et al. 2010, 2011]. Alle bisherigen autochthonen Leishmaniosen in Deutschland traten im Verbreitungsgebiet von *Ph. mascittii* und *Ph. perniciosus* auf.

Zu den nachgewiesenen Reservoiren von Leishmanien (*L. infantum*) in Europa zählen in erster Linie die Hunde, aber auch Katzen, Füchse und Nagetiere. Infektionen wurden auch bei Pferden, Eseln und Kühen gefunden. In vielen Regionen Südeuropas (z.B. auf Mallorca oder Sizilien) liegt die Infektionsrate bei Hunden bei bis zu 70 % und die Anzahl der von dort nach

Deutschland importierten Hunde nimmt zu. Man nimmt an, dass es in Deutschland ca. 20.000 infizierte Hunde – entweder durch Urlaubsreisen in die Endemiegebiete oder das Mitbringen von infizierten Hunden - gibt [Naucke et al. 2008, Menn et al. 2010]. Über diese Tiere und lokale Sandmücken in Deutschland könnten sich die Infektionen somit weiter ausbreiten.

Nur wenige der autochthonen Infektionen wurden publiziert und die Erreger auf Artebene diagnostiziert. Bis 2009 wurde davon ausgegangen, dass nur *L. infantum* als Erreger dieser autochthonen Fälle in Frage kommt. Umso bemerkenswerter ist es, dass bereits 2004 in Deutschland ein Fall von Hautleishmaniose bei einem Pferd auftrat, bei dem jedoch zum damaligen Zeitpunkt der Erreger keiner bis dahin bekannten Leishmaniaart zugeordnet werden konnte. Es handelte sich um einen ca. 4 Jahre alten Warmblut-Wallach mit einer Hautläsion am Augenlid (Abb. 2).

Das Pferd wurde im Bayerischen Wald geboren und kam mit ca. 6 Monaten nach Aschaffenburg. Sechs Monate



Abb. 2a) Ca. kirschgroße Umfangsvermehrung unmittelbar am Lidrand bei einem 4-jährigen Wallach (präoperativer Befund).

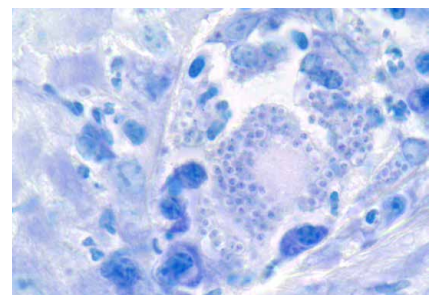


Abb. 2b) Giemsa gefärbtes Präparat mit 1000-facher Vergrößerung einer intraepithelialen Pustel mit zahlreichen Makrophagen und darin massenhaft amastigote Protozoenstadien (Leishmanien).

vor der Erkrankung wurde das Pferd nach Gießen umgestellt. Nach der chirurgischen Entfernung der Läsion wur-

Land	Region	Jahr des Auftretens der Infektion	Referenz	Wirt (Anzahl der Fälle)	Spezies
Deutschland (seit 1991 12 bestätigte autochthone Fälle bei Mensch, Hund, Pferd, Katze)	Nordrhein-Westfalen (Köln)	-	Gothe (1991)	Hund (1)	<i>L. spec.</i>
	Bayern (Landsberg/Lech)	-	Gothe (1991)	Hund (1)	<i>L. spec.</i>
	Nordrhein-Westfalen (Aachen)	1997	Bogdan et al. (2001)	Mensch (1)	<i>L. infantum</i>
	Bayern (Augsburg)	2000	Koehler et al. (2002)	Pferd (1)	<i>L. infantum</i>
	Rheinland-Pfalz (Gehrweiler)	1998/99	nicht publiziert	Hund (1)	<i>L. spec.</i>
	Bayern	-	Müller et al. (2009)	Pferd (1)	<i>L. siamensis*</i>
	Rheinland-Pfalz	-	Müller et al. (2009)	Pferd (5)	<i>L. siamensis*</i>
	Bayern (Aschaffenburg) und Hessen (Gießen)	2004	Kuhls et al. (2013), Litzke et al. (2006)	Pferd (1)	<i>L. siamensis*</i>
Schweiz	Südschweiz	-	Mazzi (1976)	Mensch	<i>L. infantum</i>
	-	-	Schawalder (1977)	Hund	<i>L. spec.</i>
	Nordschweiz	-	Müller et al. (2009)	Pferd (2)	<i>L. siamensis</i>
	Züricher Oberland	2009	Lobsiger et al. (2010)	Kuh (1)	<i>L. siamensis*</i>
Österreich	Niederösterreich	-	Beyreder (1962)	Mensch	<i>L. spec.</i>
	-	-	Kollaritsch et al. (1989)	Mensch	<i>L. spec.</i>
	-	-	Dornbusch et al. (1999)	Mensch (1)	<i>L. spec.</i>
Niederlande	-	-	Slappendel (1988)	Hund	<i>L. spec.</i>
	-	-	Diaz-Espineira & Slappendel (1997)	Hund	<i>L. spec.</i>

\*Die in dieser Arbeit in die Sequenzierung einbezogenen Fälle. k. A. – keine Angaben

Tab. 1) Autochthone Leishmaniose-Fälle in Mitteleuropa

de aus dem Gewebe die Parasiten-DNA extrahiert und eine Sequenzanalyse der ITS1-Region der ribosomalen DNA sowie des DNA-Polymerase- $\alpha$ -Gens durchgeführt, eine Artidentifizierung war jedoch nicht möglich [Litzke et al. 2006, Kuhls et al. 2013]. Das Pferd erlitt vier Wochen nach dem chirurgischen Eingriff einen Rückfall. Ein weiterer Verdacht auf Leishmaniose bei einem Pferd aus Gießen wurde im Jahr 2006 dokumentiert. Auch in einem Rind und

weiteren Pferden aus der Schweiz und Südwestdeutschland wurden 2009 autochthone, kutane Leishmaniosen beschrieben. Die Erreger dieser Fälle konnten jedoch inzwischen als *L. siamensis* identifiziert werden [Müller et al. 2009, Lobsiger et al. 2010]. Weitere solcher equinen Fälle wurden kürzlich auch in den USA berichtet [Reuss et al. 2012]. *Leishmania siamensis* ist eine neu beschriebene Art, die 2008 in Thailand entdeckt wurde und dort

VL bei Menschen verursacht [Sukmee et al. 2008]. In den folgenden Jahren wurden etliche weitere humane Fälle, u.a. auch als HIV+ Koinfektion, in Thailand bekannt [Kongkaew et al. 2007, Maharom et al. 2008, Suankratay et al. 2010, Chusri et al. 2012, Bualert et al. 2012, Leelayoova et al. 2013]. Desweiteren liegen weitere bisher ungeklärte Fälle, die verursachende Leishmanienart betreffend, in Martinique von 1992 (humane VL), Ghana von 2006 (hu-



mane VL) und in Australien von 2004 (bei Kängurus) vor [Noyes et al. 2002, Villinski et al., 2008, Rose et al., 2004, Dougall et al. 2009].

Europa wurde erst kürzlich als „hot spot“ für neu und wieder auftretende Infektionskrankheiten („(re)-emerging infectious diseases“ - EID) aufgrund von Klimaveränderung und Globalisierung (Reisen, Migration, weltweiter Handel) bezeichnet und es wurde die Notwendigkeit unterstrichen, die Monitoringsysteme entsprechend anzupassen. Die viszerale Leishmaniose wurde 2012 als EID in Europa deklariert und große gesundheitspolitische Auswirkungen werden prognostiziert [Lindgren et al. 2012]. Insbesondere Mittel- und Osteuropa werden in diesem Zusammenhang als besonders wichtig eingeschätzt und es wird in Betracht gezogen, die Leishmaniose als meldepflichtige Krankheit bei der

ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) einzuführen.

Für die Planung präventiver Maßnahmen und aufgrund der vielen noch nicht genau untersuchten Fälle der neuen Art *L. siamensis* erscheint es umso wichtiger, diese Art genauer zu erforschen sowie alle bekannten und neu auftretenden autochthonen Fälle in Deutschland (bzw. in Mitteleuropa) genau zu identifizieren und zu typisieren.

Ziel dieser Arbeit war es zum einen, einen erneuten Versuch zur Identifizierung der Pferdeprobe aus dem Jahr 2004 zu unternehmen. Zum anderen sollte die phylogenetische Einordnung dieser Probe sowie von *L. siamensis* in die bestehenden Arten vorgenommen werden. Dazu wurden mehrere DNA-Marker untersucht, für die in der Literatur und bei der Sequenzdatenbank GenBank für die bekannten Leishma-

niaarten schon Sequenzinformationen vorliegen.

## II. MATERIAL UND METHODEN

Zu den für die Identifizierung und für phylogenetische Untersuchungen der Leishmanien am häufigsten verwendeten genetischen Markern gehören die sog. Internal Transcribed Spacer (ITS1, ITS2) sowie die kleine Untereinheit (18S) der ribosomalen DNA, die DNA Polymerase  $\alpha$ , die große Untereinheit der RNA Polymerase II, das Cytochrom b Gen (*cytb*) und das Heatshock Protein 70 Gen (*hsp70*). Zu diesen Markern liegen auch die meisten Einträge bei der Sequenzdatenbank GenBank des National Center for Biotechnology Information (NCBI) vor. Diese bereits veröffentlichten Sequenzen von Leishmanien und anderen Vertretern der Ordnung Kinetoplastidae sowie die Informationen zu den verschiedenen

Marker	Name	Sequenz 5'-3'	T <sub>an</sub>	Größe	Referenz
ITS1 rDNA	LITSR 5.8S	CTGGATCATTTTCCGATG TGATACCACTTATCGCACTT	53 °C	ca. 320 bp	El Tai et al. 2001
ITS2 rDNA	5.8SR LITSV	AAGTGCATAAGTGTA ACACTCAGGTCTGTAAAC	53 °C	ca. 600 bp	El Tai et al. 2001
SSU rDNA, 1. Runde	R221 R332	GGTTCCTTTCCTGATTACG GGCCGGTAAAGGCCGAATAG	53 °C	ca. 600 bp	Schönian et al. 2003
SSU rDNA, 2. Runde	R223 R333	TCCCATCGCAACCTCGGTT AAAGCGGGCGCGGTGCTG	65 °C	ca. 353 bp	Schönian et al. 2003
<i>hsp70</i>	<i>hsp70</i> for <i>hsp70</i> rev	GACGGTGCCTGCCTACTTCAA CCGCCATGCTCTGGTACATC	61 °C	ca. 1300 bp	Garcia et al. 2004, Montalvo et al. 2010
<i>cytb</i> kDNA	Lcyt-S =LCBF1 Lcyt-R =LCBR2	GGTGTAGGTTTTAGTYTAGG CTACAATAAACAAATCATAATATRCAATT	55 °C	ca. 865 bp	Kato et al. 2007, Luyo-Acero et al. 2004
DNA Polyme- rase $\alpha$ (POLA)	DNAP DPO2	AACGAGCGGCRCTGCTYACTGG GCCGAGGCAGCCATACAT	52 °C	ca. 900 bp	Noyes et al. 2002
RNA Polymerase large subunit (RPOIILS)	RPOF1=RPO1F RPOR1	GACACAGCCGTCAGAC GCAGCCGCACAATGCGCT	45 °C	ca. 1300 bp	Croan et al. 1997

Tab. 2) Aufstellung der zur Sequenzierung eingesetzten Primer

Arten und Stämmen wurden für eine *Leishmania*-Datenbank zusammengestellt. Hinzugefügt werden sollten die Sequenzen der in dieser Arbeit untersuchten Proben: die des deutschen Pferdes von 2004 T8316/2004 (MEQU/2004/DE/T8316), des Rezidivs T8316Rez/2004, eines weiteren Pferdes aus Deutschland (H-2009) und des Rindes (MBOV/CH/2009/C1) aus der Schweiz (Lobsiger et al. 2010, Müller et al. 2009), der thailändischen *L. siamensis*-Kultur Stamm MHOM/TH/2010/PCM2 (Bualert et al. 2012), der nicht identifizierten Probe MHOM/MQ/1992/MAR1 der VL-Fälle in Martinique (Noyes et al. 2002) sowie um einige andere seltene Leishmanienarten aus Südamerika, zu denen bisher keine Sequenzinformationen für bestimmte Marker publiziert wurden, so u.a. *L. enrietti* MCAV/BR/1945/LV90. Dafür wurden die verschiedenen Marker mittels PCR amplifiziert und mit einem ABI 3130xl Genetic Analyzer sequenziert.

Der PCR-Ansatz mit 25 µl Volumen setzte sich wie folgt zusammen: 1fach DreamTaq Puffer, 0,2 mM je dNTP, je 25 pmol forward- und reverse-Primer, 1 U Dream Taq DNA Polymerase und 2,0 µl DNA (aus Kulturen mit einer Konzentration von 10 ng/µl). Die DNA aus biologischem Material wurde unverdünnt unter Zugabe von 0,65 µl Dimethylsulfoxid und 2,5 µl 25mM MgCl<sub>2</sub> eingesetzt. Negativ- und Hemmkontrollen wurden standardmäßig durchgeführt. Für die verschiedenen Marker wurden unterschiedliche Thermocyclerprogramme etabliert, die sich in der Annealingtemperatur, der Dauer der einzelnen Schritte und der Anzahl der Zyklen unterscheiden. Die Primersequenzen, die Annealingtemperaturen sowie die entsprechenden Referenzen sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Die PCR-Produkte wurden mittels Elektrophorese in 1%igen Agarosegelen überprüft. Die Sequenzierung wurde mit dem Genetic Analyzer 3130xl von Applied Biosystems durch die Firma Services in Molecular Biology (SMB) GmbH durchgeführt.

Mit Hilfe des Programms BioEdit Version 7.1.11 und der Applikation ClustalW wurden Alignments der erhaltenen und der zuvor aus GenBank herausgesuchten Sequenzen für je-

den der untersuchten genetischen Marker erstellt. Basierend auf diesen Alignments wurden in dem Programm MEGA Version 5.2.1 die phylogenetischen Bäume konstruiert. Die dabei verwendeten Methoden beruhen auf den Prinzipien Maximum Parsimony (kladistische Analyse) und Neighbour Joining (distanzbasierte Methode). Zusätzlich wurden Bootstrap-Analysen durchgeführt, um die Stabilität der Gruppierungen zu prüfen.

### III. ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit wurden mehrere genetische Marker für verschiedene Leishmanienproben, von denen vermutet wird, dass es sich um *L. siamensis* handelt, mittels PCR amplifiziert und sequenziert. Dazu wurde die aus biologischem Material (Biopsien) autochthoner Leishmaniosefälle bei Pferden und einem Rind in Deutschland und der Schweiz gewonnene DNA verwendet, ebenso die DNA eines der thailändischen *L. siamensis* Referenzstämmen sowie von weiteren *L. siamensis*-ähnlichen

Stämmen, wie u.a. *L. spec.* aus humanen VL-Fällen auf Martinique und *L. enrietti*.

Mit der Software BioEdit wurden die Amplikon-Sequenzen und die Sequenzen sämtlicher Leishmanienarten und einiger Vertreter anderer Trypanosomatiden (*Endotrypanum schaudinii*, *Endotrypanum monterogei*, *Trypanosoma cruzi*, *Trypanosoma brucei*, *Crithidia fasciculata*, *Leptomonas costaricensis*), sofern bei GenBank vorhanden, für jeden der untersuchten Marker mittels multiplen Alignments verglichen. Diese Alignments stellten die Basis für die Konstruktion der phylogenetischen Bäume dar. Um die Verzweigung und Einordnung der untersuchten DNA zweifach zu bestätigen, wurden die beiden Konstruktionsmethoden Maximum Parsimony und Neighbour Joining mit zusätzlicher Bootstrap-Analyse angewendet und somit zu jedem Marker zwei Bäume erstellt.

Eines der Hauptziele der Arbeit war die Identifizierung der Pferdeprobe aus dem Jahr 2004, die zum damaligen

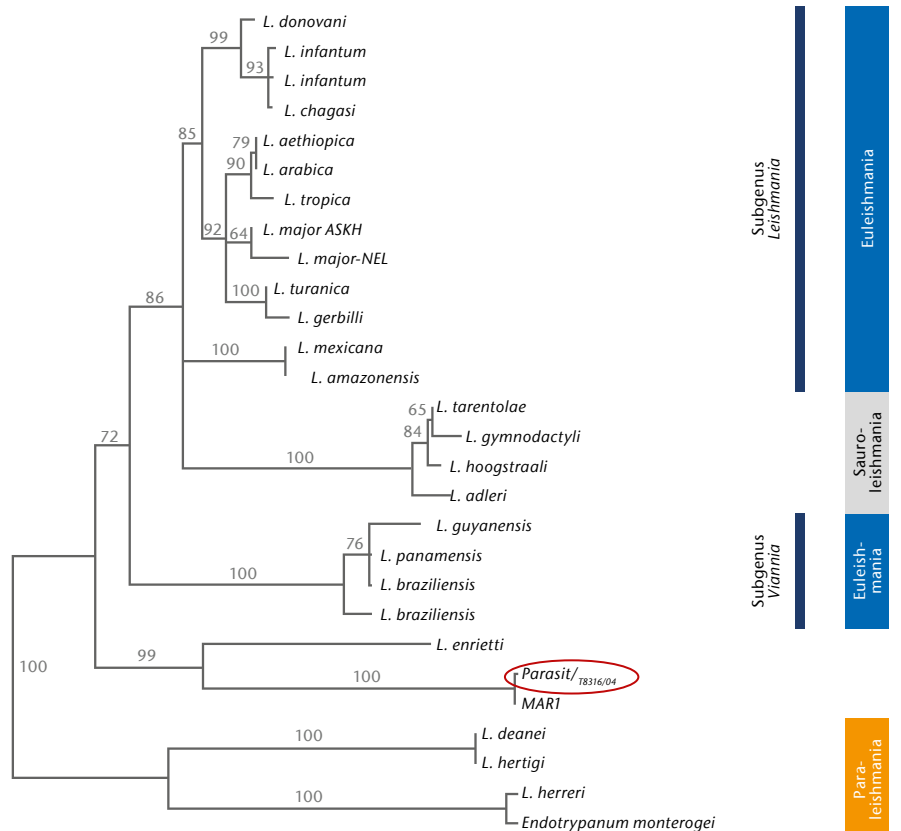


Abb. 3) Phylogenetische Position der Pferdeprobe T8316/2004 innerhalb der Gattung *Leishmania*. Der Stammbaum basiert auf den Sequenzen des DNA-Polymerase- $\alpha$ -Gens und wurde mit der Parsimonieanalyse ermittelt. Bootstrapwerte (in Prozent) sind angegeben.

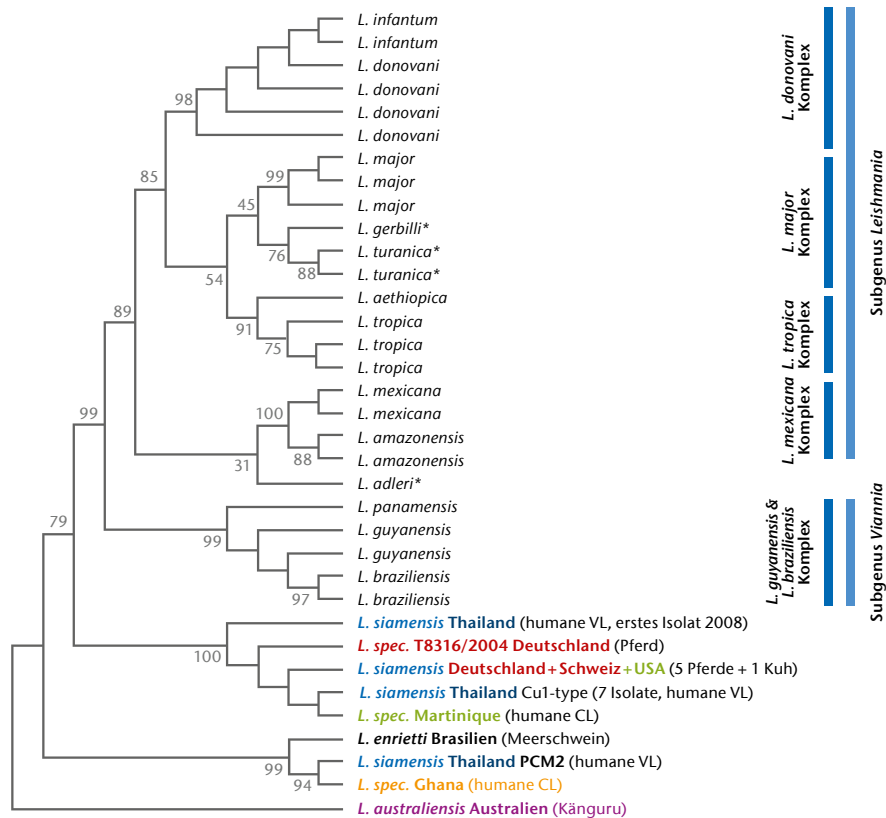


Abb. 4) Phylogenetische Position der Pferdeprobe T8316/2004 innerhalb der Gattung *Leishmania*. Der Stammbaum basiert auf den Sequenzen der ITS1-Region der ribosomalen DNA und wurde mit der distanzbasierten Neighbor-Joining Methode ermittelt. Bootstrapwerte (in Prozent) sowie die taxonomische Einordnung der einzelnen Arten in die zwei Untergattungen sowie die Artkomplexe sind angegeben. \* nicht humanpathogene Arten

Zeitpunkt zwar der Gattung *Leishmania*, jedoch keiner bekannten *Leishmania*-art zugeordnet werden konnte. Die Amplifikation der ITS1-Region zeigte zunächst, dass es sich bei dem unbekanntem Parasiten um einen Vertreter der Trypanosomatiden handelt. Erst die Sequenzierung des DNA-Polymerase- $\alpha$ -Gens (POLA) ergab die Zugehörigkeit zur Gattung *Leishmania*. Es zeigte sich, dass dieser Parasit innerhalb des Stammbaums dieser Gattung eine basale Position einnimmt, d.h. relativ entfernt verwandt zu den anderen in Europa vorkommenden *Leishmania* ist und eine eigenständige phylogenetische Gruppe mit *L. enrietti*, einem bei Meerschweinchen in Südamerika auftretenden Parasiten, sowie dem 1992 in Martinique isolierten Stamm MAR1 eines humanen CL-Falls bildet (Abb. 3). Interessanterweise unterschieden sich die Sequenzen der Pferdeprobe und des MAR1-Stammes nur durch einen einzigen Basenaustausch.

Erst die erneute Sequenzanalyse der ITS1-Region in diesem Jahr ergab, dass

es sich bei der Pferdeprobe um die im Jahr 2008 neu beschriebene Art *L. siamensis* handelt. Es zeigte sich, dass die sehr variable ITS1-Region bei folgenden Proben identisch war: der Pferdeprobe T8316/2004 aus Deutschland, den 2009 in der Schweiz und Deutschland aufgetretenen equinen und bovinen Leishmaniosefällen [Müller et al. 2009, Lobsiger et al. 2010], dem erst kürzlich in den USA beschriebenen Fällen von Pferdeleishmaniose [Reuss et al. 2012], dem bisher nicht identifizierten *Leishmania*-ähnlichen VL-Stamm aus Martinique [Noyes et al. 2002] sowie 7 der 8 in Thailand beschriebenen humanen VL-Fälle aus den Jahren 2008-2012. Interessanterweise scheint es zwei phylogenetische Gruppen innerhalb von *L. siamensis* zu geben, da sich einer der VL-Stämme aus Thailand in der ITS1-Sequenz deutlich von der ersten Gruppe unterscheidet und eine nahezu identische Sequenz zu einem *Leishmania*-ähnlichen Isolat, das bei humanen CL-Fällen in Ghana gefunden wurde und bisher auch nicht zugeordnet werden konnte, aufweist.

Die größte Ähnlichkeit dieser zweiten Gruppe bestand zu *L. enrietti*. Wie in dem Stammbaum in Abb. 4 zu sehen ist, sind die zwei *L. siamensis* Gruppen nur entfernt verwandt zu den anderen humanpathogenen *Leishmania*-arten der Untergattungen *Viannia* und *Leishmania*. Innerhalb der Gattung *Leishmania* sind die auch erst 2004 bei Kängurus gefundenen Parasiten (*L. australiensis*) phylogenetisch am weitesten entfernt. In dem mit der Parsimonie-Analyse erstellten Baum (hier nicht gezeigt) ist *L. australiensis* Teil der zweiten Gruppe, so wie auch *L. enrietti*.

Die meisten publizierten Sequenzen liegen z.Z. für die ITS1-Region vor, einschließlich der *L. siamensis* Stämme. Der SSU-Marker ist derjenige mit dem geringsten Differenzierungspotential, gibt aber wichtige Aufschlüsse, wenn es um die Einordnung der Isolate auf Gattungsebene geht – auch für diesen Marker liegen viele Sequenzen vor, problematisch ist jedoch, dass z.T. unterschiedliche Teilfragmente durch die einzelnen Autoren sequenziert wurden und die Sequenzen nicht homolog sind. Die Marker *cytb* und *hsp70* eignen sich wiederum sehr gut für die Differenzierung auf der Artebene. Grundsätzlich zeigten sowohl ITS1 als auch *hsp70* und *cytb* die Ähnlichkeit von *L. siamensis* zu *L. enrietti* und *L. spec.* aus Martinique (MAR1). Für *L. australiensis* und den *L. siamensis*-ähnlichen Stamm aus Ghana liegen leider bisher keine Sequenzen für *cytb* und *hsp70* vor. Alle Marker ordneten *L. siamensis* (mit Ausnahme des Stammes PCM2) als monophyletische Gruppe innerhalb der Gattung *Leishmania* ein, die möglicherweise eine dritte bisher nicht klassifizierte Untergattung neben den Subgenera *Viannia* und *Leishmania* darstellt.

#### IV. DISKUSSION

Zur Untersuchung autochthoner Leishmaniosefälle bei Nutztieren in Deutschland und der Schweiz in Zusammenhang mit der neuen *Leishmania*-art *L. siamensis* wurden mittels PCR sieben verschiedene genetische Marker mehrerer entsprechender Proben amplifiziert und sequenziert sowie mit den Sequenzen anderer



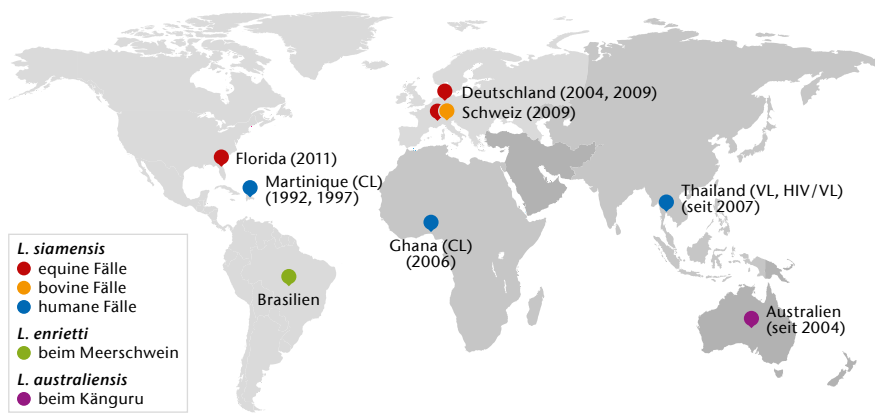


Abb. 5) Bisherige Leishmaniose-Fälle, die durch *L. siamensis* bzw. die nah verwandten Arten *L. enrietti* und *L. australiensis* verursacht wurden. In Klammern ist das Jahr des Auftretens der Erkrankung angegeben. CL – kutane Leishmaniose, VL – viszerale Leishmaniose.

Leishmaniaarten verglichen. So konnte u.a. der Erreger der schon 2004 diagnostizierten Hautleishmaniose bei einem Pferd aus Deutschland als *L. siamensis* identifiziert werden. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass es sich bei den 1992 in Martinique aufgetretenen VL-Fällen bei Menschen sowie den 2006/2007 in Ghana diagnostizierten humanen CL-Fällen auch um *L. siamensis* handelt, d.h. dass diese Art schon viel länger als Erreger der Leishmaniose zirkuliert. *Leishmania siamensis* ist somit die einzige Leishmaniaart, die auf vier bzw. fünf Kontinenten (Europa, Asien, Süd- und Nordamerika, Afrika) vorkommt, d.h. die weiteste Verbreitung aller Arten aufweist und trotzdem erst vor kurzem als Auslöser von Leishmaniosen beschrieben wurde (Abb. 5). Interessanterweise ist auch das Spektrum der klinischen Bilder sehr komplex – einerseits sind sowohl Menschen als auch Tiere betroffen, andererseits treten sowohl kutane als auch viszerale Fälle auf, desweiteren auch Koinfektionen mit HIV. In Mitteleuropa gab es allerdings bisher nur Fälle bei Nutztieren, das Auftreten von humanen Infektionen kann aber auch hier nicht ausgeschlossen werden, so dass es sich um eine neu auftretende zoonotische Infektionskrankheit handeln könnte. Völlig unklar ist bis jetzt, wie *L. siamensis* übertragen wird, d.h. welche Vektoren dafür in Frage kommen, das betrifft nicht nur die Fälle in Mitteleuropa. Da in Deutschland und der Schweiz bisher nur *Ph. mascittii* und *Ph. perniciosus* auftreten, könnte man vermuten, dass eine oder beide

dieser Sandmückenarten als Vektor fungieren, allerdings gibt es noch keinerlei Untersuchungen zum Transmissionspotential dieser Sandmückenarten für *L. siamensis*. Des Weiteren gibt es bisher auch noch keinerlei Erkenntnisse dazu, ob *Ph. mascittii* überhaupt Leishmanien überträgt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten anhand der Marker *cytb*, *hsp70* und ITS1 auch, dass es zwei unterschiedliche phylogenetische Gruppen innerhalb von *L. siamensis* gibt, was auch kürzlich in einer Studie der thailändischen Fälle festgestellt wurde [Leelayoova et al. 2013]. Interessanterweise scheint einer der *L. siamensis* Genotypen aus Thailand (PCM2) enger mit *L. enrietti* und dem bisher nicht identifizierten Parasiten in Ghana verwandt zu sein als mit allen anderen *L. siamensis* Stämmen. Eine enge Verwandtschaft des PCM2 Stammes zu *L. enrietti* zeigte sich auch bei der Sequenzanalyse von drei anderen proteinkodierenden Genen [Bualert et al. 2012]. Die Sequenzvariabilität innerhalb der ITS1-Region zwischen diesen beiden Gruppen entspricht den Werten, die sonst zwischen verschiedenen Leishmaniaarten zu finden sind, so dass es nicht auszuschließen ist, dass es sich hier um Subspezies, wenn nicht sogar verschiedene Arten, handelt. Auch die phylogenetisch-taxonomische Position der bei Kängurus auftretenden Leishmanien ist bislang noch nicht geklärt. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass diese Parasiten eng mit der zweiten Gruppe von *L. siamensis* (einschließlich *L. enrietti*)

verwandt sind, so dass auch hier sich die Frage stellt, ob es sich tatsächlich bei dieser Gruppe um drei verschiedene Arten - *L. enrietti*, *L. siamensis* und *L. australiensis* - handelt. In diesem Fall wäre *L. siamensis* paraphyletisch.

Um diese Fragen klären zu können, müssen einerseits viel mehr Stämme dieser drei Arten untersucht werden, um die Sequenzvariabilität innerhalb der einzelnen Arten abschätzen zu können. Problematisch ist des Weiteren, dass nicht für alle Arten und auch die untersuchten *L. siamensis* Stämme sowie einige der bisher nicht identifizierten *L. siamensis*-ähnlichen Stämme die Sequenzen für alle untersuchten Marker vorliegen, so dass nicht mit einem identischen Stammset für alle Marker gearbeitet werden konnte. Diese fehlenden Arten müssen in zukünftigen Studien für die entsprechenden Marker komplettiert werden. Bedauerlicherweise existiert von vielen der als *L. siamensis* identifizierten Proben kein Material (Biopsie, DNA oder Kultur) mehr.

Phylogenetische Studien sind wichtig, um bestimmte biologische Eigenschaften der einzelnen Taxa vergleichen zu können und auch Rückschlüsse zum Ursprung und zur Verbreitung der Organismen zu ziehen. Die Möglichkeit, dass sich Deutschland und andere Länder in Mitteleuropa als neue Foci für Leishmaniosen entwickeln könnten, ist in jedem Fall ernst zu nehmen. Deshalb ist es wichtig, weitere Forschung zu diesem Thema zu betreiben. Die Studien zu *L. siamensis* als Verursacher von autochthonen Leishmaniosen sind ein erster Schritt in diese Richtung.

Um die Gefährdung von Menschen in Mitteleuropa besser einschätzen zu können, sind weitere Untersuchungen zur Virulenz, Wirtspräferenz, Medikamentensensitivität und zum Transmissionszyklus von *L. siamensis* (insbesondere der europäischen Parasiten) notwendig. Diese Studien erfordern das erfolgreiche Ansetzen einer Kultur, was bis jetzt leider noch für keinen der in Deutschland und der Schweiz aufgetretenen Fälle gelungen ist. Epidemiologische Studien einschließlich der Surveillance, dem Screening von Nutztieren sowie der Menschen in den be-

troffenen Regionen, der genetischen Typisierung und Untersuchungen zum Ursprung und der Verbreitung der Infektionen und die Identifizierung des Vektors sind die Hauptaufgaben für eine effektive Prävention und Kontrolle dieser neuen Infektionskrankheit in Mitteleuropa.

## DANKSAGUNG

Wir möchten uns bei Harry Noyes (Institute of Integrative Biology, Dept. of Functional and Comparative Genomics, University of Liverpool, UK), Norbert Müller (Institut für Parasitologie der Vetsuisse Fakultät und der Medizinischen Fakultät, Universität Bern), Mohamed Kasbari (ANSES - Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, Laboratoire de Santé Animale, Mission Leishmanioses & Phlébotomes, Maisons Alfort, France), Elisa Cupolillo (Instituto Oswaldo Cruz – Fiocruz, Laboratório de Pesquisa em Leishmaniose, Rio de Janeiro, Brasilien) und Christophe Ravel (Université de Montpellier 1, Faculté de Médecine, France) für die Zurverfügungstellung von DNA verschiedener *Leishmania*-Proben bedanken.

## LITERATUR

- Beyreder J. (1962): Ein Fall von Leishmaniose in Niederösterreich. *Wien Med Wochenschr* 115:900-901.
- Bogdan C, Schönian G, Banuls AL, Hide M, Pratleng F, Lorenz E, Rölinghoff M, Mertens R. (2001): Visceral Leishmaniasis in a German child who had never entered a known endemic area: case report and review of the literature. *Clin Inf Dis* 31: 302-306.
- Bualert L, Charungkiattikul W, Thongsuksai P, Mungthin M, Siripattanapibong S, Khositnithikul R, Naaglor T, Ravel C, El Baidouri F, Leelayoova S. (2012): Case report: Autochthonous disseminated dermal and visceral leishmaniasis in an AIDS patient, Southern Thailand, caused by *Leishmania siamensis*. *Am J Trop Med Hyg* 86(5): 821-824.
- Callot J. (1959): Présence de *Phlebotomus larrouseii* en Alsace. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* 25:112.
- Chusri S, Hortiwakul T, Silpapojakul K, Sirivasatien P. (2012): Case report: Consecutive cutaneous and visceral leishmaniasis manifestations involving a novel *Leishmania* species in two HIV patients in Thailand. *Am J Trop Med Hyg* 87(1): 76-80.
- Croan DG, Morrison DA, Ellis JT (1997): Evolution of the genus *Leishmania* revealed by comparison of DNA and RNA polymerase gene sequences. *Mol Biochem Parasitol*. Nov;89(2):149-59.
- Depaquit J, Naucke TJ, Schmitt C, Ferté H, Léger N. (2005): A molecular analysis of the subgenus *Transphlebotomus* *Artemiev*, 1984 (*Phlebotomus*, *Diptera*, *Psychodidae*) inferred from ND4 mtDNA with new northern records of *Phlebotomus mascittii* Grassi, 1908. *Parasitol Res* 43: 113-116.
- Diaz-Espineira MM, Slappendel RJ. (1997): A case of autochthonous canine leishmaniasis in The Netherlands. *Vet Q* 19: 69-71.
- Dornbusch HJ, Urban C, Kerbl C, Lackner H, Schwinger W, Sovinz P, Zottner H, Aspöck H. (1999): Viscerale Leishmaniose bei einem 10 Monate alten österreichischen Mädchen. XXXIII. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Tropenmedizin und Parasitologie (1999).
- Dougall A, Shilton C, Low Choy J, Alexander B, Walton S. (2009): New reports of Australian cutaneous leishmaniasis in northern Australian macropods. *Epidemiol Infect* 137:1516-1520.
- El Tai NO, El Fari M, Mauricio I, Miles MA, Oskam L, El Safi SH, Presber WH, Schönian G. (2001): *Leishmania donovani*: intraspecific polymorphisms of Sudanese isolates revealed by PCR-based analyses and DNA sequencing. *Exp Parasitol*. Jan 97(1):35-44.
- Fischer D, Moeller P, Thomas SM, Naucke TJ, Beierkuhnlein C. (2011): Combining climatic projections and dispersal ability: a method for estimating the responses of sandfly vector species to climate change. *PLoS NTD* 5(11): e1407.
- Fischer D, Thomas SM, Beierkuhnlein C. (2010): Temperature-derived potential for the establishment of phlebotomine sandflies and visceral leishmaniasis in Germany. *Geospatial Health* 5(1): 59-69.
- Galli-Valerio B. (1912): Beobachtungen über *Culiciden* und Mitteilung über das Vorkommen von *Phlebotomus papatasi* (Scop.) im Kanton Waadt. *Zentralblatt für Bakteriologie* 43: 222-226.
- García L, Kindt A, Bermudez H, Llanos-Cuentas A, De Doncker S, Arevalo J, Wilber Quispe Tintaya K, Dujardin JC. (2004): Culture-independent species typing of neotropical *Leishmania* for clinical validation of a PCR-based assay targeting heat shock protein 70 genes. *J Clin Microbiol*. May;42(5):2294-7.
- Gothe R. (1991): Leishmaniosen des Hundes in Deutschland: Erregerfauna und -biologie, Epidemiologie, Klinik, Pathogenese, Diagnose, Therapie und Prophylaxe. *Kleintierpraxis* 36: 69-84.
- Grimm F, Knechtli R, Gessler M, Jenni L. (1990): Biology of sandflies in southern Switzerland. *Rev Suisse Zool* 97: 778-779.
- Grimm F, Gessler M, Jenni L. (1993): Aspects of sandfly biology in Southern Switzerland. *Med Vet Entomol* 7: 170-176.
- Harms G, Schönian G, Feldmeier H. (2003): Leishmaniasis in Germany. *Emerg Inf Dis* 9 (7): 872-875.
- Kato H, Uezato H, Gomez EA, Terayama Y, Calvoña M, Iwata H, Hashiguchi Y. (2007): Establishment of a mass screening method of sand fly vectors for *Leishmania* infection by molecular biological methods. *Am J Trop Med Hyg*. Aug 77(2):324-9.
- Knechtli R & Jenni L. (1990): Experimental transmission of *Leishmania infantum* by the bite of *Phlebotomus perniciosus* from Switzerland. *Acta Tropica* 47:213-216.
- Koehler K, Stechele M, Hetzel U, Domingo M, Schönian G, Zahner H, Burkhardt E. (2002): Cutaneous leishmaniasis in a horse in southern Germany caused by *Leishmania infantum*. *Vet Parasitol* 109: 9-17.
- Kollaritsch H, Emminger W, Zauschirm A, Aspöck H. (1989): Suspected autochthonous kala-azar in Austria. *Lancet* 22: 901-902.
- Kongkaew W, Siriayaporn P, Leelayoova S, Supparatpinyo K, Areechokchai D, Duang-ngern P, Chanachai K, Sukmee T, Samung Y, Sridurongkathum P. (2007): Autochthonous visceral leishmaniasis: a report of a second case in Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Publ Health* 38(1): 8-12.
- Kuhls K, Sinning D, Rauhut F, Köhler K, Litzke LF, Schönian G. (2013): *Leishmania siamensis* as the cause of autochthonous cutaneous leishmaniasis of horses in Germany – a new emerging zoonotic disease? *World-Leish* 5 2013. Abstract
- Leelayoova S, Siripattanapibong S, Hitakarun A, Kato H, Tan-ariya P, Siriyasatien P, Osatakul S, Mungthin M. (2013): Multilocus characterization and phylogenetic analysis of *Leishmania siamensis* isolated from autochthonous visceral leishmaniasis cases, southern Thailand. *BMC Microbiology* 13:60
- Lindgren E, Andersson Y, Suk JE, Sudre B, Semenza JC. (2012): Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change. *Science* 336:418-419.
- Litzke, L-F, Köhler, K, Schoenian, G, Zahner, H. (2006): Autochthone Hautleishmaniose beim Pferd. Tagung „Diagnostik, Epidemiologie und Bekämpfung von Parasitosen“ der Fachgruppe Parasitologie und parasitäre Krankheiten der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft, Wetzlar, 2006.
- Lobsiger L, Müller N, Schweizer T, Frey CF, Wiederkehr D, Zumkehr B, Gottstein B. (2010): An autochthonous case of cutaneous bovine leishmaniasis in Switzerland. *Vet Parasitol* 169: 408-414.
- Lollaritsch H, Emminger W, Zauschirm A, Aspöck H. (1989): Suspected autochthonous kala-azar in Austria [letter]. *Lancet* 1: 901-902.
- Luyo-Acero GE, Uezato H, Oshiro M, Takei K, Kariya K, Katakura K, Gomez-Landires E, Hashiguchi Y, Nonaka S (2004): Sequence variation of the cytochrome b gene of various human infecting members of the genus *Leishmania* and their phylogeny. *Parasitology* May128(Pt 5):483-91.
- Maharom P, Siripattanapibong S, Mungthin M, Naaglor T, Sukkawee R, Pudkorn R, Wattana W, Wanachawanawin D, Areechokchai D, Leelayoova S. (2008): Visceral leishmaniasis caused by *Leishmania infantum* in Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 39(6): 88-990.
- Maroli M, Rossi L, Baldelli R, Capelli G, Ferroglio E, Genchi C, Gramiccia M, Mortarino M, Pietrobello M, Gradoni L. (2008): The northward spread of leishmaniasis in Italy: evidence from retrospective and ongoing studies on the canine reservoir and phlebotomine vectors. *Trop Med Int Health* 13(2): 256-264.
- Mazzi R. (1976): Kutane Leishmaniose: Autochthone Fall in der Schweiz? *Dermatologica* 153: 104-105.
- Menn B, Lorentz S, Naucke TJ. (2010): Imported and travelling dogs as carriers of canine vector-borne pathogens in Germany. *Parasites & Vectors* 3, 34.
- Montalvo AM, Fraga J, Monzote L, Montano I, De Doncker S, Dujardin JC, Van der Auwera G. (2010): Heat-shock protein 70 PCR-RFLP: a universal simple tool for *Leishmania* species discrimination in the New and Old World. *Parasitology* Jul;137(8):1159-68.
- Müller N, Welle M, Lobsiger L, Stoffel MH, Kühni Boghenbor K, Hilbe M, Gottstein B, Frey CF, Geyer C, von Bomhard W. (2009): Occurrence of *Leishmania* sp. in cutaneous lesions of horses in Central Europe. *Vet Parasitol* 166: 346-351.
- Naucke TJ, Pesson B. (2000): Presence of *Phlebotomus* (*Transphlebotomus*) *mascittii* Grassi, 1908 (*Diptera*: *Psychodidae*) in Germany. *Parasitol Res* 86: 335-336.
- Naucke TJ. (2002): Leishmaniose, eine Tropenkrankheit und deren Vektoren (*Diptera*, *Psychodidae*, *Phlebotominae*) in Mitteleuropa. *Denisia* 6 Nr. 184: 163-178.
- Naucke TJ, Menn B, Massberg D, Lorentz S. (2008): Sandflies and leishmaniasis in Germany. *Parasitol Res* (Suppl 1) 103: 65-68.

Naucke TJ, Lorentz S, Rauchenwald F, Aspöck H. (2011): Phlebotomus (Transphlebotomus) mascittii Grassii, 1908, in Carinthia: first record of the occurrence of sandflies in Austria (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae). Parasitol Res 109(4): 1161-1164.

Naucke TJ & Schmitt C. (2004): Is leishmaniasis becoming endemic in Germany? Int J Microbiol 293 (Suppl. 37):179-181.

Noyes H, Pratlong F, Chance M, Ellis J, Lanotte G, Dedet JP. (2002): A previously unclassified trypanosomatid responsible for human cutaneous lesions in Martinique (French West Indies) is the most divergent member of the genus Leishmania ss. Parasitology 124: 17-24.

Reuss SM, Dunbar MD, Calderwood Mays MB, Owen JL, Mallicote MF, Archer LL, Wellehan Jr JFX. (2012): Autochthonous Leishmania siamensis in Horse, Florida, USA. Emerging Infectious Diseases 18(9): 1545-46.

Rose K, Curtis J, Baldwin T, Mathis A, Kumar B, Sakthianandeswaren A, Spurck T, Low Choy J, Handman E. (2004): Cutaneous leishmaniasis in red kangaroos isolation and characterization of the causative organisms. Int J Parasitol 34: 655-664.

Schwalder P. (1977): Leishmaniose bei Hund und Katze. Autochthone Fälle in der Schweiz. Kleintierpraxis 22: 237-246.

Schönian G, Nasereddin A, Dinse N, Schweynoch C, Schallig HD, Presber W, Jaffe CL. (2003): PCR diagnosis and characterization of Leishmania in local and imported clinical samples. Diagn Microbiol Infect Dis Sep 47(1):349-58.

Slappendel RJ. (1988): Canine leishmaniasis: a review based on 95 cases in The Netherlands. Vet Q 10: 1-16.

Suankratay C, Suwanpimolkul G, Wilde H, Siriyasattien P. (2010): Case report: Autochthonous visceral leishmaniasis in a human immunodeficiency virus (HIV)-infected patient: the first in Thailand and review of the literature. Am J Trop Med Hyg 82(1): 4-8.

Sukmee T, Siripattanapipong S, Mungthin M, Worapong J, Rangsin R, Samung Y, Kongkaew W, Bumrungrana K, Chanachai K, Apiwathanasorn C, Rujirojindakul P, Wattanasri S, Ungchusak K, Leelayoova S. (2008): A suspected new species of Leishmania, the causative agent of visceral leishmaniasis in a Thai patient. Int J Parasitol 38: 617-622.

Villinski JT, Klena JD, Abbassy M, Hoel DF, Pupilampu N, Mehta S, Boakye D, Raczniak G. (2008): Evidence for a new species of Leishmania associated with a focal disease outbreak in Ghana. Diagn Microbiol Infect Dis 60: 323- 327.

Vogel R. (1931): Beobachtungen über blutsaugende Zweiflügler im Kanton Tessin. Zool Anz): 1-3.

Weitzel T, Mühlberger N, Jelinek T, Schunk M, Ehrhardt S et al. (2005): Imported leishmaniasis in Germany 2001-2004: data of the SIMPID surveillance network. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 24: 471-476

World Health Organization (2010): Control of the leishmaniases: report of a meeting of the WHO Expert Committee on the Control of Leishmaniases, Geneva, 22-26 March 2010, WHO technical support series (2010), No. 949.

Wiwantkit V. (2011): Bone marrow leishmaniasis: a review of situation in Thailand. Asian Pacific J Trop Med 757-759.

## AUTOREN

**Denise Sinning, B.Sc.**  
Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Labor für Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
sinning@th-wildau.de

**Dr. Kernt Köhler**  
Institut für Veterinär-Pathologie der  
Justus-Liebig-Universität Gießen  
Kernt.Koehler@vetmed.uni-giessen.de

**Prof. Dr. Lutz-Ferdinand Litzke**  
Klinik für Pferde (Chirurgie) der  
Justus-Liebig-Universität Gießen  
lutz-f.litzke@vetmed.uni-giessen.de

**Dr. rer. nat. Gabriele Schönian**  
Institut für Mikrobiologie und Hygiene,  
Charité Universitätsmedizin Berlin  
Gabriele.Schoenian@charite.de

**Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme**  
Labor für Molekulare Biotechnologie  
und Funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
marcus.frohme@th-wildau.de

**Dr. rer. nat. Katrin Kuhls (korrespondierender Autor)**  
Labor für Molekulare Biotechnologie und  
Funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
Katrin.Kuhls@th-wildau.de



# ANALYSE KOMPLEXER BIOLOGISCHER PROBEN MITTELS OBERFLÄCHENVERSTÄRKTER RAMAN-SPEKTROSKOPIE (SERS)

Janine Lange, Hamza Messaoudi, Susanta Kumar Das, Rüdiger Grunwald, Sigurd Schrader, Marcus Frohme, Friedhelm Heinrich

## Zusammenfassung

Diese Studie beschäftigt sich mit dem Nachweis biologischer Proben mit Hilfe der Raman-Mikroskopie. Um ausreichende Signalintensitäten auch bei niedrigen Konzentrationen zu erhalten, wurde insbesondere der Effekt der oberflächenverstärkten Raman-Streuung (SERS) näher untersucht. Als Proben dienten DNA aus Hering-Sperma und das Protein Albumin. Zur Verstärkung des Raman-Spektrums wurden zwei unterschiedliche Methoden verwendet. Zum Einen wurden in einem chemischen Reduktionsprozess Nanosilberpartikel hergestellt und den biologischen Proben zugemischt. Zum Anderen wurden mit Hilfe laserangeregter periodischer Oberflächenstrukturierung (LIPSS) erzeugte nanostrukturierte Silberoberflächen als Substrate für die Proben verwendet. Diese Methode wurde bislang nicht für die SERS-Analyse biologischer Proben eingesetzt. Erste hier präsentierte Messungen zeigen, dass beide Verfahren signifikante SERS-Verstärkungen liefern und potentiell leistungsstarke Methoden für die zerstörungsfreie Analyse biologischer Proben darstellen.

## Abstract

This study deals with the detection of biological samples by means of Raman-microscopy. In particular the surface enhanced Raman scattering (SERS)-effect is analyzed by using herring sperm DNA and the albumin protein. Two different SERS-methods were applied. First silver nano particles were produced in a chemical reduction process and admixed to the biological samples. Second, as a new method for SERS-analysis of biological samples, nanostructured silver substrates were employed, generated by laser induced periodic surface structuring (LIPSS). First measurements, presented here, demonstrate that both approaches represent powerful tools for the non-destructive analysis of biological samples.

## I. EINFÜHRUNG

Moleküle können unter anderem mittels Raman-Spektroskopie nachgewiesen werden - eine Methode, die sich seit ihrer Entdeckung im Jahre 1928 zu einem wichtigen Analyseinstrument in verschiedensten Bereichen entwickelt hat (Sur, 2010). Basis der Ramanmessung ist die inelastische Streuung von Licht (typischerweise Laserlicht) an Molekülen, wobei entweder Schwingungsmoden angeregt bzw. Energie von den schwingenden Molekülen auf die Laserphotonen übertragen werden. Die Energie der gestreuten Photonen wird spektroskopisch vermessen, wobei jede Molekülschwingung ihren individuellen molekularen Fingerabdruck im Spektrum des gestreuten Lichtes hinterlässt und so eine Identifizierung der beteiligten Moleküle erlaubt.

Die Raman-Spektroskopie findet unter anderem Anwendung in der Forensik

zur Blutuntersuchung (Boyd et al., 2011), der Pharmazie zur Medikamentenentwicklung (Huong, 1986), der Planeten- und Weltraumforschung zur Untersuchung für Leben auf dem Mars (Böttger et al., 2011) und zunehmend auch in den Biowissenschaften.

Im Unterschied zur weit verbreiteten Fluoreszenzspektroskopie, bei der fluoreszierende Marker verwendet werden, greift die Raman-Spektroskopie nicht in die Chemie der Proben ein. Sie wirft jedoch Probleme bei gering konzentrierten biologischen Proben auf, da der Raman-Prozess typischerweise nichtresonant ist und somit die Intensitäten der Raman-Linien in der Regel relativ schwach sind. Dies erfordert neben einem empfindlichen Nachweis durch gekühlte Silizium-Detektoren (CCD) weitere Maßnahmen zur Signalverstärkung.

Die SERS-Methode (surface-enhanced Raman scattering) wurde erstmalig

1974 von Fleischmann et al. eher unabhängig verwendet. Die Autoren hatten eine Intensitätssteigerung der Raman-Signale bei der Adsorption von Pyridin auf rauen Silberoberflächen beobachtet. Sie führten diesen Effekt zunächst auf die Vergrößerung der effektiven Oberflächen und damit verstärkter Moleküladsorption zurück. (Fleischmann, 1974). Später konnten D. L. Jeanmaire und R. P. Van Duyne (Jeanmaire, 1977) sowie M. Grant Albrecht und J. Alan Creighton (Albrecht, 1977) zeigen, dass der geometrische Effekt den beobachteten hohen Verstärkungsgrad allein nicht erklärt. Jeanmaire et al. postulierten einen elektromagnetischen Effekt, bei dem es durch Anregung von Plasmonenresonanzen (kollektive Elektronenschwingungen) in den Nanostrukturen der aufgerauten Oberflächen zu einer Feldverstärkung im Bereich der Oberflächen kommt, welche zu einem signifikanten Anstieg der Raman-Signale über mehrere Größenordnungen führen kann. Grant Albrecht et al.



gingen dagegen von einem Ladungstransfereffekt aus. Heute ist bekannt, dass beide Mechanismen eine Rolle spielen können, wobei der elektromagnetische Effekt immer vorhanden ist, sofern Oberflächenplasmonen angeregt werden, der Ladungstransfereffekt jedoch eine chemische Bindung der Moleküle an die Oberflächen voraussetzt. Die Trennung beider Effekte ist in der Praxis schwierig.

In den vorliegenden Experimenten kann man davon ausgehen, dass der elektromagnetische Verstärkungseffekt über Plasmonenanregung dominiert, da die Größe der Kolloide und die Strukturdimensionen der LIPSS-Substrate einen sehr starken Einfluss auf den Verstärkungsgrad hatten. Tatsächlich handelt es sich bei der Plasmonenanregung um einen relativ komplexen physikalischen Vorgang, dessen Effizienz von einer Reihe von Faktoren abhängt, wie dem verwendeten Material, der Größe und der Form der Nanostrukturen sowie der anregenden Wellenlänge. Prinzipiell können alle Materialien eingesetzt werden, die über eine ausreichende (metallähnliche) Leitfähigkeit verfügen. Hauptsächlich bisher verwendete Materialien sind Silber, Gold und Kupfer in kolloidaler Form oder als nanostrukturierte Oberflächen.

Wegen der komplexen zugrunde liegenden Mechanismen sind genaue Vorhersagen über die optimalen Strukturdimensionen und Geometrien für eine möglichst effiziente Ramanverstärkung kaum möglich. Auch die bekannten experimentellen Arbeiten liefern bislang keine eindeutigen Aussagen. Die Optimierung solcher Strukturen ist damit ein interessantes experimentelles Forschungsgebiet, dem gerade im Hinblick auf biologische und biomedizinische Anwendungen besondere Bedeutung zukommt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Potential Raman-spektroskopischer Messungen für den biologischen und biomedizinischen Bereich auszuloten, wobei als Testsubstanzen Hering-Sperma-DNA und das Protein Albumin verwendet wurden. Die SERS-Messungen wurden sowohl für kolloidales Silber als auch für peri-

odisch strukturierte Silbersubstrate durchgeführt.

Die hier vorgestellten Arbeiten entstanden in interdisziplinärer Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen „Molekulare Biotechnologie und Funktionelle Genomik“ und „Photonik, Laser- & Plasmatechnologien“ der TH-Wildau sowie dem „Max-Born-Institut für nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI)“.

Das kolloidale Silber wurde an der TH-Wildau hergestellt. Die nanostrukturierten Silberoberflächen wurden am MBI mit Hilfe des LIPSS-Verfahrens (laser-induced-periodic surface structuring) erzeugt (Das, 2010). Durch Beschuss der Laseroberfläche mit einem Kurzpuls-Laser mit Pulslängen im Femtosekundenbereich entstehen dabei periodisch strukturierte Oberflächen, wobei die Struktureigenschaften, wie Tiefe und Periodizität, der Strukturen durch verschiedene Laserparameter steuerbar sind. In der vorliegenden Arbeit kamen Strukturen mit Perioden von etwa 250 nm und 530 nm zum Einsatz. Der hier verfolgte Ansatz, solche Proben für SERS-Messungen an biologischen und biomedizinischen Proben zu verwenden, ist neu.

## II. MATERIAL UND METHODEN

### II.1 HERSTELLUNG VON SILBERKOLLOIDEN

Für die Messung der Proben mit kolloidalem Silber wurden diese unter Ci-

tratreduktion nach der Anleitung von Guicheteau et al. hergestellt (Guicheteau et al., 2006). Dabei wurde das Silber zunächst unter Zugabe von Citrat reduziert. Dazu wurden zwei Ansätze mit jeweils 15 mg und 30 mg Silbernitrat (Merck) in ein 250 ml Becherglas eingewogen, mit Alufolie abgedeckt und unter ständigem Rühren auf ca. 90 °C erhitzt. Dann wurden 2,5 ml 1%ige Natriumcitratlösung (Alfa Aesar) hinzugegeben und für 25 min bei ca. 90 °C gekocht. Nach Abkühlung der Lösung auf Raumtemperatur wurde diese in einen 50 ml Schraubdeckelröhrchen überführt, welches durch Alufolie vor Licht geschützt war. Abschließend wurden die Kolloidgrößen jeweils mittels Steulichtanalyse (Zetasizer) vermessen. Die Kolloiddurchmesser waren in etwa Gauß-verteilt, mit einem Mittelwert bei ca. 35 nm.

### II.2 HERSTELLUNG NANOSTRUKTURIERTER SUBSTRATE

Der experimentelle Aufbau zur Herstellung der LIPSS-Substrate ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Der Titan-Saphir-Laser (40 fs, Spitfire, Spectra Physics) wird über dichroitische Spiegel mit Hilfe einer Zylinderlinse auf die Oberfläche abgebildet. Ein im Strahlengang befindlicher BBO-Kristall dient zur Frequenzverdopplung des Laserlichtes, so dass zwei unterschiedliche Anregungswellenlängen ( $\lambda_{exc} = 400\text{nm}$  und  $\lambda_{exc} = 800\text{nm}$ ) für die LIPSS-Strukturierung zur Verfügung standen. Das Substrat kann mit Geschwindigkeiten von  $v = 0,001$  bis

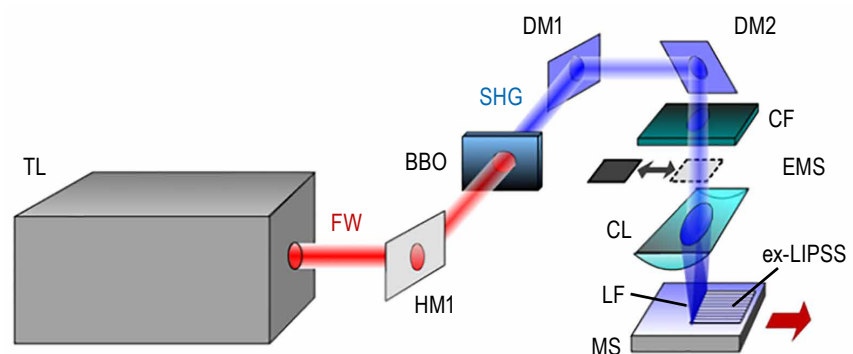


Abb. 1) Experimenteller Aufbau für die erweiterte Laser-induzierte periodische Oberflächenstruktur (ex-LIPSS); TL=Titanium Saphir Laser, FW= Grundwelle, HM1= hochreflektierender Spiegel, BBO=  $\beta$ -Bariumborat Crystal, SHG= 2. Obertonzeugung, DM1 und DM2= dichroitischer Spiegel, CF= Farbglasfilter (BG39), EMS= elektromagnetischer Verschluss, CL= zylindrische Linse, LF= Linienfokus, MS = bewegendes Substrat (in xyz-Richtung) (Das,2010).

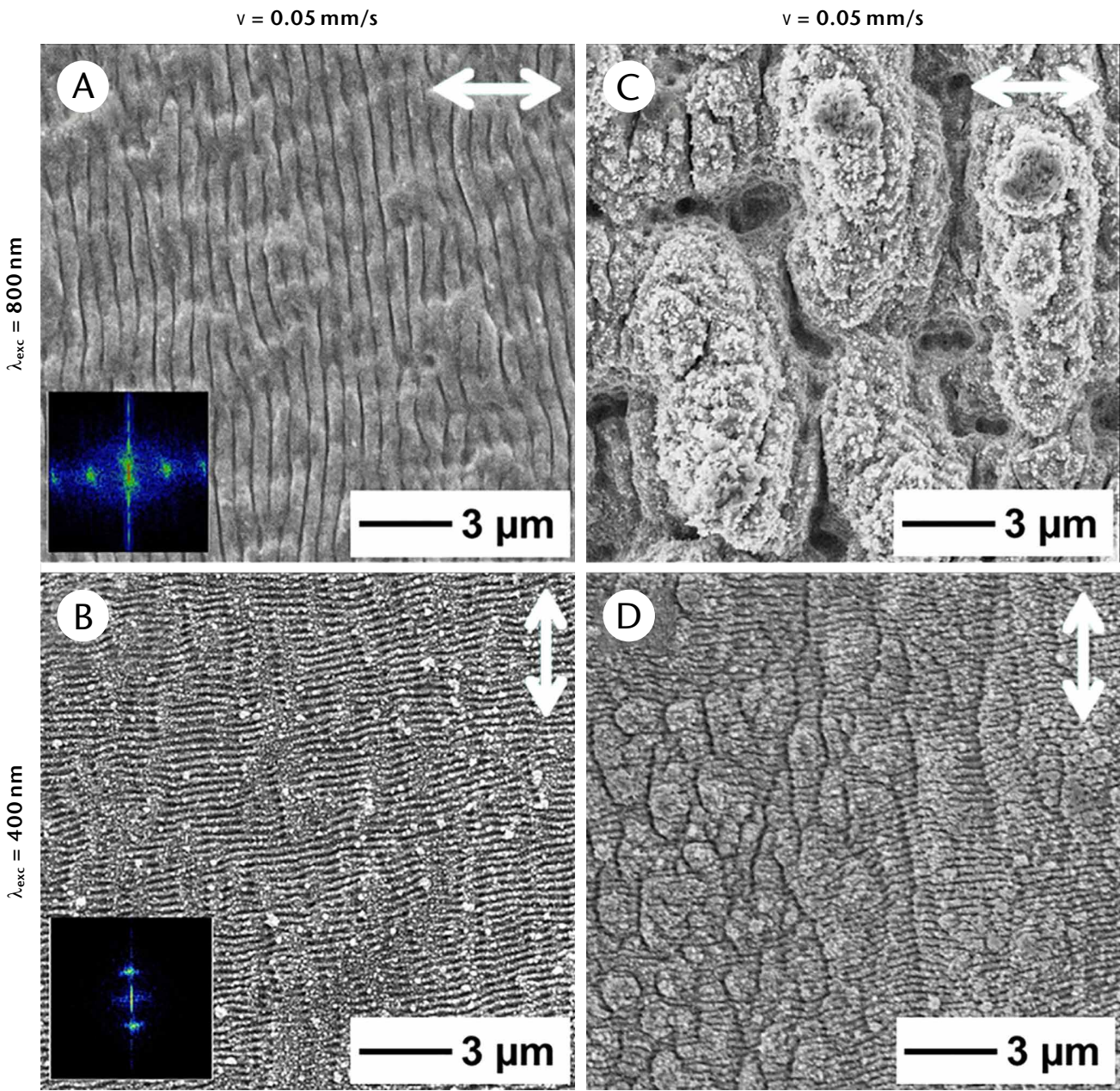


Abb. 2) Rasterelektronenmikroskopaufnahmen eines nanostrukturierten Silbersubstrats bei Wellenlängen von  $\lambda_{exc} = 800\text{nm}$  (a,c) und  $\lambda_{exc} = 400\text{nm}$  (b,d) mit Scangeschwindigkeiten von  $v = 0,05\text{mm/s}$  (a,b) und  $v = 0,005\text{mm/s}$  (c,d).

$v = 8\text{mm/s}$  in x-y-Richtung bewegt werden, wobei der Probenstisch in den vorliegenden Experimenten senkrecht zur Fokuslinie bewegt wurde und so zusammenhängende strukturierte Bereiche auf einer Fläche von etwa  $2500 \times 500 \mu\text{m}$  entstanden. Die Oberflächenstruktur hing dabei sehr stark von der Wellenlänge und den Vortriebsgeschwindigkeiten ab (Das, 2010).

In Abb. 2a-d) sind Rasterelektronenmikroskop (REM)- Aufnahmen für Wellenlängen von  $\lambda_{exc} = 400 \text{ nm}$  und  $\lambda_{exc} = 800 \text{ nm}$  bei zwei verschiedenen Scangeschwindigkeiten  $v = 0,05$  und

$v = 0,005 \text{ mm/s}$  dargestellt. Bei  $0.05\text{mm/s}$  bildeten sich linienförmige Strukturen mit wellenlängenabhängigen Perioden von etwa  $530 \text{ nm}$  und  $250 \text{ nm}$  (Abb. 2a und 2b), während bei der geringeren Scangeschwindigkeit inselartige Strukturen mit nanorauen Oberflächenprofilen entstanden. In den vorliegenden Experimenten wurden die in Abb. 2a) und 2b) gezeigten Strukturen verwendet.

II. III. PROBENPRÄPARATION

$100 \mu\text{L}$  der  $15 \text{ mg/ml}$  Hering-Sperma-DNA-Lösung wurden mit  $200 \mu\text{L}$  Silberkolloidlösung ( $1,8 \cdot 10^{-3}$  und

$8,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ ) vermischt.  $8 \mu\text{l}$  dieser Lösung wurden dann auf einen Glasobjektträger im Vakuum-Trockner für ca.  $5 \text{ min}$  getrocknet. Für die Albumin Präparation wurde zunächst eine Konzentration von  $102,4 \text{ mg/ml}$  angesetzt. Das Reaktionsgefäß wurde gut gemischt und für ca.  $5 \text{ min}$  in ein Ultraschallbad gelegt.  $8 \mu\text{l}$  dieser Lösung wurden auf einen Glasobjektträger für  $5 \text{ min}$  im Vakuum-Trockner getrocknet. Anschließend wurden  $8 \mu\text{l}$  der  $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  Silberkolloidlösung darauf pipettiert und wieder für  $5 \text{ min}$  im Vakuumtrockner getrocknet. Für die Messungen auf den nanostrukturierten Silberoberflächen wurden



jeweils 2 µl der Proben auf einen strukturierten Oberflächenbereich der Silberproben pipettiert. Das Target mit der Probe wurde anschließend im Vakuum-Trockner getrocknet.

## II. IV. SPEKTRENAUFNAHME

Die Spektren wurden mit Hilfe eines konfokalen Raman-Mikroskops (Witec alpha 300) aufgenommen. Dessen Hauptkomponente ist ein Zeiss-Mikroskop mit drei Objektiven (10x/0,2, 50x/0,7 und 100x/0,9). Das Laserlicht wird über Monomodefasern (Modendurchmesser 3,5µm) eingekoppelt und auf die Probe fokussiert. Gegenwärtig stehen zwei Laser mit Wellenlängen von 488 nm und 532 nm zur Verfügung. Das an der Oberfläche gestreute Laserlicht wird auf eine optische Multimode-Faser mit wahlweise 25 µm, 50µm und 100 µm Kerndurchmesser abgebildet. Die spektrale Analyse erfolgt mit Hilfe eines linsenbasierten Spektrometers 300 mm fokaler Länge. Dessen spektrale Auflösung kann durch das verwendete Beugungsgitter im Spektrographen (600Linien/mm und 1800 Linien/mm) und den Durchmesser der Multimode-Fasern im Bereich von etwa  $\sim 0,6 \text{ cm}^{-1}$  bis  $\sim 7 \text{ cm}^{-1}$  variiert werden. Der Durchmesser der Fasern definiert gleichzeitig die konfokale Auflösung des Mikroskops. Als Detektor dient eine mit einer dreistufigen Peltier-Kühlung (bis  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) versehene EMCCD-Kamera (Andor). Die Proben können orts aufgelöst über einen in x-y-Richtung motorgetriebenen scanbaren Probenstisch und das in z-Richtung scanbare Mikroskop analysiert werden. Eine detaillierte Beschreibung des Raman-Systems findet sich in den Bachelorarbeiten von *Katja Zimmer* (Zimmer, 2012) und *Janine Lange* (Lange, 2013).

## III. ERGEBNISSE

### III.I SERS-SPEKTREN MIT SILBERKOLLOIDEN

Die intensitätsstärksten Raman-Spektren konnten bei Verwendung des 50x-Objektivs und des 488 nm-Lasers beobachtet werden, der deshalb in den hier präsentierten Messungen eingesetzt wurde. Um sicherzustellen, dass der Laser die DNA nicht schädigt,

wurden zunächst mehrere Spektren bei Variation der Laserleistung von 10 µW bis 25 mW aufgenommen. Hierbei wurde beobachtet, dass es erst oberhalb von 10 mW zu irreversiblen Änderungen der relativen Intensitäten kam, was auf die Schädigung der DNA-Moleküle zurückgeführt wurde. Die Messungen wurden dann bei 1 mW Laserleistung, also weit unterhalb der Zerstörschwelle, durchgeführt. Für die Aufnahme der Spektren wurde das 600L/mm-Gitter verwendet, um den gesamten Raman-relevanten Spektralbereich simultan aufzeichnen zu können. Die spektrale Auflösung lag bei  $7 \text{ cm}^{-1}$ .

Abb. 3 zeigt typische Spektren von DNA-Proben ohne Kolloide und mit Kolloidkonzentrationen von  $1,8 \cdot 10^{-3}$  und  $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ . Man erkennt eine Reihe charakteristischer Peaks zwischen etwa  $600 \text{ cm}^{-1}$  und  $1800 \text{ cm}^{-1}$  sowie bei  $3000 \text{ cm}^{-1}$ . Eine detaillierte Identifizierung der Spektren wurde bislang nicht vorgenommen; man kann jedoch davon ausgehen, dass die Peaks in den angeführten Spektralbereichen im Wesentlichen unterschiedlichen DNA-Komponenten zuzuordnen sind. Deutlich zu erkennen ist der SERS-Effekt durch den Intensitätsanstieg bei den Kolloidmischungen gegenüber der reinen DNA-Lösung, wobei die höher konzentrierte Kolloidmischung die höchste Verstärkung aufweist. Auch im Falle des Albumin-Proteins (hier nicht dargestellt) wurde ein signifikanter SERS-Effekt beobachtet.

idmischung die höchste Verstärkung aufweist. Auch im Falle des Albumin-Proteins (hier nicht dargestellt) wurde ein signifikanter SERS-Effekt beobachtet.

### III.II SERS-SPEKTREN AUF NANO-STRUKTURIERTEN SILBEROBERFLÄCHEN

Die in Abb. 4 gezeigten Spektren resultieren von DNA-Proben auf Oberflächen mit Periodizitäten von 530 nm und 250 nm, erzeugt mit einer Wellenlänge des BearbeitungsLasers von  $\lambda_{\text{exc}} = 800 \text{ nm}$  bzw.  $\lambda_{\text{exc}} = 400 \text{ nm}$  und Scangeschwindigkeiten  $v = 0,05 \text{ mm/s}$  (vgl. Abb. 2a und 2b). In diesem Fall wurde das 10x-Objektiv gewählt, um mit dem Laserfokus eine größere Substratoberfläche zu bedecken und damit eine gute statistische Mittelung über mehrere Perioden zu erreichen. Die Abbildungen 4 c bis 4e zeigen DNA-Spektren auf einem unstrukturierten Bereich der Silberoberfläche c) bzw. auf Substratbereichen mit einer Periode von 530 nm und 230 nm (d und e). Zum Vergleich wurden auch DNA-Spektren auf unstrukturierten Glas- und Siliziumoberflächen aufgenommen (Abb. 4a und 4b). Man erkennt deutlich den Intensitätsanstieg gegenüber den Glas- und Silizium-Substraten, was auf die Plasmonenanregung auf den Silberoberflächen zurückgeführt werden kann. Es ist klar erkennbar, dass

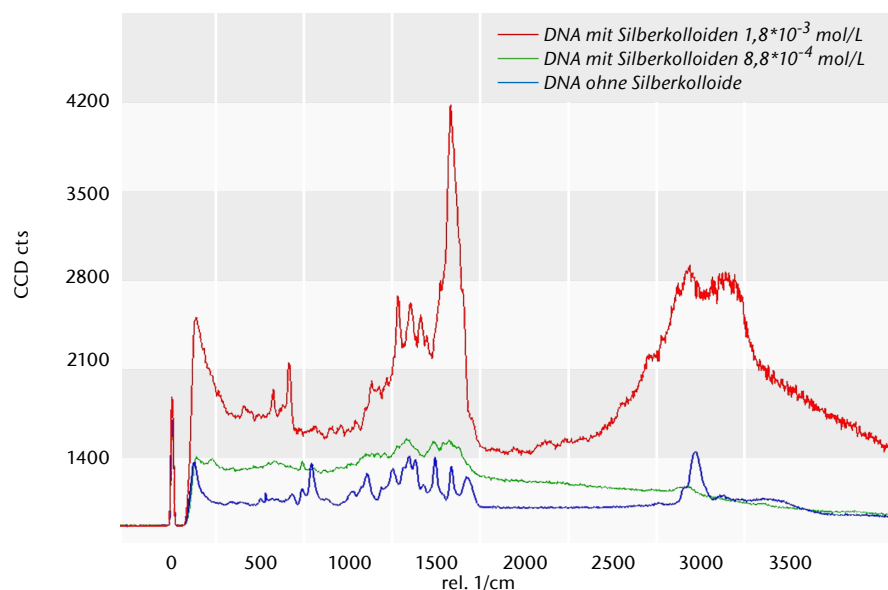


Abb. 3) Raman-Spektrum von Hering-Sperma DNA vermischt mit Kolloidlösungen mit Konzentrationen von  $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  und  $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$  auf Glas getrocknet. Gemessen wurde bei folgenden Parametern: Laserwellenlänge 488 nm, Laserleistung 1 mW, CCD-Detektorintegrationszeit 20 s, Objektiv 50x/0,7



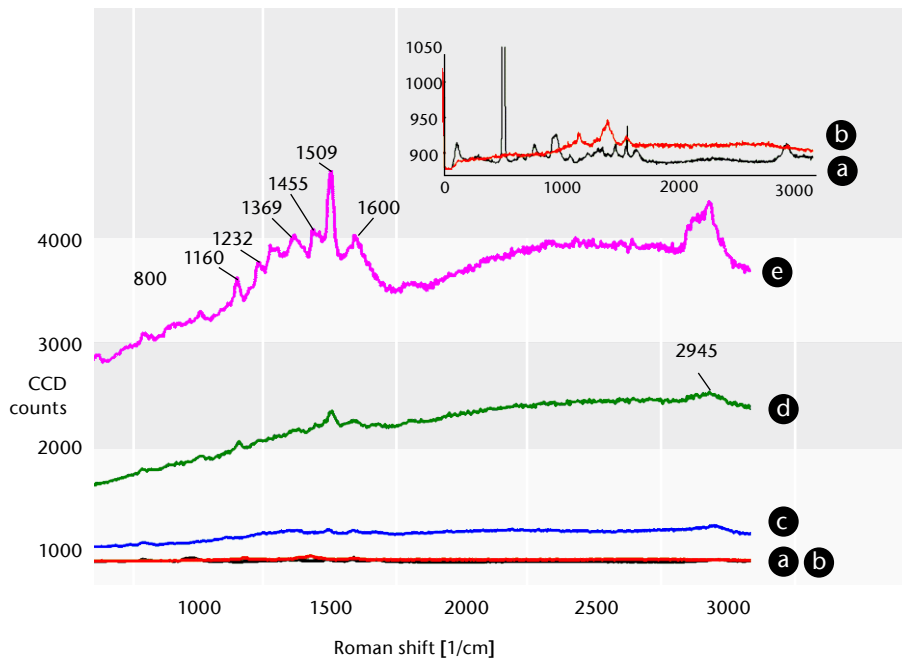


Abb. 4) SERS-Spektrum von Hering-Sperma DNA (15 mg/mL) getrocknet auf Glas auf nicht strukturiertem Ag-Substrat(c), nanostrukturiert mit 800 nm(d), bei 400nm(e) im Vergleich mit unstrukturierten Silizium(a) und Glas (b)-Substrat. Die Einblendung oben rechts zeigt die Kurven a) und b) in gezoomter Darstellung. Die starken Peaks stammen vom Substrat. Messparameter: Objektiv 10x/02, sonst gleiche Parameter wie in Abb. 3

die strukturierten Oberflächen einen stärkeren SERS-Effekt erzeugen, wobei der Verstärkungsgrad bei den kleineren Strukturen (e) am stärksten ist; ein Effekt, der in analoger Weise auch in den Spektren des Albumin-Proteins (hier nicht dargestellt) beobachtet wurde. Die Peakpositionen sind vergleichbar mit denen in Abb. 3.

#### IV. DISKUSSION

Die DNA-Spektren in Abb. 3 und 4 zeigen eine Reihe charakteristischer Peaks. Eine komplette und eindeutige spektrale Identifizierung ist auf Basis der bisher vorliegenden Daten noch nicht möglich. Unsere vorläufige Analyse greift auf Literaturdaten zurück.

Für die charakteristischen Banden zwischen 600 und 1800  $\text{cm}^{-1}$  nehmen wir Bezug auf die Arbeit von Ke *et al.* (Ke *et al.*, 1999). Die beiden ausgeprägten Peaks bei 1160 und 1455  $\text{cm}^{-1}$  werden Deoxyribose-Phosphat zugeordnet. Die Peaks bei 1232, 1369 und 1509  $\text{cm}^{-1}$  gehören vermutlich zu Adenin, während die Bande bei 800  $\text{cm}^{-1}$  Streckschwingungen der Hauptkette einer A-Typ-DNA repräsentieren könnte. Die Bande bei 1014  $\text{cm}^{-1}$  - nur bei Verwendung der Substrate mit der höheren Periodizität von 230 nm beob-

achtet - sollte C-O-Streckschwingungen zuzuordnen sein. Zusätzlich gibt es Anhaltspunkte für eine Cytosin-Bande bei 623  $\text{cm}^{-1}$  und eine auf die Deformationsschwingung der  $\text{NH}_2$ -Gruppe zurückzuführende Bande des Adenin-Guanin-Cytosin-Moleküls bei 1600  $\text{cm}^{-1}$ . Die Bande bei 2900 und 2945  $\text{cm}^{-1}$  repräsentiert sehr wahrscheinlich C-H-Streckschwingungen in den  $\text{CH}_2$ -Gruppen (Taylor *et al.*, 1996). Weiterführende Experimente zur genaueren spektralen Identifizierung auch unter Verwendung anderer biologischer Proben und gegebenenfalls verbesserter spektraler Auflösung sind geplant.

Die in Kap. 3 vorgestellten Spektren demonstrieren, dass die SERS-Methode für die Raman-Analyse biologischer Proben äußerst hilfreich ist. Insbesondere bei schwachen Konzentrationen kann auf die SERS-Verstärkung der Signale kaum verzichtet werden.

Der Grad der Verstärkung bei den LIPSS-Substraten ist, wie erwartet, stark von den Strukturdimensionen abhängig. Die hier präsentierten Messungen mit LIPSS-Oberflächen zeigen, dass bei der höheren Periodizität, d.h. kleineren Strukturdimensionen, signifikant höhere Verstärkungsgrade erzielt wurden. Es kann vermutet

werden, dass eine weitere deutliche Steigerung des Verstärkungsfaktors erreicht werden kann, wenn die Strukturen weiter verkleinert werden. Die diesbezügliche Optimierung der Substrate ist Gegenstand geplanter Experimente. In diesem Zusammenhang werden theoretische Simulationen zur Plasmonenanregung hilfreich sein.

Was die Substratmaterialien betrifft, sollen in Zukunft auch nanostrukturierte Kupfer- und Goldoberflächen gegebenenfalls unter Benutzung anderer Laserwellenlängen zum Einsatz kommen. Erste noch nicht veröffentlichte Experimente an nanostrukturierten Kupfer-Substraten zeigten bereits vielversprechende Resultate. Es ist davon auszugehen, dass die Eignung bestimmter Substratmaterialien nicht ausschließlich von den physikalischen Parametern, sondern auch von der Art der biologischen Proben abhängt.

Für eine tiefere Analyse hinsichtlich des durch Kolloide hervorgerufenen SERS-Effektes sind ebenfalls weitere Arbeiten erforderlich. Optimierungen hinsichtlich der Kolloidgrößen und Kolloidmaterialien sowie zum Kolloidherstellungsprozess stehen noch aus. Zum Beispiel ist bisher noch nicht klar, inwieweit durch die bisherige Kolloidpräparation möglicherweise Verunreinigungen zurückbleiben, die die Spektren verfälschen können.

Ein wichtiges zukünftiges Thema stellt auch die Reproduzierbarkeit der Messungen dar. Da die Kolloide in Lösung beweglich sind, können sie sich im Laufe der Zeit - möglicherweise auch durch den Laserbeschuss initiiert - zu größeren Aggregaten zusammenschließen, wodurch es zu inhomogenen Verteilungen mit Bereichen unterschiedlicher Verstärkungsfaktoren kommen kann.

#### V. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die in dieser Arbeit vorgestellten Experimente an Hering-Sperma-DNA und Albumin zeigen die für Silberkolloide im Prinzip zu erwartenden SERS-Effekte, wobei noch keine Optimierung hinsichtlich des SERS-Verstärkungsgrades durch Modifikation der Kolloidgrößen

vorgenommen wurde. Die vorgestellten SERS-Messungen auf LIPSS-strukturierten Oberflächen demonstrieren erstmalig die Eignung solcher Substrate für Raman-Messungen an biologischen Proben. Die hier vorgestellten Messungen haben dabei vorwiegend exemplarischen Charakter, um die prinzipielle Eignung des LIPSS-Verfahrens nachzuweisen. Eine Optimierung der Strukturen hinsichtlich einer möglichst hohen SERS-Verstärkung sollte Gegenstand weiterer Arbeiten sein. Es kann jedoch erwartet werden, dass durch Verkleinerung der Periodizität der Oberflächenstrukturen eine weitere Erhöhung des Verstärkungsfaktors erreicht werden kann. Dabei bietet das LIPSS-Verfahren Vorteile gegenüber im Handel erhältlichen, unter Benutzung lithografischer Verfahren hergestellten SERS-Präparaten, da die Herstellung unterschiedlicher Substrate sehr schnell erfolgt. Dies ist gerade im Hinblick auf eine Optimierung des SERS-Verfahrens von besonderer Bedeutung.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass beide hier vorgestellten Verfahren zur SERS-Verstärkung für den Einsatz in der Raman-Diagnostik an biologischen und biomedizinischen Proben gut geeignet erscheinen. Sie sind je nach Anwendung alternativ einsetzbar. LIPSS-Substrate können z.B. bei einfachen Molekülen wie Einzelstrang-DNA oder einfachen Proteinen zum Einsatz kommen, während sich bei komplexeren Strukturen, wie Proteinen oder Zellen in vielen Fällen die Verwendung von Kolloiden anbieten, da diese durch Diffusion in komplexere Organismen eindringen können und so SERS-Messungen auch im Volumen, z.B. von Bakterien, ermöglichen.

Zu den geplanten weiteren Arbeitsschwerpunkten zählen die Untersuchung des Einflusses von Strukturdimensionen, Kolloidgrößen und Materialien auf den SERS-Effekt sowie die Analyse verschiedener biologischer bzw. biomedizinischer Substanzen. Mittelfristig ist auch daran gedacht, die Raman-Spektroskopie zur in-situ-Messung dynamischer Parameter an biologischen Systemen, wie zum Beispiel zur Analyse von Reaktionskinetiken, einzusetzen.

## LITERATUR

- Böttger, U.; Vera, J.-P. de, Fritz, J., Weber, I., Hübers, H.-W., Schulze-Makuch, D., Optimizing the detection of carotene in cyanobacteria in a martian regolith analogue with a Raman spectrometer for the ExoMars mission, *Planetary and Space Science*, 356-362 (2011)
- Boyd, S.; Bertino, F. M., Seashols, S. J., Raman spectroscopy of blood samples for forensic applications, *Forensic Science International*, 124-128 (2011)
- Das, S. K.; Dasari, K., Rosenfeld, A., Grunwald, R., Extended-area nanostructuring of TiO<sub>2</sub> with femtosecond laser pulses at 400 nm using a line focus, *Nanotechnology* 21, 155302 (2010)
- Fleischmann, M., Hendra, P. J., McQuillan, A. J., Raman spectra of pyridine adsorbed at a silver electrode, *Chem. Phys. Lett.* 26 (Nr.2), 163–166 (1974),
- Grant, A. M.; Creighton, J.A., Anomalous intense Raman spectra of pyridine at a silver electrode, *Journal of the American Chemical Society*. 99 (Nr.15), 5215–5217 (1977)
- Guicheteau, Christesen, S., Emge, D., Hyre, A., L.Argue, Bacteria Classification via Surface Enhanced Raman Spectroscopy and Principal Component Analysis, U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center(2006), URL: [https://www.google.de/#q=Guicheteau+Bacteria+Classification+via+Surface+Enhanced+Raman+Spectroscopy+and+Principal+Component+Analysis.+U.S.+Army+Edgewood+Chemical+Biological+Center\(2006\).&safe=off&spell=1](https://www.google.de/#q=Guicheteau+Bacteria+Classification+via+Surface+Enhanced+Raman+Spectroscopy+and+Principal+Component+Analysis.+U.S.+Army+Edgewood+Chemical+Biological+Center(2006).&safe=off&spell=1)
- Huong, P. V.; Drug analysis by Raman and micro-Raman spectroscopy, *Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis* (Vol. 4, No. 6), 811-823 (1986)
- Ke, W.; Yu, D.; Wu, J.; Raman spectroscopic study of the influence on herring sperm DNA of heat treatment and ultraviolet radiation, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (Vol. 55, No.5), 1081-1090 (1999)
- Lange, J., Analyse organischer und komplexer biologischer Proben mittels Raman-Mikroskopie unter Verwendung der SERS-Methode, Bachelorarbeit, TH Wildau (2013)
- Jeanmaire, D. L., Van Duyne, R.P., Surface Raman spectroelectrochemistry, Part I. Heterocyclic, aromatic and aliphatic amines adsorbed on the anodized silver electrode, *J. Electroanal. Chem*, 84 (Nr.1), 1–20 (1977)
- Sur, U. K., Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, Recent Advancement of Raman Spectroscopy, *Resonance*. Resonanz, 154-164 (2010)
- Taylor, C. E.; Garvey, S. D., Pemberton, J. E., Carbon Contamination at Silver Surfaces: Surface Preparation Procedures Evaluated by Raman Spectroscopy and X-ray Photoelectron Spectroscopy, *Analytical Chemistry* (Vol. 68, No. 14), 2401-2408 (1996)
- Weaver G.C. und Norrod, K., Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, *Journal of Chemical Education*, In the Laboratory, 621-624 (1998)
- Zimmler, K., Etablierung von „Surface Enhanced Raman Spectroscopy“ (SERS) für biologische Proben, Bachelorarbeit, TH Wildau (2012)

## AUTOREN

- Janine Lange, B.Sc.**  
Biosystemtechnik/Bioinformatik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
Janine.lange@th-wildau.de
- Hamza Messaoudi, M.Sc.**  
Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie  
messaoud@mbi-berlin.de
- Dr. Susanta Kumar**  
Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie  
susanta@mbi-berlin.de
- Dr. Rüdiger Grunwald**  
Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie  
grunwald@mbi-berlin.de.
- Prof. Dr. Sigurd Schrader**  
Photonics/Laser & Plasma Technologies  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
sigurd.schrader@th-wildau.de
- Prof. Dr. Marcus Frohme**  
Molekularbiologie und funktionelle Genomik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
Marcus.frohme@th-wildau.de
- Dr. Friedhelm Heinrich**  
Photonics- & Plasma Technologien  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
Friedhelm.heinrich@th-wildau.de

# REANNOTATION DES MAIZE OLIGONUCLEOTIDE ARRAYS

Felix Seifert, Heike Pospisil

## Zusammenfassung

Die Microarray-Technologie hat sich zu einem etablierten Ansatz der Hochdurchsatz-Genexpressionsanalyse entwickelt. Das „maize oligonucleotide array“ (maizearray) ist eine der wenigen Microarray-Plattformen, welche für die genomweite Genexpressionsanalyse von Mais (*Zea mays* L.) erzeugt wurden. Die Sonden wurden basierend auf ESTs (expressed sequence tags) generiert. Mittlerweile ist die Genomsequenz von Mais verfügbar und ermöglicht eine genauere Annotation dieser Sonden. In dieser Arbeit wurden die Genompositionen aller Sonden und basierend darauf die zugrunde liegenden Gene sowie deren funktionelle Annotation bestimmt. Durch die Analyse konnten Redundanzen und nicht eindeutig bindende Sonden aufgedeckt und gleichzeitig die Zahl der Gene mit funktioneller Annotation verdoppelt werden. Unsere Reannotation wird funktionelle Analysen bereits existierender und zukünftiger Datensätze stark verbessern.

## Abstract

The microarray technology has become an established approach for large-scale gene expression analysis. The maize oligonucleotide array (maizearray) is one of the few microarray platforms designed for genome-wide gene expression analysis in *Zea mays* L. The microarray probes were compiled based on expressed sequence tags (ESTs). Meanwhile, the maize genome sequence became available providing the possibility for an improved annotation of the microarray probe set. In this study we determined the genome positions of all maizearray probes to obtain current gene annotations and functional annotations. These new data allow tracing redundancy of the probe set and interfering cross-hybridizations, and will largely improve the functional analysis of available and future datasets generated on this microarray platform.

## EINFÜHRUNG

DNA-Microarrays wurden seit ihrer Vorstellung im Jahr 1995 (Shena *et al.* 1995) zu einer ausgereiften Methode zur Genexpressionsanalyse entwickelt. DNA-Microarrays werden durch Synthetisierung bzw. Drucken und Fixieren von Oligonukleotiden auf einer Trägeroberfläche erzeugt. Diese DNA-Elemente dienen als Sonden für die Hybridisierung mit fluoreszenzmarkierten cDNAs oder RNAs aus komplexen Transkriptproben (Phimister 1999).

Das „maize oligonucleotide array“ (maizearray) ist eine Microarrayplattform bestehend aus langen Oligonukleotiden (~70 nt) (Gardiner *et al.* 2005). Das initiale 57K Array umfasst 57.452 Sonden auf zwei Objektträgern, eine Überarbeitung führte zum 46K Array mit 43.536 Oligonukleotiden auf einem Objektträger. Die Sondensequenzen wurden basierend auf ESTs, TIGR Assembled *Zea mays* (AZM), repetitiven Elementen sowie Sequenzen aus Chloroplasten und Mitochondrien erzeugt. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses

Arrays existierte die Genomsequenz von Mais noch nicht. Durch das Fehlen des Bezugs zu der Genomsequenz kann nicht ausgeschlossen werden, dass nicht alle Microarray-Sonden die Expression eines einzigen Gens repräsentieren und somit möglicherweise durch multiple Genkopien, alternative Spliceformen etc. beeinflusst werden.

Wir haben eine Neuannotation der 57K und der auf dieser basierenden 46K maizearray Plattform durch Lokalisation der Sonden auf dem Maisgenom durchgeführt. Basierend auf der Lokalisation kann für jede Sonde ermittelt werden, ob sie die Expression eines einzelnen oder mehrerer Gene/Loci widerspiegelt. Anhand der ermittelten Zielgene für die Sonden wurden funktionelle Informationen in Form von gene ontology (GO) Termen (The Gene Ontology Consortium 2000) mit Blast2GO ermittelt (Conesa & Götz 2008). Trotz der Einstellung der Produktion des maizearray erwarten wir, dass unsere Annotation einen hohen Wert für die Auswertung aktueller Arbeiten bzw. bestehender Datensätze hat.

Das Ziel von Hochdurchsatz-Experimenten wie Microarrays ist es, Schlüsselgene für untersuchte biologische Prozesse zu finden. Das Gene Ontology Consortium liefert ein einheitliches, dynamisches und kontrolliertes Vokabular, das durch GO-Terme zu Genfunktion, Lokalisation und biologischen Prozess für alle eukaryotischen Arten repräsentiert wird (The Gene Ontology Consortium 2000). In vielen Microarray-Experimenten wird eine Teilmenge von Genen mit ähnlicher Expression anhand ihrer GO-Terme auf eine Überrepräsentierung bestimmter Funktionen untersucht. Unsere funktionelle Annotationen ermöglichen GO-Anreicherungsanalysen für einen größeren Teil der Sonden und ermöglichen das Ausschließen von Sonden, welche mehrere Gene/Loci repräsentieren und Redundanz durch mehrere Sonden auf einem Gen.

## MATERIAL UND METHODEN

Die Oligonukleotidsequenzen des 57K maizearray, welches alle Sonden des 46K Arrays enthält, wurden mittels BLASTn (standalone BLAST 2.2.26+,

e-value 0.0001, word-length 20) (Carmacho *et al.* 2009) auf der Genomsequenz der Maislinie B73 in der Version RefGen v2 (ftp.maizesequence.org) lokalisiert. Alle Übereinstimmungen mit insgesamt weniger als drei Fehlpaarungen, Insertionen bzw. Deletionen (Indels) wurden mit Genannotationen (Exon, Intron) aus dem „working gene set“ (WGS) version 5a.59 bzw. repetitiven Elemente des TE Consortium (ZmB73\_5a\_MTEC+LTR\_repeats.gff, beide Datensätze von ftp.maizesequence.org) abgeglichen und annotiert. Für alle Oligonukleotide mit zwei partiellen Sequenzübereinstimmungen innerhalb von 20.000 Basenpaaren auf dem selben Strang oder Fragmenten mit der Länge des Oligonukleotides minus der BLASTn-Wortlänge wurde die Oligonukleotidsequenz mit BLASTn gegen Mais cDNA Sequenzen des WGS Datensatzes Version 5a.59 mit den wie bereits zuvor genannten Parametern aligniert. Dieser Ansatz soll Sonden auf dem Genom lokalisieren, welche durch ein Intron unterbrochen sind. Die Annotationsprozedur ist in **Abbildung 1** dargestellt.

Die funktionelle Annotation des maizearray wurde mit Blast2GO Version 2.5.1 (Conesa & Götz 2008) durchgeführt. Dabei wurden für die ermittelten Gensequenzen homologe Genprodukte mittels BLASTx in der NCBI „non-redundant protein sequences (nr) database“ bestimmt, um anschließend die wahrscheinlichsten GO-Terme anhand der homologen Sequenzen zu ermitteln. Die Blast2GO-Analyse wurde mit Standardparametern und der Blast2GO PRO Datenbank b2g\_apr12 für alle identifizierten Gene mit Ausnahme der repetitiven Sequenzen durchgeführt.

### ERGEBNISSE

Die Lokalisierung der Oligonukleotide erzielte für 84,86 % aller Oligonukleotide mindestens eine entsprechende Genomposition. Durch die anschließende Annotation konnte für 70,82 % der Sonden des 57K Array bzw. für 73,98 % des 46K Array eine Annotation gefunden werden. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 1** dargestellt [Seifert *et al.* 2012].

### Prozedur der Neuannotierung

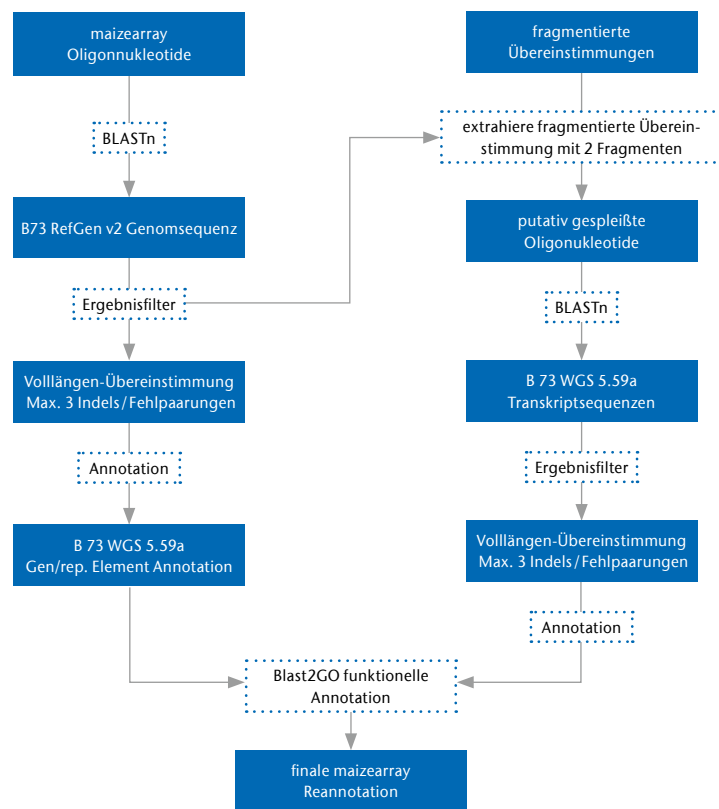


Abb. 1) Die maizearray Oligonukleotidsequenzen wurden mit BLASTn auf dem B73 Refgen v2 Maisgenome lokalisiert. Übereinstimmungen über die volle Länge wurde anhand der B73 WGS 5.59a Gen/repetitive Elemente-Annotation für beide DNA-Stränge annotiert. Fragmentierte Oligonukleotidübereinstimmungen wurden mit BLASTn auf die B73 WGS 5.59a Transkriptsequenzen gemappt und bei vollständiger Übereinstimmung über das Transkript annotiert. Die funktionelle Annotation erfolgt über Blast2GO.

Die Blast2GO-Annotation aller Oligonukleotide, welche einem oder mehreren Genen (Exon, Intron) zugeordnet werden konnten, resultierte in 47.562 annotierten Genen, welche von 32.745 (57,00 %) aller Sonden repräsentiert werden. Insgesamt konnten den annotierten Genen 238.700 GO-Terme zugewiesen werden. Somit entfallen 5,92 GO-Terme auf jedes annotierte Oligonukleotid [Seifert *et al.* 2012].

### DISKUSSION

Die Lokalisierung der Oligonukleotide auf der B73 Genomsequenz resultierte mit fast 85 % in einer hohen Abdeckung des Genoms. Insgesamt konnte ein großer Anteil der Array-Sonden auf dem Mais-Referenzgenom lokalisiert werden. Dies zeigt, dass die Array-Plattform trotz Ermangelung der Genomsequenz bei dem Entwurf des

	57K maizearray	46K maizearray
unannotiert	16.760 (29.18%)	11.326 (26.02%)
anti-sense / Intron	3.811 (6.63%)	2.349 (5.39%)
mehrere Gene (inkl. repetitive Elemente)	8.473 (14.74%)	6.492 (14.91%)
einzelnes Gen, >1 Transkript	11.167 (19.44%)	9.715 (22.32%)
einzelnes Gen, 1 Transkript	17.241 (30.01%)	13.654 (31.36%)

Tab. 1) Annotationsergebnisse für Oligonukleotide beider maizearray Versionen

Microarrays einen hohen Informationsgehalt in den Expressionsdaten bietet.

Die offizielle Annotation enthielt 43.381 Gen-assoziierte Oligonukleotide und wies für nur 16.549 dieser Oligonukleotide insgesamt 113.584 GO-Terme auf (6,86 GO-Terme pro Sonde). Durch unsere Neuannotation wurde die Anzahl GO-annotierter, genassoziierter Oligonukleotide um fast den Faktor zwei erhöht, während die Anzahl der Terme pro Gen geringfügig gesunken ist.

Die Oligonukleotide, welche nicht lokalisiert werden konnten, stammen möglicherweise von ESTs anderer Maislinien bzw. Transgenen. Die Lokalisation eines Oligonukleotids an mehreren Loci weist auf Sequenzen hin, die durch Transposition oder Genomduplikation vervielfältigt wurden. Oligonukleotide, die auf dem Gegenstrang lokalisiert sind, entsprechen vermutlich falsch orientierten ESTs bzw. natürlichen anti-sense Transkripten (NATs) (Jin *et al.* 2008). Die Sonden, welche anti-sense zu repetitiven Elementen gefunden wurden, entsprechen wahrscheinlich Zwischenprodukten des RNAi-Mechanismus (Ito 2012).

Die durchgeführte Neuannotation des maizearray über eine Lokalisierung der Sonden auf dem B73 Maisgenom und Funktion der Gene basierend auf GO-Termen mittels Blast2GO erzielte eine hohe Abdeckung von annotierten Oligonukleotiden. Die neue Annotation ermöglicht den Ausschluss von Sonden, welche nicht einem einzigen Gen zugeordnet werden können bzw. mehrere Oligonukleotide identische Gene repräsentieren. Diese hinzugewonnenen Informationen erlauben spezifischere Auswertungen von Experimenten, die auf der Basis dieses Microarrays erzeugt wurden.

## LITERATUR

Camacho, Ch., Coulouris, G., Avagyan, V., Ma, N., Papadopoulos, J., Bealer, K., Madden, T.L. (2009): BLAST+: architecture and applications. BMC Bioinformatics 10:421

Conesa, A., Götz, S. 2008: Blast2GO (2008): A Comprehensive Suite for Functional Analysis in Plant Genomics. Int. J. Plant Genomics 1-13

Gardiner, J.M., Buell, C.R., Elumalai, R., Galbraith, D.W., Henderson, D.A., Iniguez, A.L., Kaeppler, S.M., Kim, J.J., Liu, J., Smith, A., Zheng, L., Chandler, V.L. (2005): Design, Production, and Utilization of Long Oligonucleotide Microarrays for Expression Analysis in Maize. *Maydica* 50: 425-435

Ito, H. (2012): Small RNAs and transposon silencing in plants. *Dev Growth Differ* 54: 100-107

Jin, H., Vacic, V., Girke, Th., Lonardi, St., Zhu J.-K. (2008): Small RNAs and the regulation of cis-natural anti-sense transcripts in Arabidopsis. *BMC Molecular Biol.* 9: 6

Phimister, D. (1999): Going global. *Nat. Genet.* 21: 1

Schena, M., Shalon, D., Davis, R.W., Brown, P.O. (1995): Quantitative monitoring of gene expression patterns with a complementary DNA microarray. *Science* 270: 467-470

The Gene Ontology Consortium (2000): Gene ontology: tool for the unification of biology. *Nat. Genet.* 25(1): 25-29

Seifert, F., Thiemann, A., Pospisil, H., Scholten, S. (2012): Re-annotation of the maize oligonucleotide array. *Maydica* 57.1: 49-55

## AUTOREN

**Felix Seifert, Dipl.-Biol.,**  
TH Wildau, Bioinformatik / High Performance Computing in Life Sciences; Universität Hamburg, Biozentrum, Entwicklungsbiologie und Biotechnologie

**Prof. Dr. rer. nat. Heike Pospisil,**  
TH Wildau, Bioinformatik / High Performance Computing in Life Sciences





# NUTZUNG REGENERATIVER ENERGIE ALS TRÄGER MECHANISCHER LEISTUNG IN DER SAVANNENREGION WESTAFRIKAS

René von Lipinski, Jörg Reiff-Stephan

## Zusammenfassung

Ein Großteil des afrikanischen Kontinents ist noch immer von Armut betroffen. Im besonderen Maße ist dieser Zustand prägend für die westafrikanische Republik Togo. Kennzeichnend für die Region ist, dass sie über ein sehr schlecht ausgebautes Energienetz verfügt. Dieses hindert die Entwicklungsbedingungen sowohl im wirtschaftlichen als auch bildungspolitischen Bereich. Um die Weiterentwicklung des Landes zu fördern, hat sich die Technische Hochschule Wildau zum Ziel gestellt, Projektarbeiten im Bereich der Nutzbarmachung regenerativer Energien zu unterstützen und so einen Beitrag zur „Hilfe durch Selbsthilfe“ zu leisten. Im folgenden Artikel wird eine Analyse der Savannenregion hinsichtlich der klimatischen Bedingungen aufgezeigt. Die Analyseergebnisse dienen als Basis für die Ableitung möglicher regenerativer Energieträger und Konzepte zu deren dezentraler Nutzung. Am Fallbeispiel einer Lehmsteinpresse wird gezeigt, inwieweit der für die Region optimale regenerative Energieträger sinnvoll in mechanische Leistung überführt werden kann. Eine Berechnungsgrundlage zur Auslegung entsprechender Leistungsbedarfe wird abgeleitet. Hiermit wird ein Beitrag zum nachhaltigen Verbessern der Lebensbedingungen in Westafrika geleistet.

## Abstract

A large part of the African continent suffers under the burden of poverty. The West African Republic of Togo suffers particularly heavily. Significant for the region is the very poorly developed energy grid. The lack of dependable power retards development in both economic and educational institutions. To promote development in the country, the University of Applied Sciences Wildau aims to support project work in the field of harnessing renewable energy, with the goal of „helping through self-help.“ In the following article an analysis of the savanna region’s climatic conditions is performed to identify potential renewable energy sources. The main topic of the paper is to identify the optimal decentralized, renewable energy system for the region. Following that, the possibility of meaningful utilization for conversion into mechanical power is demonstrated in a case study of a brick making machine. A calculation basis for the design of appropriate performance requirements is derived. With this, a sustainable improvement to the living conditions in West Africa can be made.

## I. EINFÜHRUNG

Ein Großteil des afrikanischen Kontinents ist noch immer von Armut betroffen. Im besonderen Maße ist dieser Zustand prägend für die westafrikanische Republik Togo, welche zu den ärmsten Ländern der Welt zählt [Kohnert 2006; Pohl und Kappel 2012]. Nach dem Bruttoinlandsprodukt mit einer Höhe von 3,8 Milliarden US\$ in 2012 (Deutschland: 3,4 Billionen US\$) beurteilt, liegt das Land an Stelle 151 der weltweiten Rangfolge [Info.org 2013]. Gerade in der nördlichen Savannenregion verfügt die Bevölkerung nur über begrenzte finanzielle Mittel. Das durchschnittliche Einkommen liegt in etwa zwischen 30 und 120 Euro pro Jahr. Die Armutsur-

sachen sind vielschichtig und teilweise noch in der kolonialen Vergangenheit begründet. Die Infrastruktur des Landes ist gleichermaßen schlecht ausgeprägt. Die Nord-Südtangente ist durch eine einfache Straßenverbindung ausgeführt. Die Erreichbarkeit der angrenzenden Gebiete ist stark abhängig von der Bodenbeschaffenheit und dem Erosionsgrad infolge der klimatischen Bedingungen. Mit diesem Misstand geht einher, dass eine zentrale Energieversorgung und -verteilung nur bis Landesmitte sichergestellt ist. Aufgrund der schwachen Infrastruktur der nördlichen Regionen besteht in abgelegenen Ansiedlungen kein Zugang zu elektrischem Strom, fließendem Wasser oder Kanalisation. Gleichermäßen sind diese Gebiete jedoch stark auf

den Nutzen elektrischer Energieträger angewiesen: beispielsweise zum Betreiben von Pumpsystemen oder ähnlichen mechanischen Hilfselementen sowie Beleuchtungssystemen [Löfken 2011]. Das Fehlen dieser grundsätzlichen Möglichkeiten hemmt die Entwicklung des Landes, wobei dies vor allem für das Bildungssystem der Region zutrifft. Ohne elektrische Energie kann der Unterricht nur bei Tageslicht erfolgen. In den Abendstunden können die Schüler nur im begrenzten Maße ihre Hausaufgaben bearbeiten, da zumeist Öllampen und Kerzen die einzigen Lichtquellen darstellen. Gleiches gilt für die Unterrichtsvorbereitung der Lehrer. Des Weiteren kann unter den gegebenen Umständen keine Schulspeisung gewährleistet wer-

den. Der Mangel an Energie erschwert aber nicht nur den Betrieb des Schulsystems, sondern auch dessen Ausbau. Für die Region Nordtogo ist eine akute Unterversorgung an Schulplätzen zu verzeichnen. Die durchschnittliche Klassenstärke liegt bei etwa 70 Kindern [IT-Village 2013]. In **Abb. 1** ist dieser Umstand veranschaulicht.

Die Gelder für die Schaffung neuer Kapazitäten sind knapp bemessen. Trotzdem ist auf entsprechenden Baustellen die kostenintensive Nutzung von Dieselgeneratoren die einzige Art der Stromerzeugung.

Um aktiv eine Änderung dieser Umstände zu bewirken, engagiert sich der in Greifswald ansässige Verein für „Deutsch Afrikanische Zusammenarbeit e.V.“ (DAZ e.V.) unter anderem beim Bau neuer Schulen bzw. bei der Erweiterung und der energetischen Modernisierung bestehender Lehrereinrichtungen. Partner vor Ort ist hierbei das IT Village in Dapaong. Durch die Technische Hochschule Wildau [FH] erfahren beide Organisationen Unterstützung bei der Entwicklung solartechnischer Komponenten und Systeme. Wesentliches Ziel der partnerschaftlichen Unterstützung ist es, der Bevölkerung im nördlichen Togo Wege für die Nutzung des hohen Potenzials regenerativer Energiesysteme aufzuzeigen. Hierbei stehen vor allem dezentrale Lösungen mit Leistungen im einstelligen Kilowattbereich im Fokus. Im Rahmen dieser Arbeit werden zunächst die Anforderungen seitens der klimatischen Bedingungen sowie an einen möglichen Träger regenerativer Energie analysiert. Systemanforderungen und Analyseergebnisse fließen dann in ein strukturiertes Bewertungsverfahren ein, um daraus den geeignetsten Energieträger südlich der Sahara abzuleiten. Der Nutzen wird anhand des Fallbeispiels „Lehmsteinpresse für die Herstellung von Grundmaterialien zum Schulbau“ erörtert.



Abb. 1) Nordtogoische Unterrichtsbedingungen am Beispiel einer Schulklasse in Kouridjoak .

## II. ANALYSE DER KLIMATISCHEN UND TECHNISCHEN RAHMENBEDINGUNGEN

Aufgrund der Lage Togos zwischen dem 6. und 12. Breitengrad sind im Jahresdurchschnitt täglich in etwa 6,5 Sonnenstunden mit einer vergleichsweise geringen Schwankungsbreite zu verzeichnen (**Abb. 2**).

Das Klima Togos ist ganzjährig tropisch-feucht. Die südlichen Regionen werden hierbei durch den Atlantik beeinflusst, was zu einer ganzjährig hohen Luftfeuchtigkeit von etwa 80 % führt. Im Süden betragen die Temperaturen im Durchschnittlich 27 °C und es kommt jährlich zu zwei Regenzeiten zwischen den Monaten April und Juni sowie September und November. Der Norden des Landes ist eher durch trockenes, savannenartiges Klima geprägt. Die Temperaturen liegen im Durchschnitt bei 30 °C mit einer Regenzeit zwischen Mai und Oktober.

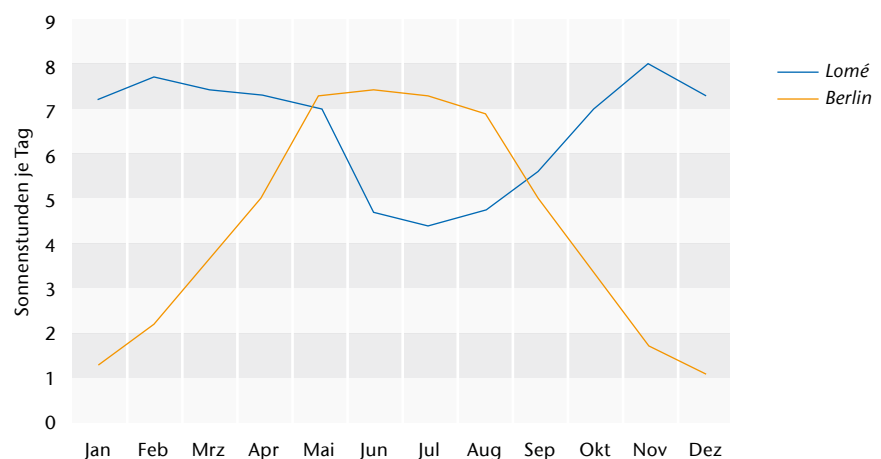


Abb. 2) Sonnenscheindauer im Jahresverlauf für Lomé (Hauptstadt der Republik Togo) im Vergleich zu Berlin [Klima.org 2013].



Die Entwicklung einer transportablen Anlage zur dezentralen Energieumwandlung muss insbesondere eine einfache Bedienbarkeit sowie einen geringen Wartungsaufwand berücksichtigen, da Mangel an qualifiziertem Personal besteht. Im Vielvölkerstaat Togo mit 42 Ethnien und 39 Sprachen, ohne dass alle Bevölkerungsteile die Amtssprache Französisch beherrschen, müssen die Bedienungsanforderungen die Wahrscheinlichkeit von Fehlbedienungen mindern. Für den Fall von Schäden am System ist ein geringer Instandsetzungsaufwand von Vorteil, da neben dem Fachkräftemangel auch mit Schwierigkeiten bei der Ersatzteilbeschaffung zu rechnen ist. Insbesondere ist eine geringe Störanfälligkeit anzustreben, wobei den extremen klimatischen Bedingungen Rechnung getragen werden muss. Bei der Umsetzung einer entsprechenden Lösung, sollte somit nicht an die Grenzen des technisch Machbaren gegangen werden. Im Sinne von Hilfe zur Selbsthilfe soll die Bevölkerung motiviert werden, derartige Systeme zu kopieren, um diese dann vielfältig anzuwenden. Hierfür sind vor allem ein geringer Herstellungsaufwand sowie geringe Herstellungskosten eine Voraussetzung. Üblicherweise ist die Nutzung von Dieselgeneratoren die bevorzugte Weise der autarken Stromerzeugung. Diese weisen zwar relativ geringe Anschaffungskosten auf, sind jedoch während des Betriebs kostspielig. Gründe hierfür sind vor allem der hohe Wartungsaufwand sowie die Kraftstoffkosten. Eine praktikable Alternative zum Dieselgenerator muss demnach durch niedrige Betriebskosten, eine hohe Energieverfügbarkeit und ein möglichst geringes Maß an Umweltbeeinträchtigungen überzeugen.

Der Norden Togos verfügt über kein nennenswertes Stromnetz. Für die ländlichen Regionen des Landes ist somit die dezentrale und autarke Energieversorgung von besonderer Bedeutung.

### III. ANALYSE POTENZIELLER ENERGIETRÄGER

Aus dem Spektrum der regenerativen Energieträger bzw. Wandlungsprozesse haben folgende Technologien Anwendungspotenzial in Nordtogo: Windkraftanlagen, Photovoltaiktechnologie, solarthermische Kraftwerke und die Nutzung von Biomassenenergieträgern. Im Folgenden soll genauer auf die jeweiligen Technologien eingegangen werden.

#### WINDENERGIE

Bei der Windkraftnutzung ist darauf zu achten, dass nicht mehr als etwa 60 % der im Wind enthaltenen Leistung entzogen werden kann. Dies ist auf den Betz'schen Leistungsbeiwert von  $c_{P,Betz} = 0,593$  zurückzuführen, welcher bei einem idealen Geschwindigkeitsverhältnis  $\zeta_{id} = v_2 / v_1 = 1/3$  erreicht wird. Der Wirkungsgrad für Windkraftanlagen wird demnach aus der genutzten Windleistung  $P_N$  und nutzbaren Windleistung  $P_{id}$  berechnet [Quaschnig 2010]:

$$\eta = \frac{P_N}{P_{id}} = \frac{P_N}{P_0 \cdot c_{P,Betz}} = \frac{c_{PW}}{c_{P,Betz}}$$

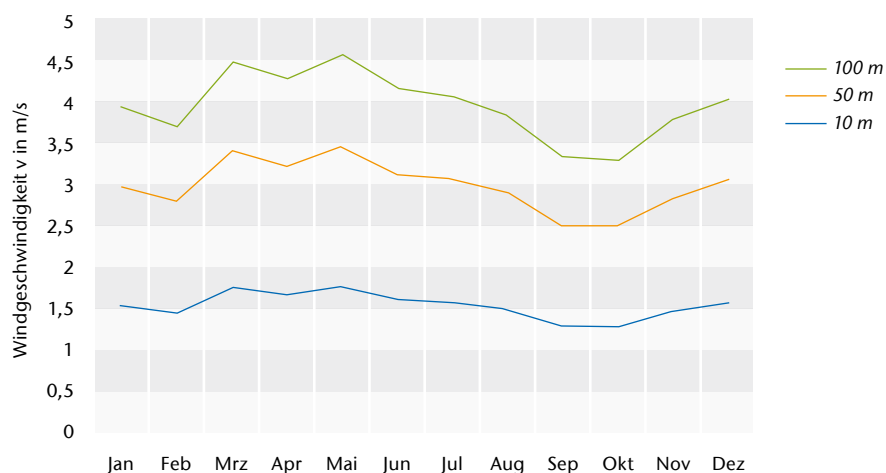


Abb. 3) Höhenbezogene Windgeschwindigkeiten am Standort Dapaong im Jahresdurchschnitt zwischen 1983 und 1993 [nasa.gov 2013].

Für Anwendungen im unteren Leistungsbereich werden Kleinwindkraftanlagen genutzt. Wie bei großen Windparks sind auch hier Auftriebsläufer mit horizontaler Rotorachse dominierend. Dies liegt vor allem am schlechteren Wirkungsgrad vertikaler Windkraftanlagen. Deren Vorteil ist jedoch die von der Windrichtung unabhängige Arbeitsweise. Ein Nachteil aller Kleinwindkraftanlagen ist vor allem die eingeschränkte Arbeitshöhe der Rotoren, wodurch deutlich geringere Windgeschwindigkeiten für den Leistungsentzug resultieren. Dieser Nachteil wird bei der Betrachtung von **Abb. 3** deutlich. Diese zeigt die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen für den Standort Dapaong unter Berücksichtigung des Rauigkeitsprofils einer Umgebung mit savannenartiger Vegetation.

Die Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe sind sehr gering. Somit wären große Rotordurchmesser und hohe Masten erforderlich, was die Errichtung von Anlagen zur nennenswerten Stromerzeugung erschwert und deren Kosten erhöht. Als Ergänzung zu anderen Energieträgern hat die Nutzung von Kleinwindkraftanlagen jedoch ihre Daseinsberechtigung.

## NUTZUNG VON SONNENENERGIE

Verglichen mit den Ländern Mitteleuropas herrschen in Togo gute Bedingungen für die Nutzung der Photovoltaiktechnologie, da ganzjährig ein hohes Angebot an Strahlungsenergie vorliegt (**Abb. 4**).

Für die Photovoltaiktechnologie ergibt sich dadurch eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten in der Form von netzunabhängigen Inselösungen. Bei der Auslegung derartiger Anlagen muss jedoch beachtet werden, dass die extremen klimatischen Bedingungen die PV-Module sowie die elektrochemischen Speicherelemente stark beanspruchen.

dies einen konstruktiven und steuerungstechnischen Mehraufwand. Aus diesem Grund rentieren sich derartige Anlagen nur an Standorten mit hohem Direktstrahlungsanteil, was für Togo nur begrenzt gegeben ist. Gegen den Einsatz von Dish-Stirling-Anlagen im Norden Togos sprechen jedoch vor allem der nachführungsbedingte Steuerungsaufwand sowie die hohen Investitionskosten.

## BIOMASSE

Betrachtet man das Verhältnis der für die Biomassenproduktion benötigten Sonnenenergie und der letztlich in der Biomasse gespeicherten Energie, so ist ein sehr geringer Wirkungsgrad fest-

2010]. Der gezielte Anbau von Energiepflanzen ist jedoch nicht nur in Entwicklungsländern wie Togo kritisch zu betrachten. Verglichen mit der Photovoltaiktechnologie benötigt die Energieumwandlung mit Biomasse für die gleiche Menge an elektrischer Energie das 50-fache an Fläche [Mertens 2011]. Aufgrund des begrenzten Angebots an fruchtbaren Ackerflächen ist der Anbau von Nahrungsmitteln, der Energiepflanzenproduktion vorzuziehen.

Die energetische Verwertung von Abfällen und Reststoffen ist in diesen Regionen aber durchaus sinnvoll, da so auch die Probleme des Müllentsorgungssystems gemindert werden können. Gegenwärtig werden die Abfälle auf dafür vorgesehenen Plätzen gesammelt und in regelmäßigen Abständen verbrannt. Durch entsprechende Müllverbrennungsanlagen könnte die thermische Energie zur stationären Stromerzeugung genutzt werden. Für nicht ortgebundene Anwendungen in abgelegenen Gegenden ist dagegen die Auslegung der Anlagen schwierig. Wird der Energieträger nicht mitgeführt, ist mit starken qualitativen und quantitativen Schwankungen bei der Brennstoffversorgung zu rechnen. Des Weiteren erzeugt die Umwandlung von Biomasse in elektrische Energie einen hohen Anteil Prozesswärme. Da aber in Gebieten mit heißem Klima nur wenig Bedarf für eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) besteht, muss dieser Energieanteil durch eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) genutzt werden. Demnach ist bei der Planung auf ein sinnvolles Nutzungskonzept zu achten.

## GEGENÜBERSTELLUNG

Die Auswahl eines geeigneten Energieträgers für die nordtogoische Savannenregion erfolgt anhand einer Nutzwertanalyse (NWA) nach VDI 2225 (**Tab. 1**). Als wesentliche Kriterien der NWA wurden technologiebezogene und wirtschaftliche Parameter hinzugezogen. Starke Unterschiede treten bei der Betrachtung der Verfügbarkeit des Primärenergieträgers am Standort „Nordtogo“ sowie in der sozialen und Umweltverträglichkeit der Technologie auf. Es ist zu beobachten,

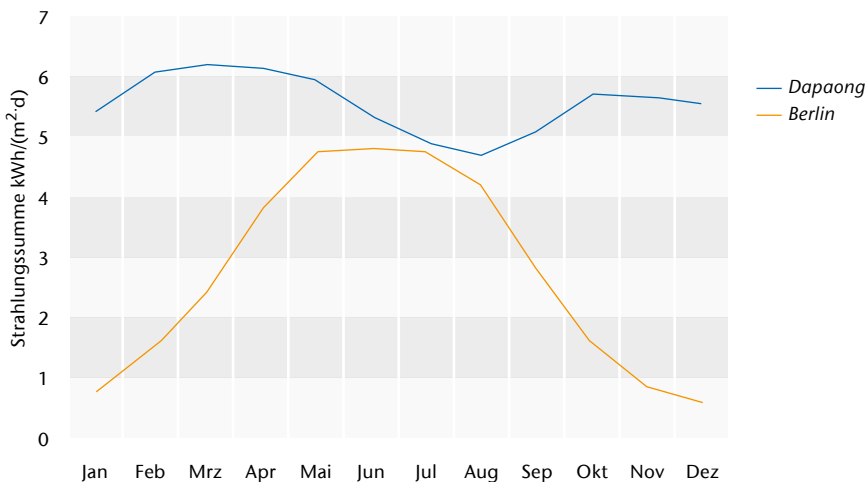


Abb. 4) Strahlungssumme auf eine horizontale Fläche am Standort Dapaong im Jahresdurchschnitt zwischen 1983 und 2005 [nasa.gov 2013].

Solarthermische Kraftwerke nutzen die Strahlungsenergie der Sonne und wandeln diese in Wärme und anschließend in elektrische Energie um. Für Anwendungen im unteren Leistungsspektrum bieten Dish-Stirling-Anlagen ein nennenswertes Potential. Diese arbeiten nach dem CSP-Prinzip (Concentrated Solar Power). Das Sonnenlicht wird mit Hilfe eines schalenförmigen Kollektors punktförmig konzentriert und die hieraus resultierende thermische Energie einem Stirling-Motor zugeführt. Um das Sonnenlicht beständig im Brennpunkt zu konzentrieren, muss der Kollektor kontinuierlich, zweiachsig nachgeführt werden [Laing et al. 2002]. Im Vergleich zur Photovoltaiktechnologie, welche auch die diffuse Strahlung nutzen kann, bedeutet

zustellen. Dem steht jedoch eine gute Speicherefähigkeit als entscheidender Vorteil gegenüber. Die Nutzung von Biomasse zur Energieumwandlung kann durch eine Vielzahl von festen, flüssigen oder gasförmigen Energieträgern erfolgen. Durch direkte thermische Umwandlung oder direkte thermochemische Umwandlung wird die im Biomassenbrennstoff gespeicherte Energie freigesetzt [Kaltschmitt et al. 2001]. Die thermische Energie kann dann für verschiedene Zwecke genutzt oder durch entsprechende Verfahren in elektrische oder mechanische Energie umgewandelt werden. Die Erzeugung von Biomassenbrennstoffen erfolgt durch Aufbereitungsprozesse aus Abfällen, Reststoffen und Energiepflanzen [Quaschnig

dass insbesondere energiepflanzenbasierte Biomassetysteme elementar entgegen den humanitären Möglichkeiten agieren. Sowohl der Anbau von Biomasse als auch der Verbrauch von Abfallprodukten und Reststoffen kann zur mobilen Stromerzeugung nicht sinnvoll eingesetzt werden. Hinsichtlich der zu erwartenden Investitionskosten muss angeführt werden, dass Erstinstallationen weitestgehend über ausländische Hilfsorganisationen abgedeckt werden. Dennoch sollte mit der Korrelation eines Promotions- bzw. Entwicklungspotenzials der Anlage die Vervielfältigung der Technologie Berücksichtigung finden. Abschließend ist es wesentlich, dass die auszuwählende Technologie einen möglichst geringen Betriebs- und Wartungsaufwand hat und in der Nutzung robust agiert. Eine tägliche Einflussnahme durch zu schulendes Personal sollte möglichst nicht erforderlich sein.

Es ist zu erkennen, dass die Photovoltaiktechnologie mit einem Erfüllungsgrad von 75 % der Ideallösung am nächsten kommt. Sie verfügt zwar im Vergleich mit den Windgeneratoren über einen schlechteren Wirkungsgrad, jedoch ist aufgrund der nied-

rigen Windgeschwindigkeiten am Standort nicht mit einem hohen Ertrag zu rechnen. Des Weiteren zeigt die Betrachtung der Stromgestehungskosten, dass die Energieumwandlung mit PV-Anlagen, im Vergleich zum Dieselgenerator, weitaus günstiger zu bewerkstelligen ist. Somit kann die Photovoltaiktechnologie unter den gegebenen Umständen als am besten geeigneter Energieträger für den Norden Togos angesehen werden.

#### IV. FALLSTUDIE LEHMSTEINPRESSE

Eine Nutzungsmöglichkeit regenerativer Energie bietet der Alternativantrieb einer manuellen Lehmsteinpresse. Diese wird, wie anfangs erwähnt, auf Initiative des IT-Village und des DAZ e.V. für die Erweiterung und den Neubau von Schulgebäuden in Nordtogo genutzt. Mit der Lehmsteinpresse vom Typ Terstaram (Abb. 5) des belgischen Herstellers ApproTechno werden pro Stunde durchschnittlich 60 Lehmsteine gefertigt. Bei einem zehnstündigen Arbeitstag liegt die Tagesproduktion bei 600 Lehmsteinen.



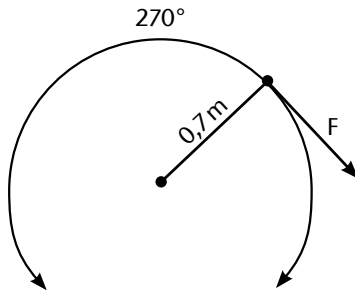
Abb. 5) Togoische Bauarbeiter bei der Bedienung einer manuellen Lehmsteinpresse vom Typ ApproTechno Terstaram [DAZ e.V. 2013]

Bewertungskriterien		Windenergie		Photovoltaik		STK***		Biomasse		Diesel-generator	
<b>technologisch</b>	G*	B**	G-B	-	-	-	-	-	-	-	-
Energieverfügbarkeit	20 %	3	0,6	8	1,6	7	1,4	2	0,4	1	0,2
Wirkungsgrad (Primär)	15 %	8	1,2	4	0,6	5	0,75	2	0,3	2	0,3
Umweltverträglichkeit	10 %	9	0,9	8	0,8	8	0,8	3	0,3	1	0,1
Soziale Verträglichkeit	20 %	9	1,8	8	1,6	7	1,4	1	0,2	1	0,2
Entwicklungspotenzial**	10 %	9	0,9	9	0,9	4	0,4	2	0,2	1	0,1
<b>wirtschaftlich</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investitionskosten	5 %	7	0,35	5	0,25	1	0,05	8	0,4	8	0,4
Stromgestehungskosten	5 %	8	0,4	7	0,35	5	0,25	4	0,2	2	0,1
Wartungskosten	15 %	7	1,05	9	1,35	2	0,3	5	0,75	3	0,45
∑	-	-	7,2	-	7,5	-	5,4	-	2,8	-	1,9
Erfüllungsgrad	100 %	-	72 %	-	75 %	-	54 %	-	28 %	-	19 %

\* Gewichtung \*\* Bewertung \*\*\* Eignung zur Schrittmachertechnologie \*\*\*\* Solarthermische Kraftwerke

Tab. 1) Nutzwertanalytische Betrachtung der Energieträgersysteme im Vergleich zu Dieselgeneratoren

Für die Produktion der besagten Menge an Lehmsteinen müssen momentan in etwa 660 Wh körperlicher Arbeit aufgebracht werden. Diese Aussage beruft sich auf folgende überschlägige Berechnung. Es wird davon ausgegangen, dass während des Pressvorgangs zwei Arbeiter mit einer Kraft  $F$  von jeweils 400 N die Hebel der Presse bedienen. Die Hebel haben eine Länge  $l$  von 0,7 m. Aus Gleichung (4) ergibt sich ein resultierendes Drehmoment  $M = 560 \text{ Nm}$  (Abb. 6).



$$2 \quad M = F \cdot l = 2 \cdot 400 \text{ N} \cdot 0,7 \text{ m} = 560 \text{ Nm}$$

Abb. 6) Modell Pressenantrieb

Die Drehbewegung erfolgt in einem Winkel von  $270^\circ$  und einer Drehzahl von  $n = 10 \text{ 1/min}$ . Werden diese Parameter in Gleichung (5) übertragen, so ergibt sich eine Leistung von  $P = 587 \text{ W}$ .

Bei 600 Pressvorgängen pro Tag mit einer Dauer von jeweils  $t = 4,5 \text{ s}$  und der zuvor bestimmten Leistung ergibt sich für die benötigte Energie ein Zusammenhang nach Gleichung (6) zu:

$$3 \quad P = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 560 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,167 \text{ 1/s} = 587 \text{ W}$$

Für die Pressvorgänge ist somit eine Energie von  $E_P = 0,44 \text{ kWh}$  nötig. Bei der Annahme, dass für das Lösen der Presse nur die Hälfte der Kraft nötig ist, ergibt sich bei analoger Vorgehensweise ein Energiebedarf von  $E_L = 0,22 \text{ kWh}$ .

$$4 \quad E = P \cdot t = 587 \text{ W} \cdot 4,5 \text{ s} \cdot 600 = 0,587 \text{ kW} \cdot 0,00125 \text{ h} \cdot 600 = 0,44 \text{ kWh}$$

In der Summe ist für die Produktion von 600 Lehmsteinen eine Gesamtenergie von  $E_G = 0,66 \text{ kWh}$  nötig. Soll das durch die Arbeiter bewirkte Drehmoment nun maschinell erzeugt werden, so müssen zusätzlich die Wirkungsgrade für Motor und Getriebe berücksichtigt werden. Für das System Pressenantrieb ist demnach eine elektrische Eingangsleistung von  $P_{el,p} = 814 \text{ W}$  bzw.  $P_{el,l} = 407 \text{ W}$ . Für den maschinellen Antrieb der Presse wird somit eine Energie von  $E_{el} = 0,916 \text{ kWh}$  benötigt (Gleichung (7)):

$$5 \quad E_{el} = P_{el,p} \cdot t_p \cdot 600 + P_{el,l} \cdot t_l \cdot 600 = (0,814 \text{ kW} + 0,407 \text{ kW}) \cdot 0,00125 \text{ h} \cdot 600 = 0,916 \text{ kWh}$$

Die Bereitstellung dieser Energiemenge soll durch ein Inselsystem auf Basis der Photovoltaiktechnologie gewährleistet werden. Zentrale Systemkomponenten sind hierbei PV-Generator und Akkumulator. Für die Dimensionierung dieser Komponenten mussten die Modulneigung und die täglich zur Verfügung stehenden Strahlungssummen geklärt werden. Es zeigte sich jedoch, dass unter den gegebenen Umständen auf eine größere Neigung der Module verzichtet werden kann. Für das ungehinderte Abfließen von Wasser bei Niederschlägen oder der Modulreinigung ist ein kleiner Modulanstellwinkel von 5 bis 15 Grad ausreichend. Die erste überschlägige Berechnung der benötigten Leistung des PV-Generators erfolgt nach Gleichung (8) mit Parametern nach Tab. 2 [Mertens 2011].

$$6 \quad P_{PV} = \frac{W}{N_{\text{Sonne}} \cdot K_{\text{Schräg}} \cdot K_{\text{Temp}} \cdot V_{\text{Leitung}} \cdot V_{\text{Umwandlung}} \cdot V_{\text{Anpassung}}} = 475 \text{ Wp}$$

Für den PV-Generator ist somit eine Modulleistung von insgesamt  $PPV = 475 \text{ Wp}$  vorzusehen. Zur überschlägigen Bestimmung der Akkukapazität  $C_N$  kommt Gleichung (9) zur Anwendung. Die entsprechenden Parameter sind Tab. 3 zu entnehmen [Mertens 2011].

$$7 \quad C_N = \frac{W \cdot N_A}{K_{\text{Entl}} \cdot U_N} = 153 \text{ Ah}$$

Die zuvor berechneten Werte für  $PPV$  und  $C_N$  dienen als Orientierungsgrundlage, um eine Vorauswahl an verwendbaren PV-Modulen und Akkumulatoren zu treffen. Die exakte Dimensionierung des Systems erfolgt mit dem Auslegungsprogramm PV\*SOL Expert. In dessen Datenbank sind die Parameter der gängigsten PV-Module und Akkumulatoren hinterlegt. Mit Hilfe der Software können für die jeweils gewählte Komponentenkombination entsprechende Szenarien simuliert und verglichen werden. Je nach Zelltechnologie und Berechnungsparameter ist für die spätere Umsetzung des PV-Generators eine Fläche von  $3,5 - 5 \text{ m}^2$  zu erwarten.

Da sich der Standort der Energieversorgungseinheit entsprechend der jeweiligen Baustelle ändert, muss die Mobilität des Systems gewährleistet sein. Hierfür wird der PV-Generator auf einen Anhänger montiert (Abb. 7).

Die Straßenverhältnisse in den nordtogoischen Regionen können als schlecht bezeichnet werden. Um die Verwindungen im PV-Generator möglichst gering zu halten, ist für das Trägersystem ein einachsiger Anhänger vorgesehen. Zusätzlich werden anstelle weniger großer Module mehrere kleine und dadurch steifere Module verwendet. Zusätzlich müssen diese mit ausreichend Abstand zum Anhänger sowie zueinander montiert werden, um eine gute Hinterlüftung der Module zu ermöglichen. Da Wasser in der Region ein kostbares Gut ist, sind unterhalb des PV-Generators Rinnen vorgesehen. Auf diese Weise kann das zur Modulreinigung genutzte Wasser aufgefangen und als Brauchwasser genutzt werden. Für die Energiespeicherung sind konventionelle Solarbleiakkumulatoren vorgesehen.

Benennung		Wert	Einheit
Energiebedarf	W	916	Wh
Sonnenvolllaststunden	N <sub>Sonne</sub>	4,55	h
Korrekturfaktor	K <sub>Schräg</sub>	1	-
Korrekturfaktor	K <sub>Temp</sub>	0,625	-
Leitungsverlustfaktor	V <sub>Leitung</sub>	0,94	-
Umwandlungsverlustfaktor	V <sub>Umwandlung</sub>	0,8	-
Anpassungsverlustfaktor	V <sub>Anpassung</sub>	0,9	-

Tab. 2) Technische Systemparameter I/II

Benennung		Wert	Einheit
Energiebedarf	W	916	Wh
Autonomietage	N <sub>A</sub>	2	-
Korrekturfaktor Entladeschwelle	K <sub>Entl</sub>	0,5	-
Systemspannung	U <sub>N</sub>	24	V

Tab. 3) Technische Systemparameter II/III

Die Umwandlung und Übertragung der Energie zur Lehmsteinpresse erfolgt über einen Elektromotor und ein Getriebe. Die Einbindung dieser Komponenten in das bisherige System der Lehmsteinpresse erfolgt unter der Vorgabe, dass die Option zum manuellen Betrieb erhalten bleibt. Des Weiteren ist das System so aufgebaut, dass einen Nutzung der PV-Anlage auch unabhängig von der Lehmsteinpresse für andere Zwecke erfolgen kann.

## V. AUSBLICK

Die Verfügbarkeit elektrischer Energie ist eines der wesentlichen Grundelemente für wirtschaftliches Wachstum und humanitäre Lebensbedingungen. In einer der ärmsten Regionen Westafrikas – in der Savannenregion Nordtogos – ist der zentrale Ausbau von Stromnetzen nicht erfolgt. Dezentrale Lösungen auf Basis regenerativer Energieträgersysteme können hier Abhilfeschaffen und die Entwicklung der Region vorantreiben. In der vorliegenden Arbeit wurden die verschiedenen, regenerativen Energieträgersysteme auf ihren Einsatz in der Savannenregion Westafrikas hin untersucht. Ausführend konnte das solartechnische Energieträgersystem im Einsatz



Abb. 7) CAD-Modell der mobilen Photovoltaikanlage

als Leistungslieferant im sekundären Wandlungsprozess zu mechanischer Leistung herangezogen werden. In der Folge ist ein Prototyp für eine Lehmsteinproduktionsmaschine konstruktiv ausgelegt und ein digitales Mock-up erarbeitet worden. Gemeinsam mit den Partnern in Togo wird der Prototyp nunmehr aufgebaut und exemplarisch im Feld getestet. Erfahrungen werden in Zusammenarbeit mit der Universität Lomé gesammelt und fließen in die Ausbildungsinhalte in Togo wie auch an der Technischen Hochschule Wildau [FH] mit ein. Hiermit wird ein wesentlicher Beitrag zur Nutzbarmachung der Technologie am Standort sowie zur Verbesserung der Lebensbedingungen in Westafrika geleistet.

## LITERATUR

DAZ e.V. (2013): [www.daz-eu.de](http://www.daz-eu.de/index.php). online: <http://www.daz-eu.de/index.php>; Zugriff am 4. Dezember 2013

In-fo.org (2013): [www.imf.org](http://www.imf.org). online: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/02/weodata/index.aspx>; Zugriff am 5. Dezember 2013

IT-Village (2013): [www.it-village-togo.de](http://www.it-village-togo.de). online: <http://www.it-village-togo.de/ohne%20Schule%20geht%20es%20nicht.html>; Zugriff am 4. Dezember 2013

Kaltschmitt, M. und Hartmann, H. (2001): Energie aus Biomasse. Berlin: Springer Verlag.

Klima.org (2013): <http://www.klima.org/togo/klima-lome/>. online: <http://www.klima.org/togo/klima-lome/>; Zugriff am 6. September 2013

Kohnert, D. (2006): Togo. In: Africa Yearbook 2005 – Politics, economy and society South of the Sahara. Melber/Mehler/Walraven (eds.), Brill, Leiden & Boston, in press

Laing, D.; Schiel, W. und Heller, P. (2002): Solare Kraftwerke. Berlin: ForschungsVer-bund Sonnenenergie

Löfken, J. O. (2011): Afrika entdeckt die Sonne. In: tr – Technology Review (2011) 6, S. 26-32

Mertens, K. (2011): Photovoltaik – Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. München: Carl Hanser Verlag.

nasa.gov (2013): <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi/>. online: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi/>; Zugriff am 23. August 2013

Pohl, B. und Kappel, R. (2012): Wie leistungsfähig sind die Ökonomien Afrikas. In: GIGAfokus (2012) 9, online: [www.giga-hamburg.de/giga-focus/africa](http://www.giga-hamburg.de/giga-focus/africa) ISSN 1862-3603

Quaschnig, V. (2009): Regenerative Energiesysteme. München: Carl Hanser Verlag

Quaschnig, V. (2010): Erneuerbare Energie und Klimaschutz. München: Carl Hanser Verlag

## AUTOREN

**M. Eng. René von Lipinski**  
wissenschaftlicher Mitarbeiter Automatisierungstechnik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
[von\\_lipinski@th-wildau.de](mailto:von_lipinski@th-wildau.de)

**Prof. Hon.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Reiff-Stephan**  
Professur Automatisierungstechnik/Produktionstechnik  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
[jrs@th-wildau.de](mailto:jrs@th-wildau.de)





# A DOMAIN SPECIFIC LANGUAGE FOR THE AUTOMATIC GENERATION OF PARSER CLASSES FOR TEXT PROTOCOLS

Thomas Kistel, Ralf Vandenhousten

## Abstract

ABNF is a language for the definition of the formal syntax of technical specifications and is widely used for the definition of textual protocol messages of many internet protocols. The automatic generation of parser classes for ABNF specifications is currently very limited, because ABNF only defines the transfer syntax of the text messages and does not define names for the set of production rules. The lack of name definitions within ABNF rules does not allow to automatically generate expressiveness and meaningful program code for ABNF specifications. In this paper we present X-ABNF, which is a domain-specific language (DSL) for the definition of name-bindings for ABNF rules. The name-bindings with X-ABNF facilitates to generate a concise and meaningful code for an ABNF specification. Additionally, we show that the name-binding can also be used for language extensions through macro programming to dynamically access ABNF encoded text data within source code. We have used Xtext and Xtend for the implementation of the language grammar of ABNF and X-ABNF, which provide good tool support and code generation capabilities.

## Zusammenfassung

ABNF ist eine Sprache zur Definition einer formalen Syntax für technische Spezifikationen und wird häufig zur Beschreibung textueller Nachrichten von Internetprotokollen eingesetzt. Die Möglichkeiten der automatischen Generierung von Parser-Klassen aus ABNF-Spezifikationen sind derzeit sehr begrenzt, da ABNF lediglich die Transfersyntax und Produktionsregeln von Textnachrichten beschreibt. Die fehlende Definition von Variablennamen innerhalb einer ABNF-Spezifikation ermöglicht es nicht, sinnvollen und ausdrucksstarken Programmcode zu generieren, der von einem Programmierer verwendet werden kann. In diesem Artikel stellen wir X-ABNF vor, eine domänenspezifische Sprache (DSL) zur Definition von Variablennamen für ABNF-Regeln. Dies ermöglicht die Generierung von ausdrucksstarkem und lesbarem Programmcode aus ABNF-Spezifikationen. Des Weiteren zeigen wir, dass dieser Ansatz auch für Spracherweiterungen mithilfe von Makroprogrammierung genutzt werden kann. Dies ermöglicht die dynamische Instanziierung von ABNF-Textnachrichten im Programmcode. Wir verwenden Xtext und Xtend zur Implementierung der Sprachgrammatik von ABNF und X-ABNF, was eine gute Werkzeugunterstützung gewährleistet und Codegenerierung ermöglicht.

## I. INTRODUCTION

The Augmented BNF for Syntax Specification (ABNF) (IETF, RFC 5234, 2008) is a grammar language for defining the formal syntax of technical specifications. ABNF is widely used for the specification of textual messages of many internet protocols. Although ABNF is very popular and a relatively compact language there is insufficient tool support (e.g. advanced editing, syntax highlighting, validation and error reporting) for software development. Furthermore, an important task is to automatically generate a program code for different general purpose languages (GPL) like Java or C++ to decode/encode text messages according to an ABNF specification.

Besides many IETF Internet protocols ABNF is also applicable for different vertical industry notations like NMEA<sup>1</sup> or EDIFACT<sup>2</sup>, for example. The integration of a NMEA or EDIFACT parser into software applications is mostly done through specific software libraries, which provides a set of API functions and classes to decode, encode and manipulate NMEA, EDIFACT, or other text messages. The drawbacks are that software libraries typically also include much functionality, which may not be required by the software application or make use of sophisticated design patterns that have influences on, or more seriously, violate the overall software architecture. Another option for the integration of ABNF parsers into software applications is to create an individual parsing library

that best fits to the surrounding software application. For text-based protocols, the creation of a specific parser can be a tedious and error prone task.

The main problem of transforming ABNF into source code of a GPL is that ABNF defines the transfer syntax of text-based messages. Therefore ABNF only consists of a set of production rules, and the context-free grammar of ABNF does not define any names (except for the rule itself), whereas the context-free grammar of a GPL defines names for class, variable, or method declarations. This naming issue leads to a semantic gap between ABNF and a GPL. Therefore existing parser generators for ABNF like APG (APG – ABNF Parser Generator) or aParse (aParse – parser generator for Augmented BNF)

<sup>1</sup>[www.nmea.org](http://www.nmea.org)

<sup>2</sup>[www.unece.org/cefact/edifact/welcome.html](http://www.unece.org/cefact/edifact/welcome.html)

only provide raw parsing capabilities of ABNF files and generic access methods.

In this paper we present X-ABNF, an approach to close the semantic gap between ABNF and GPLs by using domain specific modelling. X-ABNF is a domain-specific language (DSL) that we have built on top of an ABNF parsing framework. X-ABNF allows to define variable names for ABNF constructs and a mapping mechanism to GPL procedures. We have used the Xtext framework (Xtext Project Website) and the Xtend language (Xtend project website) for the implementation of our approach. We have developed a code generator of X-ABNF for the Java programming language so far, but code generation for other languages can be included as well. In summary our solution makes the following contributions:

- 1. IDE functions:** Provision of common IDE functions like advanced editing capabilities for ABNF and X-ABNF files with syntax highlighting, code completion and validation rules.
- 2. Code Generation:** The generation of Java code for ABNF data is highly adaptable through the X-ABNF file. In the X-ABNF file each rule and rule reference can be mapped to specific names. Therefore the resulting program code is very concise and expressive by making less usage of library code.
- 3. Macro programming:** Macro programming is known from the Lisp programming language and can be used for language extensions at compile time. We have implemented macro programming with Active Annotations, a language feature of the most recent version (2.4) of the Xtend language. With X-ABNF and macro programming it is possible to access ABNF encoded text data at compile time, which is a very useful mechanism for software testing with real protocol data.

In the next section we introduce the main concepts of ABNF and outline the aspects which are important for our presented approach. In section III

we describe our solution in detail. In section III.I we present the IDE features for editing ABNF and X-ABNF files, in section III.II we explain how the code generation is done with name bindings (see section III.III), and in section III.IV we introduce the details of the macro programming mechanism. In section IV we compare our solution with other ABNF parsing frameworks, and finally, section V concludes this paper and outlines future work.

## II. THE ABNF SPECIFICATION

ABNF is a context-free grammar that is a modified version of the Backus-Naur Form (BNF). ABNF allows the specification of so called *Rules*. On the left-hand side, each rule has an identifying name. The right-hand side of a rule is the rule's definition that can be a *Concatenation*, *Alternation*, *Repetition* or an *Element*. Elements can also be grouped or optional. An element is either a name reference to another rule, a character or terminal value. Terminals can be specified as binary, decimal or hexadecimal values and are mapped to a specific encoding. For example the ABNF specification (IETF, RFC 5234, 2008) outlines that the terminal values `%d13` or `%x0D` specify the decimal and hexadecimal representations of the carriage return in US-ASCII.

According to (IETF, RFC 5234, 2008) the differences between BNF and ABNF involve the naming of rules, repetitions, alternatives, order-independence, and value-range. Repetitions in BNF, for example, have to be specified via recursion. In BNF it is not possible to specify an upper bound to explicitly terminate the recursion. ABNF in contrast allows the definition of repetitions with upper and lower bounds. For example the rule `IPv4address = 1*3DIGIT "." 1*3DIGIT "." 1*3DIGIT "." 1*3DIGIT` specifies the syntax of an IPv4 address, where each part can contain one (lower bound) to three (upper bound) digits. In contrast to the rule `IPv4address` the rule `Hostname = 1*ALPHA` has a repetition with no upper bound, i.e. infinitive number of ALPHA's. The rules `DIGIT` and `ALPHA` in turn can be specified with an alternation (`DIGIT = "0" / "1" / "2" / ... "8" / "9"` or `ALPHA = "a" / "b" /`

`... "z" / "A" / "B" / ... „Z“`) that is also possible in BNF. ABNF additionally allows the specification of value ranges (i.e. `DIGIT' = %x30-39` and `ALPHA' = %x41-5A / %x61-7A`). The hexadecimal value representations are mapped into a specific character set (e.g. US-ASCII). Therefore the above rules are equivalent: `DIGIT ↔ DIGIT'` and `ALPHA ↔ ALPHA'`. The value ranges of ABNF are similar to regular expressions, but less expressive.

## III. SOLUTION

The transformation of an input source into a target language, i.e. the transformation of an ABNF document into Java source code, is a typical compiler construction task. The first phase of compiler construction is characterized by the creation of a parser that transforms the input sequence into an abstract syntax tree (AST). The AST can then be traversed to generate code. In this chapter we explain the creation of the parser for ABNF documents and the surrounding IDE support. Then we describe how code generation is done with the X-ABNF mapping language. In the third part we explain how the implemented parsing and code generation technology with X-ABNF can be used for macro programming. We use the NMEA 0183 standard, whose syntax can be described with ABNF, to demonstrate the implementation details.

### III.I ABNF PARSER AND WORKBENCH

As mentioned above, we have used the Xtext framework (Xtext Project Website) for the implementation of an ABNF parser and surrounding tool support for the Eclipse workbench. Xtext is a metamodel-based framework for the implementation of DSL's like ABNF or ASN.1 (ITU, X.680, 11/2008; Kistel, Vandenhousten 2013). The corner stone of implementing a language with the Xtext framework is to define an EBNF-like grammar file. Xtext uses this grammar file to generate Parser, Lexer, an EMF Ecore metamodel, Editor, and other Eclipse workbench functions. The underlying parser/lexer technology of Xtext is ANTLR (ANTLR website; Parr op. 2007), a two phase LL(\*) parser, which creates the concrete

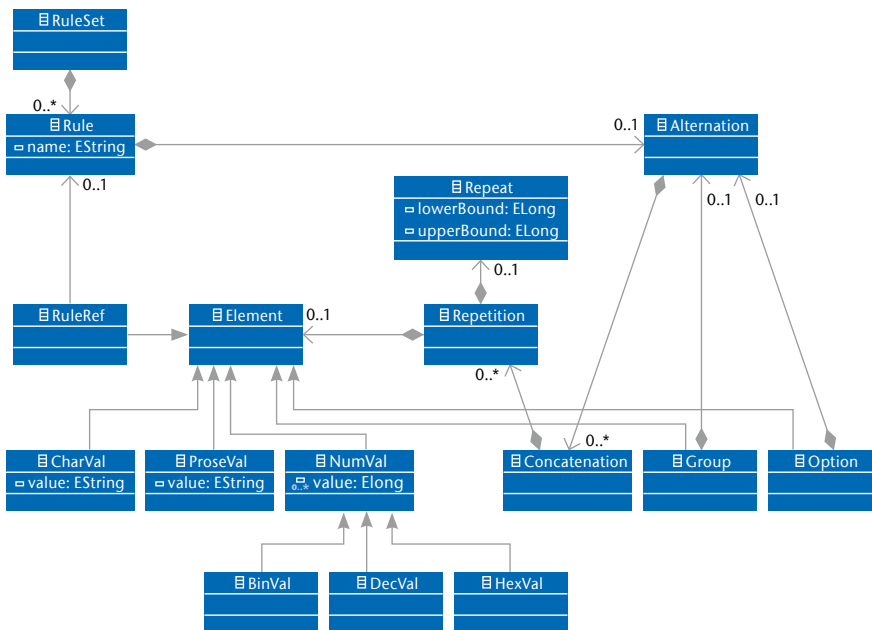


Fig. 1) Metamodel of ABNF

syntax of the language. The Xtext framework translates the Xtext grammar file into a grammar description of ANTLR. In Xtext, the parsing result, i.e. the abstract syntax tree, is represented by an EMF metamodel. **Figure 1** shows the metamodel of the abstract syntax of ABNF.

The entry point of the metamodel is a RuleSet which contains a set of Rule elements. Each Rule contains Alternation elements, an Alternation itself contains Concatenation elements which concatenate Repetition elements. A Repetition refers to an ABNF Element and optionally has a Repeat variable. An ABNF Element can either be a CharVal (a String), ProseVal, NumVal (i.e. binary, decimal or hexadecimal values), a reference to another rule (RuleRef), an Option or a Group. Option and Group elements refer to Alternation.

Optional elements in ABNF can be declared in two ways, either by an Option or a Repetition element with lower/upper bound set to 0/1. Therefore Rule1 = 0\*1"optional" and Rule2 = ["optional"] are equivalent, but have a different representation in the abstract and concrete syntax (i.e. Rule1 is represented by a Repetition, whereas Rule2 is represented by an Option element). In the backend phase of a compiling process, e.g. for code

generation (see section III.II), these ambiguities must be resolved.

Besides lexing and parsing, i.e. the transformation of tokens into an abstract syntax tree, another important step in the front end phase of a compiler is the semantic analysis of the language. With the Xtext framework this can be done through validation rules. We have implemented different validation rules. For example, we check for unique rule names and validate the input sequences of the NumVal elements.

```

nmea.abnf
1 ; General specifications
2 Float = *DIGIT "." *DIGIT
3 ; NMEA-specifications
4 NMEA = "$" (GPGLL / GPGGA / GPRMC) CRLF
5
6 ; Geographic Position - Latitude/Longitude
7 GPGLL = "GPGLL," ; Prefix
8 [Float] "," ; Latitude
9 ["N" / "S"] "," ; N or S (North or South)
10 [Float] "," ; Longitude
11 ["E" / "W"] "," ; E or W (East or West)
12 [Float] "," ; Universal Time Coordinated (UTC)
13 [{"A" / "V"}] "*" ; A - Data Valid, V - Data Invalid
14 [2*(ALPHA)] ; Checksum
15
  
```

Fig. 2) Specification of an NMEA message

The created workbench provides reasonable IDE features for editing ABNF files. We customized the default implementation of the generated Xtext framework for custom syntax highlighting, code completion, code formatting,

outline view and, most importantly, syntax and error validation. Through the implementation of a linking mechanism, it is possible to split an ABNF specification into multiple files. This allows to refer an ABNF rule that is defined in a separate file in order to avoid duplicate code. **Figure 2** shows the specification of the NEMA message GPGLL (Geographic Position - Latitude/Longitude) with the created workbench editor. We will refer to this message specification in the next sections.

### III.II CODE GENERATION

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

Model to text transformation can have different strategies (Hemel et al. 2008; Völter, Kolb 10/11/2006). **Figure 3** shows two different strategies. In strategy 'a' the source model (the metamodel of ABNF) is directly transformed into the target model (Java code). In this strategy,

it is difficult to add optimization procedures. Therefore many compilers create an intermediate model (strategy 'b') before the target model is created. **Figure 4** shows the intermediate model of the ABNF code generator. Each ABNF Rule

is represented by an `AbnfRuleClass`, e.g. the ABNF rule `GPGLL` of the NMEA example (see Figure 2) is transformed to an instance of `AbnfRuleClass` with `className = "GPGLL"`. Every Element (see Figure 1) will be translated into an `AbnfElementField`. An `AbnfElementField` stores a repeat variable (`AbnfRepeat`) with lowerBound and upperBound. The default value is 1/1, optional elements will be stored as 0/1, Repeat elements are directly mapped to `AbnfRepeat`.

An `AbnfElementField` is an abstract class, the concrete subclasses are `AbnfCharValue` and `AbnfAttribute`. An `AbnfCharValue` is just a representation of `CharValue` (see metamodel in Figure 1). An `AbnfAttribute` stores a reference to another rule in the type variable, the name variable can be either derived from the type or from a name binding, which we will describe in section III.III. For example, the rule reference `Float` (line 8 in the NMEA example in Figure 2) is translated into an `AbnfAttribute(type=Float, name=float)`. Alternations in ABNF are transformed into instances of `AbnfAlternation`, which is a subclass of `AbnfAttribute`. An `AbnfAlternation` contains a list of values of type `AbnfElementField`. Alternations that are references to other rule definitions will be transformed to super class instances of an `AbnfRuleClass`. In the NMEA example of Figure 2 the NMEA class will be the super class of `GPGLL`, `GPGGA` and `GPRMC`. Furthermore, objects of type `NumVal` in the metamodel (i.e. binary, hexadecimal or decimal values) will be translated into `AbnfNumValue` of the intermediate model.

In summary, the intermediate model (Figure 4) is an optimized structure of the ABNF metamodel (Figure 1). Optional elements and repetitions of the metamodel are transformed into repeat elements in the intermediate model, group elements are completely removed because they are only necessary for structuring ABNF data. The intermediate model is used to generate the code artefacts of the target programming language. Table 1 shows how the main elements of the intermediate model are represented in Java code.

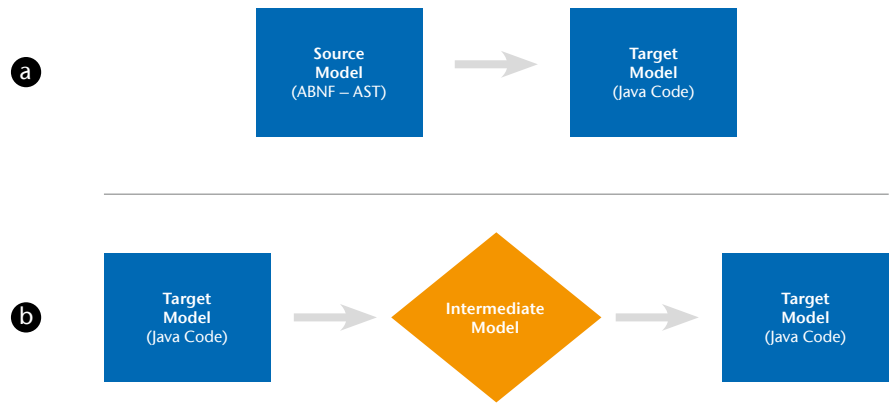


Fig. 3) Strategies of a code generator

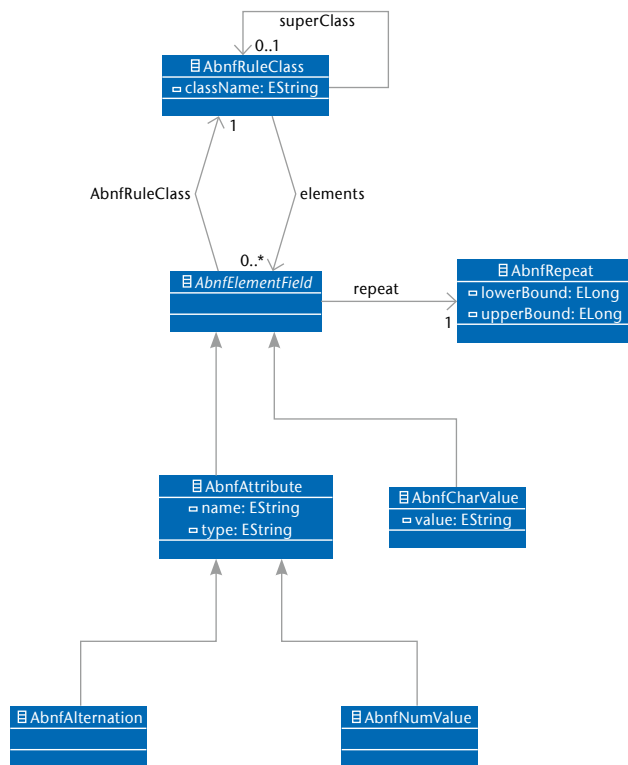


Fig. 4) Intermediate model of the code generator

Intermediate model	Java representation
<b>AbnfRuleClass</b>	Object class
<b>AbnfAttribute</b>	Class field with setter and getter method
<b>AbnfAlternation</b>	Enum class

Tab. 1) Transformation of intermediate model to code

The code generator creates a Java class for each `AbnfRuleClass`. A generated Java class consists of a field section, where each `AbnfAttribute` will become a Java field with a corresponding setter- and getter-method. If the upper bound of the `AbnfRepeat` is greater than one, the type of the Java field will be `java.util.List`. An `AbnfAlternation` is transformed to a Java Enum class, where each value of the `AbnfAlternation` will be an Enum value. For each `AbnfElementField` (i.e. `AbnfAttribute`, `AbnfAlternation`, `AbnfNumValue` and `AbnfCharValue`) a read/write entry is generated in the read/write method. **Listing 1** shows a snippet of the generated Java classes for the NMEA and GPGLL rules in the NMEA example of **Figure 2**.

```
public class GpGll extends AbstractNmeaObject {
    private Float latitude;
    // other fields ...
    public Float getLatitude() {
        return latitude;
    }
    public void setLatitude(Float latitude) {
        this.latitude = latitude;
    }
    // other setter/getter
    // and read/write methods ...
}
```

**Listing 1)** Generated Java class for GPGLL message

### III.III NAME BINDING WITH X-ABNF

An important requirement on code generation is that the resulting source code is understandable for the programmer, i.e. the source code must have meaningful names for classes, methods, and fields. In contrast, the ABNF grammar does not define names (except for the rules), but only the transfer syntax. In the NMEA example of figure **Figure 2** the GPGLL rule defines a `Float` variable, the semantic information of the name of that variable cannot be derived from the ABNF specification, which would lead to a semantic gap between the ABNF specification and the generated source code.

To close this gap, we have developed X-ABNF that is a DSL for defining name bindings for ABNF. X-ABNF allows the definition of a *Generator model* and a *Binding model*. The *Generator model* configures the overall code generation

process, and the *Binding model* allows defining specific name bindings for ABNF elements. **Table 2** explains the elements of the generator and binding model of X-ABNF.

Model element	Description
<b>file</b>	A reference to the ABNF file.
<b>language</b>	The target language that should be generated (currently only Java is supported).
<b>package</b>	An optional specification of the package of the resulting code.
<b>Encoding</b>	An optional specification of the encoding that should be used (default is US-ASCII).
<b>RuleBinding</b>	A binding of an ABNF rule to a specific class name. A <code>RuleBinding</code> can contain several <code>AttributeBindings</code> .
<b>AttributeBinding</b>	A binding of an ABNF element (i.e. an <code>AbnfAttribute</code> of the intermediate model) to a specific field name in the target class.
<b>ClassBinding</b>	A binding of an ABNF rule to a target library class.

**Tab. 2)** Elements of the X-ABNF Generator and Binding model

The specification of a `RuleBinding` allows the definition of class names for ABNF rules. In our NMEA example (see **Listing 1**) the rule NMEA is bound to the name `AbstractNmeaObject` because this class is an abstract super class of GPGLL, GPGLGA and GPRMC. An `AttributeBinding` allows the definition of a specific name for an ABNF rule reference (e.g. the first `Float` variable of the GPGLL is bound to the name `latitude`, because it specifies the latitude of a GPGLL message).

The `ClassBinding` can be used to statically bind an ABNF rule to an existing library class. The `ClassBinding` definition also defines a method binding that provides the object conversion. In the target source code the method that is bound in the class binding is called to convert the input sequence (i.e. a `String`). This way the rule `Float` of the NMEA example is bound to the Java class `Float` with the method binding `java.lang.Float.valueOf(java.lang.String)`. The code generator ensures that every ABNF rule `Float` is then converted into an object of `java.lang.Float`. This mechanism allows to define predefined classes for specific ABNF ru-

les that can be reused for different ABNF specifications. We have also implemented static validation rules that ensure that the class bindings are valid and refer to existing classes and

methods in the library path. **Figure 5** shows the X-ABNF specification for the NMEA example that is used to generate the code in **Listing 1**.

In the code generation progress the generator consults the X-ABNF specification to derive the name of a specific ABNF rule or rule reference. The name bindings are derived when the intermediate model is transformed into the target code.

### III.IV MACRO PROGRAMMING

Macro programming is a language-extension mechanism and gained popularity with the Common Lisp programming language. OpenJava (Tatsubori et al. 2000) introduced macro programming as a language extension mechanism for Java at compile time, which uses some features of OpenC++ (Chiba 1995). Erdweg (Erdweg 2013) discussed macro programming in the context of domain-specific programming/languages and compared different approaches (also OpenJava, among others). Macro programming is a useful mechanism for several purposes. (Xtend project website) and (Tatsubori et al. 2000) claim



```

1 GeneratorModel {
2   file = "nmea.abnf"
3   language = Java
4   package = "de.thwildau.tm.moses.nmea"
5   encoding = "US-ASCII"
6 }
7
8 Bindings {
9   rule Float toClass "java.lang.Float" toMethod "valueOf(java.lang.String)"
10  rule NMEA to "AbstractNmeaObject"
11  rule GPGLL to "GpGll" {
12    ref "field1" Float to "latitude"
13    ref "field2" LatitudeOrientation to "latitudeOrientation"
14    ref "field3" Float to "longitude"
15    ref "field4" LongitudeOrientation to "longitudeOrientation"
16    ref "field5" Float to "utcTime"
17    ref "field6" to "status"
18  }
19  // other bindings ...
20 }

```

Fig. 5) X-ABNF specification of the NMEA

that macro programming can help to substitute redundant "boilerplate" code that is necessary to use design patterns (Gamma et al. 1995). This is because many design patterns require the implementation of a skeleton of several classes that interact in a specific way. For example the *Observer pattern* (Gamma et al. 1995) requires the implementation of an Observer interface that can be attached to a *subject class*. The *subject class* notifies a concrete Observer implementation on internal state changes. Usually the Observer pattern requires the implementation of at least four different classes. This programming overhead can be reduced with macro programming.

We argue that macro programming is also very useful for protocol development, because the implementation of a communication protocol for a software application also requires testing the implementation and the conformance to the protocol specification. Implementation and conformance tests often require the development of *Mock Objects*, which are dummy classes that emulate real behavior (Mackinnon et al. 2001). The development of *Mock Objects* for protocol messages that behave like real messages can be a complicated and tedious task.

The recent version (2.4) of the Xtend language (Xtend project website) allows the specification of *Active Annotations*. The *Active Annotations* are an implementation of macro programming for the Xtend language and are similar to OpenJava (Tatsubori et al.

2000). The Xtend language is built on top of the Java programming language and therefore has many features of

```

@Target(ElementType.TYPE)
@Active(AbnfDataProcessor.class)
public @interface AbnfData {

    String file();

    String data();

}

```

Listing 2) Java Annotation AbnfData

Java (e.g. declarations of classes, methods, and fields). The Xtend compiler transforms an Xtend class into a Java class and creates Java source code. *Active Annotations* can be declared in Xtend source files like regular Java annotations. The *Active Annotations* specify a processor class, which acts as a call-back class for the Xtend compiler.

The Xtend compiler calls the processor class to extend the Xtend language with a macro at compile time. Therefore the processor reads the content of a declared *Active Annotation* and provides specific language extensions for the given class. Listing 2 shows the definition of the *AbnfData* annotation that can be declared as an *Active Annotation* on Xtend type declarations.

The Annotation `@Active(AbnfDataProcessor.class)` specifies the call-back processor class for the Xtend compiler. The content of the *AbnfData* annotation is the specification of a file attribute that must refer to an XABNF file. The data attribute specifies concrete data, whose content is defined by an ABNF grammar. Figure 6 shows an example for an *AbnfData* annotation with an NMEA message.

In the *NmeaMock* example class the file attribute refers to the *nmea.xabnf* file which must be located in the same directory as the Xtend file. The data attribute contains a concrete *GPGLL* message that is part of the NMEA-ABNF specification. The *AbnfDataProcessor* class (see Listing 2) parses the *GPGLL* message with the information of the *nmea.xabnf* file. The processor class uses Java reflection to dynamically instantiate the required parser classes (*GpGll.java* in our example) that were generated by the code generator (see section III.II). The processor creates extension methods for all *get-methods* of a parser class. The result of a *get-method* is determined by invoking the corresponding method of the parser class via Java reflection.

```

*NmeaMock.xtend
-
4 @AbnfData(
5   file = "nmea.xabnf",
6   data = "$GPGLL,1131.330,N,04344.089,E,160029.77,A*0C"
7 )
8 class NmeaMock {
9
10  def static void main(String[] args) {
11    val mock = new NmeaMock()
12    println("UTC-Time: " + mock.utcTime)
13    println("Longitude: " + mock.longitude)
14    println("Latitude: " + mock.l)
15  }
16 }

```

Fig. 6) Class *NmeaMock* with *AbnfData* annotation



tion. Informally spoken, the processor class of `AbnfData` annotation passes the NMEA message of the annotation to the generated parser classes by invoking the parser classes via Java reflection. The *get-methods* and the results of this invocation is dynamically inserted into the resulting Java code of the Xtend class. This mechanism allows the programmer to instantiate the methods of the parser class within the Xtend class. In our example (see **Figure 6**) the result of `mock.getLatitude()` is the float value "1131.330", which is retrieved from the data attribute of the `AbnfData` annotation.

#### IV. RELATED WORK

As indicated in the introduction section, the ABNF grammar only describes the transfer syntax of text-based messages instead of their abstract syntax and encoding rules. Existing parsers for ABNF like APG (APG – ABNF Parser Generator) or aParse (aParse - parser generator for Augmented BNF) therefore only provide generic access and simple validation methods for ABNF documents. A similar approach to generic parsing solutions is the generation of regular expressions from ABNF grammars (`abnf2regex`). Schulz (Schulz 2004) discusses the issue of the mixture of abstract and transfer syntax in ABNF in the context of conformance testing of text-based protocols. He solves this problem with a derivation of an abstract protocol type definition by mapping ABNF rules to TTCN-3<sup>3</sup> types. This solution has the drawback that the mapping also has to be specified, and it depends on a different technology (i.e. TTCN-3).

#### V. CONCLUSIONS

In this paper we have presented X-ABNF, which is a domain-specific language (DSL) for the definition of name-bindings of a given ABNF specification. The definition of name-bindings for ABNF through X-ABNF allows to handle ABNF like a programming language with variable identifiers. We have shown that the name-binding is particularly useful for generating ABNF parser classes for ABNF specifications that are understandable for the

programmer. Additionally we outlined how the name-binding of X-ABNF can be used with macro programming for language extensions at compile time. We have used Active Annotations, a language feature of Xtend, to implement the language extension. This mechanism enables the programmer to access ABNF data in Xtend classes. Our implementation of the ABNF and X-ABNF grammar with the Xtend framework also provides a state-of-the-art tool support and good integration with Eclipse EMF.

In the future, we plan to improve the implementation of the code generator. Currently the transformation of the ABNF metamodel to the intermediate model is implemented with Xtend. This transformation can also be done by a model transformation language like ATL (Jouault, Kurtev 2006). Furthermore, we plan to extend the use of the `AbnfData` not only to type definitions, but also to method definitions. This allows to specify ABNF encoded text messages on method level, which would improve the implementation of unit test classes.

The source code of the described project is available online at [code.google.com/p/moses-project](http://code.google.com/p/moses-project).

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the project MOSES - Modellgetriebene Software-Entwicklung von vernetzten Embedded Systems (FKZ 17075B10).

#### LITERATURE

ANTLR website. Available online at <http://www.antlr.org>, checked on 9/7/2012.

Xtend project website. Available online at <http://www.eclipse.org/xtend>, checked on 7/23/2012.

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

IETF RFC 5234, January 2008: Augmented BNF for Syntax Specifications: ABNF. Available online at <http://tools.ietf.org/html/rfc5234>.

Chiba, Shigeru (1995): A metaobject protocol for C++. In SIGPLAN Notices 30 (10), pp. 285–299.

Coast to Coast Research, Inc: APG – ABNF Parser Generator. Available online at <http://www.coasttocoast-research.com>, checked on 6/10/2013.

Eclipse Foundation: Xtend Project Website. Available online

at <http://www.eclipse.org/Xtext>, checked on 7/15/2012.

Erdweg, Sebastian Thore (2013): Extensible Languages for Flexible and Principled Domain Abstraction. Dissertation. Philipps-Universität Marburg, Marburg. Department of Mathematics and Computer Science.

Flores Beltran, Juan Carlos; Holzer, Boris; Kamann, Thorsten; Kloss, Michael; Mork, Steffen A.; Niehues, Benedikt; Thoms, Karsten (2007): Modellgetriebene Softwareentwicklung. MDA und MDSD in der Praxis. Edited by Jens Trompeter, Georg Pietrek. Frankfurt [Main]: Entwickler.press.

Gamma, Erich; Helm, Richard; Johnson, Ralph E. (1995): Design patterns. Elements of reusable object-oriented software. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Hemel, Zef; Lennart C. L. Kats; Visser, Eelco (2008): Code Generation by Model Transformation. In : Proceedings of the 1st international conference on Theory and Practice of Model Transformations. Zurich, Switzerland: Springer-Verlag, pp. 183–198.

Jouault, Frédéric; Kurtev, Ivan (2006): Transforming Models with ATL. In Jean-Michel Bruehl (Ed.): Satellite Events at the MoDELS 2005 Conference, vol. 3844: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), pp. 128–138.

Kistel, Thomas; Vandenhousten, Ralf (2013): A metamodel-based ASN.1 editor and compiler for the implementation of communication protocols. In Wissenschaftliche Beiträge TH Wildau, pp. 61–66.

Mackinnon, Tim; Freeman, Steve; Craig, Philip (2001): Endo-testing: unit testing with mock objects. In Giancarlo Succi, Michele Marchesi (Eds.): Extreme Programming examined. Boston: Addison-Wesley (The XP series), pp. 287–301.

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

parse2: aParse - parser generator for Augmented BNF. Available online at <http://www.parse2.com>, checked on 6/10/2013.

Schulz, Stephan (2004): Derivation of Abstract Protocol Type Definitions for the Conformance Testing of Text-Based Protocols. In Roland Groz, RobertM Hierons (Eds.): Testing of Communicating Systems, vol. 2978: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), pp. 177–192.

Tatsubori, Michiaki; Chiba, Shigeru; Killijian, Marc-Olivier; Itano, Kozo (2000): OpenJava: A Class-Based Macro System for Java. In Walter Cazzola, Robert Stroud, Francesco Tisato (Eds.): Reflection and Software Engineering, vol. 1826: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), pp. 117–133.

Thomson, Martin: `abnf2regex`. Available online at <https://github.com/martinthomson/abnf2regex>, checked on 6/10/2013.

Völter, Markus; Kolb, Bernd (2006): Best Practices for Model-to-Text Transformations. Eclipse Summit 2006, 10/11/2006.

#### AUTHORS

**Thomas Kistel, M. Eng**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-615  
[thomas.kistel@th-wildau.de](mailto:thomas.kistel@th-wildau.de)

**Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhousten**  
Fachgebiet Telematik  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
T +49 3375 508-359  
[ralf.vandenhousten@th-wildau.de](mailto:ralf.vandenhousten@th-wildau.de)

<sup>3</sup>[www.ttcn-3.org](http://www.ttcn-3.org)



# MOBILE SURVEILLANCE SENSOR NETWORK

Peter Bernhardt, Michael Hendrix

## Zusammenfassung

Der Schutz von Personen, Veranstaltungen, Einrichtungen und Einzelobjekten muss den gesellschaftlichen und globalen Wirklichkeiten stetig angepasst werden, um seine Wirksamkeit nicht zu verlieren. Dieser Artikel präsentiert ein mobiles Überwachungsnetzwerk, welches eine Entwicklung zur Absicherung von Schutzobjekten, insbesondere von Gemälden, und zur Bereitstellung einer Lageübersicht für Sicherheitskräfte an nicht veränderbaren oder temporären Standorten darstellt. Die Sensoren des Systems sind manipulationsresistent, das heißt sie benötigen keine Ressourcen von der Umgebung und erfordern keine permanenten Veränderungen am Einsatzort. Im Rahmen von Feldversuchen während der Entwicklung wurde das System entsprechend realer Anforderungen kontinuierlich evaluiert und letztendlich die Wirksamkeit der Ergebnisse aufgezeigt.

## Abstract

The protection of persons, events, institutions and individual objects must be adapted to the social and global realities constantly in order not to lose its effectiveness. This article presents a mobile surveillance network, which is a development for the protection of safety objects, especially paintings, and to provide a situational awareness of the security forces of non-modifiable or temporary sites. The sensors of the system are tamper-resistant, which means they do not require resources from the environment and do not require permanent changes in the field. In the context of field trials during the development the system was continuously evaluated according to real requirements and ultimately demonstrated the effectiveness of the results.

## I. EINFÜHRUNG

Der Schutz von Personen, Veranstaltungen, Einrichtungen und Einzelobjekten bekommt durch die gesellschaftliche und globale Wirklichkeit eine immer höhere Priorität. Dieses weltweit gestiegene Bedürfnis nach Sicherheit sorgt für einen Schub in der Entwicklung innovativer Sicherheitstechnologien. Nach einer in Auftrag gegebenen Studie des BMWI aus dem Jahre 2013 [1] wächst der weltweite Markt für zivile Sicherheitstechnik zwischen 2006 und 2015 von 55 Mrd. Dollar auf 231 Mrd. Dollar pro Jahr. Einem Gutachten der VDI/VDE Innovation und Technik GmbH zufolge weist der Markt für Sicherheitstechnologien und –dienstleistungen in Deutschland auf längere Sicht überdurchschnittliche Wachstumsperspektiven auf. Allein in Deutschland ist von einer Steigerung des Gesamtumsatzes von 20 Mrd. auf 31 Mrd. Euro zwischen 2008 und 2015 auszugehen [2].

Einer Pressemitteilung der Gütegemeinschaft Metallzauntechnik e.V. [3] war zu entnehmen, dass die nicht-militärische Sicherheitsvorsorge - in

erster Linie physische Sicherheitssysteme und -produkte, Identifikation und Authentifizierung, Kontrollen und Gefahrerkenkung, Schutz von kritischen Infrastrukturen oder von Lieferketten, Systeme und Produkte zur Kommunikation über Gefährdungen - ein gewaltiger Markt sei und darüber hinaus ein ausgesprochenes Wachstumssegment. Quantitative Aussagen zum Marktsegment „Perimeterschutz“ liegen aber nicht vor.

Die Anwendung von stationären, elektronischen Sicherheitseinrichtungen im Rahmen dieser Zielstellung ist teuer und kompliziert. Eine temporäre Installation von solcherlei Maßnahmen zum zeitweisen Schutz oben genannter Subjekte verbietet sich in der Regel aufgrund des Missverhältnisses von Investitionshöhe zu Nutzungsdauer. Dies liegt im Wesentlichen auch daran, dass die heute angebotenen Systeme ressourcenhungrig sind und/oder Veränderung an der Umgebung notwendig machen. Einen guten Überblick über heutzutage angebotene Systeme zum Perimeterschutz erhält man im Online-Portal zu Sicherheitstechnik [4]. Spezielle Informationen zum Pe-

rimeterschutz durch mobile Wärmebildkameras finden sich in [5].

Im Rahmen des Vorhabens „Mobile Surveillance Sensor Network“ wurde ein System zur temporären Absicherung von Schutzobjekten und zur Bereitstellung einer Lageübersicht (situational awareness) für Sicherheitskräfte an nicht vordefinierten Standorten entwickelt. Dies bedeutet, dass die Teile des Systems keine Ressourcen von der Umgebung benötigen und dadurch unabhängig von ihr funktionieren sowie dass die Installation in einem zeitlich übersichtlichen Rahmen durchgeführt werden kann und keine permanenten Veränderungen an der Umgebung verlangt.

Des Weiteren ist das entwickelte Sensornetzwerk im Unterschied zu den auf dem Markt vorhandenen Angeboten zur Umfeldsicherung konsequent nicht-stationär ausgelegt und somit überall schnell als auch mit vergleichsweise geringem Aufwand einsetzbar.

## II. GRUNDAUFBAU DES SYSTEMS

Das System besteht aus verschiedenartigen mobilen Sensoren, welche mit Hilfe der Nutzung einer proprietären Funktechnologie robust und sicher (manipulations- als auch abhörsicher) zu einem Sicherheitsnetz miteinander verbunden werden können. Der Kern des Systems ist eine zentrale Basisstation (Leitstand), die aus einer intelligenten Verknüpfung der verschiedenen Sensorsignale spezifische Bedrohungsmuster extrahiert, wodurch eventuelle Gefahren frühzeitig und sicher erkannt werden können. Die Verknüpfung unterschiedlicher Sensorsignale führt in vielen Szenarien erst zu einer ausreichend hohen Erkennungswahrscheinlichkeit bei gleichzeitiger verringerter Falschalarmrate. Zusätzlich zur Analyse von Bedrohungsmustern ist die Basisstation auch für die Überwachung der Systemintegrität zuständig. Im Falle einer potenziellen Bedrohung werden Sicherheitskräfte mittels Mobilfunk auf ihren mobilen Endgeräten informiert.

Die konzeptionelle Basis des Systems sind zwei durch eine Basisstation miteinander verbundene Kommunikationsnetzwerke. Abbildung 1 zeigt den Grundaufbau des Systems.

Die Kommunikation zwischen Sensormodul und Basisstation erfolgt über eine proprietäre Funktechnologie auf dem 868 MHz Band. Die Kommunikation zwischen Basisstation und einem

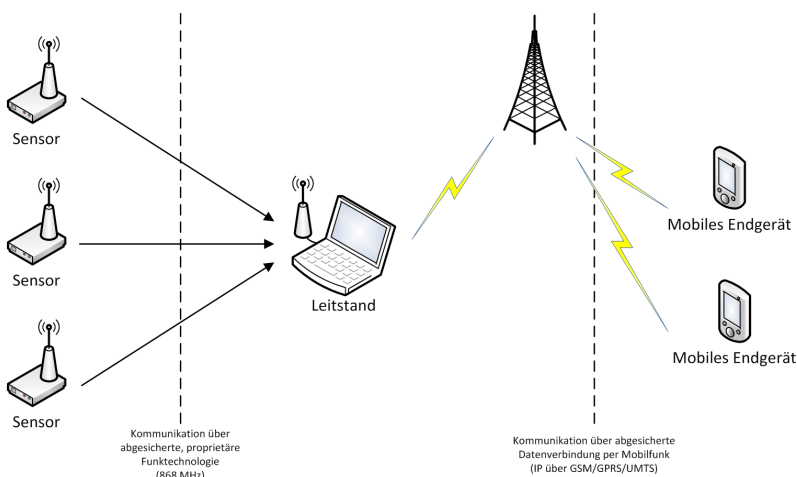


Abb. 1) Grundaufbau des Systems

mobilem Endgerät erfolgt mittels TCP/IP über GSM/GPRS/UMTS. Jegliche Kommunikation zwischen Sender und Empfänger ist gegen Manipulation und Abhörbarkeit abgesichert.

## III. SENSORMODULE

Auf der Seite der Datenerhebung befindet sich eine Zahl von Sensormodulen mit einer jeweils hohen Spezialisierung hinsichtlich der zu überwachenden Parameter. Die Sensormodule sind voneinander komplett unabhängig und ebenso nicht mit der zu überwachenden Umgebung abhängig verbunden. Dies bedeutet, dass die Funktionsfähigkeit der Sensoren an sich nicht von durch die Umgebung bereitgestellten Ressourcen abhängig ist (insbesondere Stromversorgung durch Einsatz einer Batterie) und somit eine Position als möglichst „objektiver Beobachter“ effektiv eingenommen werden kann. Die zusätz-

habung, Fixierungsmöglichkeiten) gestaltet sind, andererseits die effiziente Anwendung und Konfiguration durch den Nutzer flexibel und möglichst ohne Hilfsmittel erfolgen kann.

Der Messwert eines Sensors wird in regelmäßigen Abständen ausgelesen und einer Toleranzbereichsbetrachtung unterzogen. Beim Toleranzbereich handelt es sich nicht um fest definierte Grenzwerte, vielmehr sind die Grenzwerte dynamisch und relativ zum aktuellen Messwert. So besagt bspw. eine konfigurierte Toleranz von 10 %, dass bei einem eingeschwungenen Messwert 100 alle aktuellen Messwerte innerhalb von 90 bis 110 zulässig sind. Sofern der aktuelle Messwert außerhalb des Toleranzbereichs liegt, wird eine verschlüsselte Alarmnachricht erstellt und an die Basisstation verschickt. Abbildung 2 verdeutlicht diesen Kernprozess innerhalb eines Sensormoduls.

### Sensormodul



Abb. 2) Schematische Darstellung des Kernprozesses im Sensormodul

liche Forderung nach einer hohen Mobilität bedingt weiterhin, dass die Sensormodule in Material und Form einerseits robust für den Einsatz in verschiedensten Umgebungen (Hand-

Neben der Alarmnachricht gibt es noch eine Ping-Nachricht, die in periodischen Abständen an die Basisstation verschickt wird und als Lebenszeichen des Sensormoduls dient. Dadurch kann in der Basisstation bspw. festgestellt werden, ob ein Sensormodul noch über genügend Batteriekapazität verfügt. Zusätzlich wird dadurch das Gesamtsystem mit einem Sabotageschutz versehen, da die Basisstation das dauerhafte Ausbleiben von Nachrichten einzelner oder aller Sensoren erkennen kann und die dadurch entstehende Absicherungslücke ermittelt.

Jede Nachricht des Sensormoduls wird mit einem individuellen Sensormodulpasswort, das nur das Sensormodul und die Basisstation kennen, symmetrisch verschlüsselt. Das Sensormodulpasswort wird während der Initialisierung/Konfiguration des Sensormoduls in einer kontrollierten Umgebung in diesem hinterlegt und kann nicht ausgelesen werden.

Der Empfang jeder Nachricht des Sensormoduls muss im Request-Response-Verfahren (siehe u.a. [1], Seite 184) durch die Basisstation unmittelbar bestätigt werden. Andernfalls wird die Nachricht durch das Sensormodul erneut versandt. Dadurch wird der Erfolg des Transports der Informationen vom Sender zum Empfänger sichergestellt, da sonst im Fall einer möglichen Nachrichtenkollision die kollidierten Nachrichten nicht weiterverarbeitet werden könnten und deren Informationen somit verloren gehen würden.

Die Sensoren wurden alle unter der Prämisse einer hohen Detektionsempfindlichkeit bei gleichzeitig sehr niedriger Falschalarmrate entwickelt. Der Aufbau der verschiedenen Sensormodule folgt dabei einem Basisaufbau mit allen Bestandteilen außerhalb des Sensors, welches dann um den jeweiligen Sensor ergänzt wird. Dies ermöglicht ein hohe Kosteneffektivität, eine kompakte Bauweise sowie eine klare Zuordnung einzelner Module für die verschiedenen Einsatzzwecke. Folgende Sensoren wurden entwickelt und hinsichtlich Robustheit und minimalem Energieverbrauch optimiert:

- lichtempfindlicher Sensor, z. B. zur Absicherung des Zugangs zu Gebäuden/Räumen
- Trittmatte, z.B. zur Absicherung des Zugangs zu Gebäuden/Räumen
- neigungsempfindlicher Sensor, z. B. zur Absicherung von Ausstellungsstücken
- intelligente Gemäldeaufhängung zur Absicherung wertvoller Kunstgegenstände

Abbildung 3 zeigt den Basisaufbau eines Sensors am Beispiel des neigungsempfindlichen Sensors.

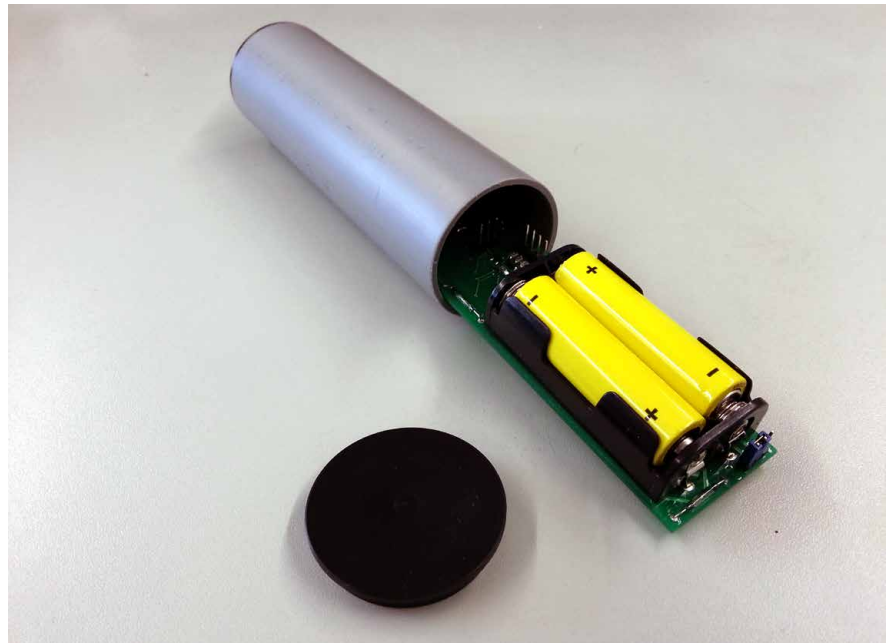


Abb. 3) Neigungsempfindlicher Sensor

Durch den modularen Charakter einer Sensoreinheit hinsichtlich Sensorgehäuse und Kommunikationsprotokoll ist es nicht schwierig, das System bei Bedarf um weitere Sensortypen zu erweitern.

Abbildung 4 zeigt die beispielhaft intelligente Gemäldeaufhängung. Das Stativ ist nicht Teil des Sensorsystems und dient lediglich der Demonstration. Dieser Sensor besitzt eine sehr niedrige Falschalarmrate, reagiert auf einen Gemäldediebstahl dennoch sehr empfindlich.



Abb. 4) Intelligente Gemäldeaufhängung

Die Gemäldeaufhängung kann vom Durchmesser und von der Länge her in bestimmten Grenzen an spezifische Szenarien angepasst werden. Je nach Gewicht des zu schützenden Gemäldes können unterschiedliche Materialien verwendet werden.

Nachfolgende Abbildungen 5 und 6 zeigen die Ergebnisse von Tests zur Messempfindlichkeit der Gemäldeaufhängung. Die Stange bestand aus ferritischem Chromstahl 1.4521 (Viega Sanpress), war 200 cm lang und hatte einen Durchmesser von 3,5 cm. Ein Messwert wurde als Mittelwert aus drei Einzelmessungen berechnet.



Die sich deutlich zeigende Linearität der Messwerte weist die Tauglichkeit dieses Verfahrens für die zuverlässige Erkennung von Änderungen der abzusichernden Objekte bzw. deren Masse und vor allem die Adaptierbarkeit auf unterschiedlichste Materialbeschaffenheiten der Schutzobjekte eindeutig nach.

#### IV. BASISSTATION

Die Basisstation (Leitstand) ist die zentrale Verwaltungs- und Überwachungseinheit des Systems. Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung des Kernprozesses in der Basisstation.

Nach dem Empfang einer verschlüsselten Sensornachricht wird diese zunächst entschlüsselt, validiert und in der Datenbank geloggt. Anschließend wird die Sensornachricht an die Mustererkennung weitergeleitet, in der sie mit bereits empfangenen Sensornachrichten gegen hinterlegte Bedrohungsmuster geprüft wird. Wurde ein Muster erkannt, so wird eine Alarmnachricht erstellt und an den Dispatcher weitergeleitet. Im Dispatcher wird anhand einer hinterlegten Eskalationsstrategie entschieden, an wen die Alarmnachricht verschickt werden soll. Abschließend werden alle ausgehenden Alarmnachrichten geloggt und an die mobilen Endgeräte versendet.

Eine eingehende Antwortnachricht von einem mobilen Endgerät wird zunächst geloggt und anschließend an den Dispatcher weitergeleitet. In Abhängigkeit der Antwortnachricht und hinterlegten Eskalationsstrategie wird entschieden, ob eine Alarmnachricht an ein anderes mobiles Endgerät verschickt werden soll.

Mesempfindlichkeit für verschiedene Aufhängepunkte

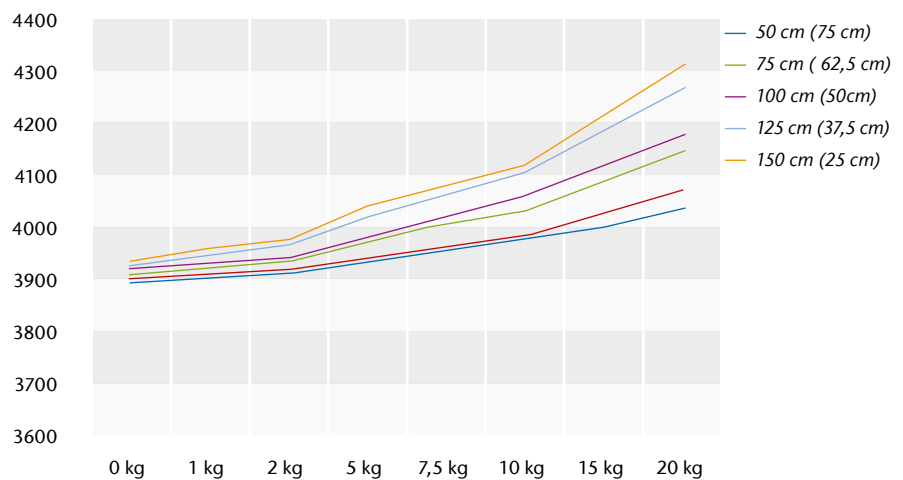


Abb. 5) Mesempfindlichkeit für verschiedene Aufhängepunkte.

Mesempfindlichkeit für verschiedene Objektmassen

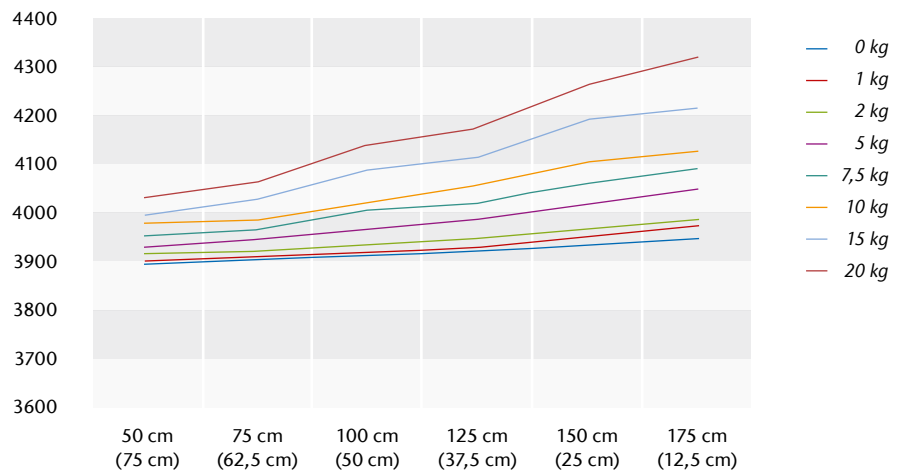


Abb. 6) Mesempfindlichkeit für verschiedene Objektmassen.

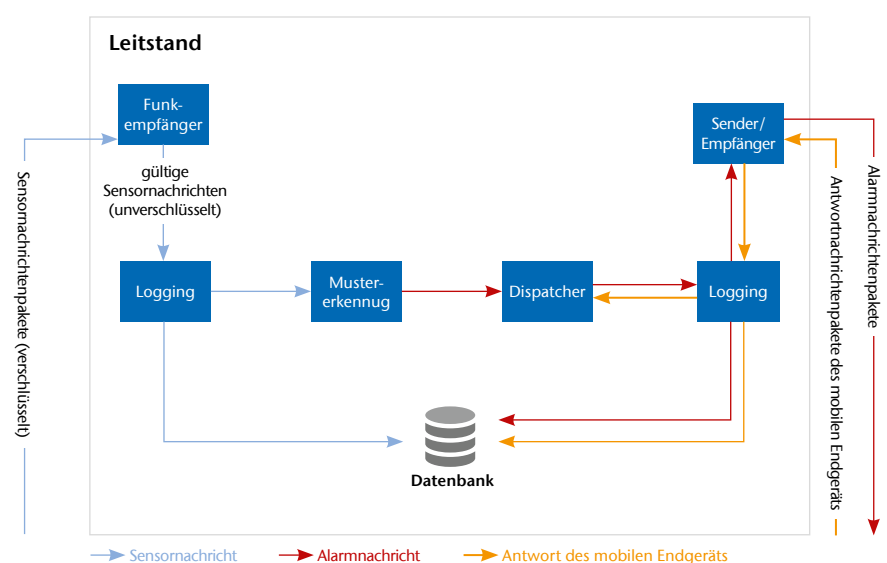


Abb. 7) Schematische Darstellung des Kernprozess in der Basisstation (Leitstand).



Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt der grafischen Nutzerschnittstelle des Systems.

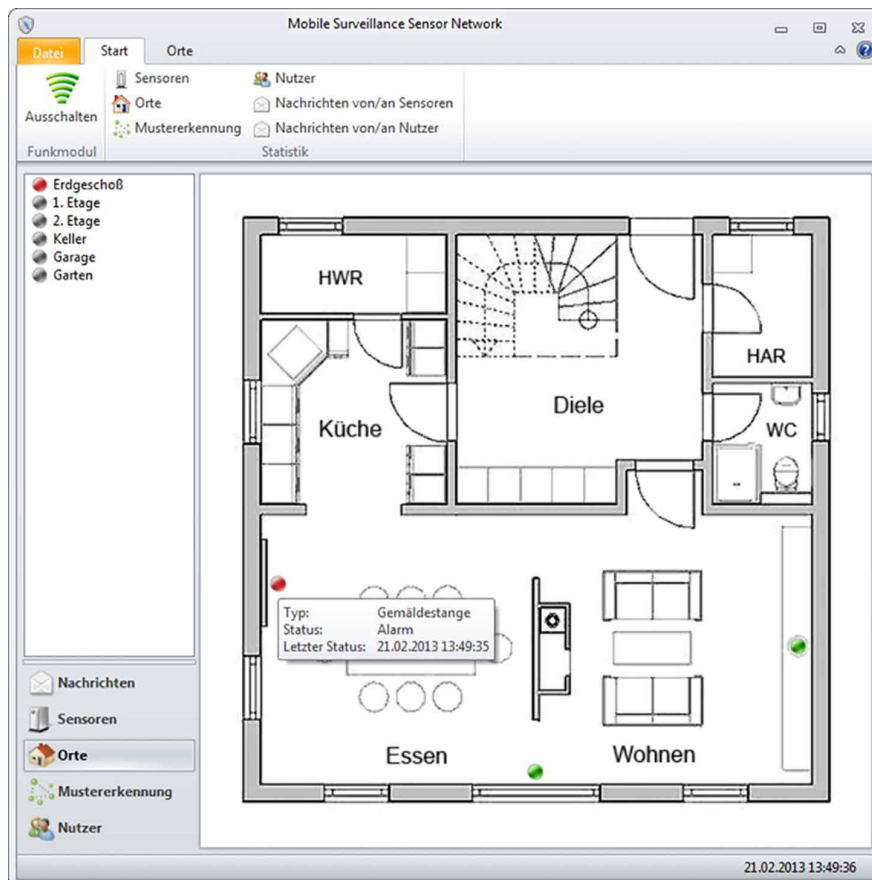


Abb. 8) Grafische Nutzerschnittstelle (Ausschnitt)

Ziel der Entwicklung der grafischen Benutzeroberfläche war es primär, einen Rahmen für die Einrichtung und den Betrieb des Prototyps inklusive der Anbindung von mobilen Endgeräten zu schaffen und damit die Leistungsfähigkeit der Entwicklungsergebnisse unter Bereitstellung einer hohen Benutzbarkeit zu demonstrieren

## V. FAZIT

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Kombination aus moderner, besonders stromsparender Informationsverarbeitungstechnik zur Bildung eines robusten Netzwerkes in Verbindung mit dem Konzept eines universellen, modularen Sensorträgers das Ziel erreicht, ein Verfahren zur Absicherung von Personen, Veranstaltungen, Einrichtungen und Einzelobjekten mit sehr guten Leistungsparametern zu schaffen. Dies bestätigte sich auch in Pilotversuchen in realen Anwendungsumgebungen und der Vorstellung der Entwicklung bei den technischen

Verantwortlichen aus dem angedachten Anwenderkreis. Insbesondere die Unabhängigkeit des Systems von der Umwelt und die lange Laufzeit ohne externen Wartungsbedarf sind die entscheidenden Faktoren zur Abgrenzung gegenüber bestehenden Angeboten. Zusätzlich dazu betont die innovative und ebenfalls minimal-invasive Absicherung von Gemälden die praktische Verwertbarkeit der im Rahmen dieses Forschungsprojektes erzielten Ergebnisse.

## DANKSAGUNG

Der Artikel ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten, die im Rahmen eines vom BMWI geförderten Projektes durchgeführt wurden.

## LITERATUR

- [1] G. Hohpe und B. Woolf, Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions, Boston: Addison-Wesley Professional, 2003.
- [2] B. S. Arge IABC, „Forschungsprojekt 26/12 Masterplan Zivile Sicherheitswirtschaft,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2013.
- [3] VSW Verband für Sicherheit in der Wirtschaft Niedersachsen e.V., „Marktpotential für Sicherheitstechnologien,“ 2009.
- [4] Gütegemeinschaft Metallzauntechnik, „Pressemitteilung: Markt für Perimeterschutz als Teil der „Global Security“ ist ein Wachstumssegment!,“ 2010.
- [5] „Sicherheit.info,“ [Online]. Available: <http://www.sicherheit.info>. [Zugriff am 2013 11 25].
- [6] Sicherheit durch Technik, „Markt für Wärmebildkameras entwickelt sich,“ [Online]. Available: <http://www.sicherheits-berater.de/schwerpunktheft/artikel-ohne-abo/perimeterschutz-ausgabe-12-2010/markt-fuer-waermebildkameras-entwickelt-sich.html>. [Zugriff am 1973 11 25].

## AUTOREN

### Peter Bernhardt, MSIE

Technologietransfer- und Weiterbildungszentrum an der Technischen Hochschule Wildau [FH] e.V.  
Bahnhofstraße, 15745 Wildau  
[peter.bernhardt@th-wildau.de](mailto:peter.bernhardt@th-wildau.de)

### Prof. Dr. Michael Hendrix

Technische Hochschule Wildau [FH]  
Wirtschaftsinformatik  
[michael.hendrix@th-wildau.de](mailto:michael.hendrix@th-wildau.de)



# E-LEARNING-BASED COMPETENCE DEVELOPMENT IN LOGISTICS

Gaby Neumann, Michael Müller, Rudi Köhler

## Abstract

The logistics field of knowledge and professional competence is highly multidisciplinary and complex but also continuously and very dynamically developing. This does not only require constant updating of educational programmes but also systematic training of logistics professionals in order to avoid or reduce professional competence gaps. Workplace learning amongst others in combination with e-learning methodology seems to be an appropriate way to support professional competence development in logistics, too. The paper presents some research aspects particularly related to logistics competence profiling and development and derives conclusions on nowadays competence requirements with logistics professionals. This forms the basis for introducing a framework to help in specifying a person's level of logistics competence, recommending suitable learning units and supporting individual competence development as it results from the EU-funded lot4eng.com project. E-learning design to populate the lot4eng.com portal is discussed before lessons learned and conclusions on further work are derived. With this the paper wants to contribute to ongoing research on how to foster lifelong learning.

## Zusammenfassung

Die Logistik ist ein hochgradig interdisziplinäres, komplexes Wissensgebiet und Kompetenzfeld, das sich kontinuierlich und sehr dynamisch weiterentwickelt. Dies erfordert nicht nur eine fortgesetzte Anpassung von Ausbildungsangeboten, sondern auch die systematische Weiterbildung von Logistikern, um Defizite in der beruflichen Handlungskompetenz zu vermeiden oder abzubauen. Lernen am Arbeitsplatz, eventuell in Verbindung mit E-Learning, erscheint als geeigneter Weg, die Entwicklung von beruflicher Handlungskompetenz auch in der Logistik zu unterstützen. Der Beitrag stellt verschiedene Ansätze für die Kompetenzermittlung und –entwicklung speziell in der Logistik dar und leitet Schlussfolgerungen zu den heutigen Kompetenzanforderungen bei Logistikpraktikern ab. Dies bildet die Basis für einen Handlungsrahmen, der im EU-geförderten Projekt lot4eng.com entstanden ist und hilft, das logistische Kompetenzniveau einer Person zu spezifizieren, geeignete Lerneinheiten zu seiner Steigerung vorzuschlagen und die individuelle Kompetenzentwicklung zu unterstützen. Im Weiteren wird die Gestaltung von E-Learning zum Füllen der lot4eng.com-Plattform diskutiert, bevor Erfahrungen aus der Projektarbeit und Schlussfolgerungen für die weitere Arbeit abgeleitet werden. Damit möchte der Beitrag die laufende Forschung dazu, wie lebenslanges Lernen unterstützt werden kann, anreichern.

## I. INTRODUCTION

The need for education and training in logistics is widely accepted with individuals, companies and the academic world. To be in line with the ongoing rapid development of the logistics field of knowledge and practical application, professional knowledge and skills need to be updated continuously by all those who

- work in the field of logistics, or
- work in other fields but need to take logistics aspects into consideration, or
- want to or need to understand the logistics context from the technological, economic, environmental, administrative or social point of view.

Even initial logistics education processes at vocational and higher education levels must be part of these dynamic changes to enable their graduates to meet employers' needs and perform well in a highly competitive and rapidly changing market.

New forms of logistics education and training processes and new scenarios they are settled in are required to let logistics learning be as flexible as needed with respect to:

- (i) learners (in the widest sense), particularly in respect of their individual targets, motivations to learn, specific requirements and constraints,
- (ii) varying learning needs resulting from the learner's targets, moti-

vations, requirements and constraints, e.g. scope and level of knowledge, particular skills, and

- (iii) appropriate learning resources developed and used in the form of units, modules and courses fulfilling learning needs and helping learners to reach their required, established goals.

Due to the complexity and multidisciplinary of the logistics field of knowledge and competence and because of the strong need for being capable of dealing with challenges deriving from changing situations which are always new or slightly different to prior experience at least, education and training in logistics must enable the learner

- to bridge the traditional gap between engineering and business administration aspects of logistics,
- to efficiently get self-familiar with permanently arising new topics,
- to professionally act in a wide variety of knowledge areas, and
- to discuss with or even mediate between experts from different knowledge domains.

In fact, technology cannot meet all of these challenges, but a proper design of the learning environment by combining up-to-date technology with modern pedagogy can provide distinctive support. Rapidly developing information and communication technology, for example, has provided an ever-increasing variety of those e-learning scenarios. However, to let those virtual learning environments really enable high-quality learning processes in logistics, too, a fundamental change of pedagogic paradigms and a wide-span cultural shift are required at all levels of education and training. With this it is necessary to understand (and accept) that out more is expected of (logistics) learners and teachers operating virtually than within a traditional (classroom or) distance regime and this does not always suit all participants (Ryan and Woodward 1998). So, it is extremely important to introduce learners (and teachers) to this new way (culture) of learning and teaching, including how to learn (and teach) within a virtual environment. For this, there is a general need to help learners understand their targets and constraints, to translate them into educational requirements and to configure personalized learning paths composed of available resources. This is the clue to achieve the required and intended improvement of knowledge, abilities and skills, to reach the individual targets of the learning process in shorter time and better quality – no matter if we talk about formal education scenarios (e.g. at universities) or informal learning and self-learning experiences (e.g. by professionals). The latter exactly represents the area of activity a European project supported by the European Commission's

Lifelong Learning Programme was settled down in.

The lot4eng.com (Logistics Open Training for Engineering Competence) project brought together partners from Poland, Italy and Germany who already collaborated in different previous projects which all aimed at supporting logistics professionals in improving their knowledge by use of multimedia and e-learning materials and web-based platforms. lot4eng.com has been inspired by the shortage of logistics engineers, which has already been and is yet to be faced by many countries across Europe. Therefore, the objective of the project is to enhance engineering and managerial skills of employees at risk of developing a competence gap in the field of logistics (i.e. employees of logistics, manufacturing or distribution enterprises, and coaches, trainers or vocational trainers in logistics). This is to be achieved by providing easy real-time access to high quality e-learning materials directly in the workplace (e.g. via an internet portal), almost immediate personalized support in real-life problem-solving (e.g. through a question-based access to specific multimedia instructions), and clear understanding of personal competence deficits and training needs (e.g. based upon individual competence gap analysis).

The paper presents some research background on professional competence development in logistics (Section 2), analyses empirically gathered competence requirements in logistics practice (Section 3), presents the lot4eng.com framework and platform for personalized logistics competence development (Section 4) and illustrates respective e-learning design (Section 5). Section 6 provides a summary and derives conclusions on lessons learned and future work.

## II. BACKGROUND AND RELATED WORKS

Competence as a term is being used in many different ways and contexts. The most important aspect here is the clear separation of what is understood by 'competence' from the other quite frequently used terms 'knowledge'

and 'qualification'. In the context of this paper 'competence' goes far beyond 'knowledge' and 'qualification'. According to the European Commission (2007) "competences are defined ... as a combination of knowledge, skills and attitudes appropriate to the context. Key competences are those which all individuals need for personal fulfilment and development, active citizenship, social inclusion and employment". From this it becomes clear that knowledge forms just a basis for competence, whereas qualification typically refers to the outcome of a particular formal training situation. This differentiation is particularly relevant when discussing about how to measure and assess an individual's competence. The assessment of knowledge or qualification is typically subject to formalized, standardized assessment scenarios and examination. In contrast to this (professional) competence becomes visible not until the ability to individually, creatively deal with more or less complex (daily or professional) situations was demonstrated and related problems were solved purposefully and successfully (Neumann et al. 2005).

In the end, individual logistics competence is based upon a person's knowledge, experience and ability to act in a self-organised and creative way. It is nothing to be achieved once and then remain forever, but it has to be subject to an ongoing individual development process in order to continuously improve knowledge, abilities and skills and raise the own level of competence.

A generic framework for systematic competence development in logistics was proposed by Neumann et al. (2005). This model consists of four core elements (see **Figure 1**):

- Situation analysis with respect to both the existing individual logistics competence and a target competence level fitting to the personal work and life environment, but also meeting competence requirements derived from company objectives.
- Needs analysis and specification in view of the necessary competence development in order to achieve personal targets and company objectives.

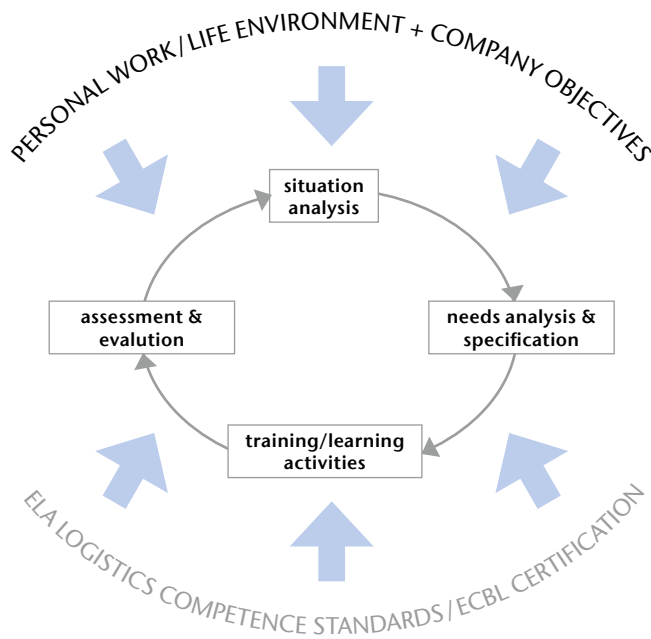


Fig. 1) Framework for systematic competence development in logistics (adapted from Neumann et al. 2005).

- Identification of training/learning activities enabling to reach those targets by purposeful and successful competence development.
- Assessment and evaluation of competence development activities in terms of both their success and their quality.

These core elements are to be understood as ongoing process which is cyclically repeated at increasing levels of competence. Starting point and target function of each new loop is formed by the respective work/life environment in which a person self-recognises particular fields of competence showing a gap between current and target levels.

Precondition for implementing the framework is a set of appropriate methods and tools for competence assessment. Here, commonly agreed professional standards like e.g. the Standards of Logistics Competence formulated by the European Logistics Association (ELA) provide an overall competence framework against which the European Certification Board for Logistics (ECBL), for example, examines and certifies logistics professionals at European level and beyond (ECBL 2004).

In addition to such kind of support for professional competence scanning and profiling another precondition for implementing the framework consists in the availability of appropriate training and learning activities to be offered to those who want to close a competence gap or simply want to be prepared for future. Training and learning might either belong to formal education and training programmes or be part of informal training and self-learning. Especially, the latter ways of learning and training outside a fixed, pre-defined and exactly scheduled framework are of growing importance since lifelong learning has become one of the key requirements in society and economy. Here, professionals and companies face particular challenges in both accepting the need for lifelong learning (or even better showing the wish for it) and providing or using opportunities for really “living” lifelong learning. The question is to what extent logistics professionals and companies already implemented this into their processes and activities.

Taking a closer look at activities related to any kind of training they often need to be considered quite time-consuming due to the large number and

volume of available training material (Blümel et al. 2004). In contrast to this, time resources for attending classroom training or using e-learning during or after working hours are often limited. In the end, many employees lack further training and therefore do not improve their abilities to perform well at the changing labour market. On the other hand, limited real-time access to necessary information resources in the work place does not only hinder learning and competence development with the employees, but also can disturb working processes if certain terminology is not clear or background information on a subject are missing.

Some insights into the way company managers see and value this topic can be derived from an empirical impact study on the use of knowledge management in logistics companies from Portugal, Germany, Poland, Latvia and the Ukraine (Tomé et al. 2007). Amongst others, the companies’ human resource managers were asked to qualitatively assess investments into different kinds of training (formal training, informal training, self-training) and to specify how important it is in their opinion to provide employees with access to those activities. One of the main findings was related to self-training (ST - see **Figure 2**):

- Self-training was the knowledge management activity with the highest average investment per company. This is interesting as looking into today’s companies you typically find a large variety of formal training offers, but just very few self-training opportunities. Probably, this result therefore is an expression of current initiatives by company management for widening the scene into this direction.
- Self-training belonged to those knowledge management activities showing the highest average level of priority with the companies. The fact that HR managers give this high priority to accessing self-training illustrates that companies expect their employees to take responsibility for their own further development

- Self-training was found in the middle of the field when it comes to potential needs for changes in the level of investment. The overall low value shows that company policy regarding investments into self-training quite well reflects the priority for accessing self-training. As a result almost no changes or just a little more investment is needed.

Seeing all knowledge management activities that were subject to investigation it seems that companies require and favour their employees' own initiatives for gaining, deepening, updating knowledge (which eventually would cost the company the least). But at the same time companies need to be aware of their responsibility to provide their human resources with some freedom and time for those activities. To achieve this, new technological, methodological and organizational solutions are needed, which seamlessly need to be integrated into company-settings and professional life, i.e. approaches like workplace learning and training-on-the-job have to be implemented.

Following findings from the study discussed above, workplace learning should to be designed in a kind of self-training approach, that (i) meets specific challenges, requirements, and preferences of the employee and (ii) is easily accessible and seamlessly embedded into the working environment. E-learning might work well here if being designed in small portions which do not require a significant time – 'stolen' from the working time – to gain additional knowledge or improve specific competences. According to Jonassen (2001) those e-learning activities should be used for creating learning-by-doing and perceptual environments for problem-based learning, where you are immersed in making rapid-fire decisions, rushing to gain new information, utilizing the expertise of colleagues, and relying on your ability to create and store useful knowledge that will allow you to innovate and get your products to market way before your competitor.

### III. COMPETENCE REQUIREMENTS IN LOGISTICS PRACTICE

Discussions in the previous section resulted in two major findings. First of

all, training should as much as possible be integrated in working processes, i.e. any training offer must be available wherever and whenever a logistics professional feels the need for and faces an opportunity to deal with it. This is to be achieved by using e-learning as delivery method. As second finding it became clear that those training offers can only be successful when matching with training needs. Training needs reflect a gap between current and required or intended professional competencies. This can only be ensured by knowing about competence requirements in logistics practice and understanding a person's individual level of professional competence achieved so far.

Exactly these needs were the reasons for running a questionnaire-based survey with logistics managers at different management levels and from different types of (logistics) companies within the lot4eng.com project. The survey aimed at ensuring that e-learning materials to be developed within the project match current requirements at the logistics labour market. Its outcomes formed the basis for developing web-based, interactive

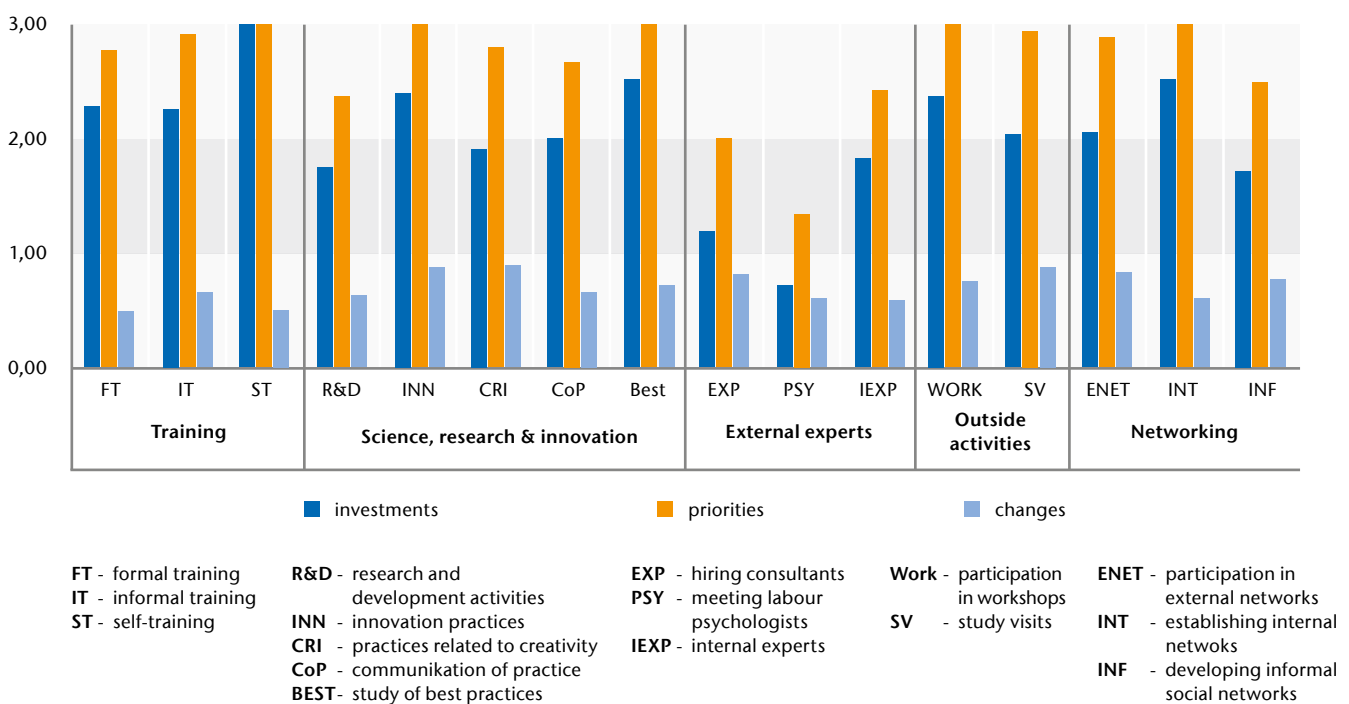


Fig. 2) Results from an empirical impact study: investments, priorities, needs for change (adapted from Tomé et al. 2007).



training materials addressing those needs and enabling logistics practitioners (but also newcomers to the field) to develop and improve professional competencies according to their individual requirements.

In the survey participants were asked to indicate the level of thinking (according to Bloom's Taxonomy of educational objectives (Bloom 1956, see **Table 1**) they would expect to find with a logistician at a certain management level (i.e. strategic, tactical or operational) for 20 managerial and 20 engineering competence areas. Here, each level always includes competence requirements of all lower levels up to the target one. By combining each competence area with the Bloom level that seems to represent best what a practitioner might be expected to be able to do in this field a specific competence requirement was created.

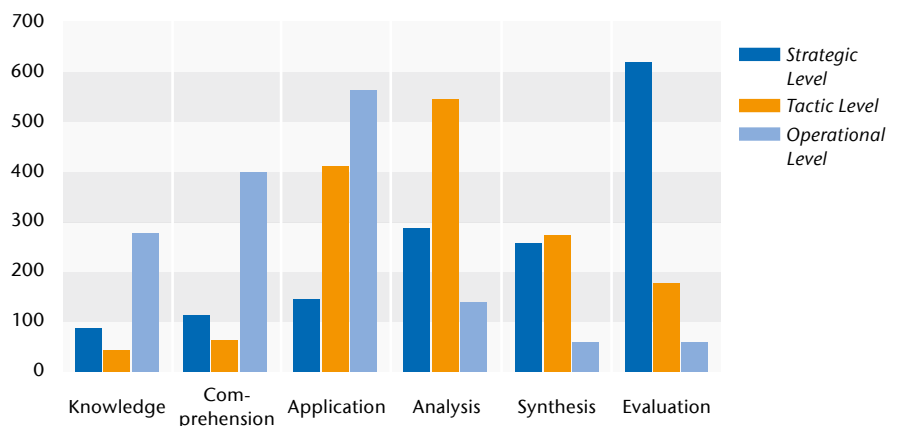
Comparing the frequency distribution of all responses to all questions related to managerial competences (see **Figure 3a**) and engineering competences (see **Figure 3b**) it became visible that the required level competence varies between management levels (see **Table 2**).

From this it can be concluded that e-learning materials aiming to develop, to improve or "just" to maintain specific or generic management or engineering competences with a logistician need to be designed in a way helping to accomplish different competence levels as specified above. For this a series of modules is required which should be sub-structured into units each of them addressing a well specified competence aspect at a level contributing to the overall competence development as intended. There is no need for all modules or units to always address the target competence levels, but in total a combination of units (or even modules) has to enable the logistician to reach the goal. This can only be achieved by providing competence-based and learning-goal oriented access to different parts of the material, and enabling interactive knowledge application through quizzes at different levels of difficulty and analyzing or running case studies at different levels of complexity.

Level	Competences
Evaluation (EV)	You can pass judgment on something. (e.g. assess, conclude, decide, verify)
Synthesis (SY)	You can create something new as a result of analysis. (e.g. compose, create, design, generate, plan)
Analysis (AN)	You can break something down. (e.g. compare, detect, order, simplify)
Application (AP)	You can take something from one context and use it in another. (e.g. choose, collect, complete, develop, use)
Comprehension (CO)	You understand what you know. (e.g. associate, classify, differentiate, explain, identify, summarize)
Knowledge (KN)	You know something. (e.g. define, describe, list, match, name, relate)

Tab. 1) Bloom's Taxonomy (adapted from University of Limerick, 2007).

a) Overall number of responses per competence level (managerial competences)



b) Overall number of responses per competence level (engineering competences)

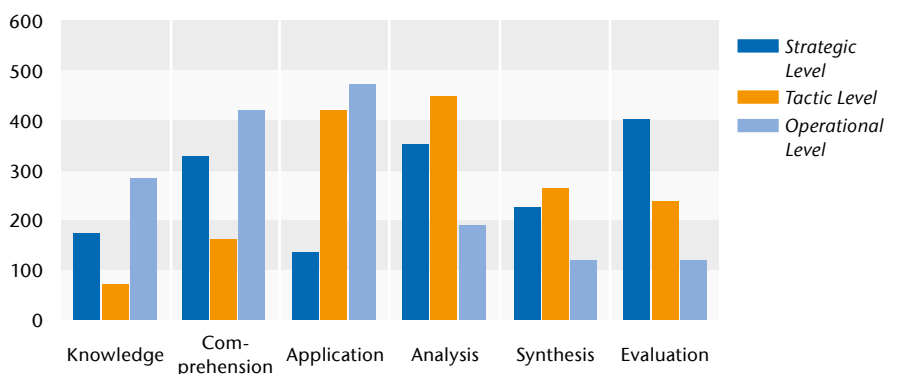


Fig. 3) Competence requirements in logistics practice.

	Managerial competences	Engineering competences
Operational management level	<b>Comprehension / application:</b> Operational logistics managers are expected to discuss and interpret logistics basic concepts, strategies, performance indicators etc. in order to apply this knowledge for effectively and efficiently operating in logistics.	<b>Application:</b> Operational logistics managers are expected to apply understanding on the technological background of logistics operation for effectively and efficiently running logistics.
Tactical management level	<b>Analysis:</b> Tactical logistics managers are expected to look for patterns, trends and ideas in logistics and apply them to manage, control, and improve logistics processes and systems.	<b>Analysis:</b> Tactical or strategic logistics managers are expected to go into detail with technological requirements and solutions in logistics, be able to select proper technology for existing systems and new system's design, and apply suitable methodology like calculation, model building or simulation.
Strategic management level	<b>Analysis / synthesis:</b> Strategic managers are additionally expected to also propose alternative logistics solutions.	<b>Analysis:</b> Tactical or strategic logistics managers are expected to go into detail with technological requirements and solutions in logistics, be able to select proper technology for existing systems and new system's design, and apply suitable methodology like calculation, model building or simulation.

Tab. 2) Conclusions on practical competence requirements with logisticians.

#### IV. LOT4ENG.COM – LOGISTICS OPEN TRAINING FOR ENGINEERING COMPETENCE

The lot4eng.com platform was designed exactly to provide this kind of support. It addresses three target groups: logistics managers, logistics engineers and logistics teachers. Whereas the first two groups of users aim to improve their logistics competences according to requirements as elaborated in Section 3, logistics teachers are particularly supported in developing (further) their knowledge, skills and abilities in applying information and communication technologies, web 2.0 and modern pedagogy to logistics education and training. For this, the platform currently provides 15 e-learning modules (see **Table 3**) comprised of about 125 learning units. All e-learning material is freely accessible (after registration to the platform), contains multimedia elements, is interaction-based, encourages knowledge application and is available in English as well as in the local languages of those countries that were addressed by the lot4eng.com project (Poland, Italy and Germany).

In order to help the user in selecting those e-learning materials that are most appropriate for his/her individual competence development, the platform needs a kind of continuously updated, personalized user profile.

This results from information provided by the user when

- registering to the platform,
- selecting his/her overall competence area of interest, i.e. managerial competences (managers), engineering competences (logistician) or training competences (teachers),
- going through an area-specific competence test, and
- working with e-learning material that was either self-selected or previously recommended by the platform.

User information are analysed by a diagnosis tool to identify competence gaps. Here, user's competences as demonstrated in the test are matched against the target competence level as required from the competence survey. The test is composed by randomly chosen questions from a pool which are all related to a particular area and level of competence and linked to one or more learning units helping in achieving or improving the respective competences. Depending on the outcomes of this competence diagnosis the user receives feedback on the current competence level and to what extent it meets professional requirements. If a particular gap has been identified, a list of e-learning units is proposed with the help of which

missing competences might be developed. In case of a more complex development process needed learning units are additionally linked into a personalized learning path, helping the user in extending and improving competences in a systematic way.

#### V. E-LEARNING DESIGN TO SUPPORT INDIVIDUAL COMPETENCE DEVELOPMENT IN LOGISTICS

Precondition for e-learning material and learning units being suitable to enable and support individual competence development in a systematic way is their proper design. First of all, e-learning material needs to be up-to-date in terms of contents, attractive in terms of its presentation, interactive in terms of involvement of the user. In addition to those characteristics, implementation of alternative pedagogical strategies is helpful in order to allow learning processes that match with personal preferences. Concerning the latter Atolagbe, Hlupic and Taylor (2001), for example, identified the following concepts as particularly suitable ones for competence development:

- Learning with scenarios (i.e. using a real-world scenario as the vehicle for instruction);
- Learning by doing (i.e. coaching in step-by-step operations required to perform a particular task);

Module	Target group	Developed by
Human Resource Management	Managers	THW
Analysis and re-engineering of information processes	Managers	WSL
Informative systems of commercial and distribution companies	Managers	WSL
Project management	Managers	THW
Introduction to international business	Managers	WSL
Information technology	Managers	THW
Application of logistics software	Managers	THW
Informative systems of production companies	Managers	WSL
Negotiation and cross-cultural communication	Managers	WSL
Technological foundations of logistics and SCM	Logisticians	WSL
Introduction to materials handling technology	Logisticians	THW
Analysis and design of logistics systems	Logisticians	THW
Specification of requirements, tendering and bidding for logistics systems	Logisticians	WSL
Logistics Information Systems	Logisticians	THW + WSL
E-learning in Web 2.0	Teachers	CSPMI

Tab. 3) E-Learning modules within the lot4eng.com platform.

- Practicing with contents feedback (i.e. providing remediation of a problem whenever an error or misconception has been detected); and
- Free exploration (i.e. enabling navigation around a case scenario without intervention by the learning environment).

This way informal self-learning is supported rather than formalized educational processes. For the purpose of the lot4eng.com project this exactly met intention: support workplace learning with logistics practitioners who want to or need to apply knowledge and methods for logistics problem solving in their daily work. This is achieved best by offering instruction-like and problem-based modules (Neumann 2008) strengthening practical knowledge transfer, whereas description-oriented modules focusing on transferring theoretical knowledge are less suitable here.

Consequently, e-learning modules contributed by THWildau (see **Tables 4 and 5**) combine presentation of knowledge and facts to grasp concepts with quiz-

zes and tasks for testing and deepening their understanding; problem-based scenarios and practical questions demand for critical thinking and applying concepts.

In order to help the user in orientating him/herself all modules are designed along the same lines:

- Each module is structured into a different number of units each of them focusing on specific aspects and competences within the area of the module. This means each unit can be used separately and independently of other units of the same module. On the other hand units from different modules can be combined into personal learning paths matching individual needs for competence development.
- Each unit starts with an overview (see **Figure 4**) providing information on a unit's learning objectives and eventually relevant preconditions for successfully working with it. Furthermore, main topics covered by the unit are presented in a mind map; quite often

this is being done in the form of question to which the answers the user might find in the unit.

- Each unit ends with a summary of relevant terms to remember and a quiz for self-testing the knowledge and understanding acquired. The quiz is not the same as the platform's competence check, but aims to help the user in getting a picture on whether or not his/her learning was successful or what he/she eventually should repeat, as significant terms or concepts could not be reproduced.
- In each unit the content is organized in a straight line following a simple learning path. Nevertheless, there are some places where additional information was felt to be useful in order to provide some background knowledge or remind of fundamentals for the main topic. Further information are either embedded in a pop-up window that easily can be closed again without leaving the unit's main track or they are presented on separate pages from which the user can go back to where he/she came from.

Module	Description	Units	Bloom level
Information Technology	This module helps in achieving a basic understanding on information technology and its role in logistics.	Coding Databases Informatics Basics Information Networks Logistics Informatics Information Security Pseudocodes Telecommunication Sort Algorithms	CO KN KN CO SY KN AP KN AN
Project Management (PM)	This module helps in achieving project management competence by introducing basic terminology and fundamental methodology of planning and running projects.	Introduction to PM Classification of Projects Project Organization Project Planning Project Teams Project Boards Project Communication Communication in Teams Project Completion	CO CO AN AP CO AP AN AP AP
Human Resource Management (HRM)	This module helps in achieving a basic understanding on Human Resource Management and its application in the logistics sector.	Introduction to HRM Staff Management Staff Planning Staff Recruitment/Selection Staff Deployment Staff Development Laying-off Staff Members Modern Methods in HRM	CO CO AP CO AP AN AP AP
Application of Logistics Software	This module helps in achieving a basic understanding on the role and kind of software used in logistics. Furthermore, simulation and visualization are presented as specific areas of software application.	Software in Logistics Introduction to Simulation How to Run a Simulation Project Simulation Using DOSIMIS-3 Visualization Using taraVRbuilder	EV CO AP EV EV

Table 4) Description of managerial e-learning modules contributed by TH Wildau.

Module	Description	Units	Bloom level
Introduction to Materials Handling Technology (MHT)	This module helps in achieving a basic understanding on materials handling technology and its role in logistics. The main focus is put on introducing the wide variety of technology used to enable material flows in order to allow their purposeful selection and implementation.	Materials Handling Packaging and Unit Loads Materials Handling Equipment Storage Systems Storage/Retrieval Equipment Automatic Identification	AP AN AP AP AP AP
Analysis and Design of Logistics Systems	This module helps in achieving a basic understanding on how to analyse and design logistics systems (and processes). Particular focus is put on both general procedure and particular methods suitable for intralogistics and/or network analysis and design.	Material Flow Analysis Procedure in Material Flow Planning Planning of Warehouses Reliability for Intralogistics Ergonomics and Workplace Design	AN AP AP AN AN
Logistics Information Systems (LIS)	This module helps in achieving a basic understanding on the role of information in logistics management. For this key application areas are presented and relevant systems are introduced.	Introduction to LIS Tracking and Tracing Standards in Information Flows Identification Methods and Technologies Logistics Management Systems	CO AN AP AP SY

Tab. 5) Description of engineering e-learning modules contributed by TH Wildau.

In order to allow streamlined implementation on one hand and ensure easy re-usability of material on the other, e-learning units were built as a sequence of HTML pages rather than a monolithic package (in the form of Flash films) resulting from modern e-learning authoring tools. HTML pages are interlinked, but apart from this

Whether or not this concept and related implementation ideas work is to be shown by testing and evaluating the learning material. Although e-learning material is not meant to be used in university classes, first use cases were related to regular courses. One of those test beds was formed by the introductory course in informatics that is run

achieved. Here, almost 50% of all students from group 2 reached good or very good results, whereas in group 1 this was the case for a little more than 30% of the students only. Although this evaluation was more observation-based than scientifically grounded, it at least allows drawing some general conclusions. Students were curious and

The screenshot shows an e-learning unit interface for 'Software in logistics'. On the left is a navigation menu with options like 'Overview', 'Introduction', 'Logistics Planning Software', 'Logistics Management Software', 'ERP', 'WMS', 'TMS', 'SCM', 'Quiz', 'Terms to remember', and 'End of unit'. The main content area is titled 'Overview' and includes 'Learning Objectives', 'Precondition', and a central diagram. The diagram is a tree structure starting from 'Software in logistics' and branching into three main questions: 'What kind of software is used to support logistics planning?', 'Which technical equipment is used to support packaging and unit load formation?', and 'What are logistics management systems used for?'. Each question has associated sub-questions or examples listed to its right.

Fig. 4) E-learning unit design.

they work fully independent of each other. Therefore, any pages fitting into another unit as well can simply be embedded in its structure without reimplementing. For the purpose of increasing user engagement and raising attractiveness multimedia material, like e.g. films or animations, was used, but also interactive graphics or little quizzes (usually in the form of Flash films) have been integrated when they appeared useful. Although Flash films seemed to be a good solution, they nevertheless increase loading time of a unit or page. Because of this, sequences were tried to be kept short.

with different student groups but by the same teacher. Both student groups were taught in the same way and had access to the same kind of material. In addition to this “standard” package, students from group 2 also had the chance for accessing extra material on a voluntary basis, i.e. relevant e-learning units including exercises. As results show (see Figure 5) those extras were quite frequently used – typically as add-ons to other (more traditional) sources. Comparing examination results for those groups there is a slightly better average with group 2 instead of group 1. This difference becomes more visible when having a closer look at the frequency distribution of marks

interested in using e-learning materials in addition to their standard course materials and examination results eventually improve due to working through additional exercises. Obviously, e-learning material offered on a voluntary basis was attractive enough to keep students motivated in using it and rich in content enough to increase some competences related to the basic concepts of informatics.

Of course, this first trial could only be the starting point for more systematic testing and evaluation by the “real” beneficiaries of the lot4eng.com project. Evaluation of e-learning materials was part of a dedicated testing phase



of the entire lot4eng.com platform including competence gap analysis and learning path recommendation. Learning success was tested by a post-learning competence check and user feedback on the quality and design of e-learning material was collected by use of respective questionnaires. Results were analysed and partially led to revision and further improvement of the material.

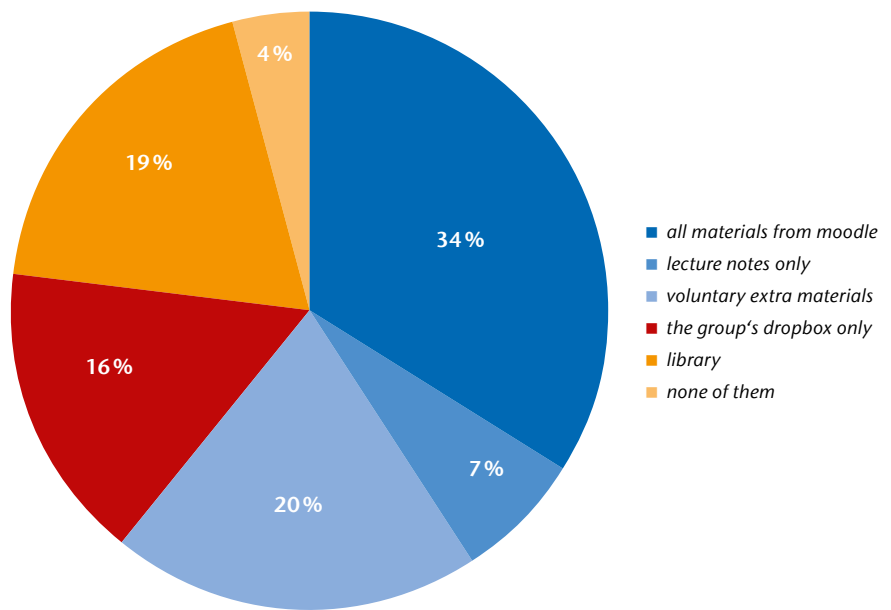
## VI. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The need for education and training in logistics is widely accepted by individuals, companies and the academic world. Special challenges for training-on-the-job consist in the needs (i) to meet specific challenges, requirements, and preferences of the employee and (ii) to be easily accessible and seamlessly embedded into the working environment. The lot4eng.com project as presented in this paper provides an e-learning-based approach that aims to support logistics managers and engineers in updating and extending their professional competence. Due to their daily workload time resources for attending classroom training are often limited; therefore learning while working, i.e. workplace learning, is a more promising approach. Adequately designed e-learning materials and a portal environment that allows to individually check professional competence gaps and to recommend a learning path suitable to close those gaps form a promising basis for personalized lifelong learning.

Although testing and evaluation of both portal functionality and e-learning materials is still in progress it must be clear that the portal will only be a successful tool if continuously being improved and updated. A critical amount of learning material has already been implemented, but topics covered so far are far away from representing all aspects and competence areas. Therefore, post-project revision processes need to be set up.

Furthermore, the project was facing some drawbacks concerning the distributed authoring process. Instead of developing, implementing and translating a particular e-learning material by each partner individually without

a) Which material or which source did you use?



b) Examination results

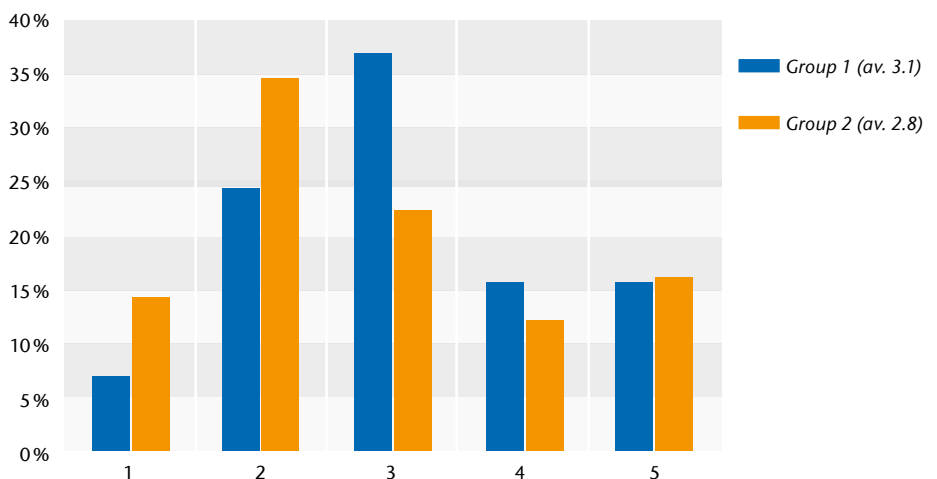


Fig. 5) Results from first evaluation of the e-learning material.

cross-checking which content areas are covered by other partners, the better and generally more efficient approach would have been to internally exchange developed materials in the English language, gain feedback by partners and link it into the overall content network of the portal prior to spending translation and final implementation efforts.

## ACKNOWLEDGMENTS

This paper is based upon the outcome of the lot4eng.com project "Logistics Open Training for Engineering Com-

petence". This project was funded with support from the European Commission under the Lifelong Learning Programme. This communication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

## LITERATURE

Atlagbe, T.; Hlupic, V.; Taylor, S.J.E. 2001: Genisa: A Web-Based Interactive Learning Environment for Teaching Simulation Modelling. In: Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. eds. B.A. Peters; J.S. Smith; D.J. Medeiros; and M.W. Rohrer. pp. 1605-1612.

Bluemel, E.; Ginters, E.; Guasch, A.; Neumann, G.; Novitski, L.; Paulauskas, V. 2004: Competence Framework for Mobile On-Site Accelerated Training in Logistics Information Systems – LOGIS MOBILE. In: Proceedings of HMS 2004 – International Workshop on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation, pp. 169-172.

Bloom, B. S. 1956: Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals: handbook I, cognitive domain, David McKay Co Inc. New York.

European Commission 2007: KEY COMPETENCES FOR LIFELONG LEARNING. European Reference Framework. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Certification Board for Logistics (ECBL) 2004: ELA Standards of Logistics Competence; European Logistics Association (ELA): Brussels.

Jonassen, D. H. 1991: Evaluating Constructivistic Learning. *Educational Technology*, 31(9), pp. 28-33.

Jonassen, D. H. 2001: E-Learning to Solve Problems. Keynote of ED-MEDIA World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia 2001 (Tampere, Finland, June 25-30, 2001)

Neumann, G. 2008: Simulation Education in Logistics: Case Studies in a Virtual Learning Environment. In: Proceedings of the 22nd European Conference on Modeling and Simulation. eds. L.S. Louca; Y. Crystanthou; Z. Oplatková; and K. Al-Begain. pp. 441-446.

Neumann, G.; Decker, J. (2005): Kompetenz in der Logistik. In: Wolf-Kluthausen, H. (ed.): *Jahrbuch Logistik 2005*. Korschbroich: free beratung GmbH, pp. 286-290. (Competence in logistics; in German).

Ryan, M.; Woodward, L. 1998: Impact of Computer Mediated Communication (CMC) on Distance Tutoring. In: Proc. ED-MEDIA 1998, AACE Publishing: Freiburg (Germany) (1998), pp. 1203-1207.

Tomé, E., Neumann, G. 2007: Knowledge Management and Logistics: A European Perspective, Martin, B. and Remenyi, D. (eds.), *The 8th European Conference on Knowledge Management*, vol. 2, pp. 1009-1016.

University of Limerick 2007: *Writing Learning Outcomes – A Guide for Academics*. University of Limerick.

## AUTHORS

**Prof. Dr.-Ing. Gaby Neumann**  
Technische Hochschule Wildau,  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Hochschulring 1, 15745 Wildau  
Tel.: +49-3375/508-147  
E-Mail: gaby.neumann@th-wildau.de

**Dipl.-Kaufmann Michael Müller**  
Technische Hochschule Wildau,  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Hochschulring 1, 15745 Wildau  
Tel.: +49-3375/508-925  
E-Mail: michael.mueller@th-wildau.de

**Rudi Köhler B.Eng.**  
Technische Hochschule Wildau,  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Hochschulring 1, 15745 Wildau  
Tel.: +49-3375/508-658



# NEW AROMATIC POLYESTERPOLYOLS DERIVED FROM PET INDUSTRIAL WASTES

Eckhart Kornejew, Kiril Dimitrov, Michael Herzog

## Abstract

China sent shock waves through the global recycling market last year when it announced it would no longer be accepting poor qualities of recyclable waste from foreign exporters – the so-called green fence action started in the beginning of year 2013. The answer should be a wave of innovation and investment in recycling technology to catalyze successful recycling markets in the west. This could include more sophisticated handling and treatment techniques and more high-technology processing plants. In the case of PET from returnable bottles we developed a process of chemical recycling to produce feedstocks for several technical applications. Aromatic polyester polyols (APP) are a major class of raw materials to produce polyurethanes.

## Zusammenfassung

China hat den globalen Recycling-Markt letztes Jahr mit der Ankündigung geschockt, nicht länger niederwertige Qualitäten von rezyklierbaren Abfällen von ausländischen Exporteuren zu akzeptieren – die so genannte „Aktion Grüner Zaun“ startete zu Beginn des Jahres 2013. Die Antwort im Westen sollte ein Innovations- und Investitionsschub in Recycling-Technologie zur Entwicklung eines erfolgreichen Recycling-Marktes sein. Dies sollte hochentwickelte Behandlungstechnologien und installierte Anlagentechnik umfassen. Für PET-Getränkeflaschen aus den Pfandsystemen haben wir einen Prozess des rohstofflichen Recyclings entwickelt, mit dem Ausgangsstoffe für verschiedene technische Anwendungen gewonnen werden können. Die gewonnenen Aromatischen Polyesterpolyole (APP) dienen hierbei als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Polyurethanen.

## I. INTRODUCTION

There are four main classes of such polyester polyols (Randall, 2002): linear or lightly branched aliphatic polyester polyols with terminal hydroxyl groups, low molecular weight aromatic polyester polyols for rigid foam applications, polycaprolactones and polycarbonate polyols. The linear or lightly branched polyester polyols may be aliphatic or aromatic. Aromatic polyester polyols are produced from phthalic acid, isophthalic acid, or terephthalic acid. While the manufacture from phthalic or isophthalic acids is generally based on the monomers terephthalic acid oligomers may as well be produced from monomeric esters such as the dimethyl ester of terephthalic acid (DMT) or polyesters such as polyethylene terephthalate (PET), polybutylene terephthalate (PBT) or polypropylene terephthalate (PPT).

APP based on terephthalic acid are presently produced by two different ways: the transesterification of terephthalic acid dimethyl ester (DMT) or

by the re-esterification of poly (ethylene terephthalate) (PET) with glycols of different origin (Vaidya 1991, Baglia 1989, Inada 1999). Due to the different raw materials APP of different quality will be obtained.

In this paper we report our experience with various types of post-consumer and industrial wastes of PET to produce APP, describe the quality obtained, and throw some light on the application of the materials obtained and their economic value.

## II. GENERAL PROCESS

The reactor used is a stainless steel jacketed reactor with a volume of 0.1 to 10 m<sup>3</sup> depending on the desired amount of APP to be produced. The reactor is equipped with a specially designed combination of demister, distillation column(s), and heat exchanger on top. The contents of the reactor are agitated by a stirrer at rather high speed. Further installations include a nitrogen inlet, a feed elevator, and a bottom valve with a filtering unit. The temperature is controlled via an oil heater with control unit.

The process is started with feeding the reactor with the necessary amount of diethylene glycol, catalyst and, if so necessary, with any additive used during the reaction. With stirring, the mixture is heated to about 180°C and any volatiles (mainly residual water) removed via the column condenser combination. When the volatile distillation ceases and the temperature is reached the PET is added via the elevating system. The PET is dissolved while rising the temperature to 250°C. During the whole process the reactor is purged with nitrogen so that a constant stream of nitrogen is ensured. Any further volatiles are removed by the column condenser combination and collected on a balance. The transesterification reaction is performed at 250°C over a period of 3.5 to 6 hours depending on the type of material used. During the reaction time any volatiles are removed by the condenser and outlet and collected. After completion of the reaction the temperature is gradually lowered down to 180°C and the reaction product removed by the bottom valve via a filter unit into the storage containers.

Some peculiarities of this process have to be considered. This is firstly to establish a functionality of the APP produced somewhat exceeding two by incorporating a calculated amount of a triol, in general glycerol, into the reaction mixture (Stoychev, 2006). By using only minor amounts of such a triol the viscosity of the final APP is not affected but the stability of the polyol is increased. Another feature of this process is to use only minor amounts of organo-metallic compounds as catalyst. In general, a mixture of tin and titanium compounds in the range of 15 to 30 ppm is used but in special cases rare earth compounds may be added to accelerate the first stage of the reaction. For adjustment of the viscosity the mixture is balanced by the addition of some percent of aliphatic dicarboxylic acids such as adipic acid or sebacic acid (Behrendt, 1999). If these additives are used, there will be a short esterification step in the gap between the heating-up process and the addition of PET which usually lasts 30 to 60 minutes depending on the amount used. Furthermore, some renewable resources such as oils or modified oils maybe introduced into the process before PET is added to adjust properties of the APP, e. g. to improve the solubility of pentane or chlorinated hydrocarbons.

After receiving the calculated amount of distillates, mainly monoethylene glycol and some water, the cooling module of the reactor is started to cool the contents to about 200 to 180°C and filter them via a specially designed filter unit of two or three different filter modules. The number and type of filter modules depend on the PET material used.

### III. PET MATERIALS TO BE USED

PET residues occur in several types and have to be analyzed according to the possible consequences for the overall reaction. At present, PET is mainly used to produce bottles or fibres with little amounts in engineering thermoplastics and bulk containers. We are here concentrating on the two main production variants.

PET for bottles is generally a high mo-

lecular weight product with very little contamination meeting food regulations (e. g. acetaldehyde). Other products are not contained, the ethylene glycol used sometimes is combined with other diols. PET from such production is obtained in the form of blocks, fibres, dust, granules.

PET for fibres in general is doted with small amounts of silica and/or titanium dioxide both in micronized form. This leads to particles of less than 10 µm which are difficult to filter off, either due to higher investment costs for the filter modules or by extended recovery time. The result of employing this material is usually a dispersion polyol containing the micronized solids.

PET from bottles, i. e. flakes from one-way or multi-way bottle recycling, occur in several colours and usually have some additives. These additives are not only dyestuffs or pigments to give blue, brown, green or yellow colours but more linings of the bottles with silanes (such as hexamethylene disiloxane), with intermediate layers from polyamides, or with outer layers of polyacetylenes. Since the silanes are forming a layer of few nm of silicates this is an inorganic substance which is as hardly to filter off as the additives for fibres. Any organic additive or layer will affect the reaction and the resultant APP. Main appearances for these are turbid or deeply coloured APP.

When using bottle grade PET from the production process of PET one has to make sure that the process is running the easiest way. To this end, blocks are milled to particles of 2 to 8 mm size by a mill delivered with the plant in case of using such material. In this case, the milled product is directly transferred to the silo and from there via the conveyer into the reactor. If granules are the basic material care has to be taken because of some percentages of dust in it. Thus the material has to be flushed with nitrogen to avoid dust explosions or electrostatic effects which are known to occur with polymeric dusts. After reacting the material according to the process described above there is need of only one filter module to get rid of some coarse impurities.

The bottle PET is delivered usually as preforms. Preforms usually do not contain any contamination and maybe used as such in the transesterification process. It has to be considered that the rather large pieces need a prolonged time in the dissolution stage so that a milling stage before the introduction into the reactor is recommended.

When using fibre PET from production lines as blocks or coils the inorganic solids have to be agglomerated during the process to be transformed into a filterable mode. To this end, certain filter aids are added in the end phase of the process at 250°C to absorb the micronized particles on their surface to give particle sizes between 200 and 800 µm which are removed in a two module filter unit.

When using PET flakes from bottle recycling one has to take into consideration the various ways of bottle production for various liquids. As mentioned above, the layers lead to some problems when producing APP. If polyamides are used as an intermediate layer to decrease gas diffusion the APP may turn brown or dark due to reaction products of the polyamide. The polyamide is transesterified in a similar way as is PET leading to reactive oligomers. These are not affecting the properties of foams, but the colour of the APP only. More problems arise from layers in the µm or nanometer range. They lead to particles of less than 1 µm of different properties so that only one filter aid will not be sufficient. In case of using such raw materials different filter aids have to be tested to find the optimum one for the raw material to be used in the respective plant and to make sure the filter unit works.

### IV. PROPERTIES OF THE APP PRODUCED

APP are produced for three main applications in polyurethane chemistry:

- polyisocyanurate foams (PIR) where a low hydroxyl number is desired and the functionality does not play an important role (hydroxyl numbers are in the range of 200 to 260 mg KOH/g);



- rigid polyurethane foams such as sandwich panels where a hydroxyl number somewhat higher as with PIR and a higher functionality are desired (hydroxyl numbers are in the range of 300 to 380 mg KOH/g);
- polyurethane duromer foams where a hydroxyl number somewhat higher as with PIR and a higher functionality are desired (hydroxyl numbers are in the range of 300 to 360 mg KOH/g);

Further applications are in the area of coatings, adhesives, sealants, and casts. For these products special polyester polyols have to be developed to exactly meet the requirements of the application.

By the process described several types of APP are produced (Schaffrath 2006). There are three main types according to the classification above which are characterized in **Table 1**.

Besides these lightly branched APP linear ones with a defined hydroxyl functionality of exactly 2 are available by proper adjustment of the reaction mixture. Examples of purely difunctional APP are given in **Table 2**.

Any of the APP has an inherent flame retardance due to the content of aromatic nuclei. A modification of the APP produced may be obtained for higher flame retarded polyurethanes by directly blending the APP with flame retardants such as liquid phosphorous compounds. When doing so, a second unit (blending station) should be considered to increase productivity of the overall process. In **Table 3** some examples of APP blended with flame retardants are given.

Typically, the glycol used is diethylene glycol which results in APP with nearly only primary hydroxyl groups resulting in highly reactive polyols with an OH-functionality of  $f_n = 2$ . By introducing a triol such as glycerol or (trimethylol)propane into the polyethers the functionality may be increased to values of about  $f_n = 2.25$  but resulting in an increase in the viscosity of the products. Thus, the incorporation of triols has to be exer-

Main types of APP			
Parameter\APP	M20	M21	M22
Hydroxyl number (mg KOH/g)	240	320	380
Acid number (mg KOH/g)	<1	<1	<1
Water content (%)	<0,2	<0,2	<0,2
Viscosity (25°C) (mPas)	8,000	4,500	4,500
Functionality	2.03	2.05	2.07

Tab. 1) Main types of APP.

Linear APP			
Parameter\APP	A31	A42	A46
Hydroxyl number (mg KOH/g)	220	320	380
Acid number (mg KOH/g)	<1	<1	<1
Water content (%)	<0,2	<0,2	<0,2
Viscosity (25°C) (mPas)	5,500	4,000	3,500
Functionality	2.00	2.00	2.00

Tab. 2) Linear APP.

Flame Retarded APP			
Parameter\APP	F03	F04	F06
Hydroxyl number (mg KOH/g)	260	330	390
Acid number (mg KOH/g)	<1	<1	<1
Water content (%)	<0,2	<0,2	<0,2
Viscosity (25°C) (mPas)	3,500	2,000	1,500
Functionality	2.03	2.04	2.05

Tab. 3) Flame Retarded APP.

APP with high content of secondary hydroxyl groups			
Parameter\APP	H62	H65	H66
Hydroxyl number (mg KOH/g)	220	320	360
Acid number (mg KOH/g)	0.35	0.30	0.30
Water content (%)	<0,1	<0,1	<0,1
Viscosity (25°C) (mPas)	7,900	4,400	2,900
Functionality	2.00	2.00	2.00

Tab. 4) APP with high content of secondary hydroxyl groups.

cised carefully so as not to increase the viscosity beyond a tolerable limit.

Otherwise, APP with a majority of secondary hydroxyl groups is obtained by properly choosing the glycol component. One approach successfully applied is the use of 2-ethylhexane-1,3-diol together with terephthalic acid or esters (Fulev, 2007). By this type of process APP of rather low hydroxyl and acid numbers are produced using a similar process and equipment as described. **Table 4** depicts some results.

The polyols of **Table 4** were produced by a transesterification process employing terephthalic acid dimethyl ester (DMT) as starting material. They were designed to meet the requirements of sealants with pot lives extending 20 minutes.

#### V. APPLICATION OF THE APP

The application of the APP produced in variants of this general transesterification process is in nearly any field of rigid polyurethanes. So, the properties of the polyols can be carefully adjusted to the application of the client. In **Table 5** some general rules for application are exemplified.

By employing different combinations and ratios of the raw materials named one is able to meet exactly the conditions the respective client needs. Furthermore, based on such a broad range of properties of the APP it is possible to formulate nearly any rigid polyurethane system of high performance. Thus, when employing the M20 combined with a proper formulation at an isocyanate index of about 500 extraordinary thermally stable PIR foams can be produced. It was proved with such a formulation to receive a foam in the density region of 40 g/cm<sup>3</sup> being stable in the range of -190 to +190°C showing a deviation in the three spatial directions of less than 1.5%.

#### VI. ECONOMY OF APPLICATION OF APP

When considering the production and

APP	Hydroxyl-No. range (mg KOH/g)	Field of application recommended	Peculiarities
M20, A31	220 – 240	PIR-Foams	Isocyanate indexes between 300 and 600
F03	250 – 270	PIR-Foams, flame retarded duromers	For use in flame retarded foams
H62	200 – 240	Sealants, Adhesives	Low reactivity polyol
M21, A42	300 – 340	Duromers, panel foams	–
F04	300 – 340	Duromers, panel foams	To adjust the degree of flame retardance
M22, A46	360 – 400	Rigid foams, panel foams	–
F06	380 - 400	Flame retarded rigid foams, panel foams	To adjust the degree of flame retardance
H65, H66	320 - 380	Sealants, coatings	Low reactivity polyol

Tab. 5) Application of aromatic polyester polyols.

use of such APP not only ecologic and technical aspects have to be considered. Emphasis is on the economy of the process and its products.

The costs of the process are to a great extent determined by raw material costs. The prices of the additives used in the various processes, ethylene glycol, adipic acid, glycerol, catalysts a.s.o. increased during the last years by 25 to 50 %. E.g. ethylene glycol rose to about 1100 €/t, adipic acid to nearly 1700 €/t.

The PET wastes considered here are in the range between 0 and 850 €/t depending on the type. The Chinese Green Fence Action further enhances the pressure to the prices of European plastics recycling materials. Any PET manufacturer produces some 1.5 to 3% of the total production as waste, of which only minor amounts are a valuable good to be purchased by customers. Most of these wastes have to be treated as “true” waste and either be

incinerated or brought to a landfill as long as this works.

A rough calculation of the production costs leads, of course, to a dependence on the amount of APP produced. Considering a 4,000 t/a plant, the production costs are in the range of 850 €/t (with the PET calculated with 300 €/t). At higher production levels these costs may be as low as 700 €/t and when receiving PET at no costs even at 630 €/t. The market price of high quality APP (i. e. nearly colourless, clear) is between 1550 and 1850 €/t. So, for any PET producer the performance of such a process will be of benefit both with respect to the waste deployment and to profit from a side stream.

#### VII. CONCLUSION

In this paper we reported on work of the development of a new group of APP based on the transesterification of poly(ethylene terephthalate) with glycols and triols by a new process and,

based thereon a concept for a new plant, which resulted in new types for application in nearly any field of rigid polyurethanes production. The basic PET best used is material from industrial production to make nearly no problems in transesterification and having the highest profit margins. In case of fibre or bottle PET additional problems arise from contaminants which have to be overcome by newly developed treatment steps at the end of the process combined with a new technology to perform these process steps. The APP produced this way lead to high performance polyurethanes with outstanding properties. Furthermore, the APP are produced with very good economy especially when using in-house wastes of the PET production and produce the APP as a side stream.

## LITERATURE

Baglia, S., Wong, W. T. Depolymerization of polyethylene terephthalate recycled from post-consumer softdrink bottles, *J. Polym. Sci, Part A 27*, S. 2071-2082 (1989)

Behrendt, G., Pohl, M., Polyesterpolyole mit niedriger Viskosität, *DE-Anm. 199 15 128.8* vom 25. 03. 1999

Fulev, S., Boyadzhiev, M., (Recyclit GmbH), Verbessertes Verfahren zur Herstellung aromatischer Polyesterpolyole mit überwiegend sekundären Hydroxylgruppen aus PET und diese Polyole, *DE-Anm. 10 2007 063 442.2* (21. 12. 2007)

Inada, Sh., Sato, K. (Ales Co., Ltd.), Methods for the Preparation or Purification of Bis-( $\beta$ -hydroxyethyl) terephthalate, *EP 1 120 394* (24. 12. 1999)

Randall, D., Lee, S. *The Polyurethanes Book*, p. 107, J. Wiley & Sons (2002)

Schaffrath, R., Langenstrassen, R., Schmidt, K.-H., Fulev, S., Skokova, L., Behrendt, G., A New Group of Aromatic Polyester Polyols Derived from PET Industrial Wastes and Their Application in the Polyurethane Industry, *Polyurethanoviye tekhnologiyi 10*, 22-24, (2006)

Stoychev V. (Recyclit GmbH), Neue Polyurethanharze und Verfahren zu ihrer Herstellung, *DE-Anm. 10 2006 038 259.5* vom 08. 08. 2006

Vaidya, U., R., Nadkarni, V. M. Polyester polyols from PET waste: effect of glycol type on kinetics of polyesterification in *J. Appl. Polym. Sci.* 38, 1179-1190 (1991)

## AUTHORS

**Dipl.-Chem. Eckhart Kornejew**  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
eckhart.kornejew@th-wildau.de

**MSc Kiril Dimitrov**  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
kiril.dimitrov@th-wildau.de

**Prof. Dr. rer. nat. Michael Herzog**  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
Technische Hochschule Wildau [FH]  
michael.herzog@th-wildau.de



# BESTIMMUNG DER KOHÄSIONSENERGIE- UND VERNETZUNGSDICHTE VON POLYMEREN MIT HILFE VON QUELLUNGSMESSUNGEN

Vesela Stoycheva, Harald Goering, Dietmar Wolff, Michael Herzog

## Zusammenfassung

Bei der Abschätzung der Beständigkeit von Kunststoffen gegenüber niedermolekularen Flüssigkeiten ist die Kohäsionsenergiedichte CED ein wichtiger Parameter auf molekularer Ebene. Die Vernetzungsdichte  $\nu$  eines polymeren Festkörpers bildet hierbei einen bedeutsamen Kennwert, der darüber hinaus neben der Löslichkeit wichtige Eigenschaften wie thermische Stabilität und Steifigkeit des Materials charakterisiert.

Für die experimentelle Bestimmung von CED und  $\nu$  eignet sich die Untersuchung des Quellverhaltens in unterschiedlichen Lösungsmitteln. Es werden zwei Messmethoden miteinander verglichen und die Ergebnisse unter Berücksichtigung des molekularen Aufbaus von Proben aus Polyurethan (PU) und hochmolekularem – (HMWPE) und ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMWPE) diskutiert. Zum Verständnis des Quellverhaltens dieser Polymerproben in niedermolekularen Lösungsmitteln werden neben den Messergebnissen Literaturdaten zu Grunde gelegt.

## Abstract

The Cohesion Energy Density CED is an important parameter on the molecular level for the estimation of the durability of polymers against low molecular solvents. Furthermore the density of cross-linking  $\nu$  in a polymer solid is a significant value for the solubility and other properties like thermal stability and stiffness of the material.

A suitable method for the experimental determination of CED and  $\nu$  is the investigation of the swelling behavior in different solvents. Two measuring methods are compared and the results are discussed under the consideration of the molecular structure of polyurethane (PU), high molecular weight polyethylene (HMWPE) and ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) samples. The theoretical understanding of the swelling behavior of polymers in low molecular solvents is supported by literature values.

## I. EINLEITUNG

Die Kenntnis der Kohäsionsenergiedichte CED als Quadrat der Löslichkeitsparameter  $\delta$  und der Vernetzungsdichte  $\nu$  eines Polymers ist notwendig, um seine mechanischen und Lösungseigenschaften auf molekularer Basis interpretieren zu können. Die experimentelle Bestimmung von  $\delta$  und  $\nu$  kann mit Hilfe von Quellungsmessungen erfolgen (Flory 1953, Hanse 2012). Die statistische Theorie hauptvalenzmäßig vernetzter Mischphasen liefert die Verknüpfung der gemessenen thermodynamisch-makroskopischen Größe des Quellungsgrades mit molekularen Parametern. Die Ergebnisse der statistischen Theorie werden allerdings fast immer unter einschränkenden Voraussetzungen und Zugrundelegung einfacher Modelle gewonnen. Orientierende Messungen sollen die methodische Eignung von Quellungsmessungen zur Charakterisierung der durch Gamma-Strahlung verursachten Strukturänderungen von hochmole-

kularem und ultrahochmolekularem Polyethylen (HMWPE und UHMWPE) sowie ausgewählten Polyurethanen (PU) überprüfen.

## II. THERMODYNAMIK DER QUELLUNG

Unter Quellung versteht man die Erscheinung, dass eine makromolekulare Substanz mehr oder weniger große Mengen niedermolekularer Flüssigkeiten oder Dämpfe aufnehmen kann, ohne dass der gequollene Festkörper seinen Zusammenhalt und seine Form verliert und eher elastische als viskose Eigenschaften aufweist. Die elastischen Eigenschaften dieser sog. Gele beruhen im Allgemeinen auf einer dreidimensionalen haupt- oder nebenvalenzmäßigen Verknüpfung der Kettenmoleküle. Hauptvalenzmäßig vernetzte Polymere nehmen bei jeder Temperatur  $T$  nur eine begrenzte Flüssigkeitsmenge auf. Im Grenzfall steht eine Gemischphase, die aus niedermolekularer Flüssigkeit und makromolekularer vernetzter Substanz

zusammengesetzt ist, mit der reinen Flüssigkeit im Gleichgewicht.

Die Theorie der Quellung kann bei der allgemeinen Anwendung gegenwärtig nicht vollständig befriedigen. Die Beziehungen werden unter einer Reihe von stark einschränkenden Annahmen abgeleitet. Vor allem harret das Problem der Erfassung von Wechselwirkungen, die nicht auf Dispersionskräften beruhen, seiner Lösung. Auch treten besondere Probleme bei Mehrphasensystemen wie PE auf, wenn die Phasenstruktur während des Quellungsexperiments verändert wird. Dennoch werden bei vergleichenden Experimenten die qualitativen Verhältnisse richtig beschrieben. Mit hinreichender Vorsicht können quantitative Untersuchungen auch bei stark polaren Substanzen (PU) zumindest orientierende Werte der untersuchten Größen liefern.



### III. METHODEN DER QUELLUNGSMESSUNG

Zur Bestimmung des Quellungsgrades  $Q$  gibt es zwei prinzipielle Wege: die Ermittlung der vom Polymer aufgenommenen Flüssigkeitsmenge und die Volumenänderung des Polymeren beim Quellprozess. Am häufigsten wird die gravimetrische Methode benutzt. Eine Polymerprobe der Masse  $m_2$  wird in das betreffende Lösungsmittel gebracht. Nach einer für die Einstellung des Quellgleichgewichts notwendigen Zeit wird die Probe aus dem Lösungsmittel genommen, das außen anhaftende Lösungsmittel sorgfältig entfernt und der Probekörper so schnell wie möglich gewogen (bei leichtflüchtigen Lösungsmitteln in einem abgeschlossenen Gefäß im Sättigungsdampf). Der Quellungsgrad ergibt sich dann aus

①  $Q = (\rho_2 m_2) / (\rho_1 m_1)$ .

$\rho_2$  ist die Polymerdichte,  $\rho_1$  die des Lösungsmittels. Die vom Polymer aufgenommene Lösungsmittelmasse  $m_1$  ergibt sich aus der Gesamtmasse der Probe  $m$ :

②  $m_1 = m - m_2$

Die Quellgeschwindigkeit hängt neben dem Polymer-Lösungsmittelsystem und der Temperatur von den Abmessungen der Probe ab, da die Quellung ein diffusionskontrollierter Prozess ist. Zu beachten ist bei der gravimetrischen Methode, dass die

Proben eine möglichst glatte Oberfläche besitzen, um ein vollständiges Abtrocknen zu erleichtern. Es ist zu untersuchen, ob geringe Bestandteile aus der Polymerprobe herausgelöst werden. Das ist vor allem beim durch energiereiche Strahlung belasteten PE zu beachten, da durch Kettenspaltung während der Bestrahlung kurzkettige und damit leichter lösliche Bestandteile entstehen.

Messmethoden der Quellungsgradbestimmung, die die Änderung der Dimensionen der Probe bei der Quellung als Messgröße benutzen, haben den Vorteil, dass weder die Dichte des Lösungsmittels noch die Polymerdichte bekannt zu sein brauchen. Nimmt man an, dass der Quellungsprozess isotrop verläuft, kann die Bestimmung der Volumenänderung auf die Messung der Änderung einer Längendimension reduziert werden. Unter der Annahme isotroper Quellung ergibt sich der Quellungsgrad aus der relativen Änderung einer Länge  $x$  der Probe um  $\Delta x$  bei der Lösungsmittelaufnahme aus der folgenden Beziehung:

③  $Q = 3 \Delta x/x + 3 (\Delta x/x)^2 + 3 (\Delta x/x)^3$

Zur Quellungsmessung mit Hilfe der relativen Längenänderung der Probe eignet sich besonders eine mikroskopische Methode. Hierbei werden die Dimensionen einer kleinen (folienartigen) Probe mit einem Mikroskop ausgemessen, jeweils in Kontakt mit dem Lösungsmittel. Diese Methode ist besonders von Vorteil, wenn die

maximalen Quellungsgrade bestimmt werden sollen, da infolge der geringen Dicke der Probe der Gleichgewichtsquellungswert im Allgemeinen in wenigen Minuten erreicht wird.

### IV. BESTIMMUNG DER KOHÄSIONS-ENERGIEDICHTE

Die konventionellen Methoden zur Bestimmung der CED niedermolekularer Substanzen, wie die Messung der Verdampfungswärme, der Oberflächenspannung oder des Siedepunktes, können bei Polymeren nicht angewendet werden. Deshalb müssen vergleichende Untersuchungen von Löslichkeitseigenschaften und verwandten Phänomenen in einer Reihe von Flüssigkeiten mit unterschiedlichen CED vorgenommen werden. G. Gee zeigte, dass unter Vernachlässigung der Entropie der elastischen Deformation ein Polymer, in dem nur intermolekulare Dispersionskräfte wirken, am stärksten von einem solchen Lösungsmittel gequollen wird, das die gleiche CED wie das Polymer hat (Gee 1943). Danach sollte eine graphische Darstellung des Quellungsgrades über den Löslichkeitsparametern der Lösungsmittel  $\delta_1$  eine glatte Kurve mit einem Maximum bei  $\delta_1 = \delta_2$  ergeben, wobei  $\delta_2$  der Löslichkeitsparameter des Polymers ist. Werden die Lösungsmittel allein nach ihren CED ausgewählt, so zeigt sich im Allgemeinen kein derartiger Kurvenverlauf. Um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen, müssen Lösungsmittel benutzt werden, die sich wenig in ihrer chemischen Struktur

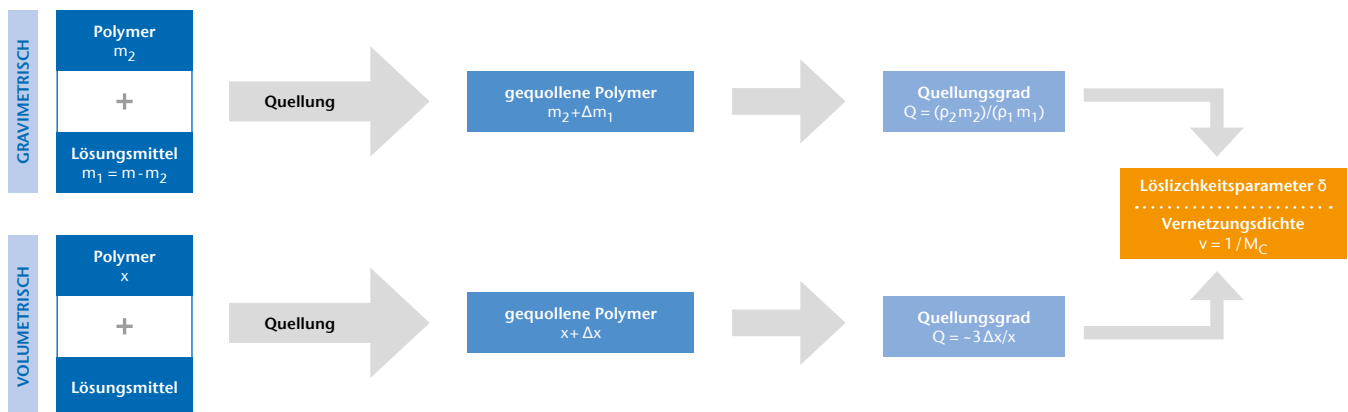


Abb. 1) Prinzip der Quellungsmessung.

voneinander unterscheiden und eine gewisse Ähnlichkeit mit den Polymersegmenten aufweisen. Durch eine Vielzahl von experimentellen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Löslichkeitsparameter allein nur beschränkte Aussagekraft besitzen. Untersuchungen der Löslichkeitseigenschaften von polaren Polymeren haben begrenzte empirische Korrelationen der Lösungskraft mit der CED, der Gestalt und Größe der Lösungsmittelmoleküle, des Gehalts an Wasserstoffbrückenbindungen im Lösungsmittel, dem Dipolmoment und der Natur der funktionellen Gruppen gezeigt. Mit der Annahme, dass

$$4 \quad \chi_{1H} = \chi_s + \frac{V_1}{RT} (\delta_1 - \delta_2)^2$$

ist (hierbei ist  $V_1$  das Molvolumen,  $\chi_{1s}$  der Entropieterm und  $\chi_{1stH}$  der Enthalpieterm des Wechselwirkungsparameters  $\chi_1$ ), zeigten G.M. Bristow und W.F. Watson, dass ein Auftragen der rechten Seite der durch Umformung von Gleichung (4) gebildeten Beziehung

$$5 \quad \frac{\delta_1^2}{RT} - \frac{\chi}{V_1} = \frac{2\delta_2}{RT} \delta_1 - \frac{\delta_2^2}{RT} - \frac{\chi_s}{V_1}$$

gegen  $\delta_1$  eine Gerade ergibt, deren Anstieg und Abschnitt ein Maß für  $\delta_2$  ist (Bristow und Watson 1958). Sie nahmen dabei an, dass der Term  $\chi/V_1$  gegen  $\delta_2^2/RT$  vernachlässigt werden kann. Diese Methode der Darstellung experimenteller Daten sollte es ermöglichen, Lösungsmittel, die durch spezifische Wechselwirkungen eine sehr hohe Quellung hervorrufen (z.B. Chloroform), in demselben Bild darzustellen wie andere relativ schwache Lösungsmittel. Eine kritische Untersuchung dieser Methode enthüllt, dass ihr Erfolg nur scheinbar ist. Die Größe von  $\chi$  ist vergleichbar mit der von  $\chi_s$ . Der Wert von  $\chi_s$  kann im Fall von Polymer-Flüssigkeitssystemen, die spezifische Wechselwirkungen aufweisen, den von  $\chi$  sogar übersteigen. Das physikalische Problem der Erfassung von spezifischen Wechselwirkungen ist noch nicht befriedigend gelöst, und kein mathematischer Algorithmus bei der Auswertung der Messergebnisse ist geeignet, die Situation zu verbessern. Da die CED von Polymeren nicht direkt aus Verdampfungsexperimenten ermittelt werden kann, wurden CED-Terme für verschiedene molekulare Gruppen aus Dampfdruckmessungen von verdampfbaren Verbindungen übertragen und zur Bestimmung der CED von Polymeren benutzt.

$$6 \quad \chi_{1H} = \frac{V_1}{RT} \left[ \left( \frac{\Delta E_1}{V_1} \right)^{1/2} - \left( \frac{\Delta E_2}{V_2} \right)^{1/2} \right]^2 = \frac{V_1}{RT} (\delta_1 - \delta_2)^2,$$

wobei  $\Delta E$  die Verdampfungsenergie und  $V$  das Molvolumen ist. Diese sog. Scatchard-Gleichung ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass die Größe  $(\Delta E/V)^{1/2}$  eine additive Eigenschaft ist (Scatchard 1931). Es lässt sich ein Satz von additiven Konstanten finden, der die Berechnung von  $\delta_2$  erlaubt. Sie werden als molare Anziehungskonstanten  $F$

bezeichnet.  $\delta_2$  ist dann gegeben durch

$$7 \quad \delta_2 = \frac{\sum F}{V_2},$$

wobei über alle in der betreffenden Substanz enthaltenen Gruppen zu summieren ist. Für eine Reihe von Gruppen sind die molaren Anziehungskonstanten  $F$  bestimmt und mit diesen Werte von  $\delta_2$  für ausgewählte Polymere berechnet worden. Die Übereinstimmung der berechneten mit den aus Quellungsmessungen beobachteten Werten ist z.T. befriedigend, aber nicht verallgemeinerbar (Scatchard 1931). Für PE wurden keine vergleichbaren Ergebnisse in der Literatur gefunden.

## V. BESTIMMUNG DER VERNETZUNGSDICHTE

Die Vernetzungsdichte  $\nu_e$  bzw. das Netzkettenmolekulargewicht  $M_c = 1/\nu_e$  kann durch physikalische oder durch chemische Methoden bestimmt werden. (Der Index  $e$  kennzeichnet die effektive, d.h. die mechanisch wirksame Vernetzungsdichte.) Die beiden wichtigsten physikalischen Methoden sind die Messung der Gleichgewichtsquellung und Spannungs-Deformationsmessungen. Aus dem Quellungsgrad einer im Quellungsgleichgewicht befindlichen vernetzten Polymerprobe kann  $\nu_e$  nach der Flory-Rehner-Gleichung ermittelt werden:

$$8 \quad -\ln \left( 1 + \frac{1}{Q_m} \right) + \frac{1}{1+Q_m} + \frac{\chi}{(1+Q_m)^2} = \frac{\rho_2 V_1}{M_c} \left[ \frac{2}{f} \frac{1}{1+Q_m} - \frac{1}{(1+Q_m)^{3/2}} \right].$$

Bei der Anwendung der Beziehung (8) muss der Wechselwirkungsparameter  $\chi$  für das betreffende Polymer-Lösungsmittel-System bekannt sein. Die Bestimmung von  $\chi$  für PE- und räumlich vernetzte PU-Lösungsmittel-Systeme ist allerdings nicht ohne weiteres möglich, da die bekannten Methoden der  $\chi$ -Bestimmung, wie die Messung des Dampfdrucks, der Viskosität, des osmotischen Drucks von Polymerlösungen und die Entquellungsmethode nach R.F. Boyer, das unvernetzte Polymerisat benötigen (Boyer 1943). Oft wird sogar gerade andersherum der  $\chi$ -Parameter von vernetzten Polymer-Flüssigkeitssystemen aus Gleichung (8) berechnet, wobei die Vernetzungsdichte mit einer anderen Methode bestimmt wurde. Der maximale Quellungsgrad  $Q_m$  ist umso größer, je geringer die Vernetzungsdichte und je kleiner der Wechselwirkungsparameter ist.

Eine Abschätzung der Größenordnung von  $\chi$  kann nach Gleichung (4) erfolgen, wenn  $\delta_1$  und  $\delta_2$  bekannt sind. Dabei kann für  $\chi_s$  nur ein in der Literatur angegebener, für spezielle Systeme abgeschätzter Wert, der als von der CED unabhängig angesehen wird, benutzt werden.

Nach der statistischen Theorie der Kautschukelastizität kann die Vernetzungsdichte aus der an einer vernetzten Polymerprobe angelegten Spannung  $\tau$  und der durch diese Spannung bewirkten relativen Deformation  $\lambda$  der Probe bestimmt werden. Die Zusammenhänge für einfache

Dehnung und Kompression werden durch folgende Gleichung zum Ausdruck gebracht:

$$\textcircled{9} \quad \tau = \nu_e RT (\lambda - \lambda^{-2})$$

Der Index  $e$  soll auch hier andeuten, dass nur Vernetzungsstellen gemessen werden können, die physikalisch effektiv sind. P.J. Flory, A.F. Tobolsky, S. Kästner haben einen sogenannten Front- oder Dilatationsfaktor eingeführt, um die vom frei beweglichen Zustand abweichende Netzkettenkonformation zu berücksichtigen (Flory 1959, Tobolsky 1961, Kästner 1958). Die bei der Ableitung der Gleichung (9) gemachte Voraussetzung, dass zwischen den Netzketten höchstens vernachlässigbar geringe intermolekulare Wechselwirkungen bestehen, ist in vielen Fällen nicht erfüllt. Bei gequollenen Netzwerken wird infolge einer Verminderung der intermolekularen Wechselwirkungen durch das zur Quellung verwendete Lösungsmittel zum Teil eine bessere Übereinstimmung der experimentellen Ergebnisse mit den theoretischen Beziehungen beobachtet. In diesem Fall gilt für Gleichung (9) die Beziehung:

$$\textcircled{10} \quad \tau_0 = \nu_e RT \Phi_2^{-1/3} (\lambda - \lambda^{-2}),$$

wobei  $\Phi$  der Volumenbruch und  $\tau_0$  die angewandte Kraft pro Flächeneinheit der ungequollenen, nicht deformierten Probe ist.

## VI. ORIENTIERENDE MESSUNGEN AN POLYURETHANEN

In der Literatur ist eine Reihe von Untersuchungen zum Quellverhalten von PU-Systemen beschrieben. (Z.B. Makitra 2005, Pacheco 2009). Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der oben beschriebenen Methoden auf reale Systeme wurde das Quellverhalten von Modell-PU in einer Vielzahl von niedermolekularen Substanzen untersucht. Es zeigt sich, dass der Wert der CED allein nicht ausreicht, um Vorhersagen über das Löslichkeits- bzw. Quellverhalten des Polymers machen zu können.

Die Methode der Bestimmung von  $\nu_e$  aus Quellsdaten nach Gleichung (8) kann für die untersuchten Modell-PU nicht angewendet werden, da diese sich, wie Messungen des Torsionsmoduls in Abhängigkeit von der Temperatur zeigen, bei RT (Messtemperatur) nicht im inneren Gleichgewicht befinden. Aus gleichem Grund lässt sich auch aus dem Spannungs-Dehnungsverhalten dieser PU kein sinnvoller Wert für  $\nu_e$  ableiten.

Von den bisher bekannten Verfahren der Bestimmung der CED von Polymeren erscheint die Methode nach G. Gee die am besten geeignete. Hierzu wer-

Die Dichte- und  $\delta_1$ -Werte der benutzten Lösungsmittel wurden der Literatur entnommen (Bristow und Watson 1958). Die Gee'sche Behandlung für die Ermittlung der CED von Polymeren verlangt aber, dass die allgemeine Natur der Polymer-Flüssigkeits-Wechselwirkung in allen Systemen möglichst ähnlich ist. Deshalb wurde eine vergleichende Untersuchung des Quellverhaltens in einer Reihe von Estern durchgeführt. Die Eigenschaftswerte der Ester sind Literaturdaten (Hansen 2012).

Die Bestimmung des maximalen Quellungsgrades erfolgte nach der

Probe	Zusammensetzung	$\delta_2 / (\text{cal}\cdot\text{cm}^{-3})^{1/2}$
PU <sub>1</sub>	63 g Polybutylenglycol 22.5 g Desmodur® 44 5.5 g Butandiol 1.4	9.4
PU <sub>2</sub>	63 g Polybutylenglycol 39.6 g Desmodur® 44 10 g Butandiol 1.3	9.2
S	102 g Glycerin-Propylenoxid-Polyether 57 g Desmodur® 44 6.1 g Triethanolamin	9.0

Tab. 1) Zusammensetzung der Modell-Polymere und ermittelte Löslichkeitsparameter  $\delta_2$ .

den die Gleichgewichtsquellungswerte  $Q_m$  in einer Reihe von Lösungsmitteln mit unterschiedlicher CED ermittelt. Die Zusammensetzung der drei an der TH Wildau hergestellten Modellproben PU<sub>1</sub>, PU<sub>2</sub> (Elastomer) und S (Schaum) ist der Tabelle 1 zu entnehmen:

gravimetrischen und der mikrooptischen Methode. Die Durchführung der Gleichgewichtsquellungsmessung nach der gravimetrischen Methode ist relativ einfach und dennoch recht genau. Die größte relative Abweichung zwischen zwei gleichen Proben be-

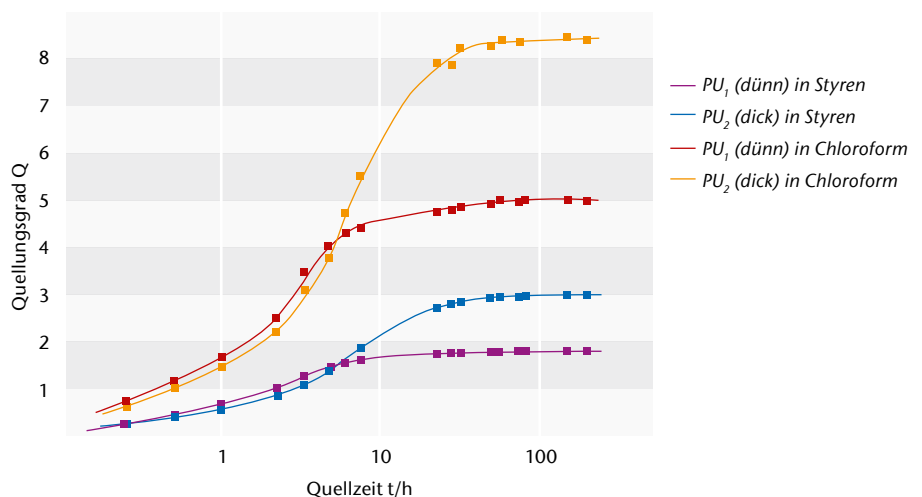


Abb. 2) Abhängigkeit des Quellungsgrades  $Q$  von der Quellzeit  $t$ .

trug ca. 4 %. Hauptsächlich wird sie durch das nicht exakt reproduzierbare Abtrocknen der Probenoberfläche nach der Gleichgewichtsquellung verursacht.

UHMPE-Proben während der Quellung herausgelöst, und selbst die bestrahlten UHMWPE-Proben erleiden während der Quellung eine nicht zu vernachlässigende Abnahme ihrer Masse.

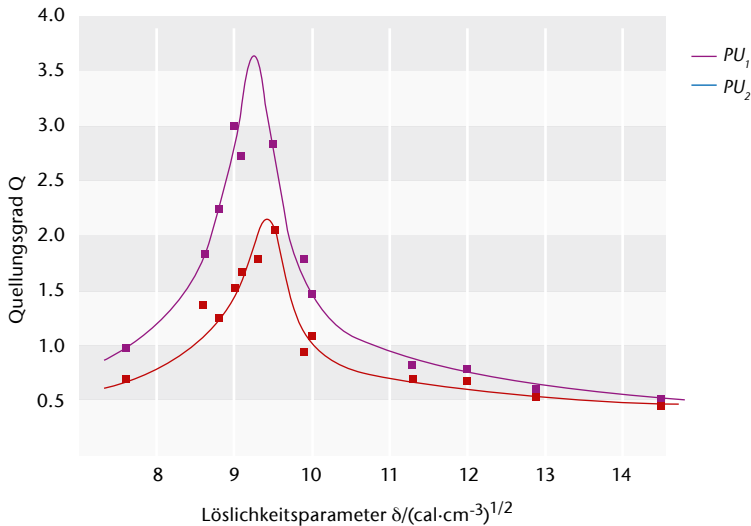


Abb. 3) Quellungsgrad der  $PU_1$  und  $PU_2$  in Abhängigkeit vom Löslichkeitsparameter  $\delta_1$ , nach Bristow und Watson (1958).

Um zu prüfen, wie schnell das Quellungsgleichgewicht erreicht wird, sind vollständige Quellungs-Zeit-Kurven aufgenommen worden. Beispiele sind in Abb. 2 dargestellt. Die zylindrischen Proben hatten eine Höhe von 2.5 mm und einen Durchmesser von 15 mm für  $PU_1$  und eine Höhe von 4 mm bei gleichem Durchmesser für  $PU_2$ . Wie Abb. 2 zeigt, wird der Gleichgewichtsquellungsgrad nach etwa 2 bis 3 Tagen erreicht. Bei sämtlichen Messungen des maximalen Quellungsgrades wurden die Proben mindestens 5 d mit dem Lösungsmittel in Kontakt gelassen und die Probenabmessungen stets kleiner gehalten als die oben angegebenen.

Im Anschluss an die Quellungsmessung wurde durch Desorption geprüft, ob durch das Lösungsmittel Bestandteile der Polymerprobe herausgelöst wurden. Die hier untersuchten Proben erreichten nach hinreichend langer Zeit (ca. 1 Woche) im Rahmen der Messgenauigkeit wieder ihre Ausgangsmasse. Sämtliche Messungen sind bei 23 °C ( $\pm 2$  °C) durchgeführt worden. Wie sich zeigen wird, sind die Verhältnisse beim UHMWPE selbst nach einer gewissen Strahlenvernetzung weit komplizierter. Ein relativ großer Masseanteil wird aus den

In Abb. 3 sind die Quellungsgrade  $Q$  von  $PU_1$  und  $PU_2$  über den  $\delta_1$  der jeweiligen Lösungsmittel aufgetragen. Halogenierte Kohlenwasserstoffe zeigen im Allgemeinen ein besonders starkes Quellungsvermögen, während z.B. zyklische Verbindungen eine rela-

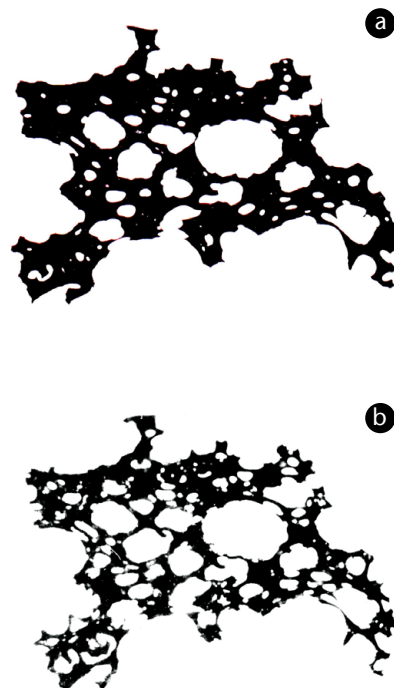


Abb. 4) PU-Schaumteilchen  $S_1$ , a) vor und b) nach 15 min Quellung in Amylformiat

tiv schwache Quellung hervorrufen. Diese Lösungsmittel und andere, die eine spezifische Wechselwirkung aufweisen und nicht in das allgemeine Schema des Quellverhaltens passen (z.B. Ameisensäure wegen Umesterung), wurden in Abb. 3 nicht eingetragen. Für die Quellungsmessung an Schaumstoffen eignet sich die gravimetrische Methode nicht.

Hier wird besser eine mikrooptische Messmethode angewendet. Als Messproben werden Schaumteilchen von etwa 1 bis 2 mm Durchmesser und 0.1 bis 0.2 mm Dicke verwendet, die aus Mikroschnitten gewonnen werden. Zur Bestimmung des Quellungsgrades wurden die Proben einmal vor und einmal 15 min nach dem Einfüllen des Lösungsmittels mit Hilfe eines Mikroskops abgebildet (Abb. 4). Aus der linearen relativen Dimensionsänderung der Probe  $\Delta x/x$  wird nach Gleichung (3) der Quellungsgrad berechnet. Zur Überprüfung der Isotropie der Quellung sind die Längenänderungen der Probe  $S$  in fünf verschiedenen Richtungen gemessen worden. Die Unterschiede zwischen diesen einzelnen Messungen lagen innerhalb der Messgenauigkeit. Bei der Untersuchung von sehr kleinen Probekörpern im Bereich von ca. 50 bis 100  $\mu\text{m}$  zeigte sich eine gewisse Anisotropie der Längenausdehnung im Lösungsmittel. Gemäß der Abb. 3 analogen Auswertung ergibt sich für den PU-Schaum  $\delta_s = 9.0 \pm 0.1$  ( $\text{cal-cm}^{-3}$ )<sup>1/2</sup>.

Zum Vergleich der Messmethoden wurde die Quellung von  $PU_2$  in Estern auch mit der mikrooptischen Methode bestimmt (Abb. 5). Es wurden ca. 30  $\mu\text{m}$  dicke Proben verwendet. Die Quellungsgrade, die nach der volumetrischen Methode bestimmt wurden, sind erwartungsgemäß stets niedriger als die massenmäßig ermittelten. Die relativen Verhältnisse der Abhängigkeit der Quellungsgrade von den Löslichkeitsparametern der Quellungsmittel bleiben jedoch die gleichen, sodass beide Methoden die gleiche CED für das Polymer liefern.

Allerdings kann man sich auch vorstellen, dass eine gewisse Menge an niedermolekularer Flüssigkeit vom Polymer aufgenommen werden kann,

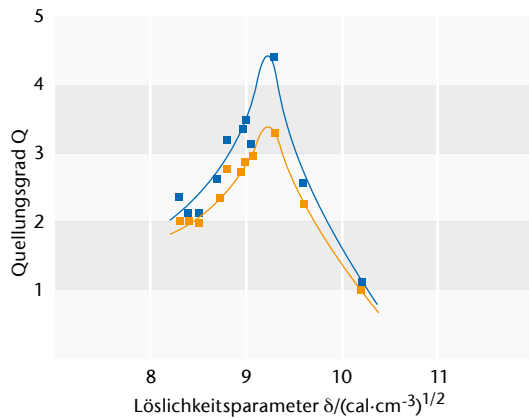


Abb. 5) Abhängigkeit des Quellungsgrades  $Q$  von  $PU E_2$  von den Löslichkeitsparametern der Ester. Vergleich von gravimetrischer  $\blacksquare$  und mikrooptischer  $\blacksquare$  Messmethode.

ohne dass sich dabei das Volumen der makromolekularen Komponente verändert, d.h., dass erst gewisse „Hohlräume“ in der Polymermatrix ausgefüllt werden. Bei der quantitativen Bestimmung der Quellung muss also stets geprüft werden, ob die Annahme der Additivität der Volumina zu Recht gemacht wurde. Wie erwartet unterscheiden sich die CED der einzel-

CED allein weniger geeignet. Dass von den untersuchten PU das Elastomer  $PU_1$  den größten CED-Wert besitzt, kann auf Grund der Zusammensetzung der drei PU-Systeme erwartet werden. So sind beim Elastomer  $PU_1$  im Gegensatz zu den beiden anderen PU alle drei Ausgangskomponenten lineare Produkte. Seitengruppen, wie die  $CH_3$ -Gruppen des Butandiols-1.3 beim Elastomer  $PU_2$

OH-Komponente	NCO-Komponente	$\delta / (\text{cal}\cdot\text{cm}^{-3})^{1/2}$ nach der Methode von Bristow und Watson	
		aus dem Anstieg	aus dem Achsenabschnitt
Diethylenglykol	Triphenylmethan-4,4',4''-triisocyanat	9.2	9.7
Triethylenglykol		10.4	10.7
Tetraethylenglykol		10.5	10.8
Hexaethylenglykol		10.5	10.6
Octaethylenglykol		10.8	10.8
Decaethylenglykol		10.9	10.9
Polyoxytetramethylenglykol	Toluylen-2,4-diisocyanat	9.5	-
Polyoxypropylenglykol		9.8	-
Polydiethylenadipinat		12.0	-

Tab. 2) Löslichkeitsparameter  $\delta$  von Modell-PU (Katz 1968, Apuchtina 1966, Forrest 2001)

nen PU-Systeme mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung  $PU_1$ ,  $PU_2$  und S im Rahmen der Messgenauigkeit relativ wenig voneinander. Die CED-Werte werden deshalb im Allgemeinen nur zum Vergleich mit anderen Polymeren herangezogen. Zur Untersuchung feiner Strukturunterschiede einzelner PU-Systeme sind die

und des Propylenoxids beim Schaum S, verhindern auf Grund sterischer Effekte, dass die zwischenmolekularen Kräfte über die ganze Länge der Kettenmoleküle voll zur Wirkung kommen, und verringern so den Wert der CED des Polymeren. Zum Vergleich sind in Tabelle 2 einige Literaturwerte für die Löslichkeitsparameter von PU zusammengestellt.

Die Anwendung der Flory-Rehner-Gleichung (8) und der Spannungs-Deformationsbeziehung (10) zur Bestimmung der Vernetzungsdichte verlangt, dass sich das Polymer bei Messtemperatur im inneren Gleichgewicht befindet. Wie entsprechende Messungen zeigten, befinden sich die vorliegenden PU-Systeme bei Raumtemperatur nicht im inneren Gleichgewicht.

## V.II UNTERSUCHUNGEN AN POLYETHYLEN

PE, speziell HMWPE und UHMWPE, sind sowohl bei der Bestimmung der Kohäsionsenergiedichte als auch bei der Ermittlung der Vernetzungsdichte noch schwerer zugänglich, obwohl im Gegensatz zum PU die Ketten einheitlich aus kleinen unpolaren Monomerbausteinen bestehen. Auf Grund der Regelmäßigkeit und Symmetrie der Anordnung der monomeren Bausteine ( $CH_2$ -Gruppen) in der Kette, d.h. der Zick-Zack-Konformation der Ketten sowie der Drehbarkeit der Kettenglieder um die Einfachbindungen ( $-C-C-$ ), sind diese aber in der Lage, trotz der geringen Energie der einzelnen zwischenmolekularen Wechselwirkungen ( $\sim 2$  kJ/mol) bei Raumtemperatur, geordnete bzw. kristalline Bereiche in Form von Lamellen zu bilden. Der Schmelzbereich der Kristallite liegt je nach Kettenlänge, einschließlich Verzweigungen, und Kristallisationsbedingungen zwischen ca. 110 °C und 140 °C, wobei UHMWPE die höchste Schmelztemperatur aufweist. Die Löslichkeit bzw. Quellbarkeit von PE in organischen Lösungsmitteln ist deshalb bei Raumtemperatur äußerst gering. Da das „Eindringen“ von niedermolekularen Substanzen in das Polymergefüge vor allem durch die Wechselwirkung zwischen Lösungsmittel und Polymer bestimmt wird und bevorzugt in den amorphen Bereichen erfolgt, gelingt das Lösen von PE nur in wenigen siedenden Lösungsmitteln wie Xylol, Decahydronaphthalen (Decalin) oder Trichlorbenzol.

Orientierende Untersuchungen zum Quellverhalten von HMWPE und UHMWPE wurden in siedendem Xylol an folgenden Proben vorgenommen: unbestrahltes Lupolen L1, bestrahltes



Lupolen L2, unbestrahltes GUR GT1, bestrahltes GUR GT2 und GT3. Die Modellproben wurden von Frau Dr. von der Ehe, Fachbereich 3.4, Sicherheit von Lagerbehältern, BAM, vorbereitet und die Vernetzungsgradbestimmung durchgeführt (Wolff 2013). Dazu wurden die Proben nach der Bestimmung der Ausgangsmasse  $m_A$  in einem kleinen Maschendrahtkäfig in einen Rundkolben mit Rücklaufkühler

wie 2,2'-Methylen-bis-(4-methyl-6 tert.butylphenol) bzw. 3-(3,5 di-tert. butyl-4-hydroxyphenyl)-propionat erfordert. In den durchgeführten Versuchen wurden derartige Stabilisatoren nicht hinzugefügt. Der Abb. 6 ist zu entnehmen, dass die Strahlenbelastung (gemäß der Probandaten) zu einer enormen Zunahme des unlöslichen Anteils führt, d.h. es erfolgt bei der Bestrahlung eine hauptvalenzmä-

löslichen Masseanteils berücksichtigt nicht die durch die Strahlenbelastung erfolgte Kettenspaltung und damit eine Erhöhung der löslichen Anteile. So kann der Vernetzungsgrad  $G$  der beiden strahlenvernetzten Proben aus Lupolen und GUR nicht unmittelbar miteinander verglichen werden. Eine Korrektur durch das Herauslösen der Kettenspaltungsprodukte ist jedoch vor allem beim Lupolen wegen der äußerst geringen Masse der unlöslichen Bestandteile nicht sinnvoll. Weiterhelfen könnte eine quantitative Analyse der Molmasse und Molmassenverteilung des löslichen Anteils, die allerdings spezieller vorbereitender Arbeiten bedarf.

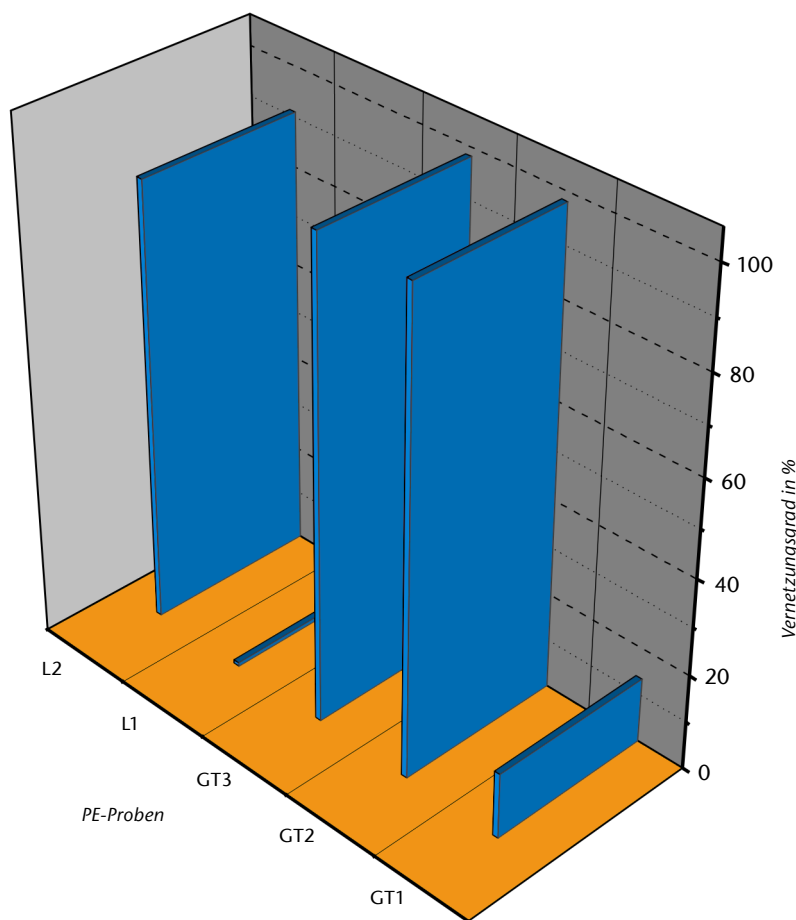


Abb. 6) Vernetzungsgrad  $G$  in Anlehnung an DIN 16892 für GUR- und Lupolen-Proben. (Wolff 2013).

in das kochende Xylol gebracht und nach 8 h die Restmasse des jeweiligen Probekörpers bestimmt. In Anlehnung an die DIN 16892:2000-07 wird ein Maß für den Vernetzungsgrad  $G$  des UHMWPE aus dem im siedenden Xylol unlöslichen Masseanteil  $m_U$  nach:  $G = m_U / m_A \cdot 100$  bestimmt.

Die für die einzelnen Proben bestimmten Werte sind in Abb. 6 als Balkendiagramm dargestellt. Erwähnt werden muss, dass nach DIN 16892 die Lagerung in siedendem Xylol die Zugabe von 1 % Antioxidationsmittel

ßige Verknüpfung fast aller Kettenmoleküle untereinander, wobei der Vernetzungsgrad (unlöslicher Anteil) des GUR (98 %) wiederum größer ist als beim Lupolen (91 %). Eine quantitative Analyse kann nur im Zusammenhang mit Messergebnissen anderer Strukturmethoden gegeben werden, einschließlich der Unterscheidung von strahlenchemischer Vernetzung und Kettenspaltung. Ein analytisches Maß für den jeweiligen Anteil lässt sich aus dieser Art von Quellungsmessungen allein nicht ableiten. Die wie oben beschriebene Bestimmung des un-

Umgangen werden einige der Probleme durch die Bestimmung der Vernetzungsdichte (Vernetzungsgrad) mit Hilfe der mikrooptischen Ausdehnungsmessung der gequollenen Proben nach Gleichung (3). Dazu wurden Scheiben von ca. 4 mm Durchmesser ausgestanzt. Der Durchmesser der einzelnen Proben wird vor der Quellung mit Hilfe eines Mikroskops genau ausgemessen. Die Kontur wird mit einer kreisförmigen Simulation festge-

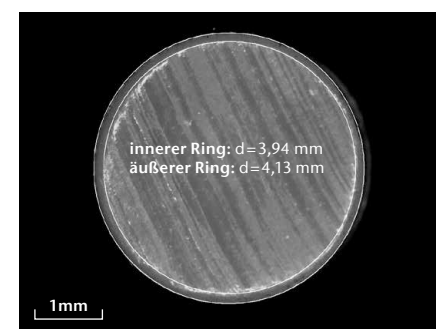


Abb. 7) PU-Schaumteilchen  $S$ , vor und nach 15 min Quellung in Amylformiat

legt. Ein entsprechendes Rechenprogramm ermöglicht die Bestimmung der markierten Fläche (einschließlich des Durchmessers). Der Quellungsgrad  $Q$  kann dann aus dem Flächenmaß der Probe vor und nach der Quellung ermittelt werden. Hierbei sollte ein Herauslösen von kürzeren Ketten oder Kettenteilen weniger Einfluss auf das Ergebnis haben.

Beobachtet wurde mit einem Wild-Mikroskop durch ein Objektiv 12 x mit Hilfe einer dhs Microcam 1.3. In Abb. 7 ist ein Beispiel für eine Probe vor

der Quellung zu sehen. Die entsprechenden Messungen der gequollenen Proben bedürfen noch einer Reihe von vorbereitenden Untersuchungen. Dabei spielt die zeitliche Stabilität des Quellungsgleichgewichts und ihre Abhängigkeit von der Temperatur (vor allem mit Erreichen der Kristallisationstemperatur) eine entscheidende Rolle. Derartige Messungen wurden begonnen. Für die Deutung der mit dieser Methode zu erwartenden Ergebnisse gilt jedoch prinzipiell das oben zu der gravimetrischen Messung des Vernetzungsgrades bereits Dargelegte.

### V.III. FAZIT

Die CED ist geeignet, das Verhalten von PU gegenüber verschiedenen Lösungsmitteln vorherzusagen. Der experimentelle Zugang erfolgt über Quellungsmessungen in Lösungsmitteln mit unterschiedlichem  $\delta$ . Es wird die gravimetrische mit einer mikrooptischen Methode, bei der die Längenausdehnung einer Probe durch die Aufnahme von niedermolekularer Flüssigkeit gemessen wird, verglichen. Die angewendete mikrooptische Quellungsmessung bietet den Vorteil einer genaueren Bestimmung des Quellungsgades und darüber hinaus die Möglichkeit der Messung an sehr kleinen Probekörpern. So können wegen der diffusionskontrollierten Einstellung des Quellungsgleichgewichts sehr kurze Messzeiten erzielt werden. Die gravimetrische Methode erfordert wegen der größeren Probekörper weit längere Messzeiten. Für die untersuchten Modell-Polyurethane wird ein Wert für  $\delta$  von ca.  $9 \text{ (cal} \cdot \text{cm}^{-3})^{1/2}$  ermittelt. Der Vergleich mit Daten aus der Literatur belegt die Abhängigkeit von der molekularen Struktur der PU. Da sich die untersuchten physikalisch oder chemisch vernetzten PU-Systeme nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, lassen sich die Flory-Rehner-Gleichung und entsprechende Spannungs-Deformationsbeziehungen zur Bestimmung von  $\nu$  nicht anwenden.

Da sich PE nur in siedendem Xylol quellen oder lösen lässt, können nur vergleichende Untersuchungen zum Vernetzungsgrad in Anlehnung an DIN 16892 durchgeführt werden. Ausgewertet wird gravimetrisch, da die PE-Proben bei der Quellung ihre Form verlieren. Darüber hinaus werden z.T. erhebliche Anteile von Makromolekülen aus den Messproben extrahiert. Die klassische Theorie des Quellverhaltens von Polymeren lässt sich nicht anwenden, da HMWPE und UHMWPE lineare Systeme sind und nur durch Verschlaufungen physikalische Netzwerke bilden. Der relative Einfluß von Gamma-Bestrahlung auf die Vernetzungsstruktur von PE konnte durch die Bestimmung des Vernetzungsgrades eindrucksvoll belegt werden. Die quantitative Bestimmung der Vernetzungsdichte von PE-Systemen bedarf auf Grund ihrer komplizierten Morphologie besonderer Anstrengungen. Entsprechende Arbeiten wurden bereits begonnen.

### DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei Frau Dipl. Ing. Edelgard Lorenz, Fachbereich 6.5, Polymere in Life Science und Nanotechnologie, BAM, für die mikroskopischen Untersuchungen.

### LITERATUR

- Apuchtina, N.P., Ehrenburg E.G., Rappoport L.J. (1966): Hochmol. Verb. 8, 1057
- Boyer, R.F. (1943): J. Chem. Phys. 13, 363
- Bristow, G.M., Watson, W.F. (1958): Trans. Faraday Soc. 54, 1731
- Flory, P.J. (1953): Principles of Polymer Chemistry, New York
- Flory, P.J., Hoeve, C.A.J., Ciferri, A. (1959): J. Polymer Sci. 34, 337
- Forrest, M.J. (2001): Rubber Analysis, Rapra Review Reports 139, Vol. 12, No 7, 56
- Gee, G. (1943): Trans. Inst. Rubber Ind. 18, 266
- Hansen, C.M. (2012): Hansen Solubility Parameters: A User's Handbook, Second Edition
- Katz, D., Salee, G. (1968): J. Polymer Sci. (A-2) 6, 801
- Kästner, S. (1958): Colloid & Polymer Sci., 157, 133
- Makitra, R.G., Pristanskii, R.E., Evchuk, I.Yu. (2005): Polymer Sci. 47, No 11, 1987
- Pacheco, M.F.M., Bianchi, O., Fiorio, R., Zattera, A.J. (2009): J. of Elast. and Plas, 41
- Scatchard, G. (1931): Chem. Reviews 8, 321
- Tobolsky, A.F., Carlson, D.W., Indictor, N. (1961): J. Polymer Sci. 54, 175
- Wolff, D., Von der Ehe, K., Jaunich, M., Böhning, M., Goering, H. (2013): J. of ASTM Internat., Vol. 25, STP 1547, 211

### AUTOREN

**Dipl.-Ing. Vesela Stoycheva**  
 Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-592  
 vesela.stoycheva@th-wildau.de

**Dr. rer. nat. Harald Goering**  
 Fachbereich 3.4, Sicherheit von Lagerbehältern  
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
 Unter den Eichen 87  
 12205 Berlin

**Dr. rer. nat. Dietmar Wolff**  
 Fachbereich 3.4, Sicherheit von Lagerbehältern  
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
 Unter den Eichen 87  
 12205 Berlin  
 T +49 30 8104-1341  
 dietmar.wolff@bam.de

**Prof. Dr. rer. nat. Michael Herzog**  
 Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften  
 Technische Hochschule Wildau [FH]  
 T +49 3375 508-332  
 michael.herzog@th-wildau.de





# HYBRIDER HANDEL ALS ANTWORT AUF SMART SHOPPING

Lukas Zühlke, Michael Stolle, Bertil Haack

## Zusammenfassung

Smart Shopping bedeutet, dass moderne Kunden eine Vielzahl verschiedener „Kanäle“ für den Kaufabschluss bei einer gewünschten Ware nutzen. Dieses Phänomen erstreckt sich über den gesamten Kaufprozess, vom ersten Auftreten eines Bedürfnisses bis zur Nachbetreuung des Kunden durch den Händler. In Zeiten des wachsenden E-Commerce und sich neu entwickelndem M-Commerce bildet sich jedoch bereits eine neue Form des zukünftigen Handels heraus, der hybride Handel. Die vorliegende Arbeit erörtert, warum hybrider Handel die Antwort auf Smart Shopping ist. Dabei wird zunächst das Smart Shopping erläutert (Kapitel 2) und daraus wird hybrider Handel abgeleitet und definiert (Kapitel 3). Im weiteren Verlauf der Arbeit werden Beispiele, Chancen und Risiken des hybriden Handels aufgezeigt und diskutiert (Kapitel 4). Fazit und Ausblick runden die Ausführungen ab (Kapitel 5).

## Abstract

Smart Shopping means that today's customer use a variety of channels for the transaction of a desired product. This phenomenon bears over the whole process of purchasing, from the upcoming desire, until the aftercare operations. In times of growing e-commerce and arising m-commerce, a new form of commerce is evolving, it's called hybrid commerce. In the present article the authors will discuss the topic, why hybrid commerce is the response to smart shopping. Therefore the term smart shopping will be elucidated (chapter 2) and from this term the definition of hybrid commerce will be extrapolated (chapter 3). Furthermore, examples, chances and risks of hybrid commerce will be revealed and discussed (chapter 4). The paper ends with a summary and forward looking statement (chapter 5).

## I. EINLEITUNG

Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass das Einkaufen einen weitreichenden Wandel erfährt. Während früher zwangsläufig der offline-Einkauf im Ladengeschäft dominierte und Schritt für Schritt durch den Versandhandel oder auch das Teleshopping ergänzt bzw. teilweise abgelöst wurde, werden Käufe heute in erheblichem Maße online am Computer bzw. mobil per Smartphone oder Tablet-PC getätigt. (Smart Shopping o. J.) Dabei wird erwartet, dass in „etwa 5 Jahren [...] rund 80% der Waren im deutschen eCommerce-Handel über mobiles Shopping verkauft“ werden. (Smart Shopping o. J.: 8)

Entsprechend scheinen Beispiele wie die nicht mehr existierenden Versandhändler Neckermann und Quelle und der in schweres Fahrwasser geratene Karstadt-Konzern die Vermutung zu stützen, dass zukünftig nur noch die Handelsunternehmen erfolgreich am Markt agieren können, die sich mindestens auf den Einkaufskanal „online“, insbesondere aber auf den Kanal „mobil“ konzentrieren.

Diese Annahme entspricht so jedoch nicht der Realität. Tatsächlich deutet sich seitens der Verbraucher eine Entwicklung in Richtung Smart Shopping an (Abbildung 1): Abhängig vom gewünschten Gut nutzen Smart Shopper jede mögliche Kombination der Kanäle offline, online und mobil, um sich über das interessierende Produkt zu informieren, es auszuwählen und schließlich zu bezahlen. (Smart Shopping o. J.)

Folglich darf eher vermutet werden, dass die Berücksichtigung des Smart Shoppings ein kritischer Erfolgsfaktor für den Handel ist.

Was genau bedeutet dies für den Handel? Wie sollte er auf Smart Shopping reagieren? Welche organisatorischen, technischen und sonstigen Maßnahmen sind erforderlich?

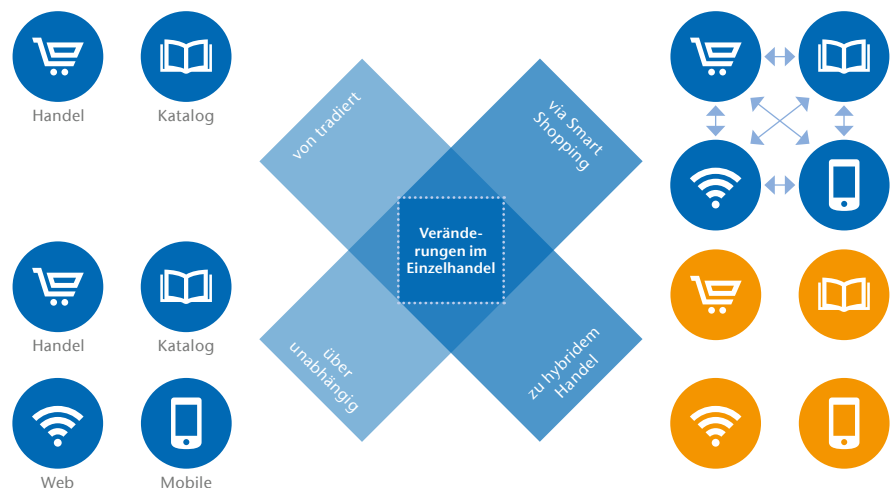


Abb. 1) Das veränderte Geschäftsmodell für den Einzelhandel (eigene Darstellung in Anlehnung an Profitable growth in a digital age 2013).

Die vorliegende Arbeit gibt Antworten auf diese Fragen – teilweise ausgerichtet auf den Textileinzelhandel in Deutschland. Zunächst wird dazu das klassische Einkaufsverhalten der Kaufinteressenten sowie der Kunden beschrieben und es werden Aussagen zum Smart Shopping als modernem Einkaufsverhalten getroffen (Kapitel 2). Als Reaktion hierauf wird das Konzept des hybriden Handels entworfen und exemplarisch erörtert (Kapitel 3). Weiterhin werden bereits existierende Beispiele diskutiert, die zeigen, inwieweit Ansätze hybriden Handels aktuell Eingang in den Textileinzelhandel gefunden haben (Kapitel 4). Fazit und Ausblick beschließen die Ausführungen (Kapitel 5).

## II. SMART SHOPPING

Einkaufsprozesse vollziehen sich in drei Phasen (Abbildung 2):

- Vorkaufphase
- Kaufphase
- Nachkaufphase

ausführen und dafür Sportschuhe erwerben möchte. In diesem Fall beginnt der Kunde zumeist mit der Suche nach Informationen über das gewünschte Produkt auf Basis eigener Erfahrungen, der Erfahrungen ihm bekannter Personen oder auch mit Hilfe von Werbematerialien. Hat er genügend Informationen gesammelt, wertet er die Ergebnisse seiner Nachforschungen aus und evaluiert die Kaufmöglichkeiten. (Foscht et al. 2007: 161 ff.)

Kommt der potenzielle Käufer dabei zu für ihn positiven Ergebnissen seiner Suche, können wir annehmen, dass er die Intention entwickelt, einen bestimmten Sportschuh zu kaufen. Damit beginnt der Übergang zur Kaufphase, in der sich der tatsächliche Kauf vollzieht und der potenzielle Käufer zum (tatsächlichen) Käufer wird.

Beim offline-Einkauf kommt der Zeitspanne zwischen dem Zustand „Kaufintention entwickelt“ und „Kaufintention kann erfüllt werden“ eine erhebliche Bedeutung zu. Je länger sie dauert, beispielsweise weil sich der potenzielle Käufer am Wochenende informiert hat, aber erst nach dem

startet der gesamte Prozess erneut und der Kauf wird unter Umständen sogar verworfen. (Foscht et al. 2007: 87)

Ist es zum Kauf gekommen, die Ware also gegen Geld übergeben, beginnt die Nachkaufphase des erworbenen Produktes. Diese ist einerseits durch die (erwartete) Nutzung, etwa der fraglichen Sportschuhe, durch den Käufer gekennzeichnet. Andererseits ist es die Phase, in der wesentliche Maßnahmen zum Aufbau einer langfristigen Kundenbindung Platz greifen können. Diese Betreuung des Kunden kann in einem Angebot an Rückgabeberechtigten, Serviceleistungen bei Reklamationen sowie in Anregungen zu Nachkäufen bestehen. Im Textileinzelhandel beschränkt sie sich meist auf die Abwicklung von Reklamationen und Beschwerden. (Broeckelmann 2010: 38 ff.)

Dieses klassische Einkaufsverhalten hat sich zusammen mit dem Internet und dessen Nutzung als Verkaufsfläche rasant weiterentwickelt. Modernes Einkaufsverhalten ist in allen Einkaufsphasen vom Internet und seinen Möglichkeiten beeinflusst:

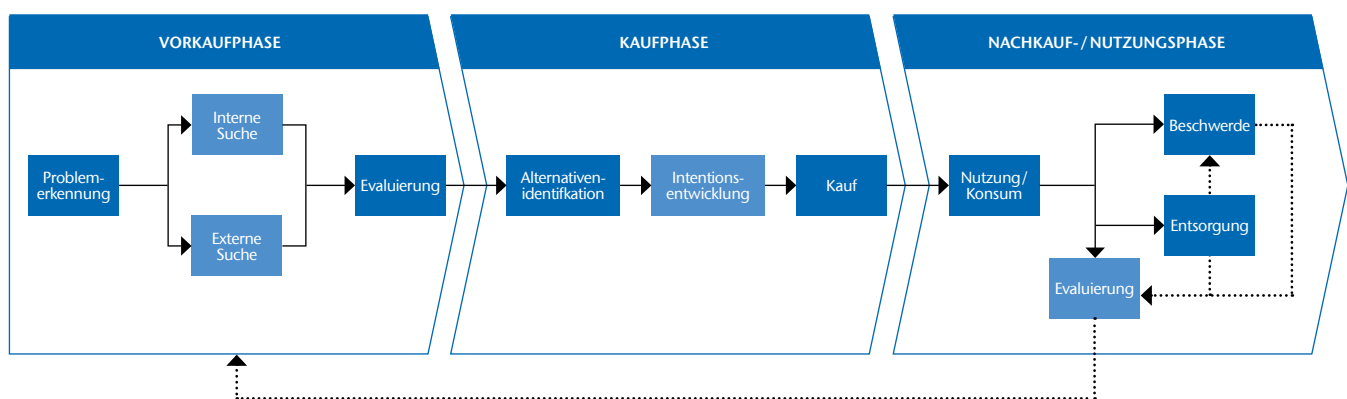


Abb. 2) Der Kaufprozess (Der Kaufprozess o. J.).

Klassisch, d.h. beim offline-Einkauf in einem Ladengeschäft, laufen diese Phasen in der Regel wie folgt ab:

Die Vorkaufphase setzt ein, wenn bei einem potenziellen Käufer ein Bedürfnis nach einem bestimmten Produkt entsteht. Das kann beispielsweise der Fall sein, wenn er eine neue Sportart

Wochenende einkaufen kann, desto eher kann es sein, dass der potenzielle Käufer seine Kaufintention verliert und vom Erwerb etwa der Sportschuhe absieht. Ursache können unter anderem zusätzliche Informationen sein, die der Interessent in diesem Zeitabschnitt erhält und die ihn zu einer erneuten Evaluation veranlassen. In diesem Fall

In Zeiten, in denen jeder Mensch Informationen im Internet nicht nur sondieren, sondern auch selbst weltweit zur Verfügung stellen kann, ist die Suche nach Fakten zu einem Produkt um ein Vielfaches leichter als früher ohne Internet. Zu den klassischen Informationsquellen gesellt sich ein Erfahrungsschatz der Kunden, die sich in



Foren und Weblogs zu den einzelnen Produkten austauschen. Die Vorkaufphase erfährt dadurch bereits deutliche Veränderungen.

Die wesentliche Neuerung im Informationsprozess ist jedoch, dass jeder Besitzer eines mobilen Endgerätes die Chance hat, sich mobil zu informieren und dann zu entscheiden, wie und wo der eigentliche Kauf stattfindet.

Während sich das klassische Einkaufsverhalten im Einzelhandel dadurch manifestiert, dass sich ein Kunde offline, also im Laden, informiert und auch offline, im besten Fall im selben Laden, einkauft, haben Interessenten nun zum Beispiel die Möglichkeit, sich noch vor Ort im Ladengeschäft via Internet über möglicherweise günstigere oder qualitativ hochwertigere Konkurrenzprodukte zu informieren und diese bei einem anderen Anbieter zu erwerben. Hiervon macht jeder dritte potenzielle Kunde Gebrauch. (Mobile Informationssuche wird für den Einkauf wichtiger 2012) Potenzielle Kunden nutzen aber auch alternative Vorgehensweisen: So bietet sich speziell beim Textileinzelhandel an, sich offline zu informieren und online zu kaufen. Dies bedeutet, dass der potenzielle Kunde die Ware nur noch im Laden testet, um Stoff, Größe und Haptik auszuprobieren. Der tatsächlicher Kauf und somit die Umsatzgenerierung für den Händler erfolgen dann jedoch bequem von zu Hause im Internet oder mobil per Smartphone oder Tablet-PC. Andere Kaufinteressenten informieren sich mobil auf ihrem Smartphone und kaufen im Laden, wenn sie dort den besten Preis bekommen oder sie die Ware noch am selben Tag benötigen. Wieder andere potenzielle Kunden informieren sich online über Produkte und kaufen diese dann auch sofort online ein. (Smart Shopping o. J.).

Modernes Einkaufsverhalten – **Smart Shopping** – ist damit dadurch charakterisiert, dass die Käuferinnen und Käufer – **Smart Shopper** – abhängig von der gewünschten Ware – z. B. Textilien oder Lebensmittel – jede mögliche Kombination der Einkaufskanäle offline, online und mobil nutzen, um sich über das interessierende Produkt

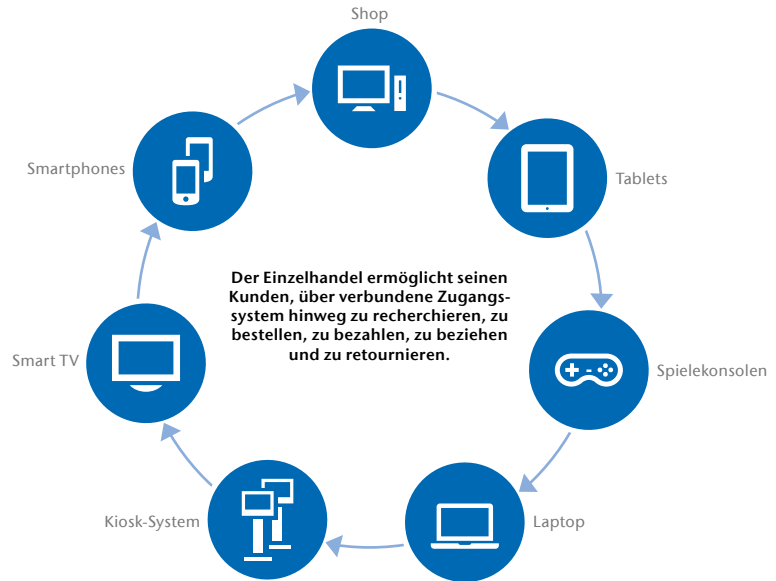


Abb. 3) Smart Shopping durch hybriden Handel (eigene Darstellung in Anlehnung an Marsden 2013).

zu informieren, es auszuwählen und schließlich zu bezahlen. (Smart Shopping o. J.).

Die Entscheidung des Smart Shoppers für sein jeweiliges Vorgehen basiert wesentlich auf den Vorteilen, die er dabei hat. Während das mobile Kaufen die Möglichkeit eröffnet, immer und überall Modeartikel zu erwerben, hat das stationäre Kaufen den Vorteil, dass der Interessent den Artikel anfassen und fühlen kann, was für viele immer noch ein wichtiger Bestandteil des Einkaufsprozesses ist. In anderen Fällen entscheiden Zeitvorteile oder auch die bequeme Zahlung mit Kreditkarte oder Smartphone.

Wie kann der Handel auf das Einkaufsverhalten der Smart Shopper reagieren? Unsere Antwort lautet: durch hybriden Handel.

### III. HYBRIDER HANDEL

Unter Multichannel-Handel wird verstanden, dass ein und derselbe Händler mehrere voneinander getrennte Vertriebskanäle für seine Waren zur Verfügung stellt, die von den Kaufinteressenten und Käufern als Einkaufskanäle genutzt werden können.

Entscheidendes Kriterium dafür, ob ein Händler Multichannel-Handel betreibt, ist, dass jeder einzelne Kanal auch ohne den anderen lebensfähig sein muss und Umsatz für den Händ-

ler generieren kann, dass also mehrere voneinander unabhängige Vertriebskanäle existieren.

Anders ausgedrückt: Multichannel-Handel ist durch zwei Bedingungen gekennzeichnet. Beim Multichannel-Handel kann ein potenzieller Käufer einerseits einen Vertriebskanal aus einer Menge verschiedener Kanäle für seinen Kauf auswählen. Andererseits muss der Kauf dann vollständig im gewählten Kanal abgewickelt werden, ohne dass ein Zugriff auf Informationen oder Ressourcen eines anderen Kanals erforderlich ist. (Zühlke 2013: 5).

Multichannel-Handel ist damit keine Antwort auf das Einkaufsverhalten der Smart Shopper, die im Extremfall zu beliebigen Zeitpunkten im Einkaufsprozess in beliebige andere verfügbare Vertriebs- bzw. Einkaufskanäle wechseln.

Entsprechend muss der Ansatz „Multichannel-Handel“ modifiziert werden, so dass er jegliche sinnvolle Verknüpfung der Vertriebskanäle zulässt. Wir kommen damit zum Konzept des „hybriden Handels“:

**Hybrider Handel** ist die Verknüpfung von mindestens zwei verschiedenen Absatzkanälen im Einzelhandel. Dabei ist entscheidend, dass sowohl der Händler als auch der Kunde die Möglichkeit haben, während des Verkaufs- und Kaufprozesses sinnvoll zwischen den Kanälen zu wechseln beziehungs-

weise Informationen aus den unterschiedlichen Kanälen miteinander zu verknüpfen.

Diese Art des hybriden Handels ist eine Erweiterung des Multichannel-Handels: Einerseits ist Multichannel-Handel Teil des hybriden Handels, weil jeder hybride Verkaufsprozess über einen ausgewählten Vertriebskanal abgewickelt werden kann und nicht über mehrere Kanäle abgewickelt werden muss. Andererseits geht hybrider Handel über den Multichannel-Handel hinaus, da sowohl der Kaufinteressent als auch der Händler mehrere Kanäle in einem Verkaufsprozess kombinieren kann und jeder Kanal Informationen für weitere Kanäle bereitstellt. Der Händler kann somit zum Beispiel Informationen, die er via Online-Handel über seine Kunden gewinnt, auch offline im stationären Ladengeschäft nutzen. Umgekehrt ist Entsprechendes auch den Kaufinteressenten und Kunden möglich. (Zühlke 2013: 5).

Entscheidend für den Erfolg des hybriden Handels ist, dass der Händler die Vorteile erkennt und für sich nutzt. Es ist wichtig, dass er ein ganzheitliches hybrides Konzept realisiert, das alle drei Phasen des Kaufprozesses abdeckt. Die Umsetzung eines derart weitgehenden Konzeptes bedeutet, dass händlerseitig umfangreiche technische und organisatorische Maßnahmen geplant und durchgeführt werden müssen. Dabei müssen auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des jeweiligen Unternehmens „mitgenommen werden“. (Zühlke 2013: 33)

Exemplarisch seien folgende sinnvollen Bausteine eines hybriden Konzeptes genannt (Zühlke 2013: 5ff.):

- Hybrider Handel baut auf mehreren Kanälen auf, die dem Interessenten oder Kunden zur Wahl gestellt werden. Allein der Interessent oder Kunde entscheidet, welchen der verfügbaren Kanäle er nutzt, um sich über ein Produkt zu informieren bzw. es zu erwerben. Hat der Interessent beispielsweise die Vorkaufphase abgeschlossen und sämtliche Informationen gesammelt, muss es ihm in der Kaufphase möglich sein, einen anderen Kanal zu wählen.

- Hybrider Handel erfordert sowohl eine passende Homepage des Händlers als auch eine Applikation für den mobilen Gebrauch. Im besten Fall sind beide ähnlich aufgebaut und haben dasselbe Design sowie dieselbe Navigation. Dies kann eine mit erheblichen Kosten für den Händler verbundene Forderung sein. Möglicherweise bieten aber Angebote wie das von Couch Commerce die Chance, zügig und preiswürdig zu einer passenden Lösung zu kommen. (Wandeln Sie Ihren Onlineshop 2013)

- Im Falle von Textilien haben potenzielle Kunden oftmals den Wunsch, sich die Ware vor dem Erwerb anzuschauen und sie anzuprobieren. Es kann auch sein, dass das Kleidungsstück noch am selben Tag benötigt wird. Hybrider Handel lässt hier neben online- und mobil-Kanal auch eine offline-Einkaufsmöglichkeit – ein Geschäft oder ein Kaufhaus – als Vertriebskanal sinnvoll erscheinen (vgl. Kapitel 4).

- Verkaufspersonal und -fläche im offline-Handel sollten ebenfalls auf Smart Shopper eingestellt sein. Neben den technischen sollten auch die personellen Voraussetzungen gegeben sein, um flexibel auf Smart Shopper und deren Einkaufsverhalten reagieren sowie beispielsweise die aus den über die Käufer verfügbaren Informationen resultierenden Synergien heben zu können (vgl. Kapitel 4).

- In der Nachkaufphase können so genannte Location-based-Services, „standortbezogene Dienste, die auf aktuelle Aufenthaltsposition abgestimmte Informationen zur Verfügung stellen“ (Location-Based-Services 2013), im Sinne der Kundenbindung genutzt werden (vgl. Kapitel 4).

Zusammengefasst bietet hybrider Handel dem Händler und dem Kunden die Möglichkeit, auf verschiedenen Vertriebs- bzw. Einkaufskanälen aktiv zu werden, die einerseits unabhängig voneinander, andererseits aber auch bestmöglich miteinander verknüpft sind. Für den Händler bedeutet dies

zunächst eine Umstrukturierung bestehender Konzepte und Denkweisen sowie wahrscheinlich erhebliche Investitionen in seine Technik. Er kann jedoch eine höhere Kundenbindung und Umsätze über alle Kanäle und damit ökonomischen Nutzen erwarten. Für Kaufinteressenten und Kunden bestehen die Vorteile des hybriden Handels darin, dass sie volle Flexibilität besitzen und jeden Kanal auf dem Weg zum Kauf betreten und wieder verlassen können, womit hybrider Handel dem Einkaufsverhalten „Smart Shopping“ voll gerecht wird.

#### IV. BEISPIELE FÜR HYBRIDEN HANDEL IM TEXTILEINZELHANDEL

Obwohl das Phänomen des hybriden Handels erst beginnt, setzen bereits viele Textileinzelhändler in Deutschland auf Ideen, die nach der gegebenen Definition einen hybriden Handel darstellen.

Beispielsweise nimmt das Düsseldorfer Modelabel Jades24 sehr gezielt die Vernetzung der Kanäle in seine Verkaufsstrategie auf und nutzt somit bereits jetzt ein sehr umfassendes hybrides Konzept, welches Vorteile sowohl für den Kunden als auch für den Händler bietet. Die Idee von Jades24 ist, dem Kunden jederzeit zu ermöglichen, die Ware, die in den beiden Filialen in Düsseldorf ausgestellt ist, zu sehen und zu kaufen.

Realisiert wird dieses Konzept zunächst mittels QR-Code-basierten Schaufenstern, die der Düsseldorfer Kundschaft auch nach Ladenschluss die Möglichkeit eröffnen, die im Schaufenster ausgestellte Mode per Applikation auf dem Smartphone zu scannen und zu erwerben.

Befindet sich ein Kunde jedoch nicht in Düsseldorf, so gibt es dennoch eine Chance für ihn, die Ware so zu sehen, wie sie im Schaufenster ausgestellt wird. Dieses von Jades24 entwickelte **Windowshopping** ist eine Verknüpfung von Komponenten des stationären Handels mit Bausteinen des Online-Vertriebs, indem online Fotografien der Ausstellungen aus den Schaufenstern abgebildet werden (Abbildung 4).

Darüber hinaus finden hybride Ansätze auch auf der Verkaufsfläche der beiden Filialen erhebliche Beachtung. So nutzt Jades24 gezielt Kundendaten, um die Kunden auf besondere Aktionen in den Stores wie zum Beispiel Modenschauen aufmerksam zu machen. Hier werden Location-based-Services eingesetzt, welche ein personenbezogenes und gezieltes Marketing für Jades24 ermöglichen. Sollte es der Fall sein, dass ein Kunde eine Ware, die er im Internet gesehen hat, nicht mehr im stationären Handel vorfindet, kann er die Ware jederzeit mittels iPads, die sich im Laden befinden, bequem in den Store oder nach Hause bestellen. (Jades24 2013).

Ein weiterer Vorreiter in hybriden Handelskonzepten im Textileinzelhandel in Deutschland ist die Firma Esprit. Mit der Implementierung einer Verfügbarkeitsprüfung von online entdeckter Mode gelingt ihr eine Besonderheit in

verfügbar ist. Über eine Farbskala wird dem Kunden zusätzlich der Grad der Verfügbarkeit angezeigt. Im Falle einer Nichtverfügbarkeit werden die Adresse und die Telefonnummer des wiederum nächstgelegenen Stores angezeigt, um die Ware dort per Telefon bestellen zu können.

Hinzu kommt, dass die Verfügbarkeit differenziert für verschiedene Farbkombinationen und Größen des jeweiligen Artikels dargestellt wird. Dabei kann die genaue Passform in Erfahrung gebracht werden, und über die Auswertung von Erfahrungsberichten wird automatisch ein Feedback anderer Kunden gegeben, wie die Ware beim Tragen ausfällt.

Zusammengefasst kann der Onlinekunde demnach einen scheinbar stationären Besuch im Laden durch den Onlinehandel ersetzen, da sämtliche Informationen vorab verfügbar sind.

mitglieder den größten Umsatz generieren, die sowohl online als auch offline einkaufen. Daher versucht Esprit die Schnittstelle zwischen Online- und Offlineeinkauf so problemlos wie möglich für die Clubmitglieder zu gestalten. Dies zeigt sich speziell bei dem eigens für Esprit entwickelten Bonuspunktemodell. Jedes Clubglied bekommt für seinen Einkauf Bonuspunkte, welche es dann gegen Gutscheine oder Rabatte einlösen kann. Diese Form der Punktevergabe gilt als beliebtes Mittel im Marketing, um bei den Kunden einen stärkeren Kaufwillen zu erzeugen. Das Besondere am System von Esprit ist aber, dass ein Kunde, welcher normalerweise stets online einkauft, auch offline über den Gutschein verfügen und diesen dann im stationären Handel einlösen kann. Ebenfalls ist es für den klassischen Ladenkunden möglich, seine Bonuspunkte im Onlineshop von Esprit zu nutzen. Diese Form des Umgangs mit den Clubmitgliedern eröffnet dem Kunden die größtmögliche Flexibilität und bildet eine starke Verknüpfung zwischen den Basiselementen des stationären Handels und des Onlineversandhandels. (Esprit Global Image GmbH 2013).

Beim Einkauf im Onlinehandel steht der Kunde meist vor dem Problem, dass er sich für eine Kombination der Waren entschieden hat, aber nicht genau sagen kann, ob diese farblich und vom Schnitt zueinander passen könnten. Auch hier hat Esprit seit diesem Jahr eine Neuerung in den Onlinehandel implementiert. So ist es möglich, dass Kunden, die sich für verschiedene Artikel im Onlineshop interessieren, diese einer virtuellen Versuchsfigur per Drag & Drop-System in einer virtuellen Umkleidekabine zur Anprobe geben können (Abbildung 5). Die Puppe kann dabei verschiedene Frisuren haben und somit dem Aussehen des Kunden angepasst werden. Ebenfalls ist es möglich, verschiedene Artikel übereinander zu tragen, so dass nicht nur ein Pullover und eine Hose getestet werden können, sondern auch ganze Outfits. (Esprit Global Image GmbH 2013).

#### V. FAZIT UND AUSBLICK

Das Einkaufsverhalten ist einem erheblichen Wandel unterworfen.

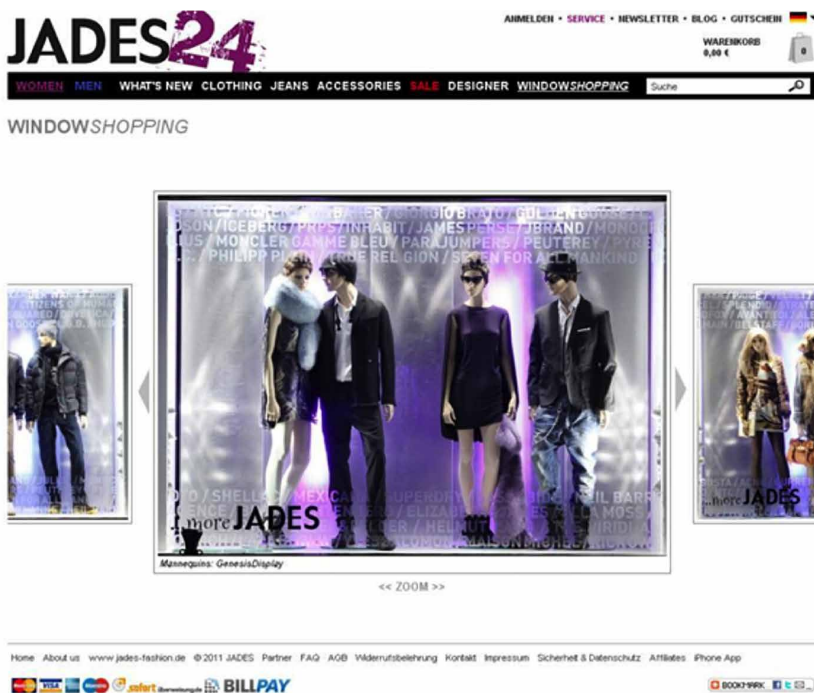


Abb. 4) Jades24 Windowshopping (Stuttgarter Internetagentur LIGADIGITAL 2011).

der Verknüpfung von stationärem Offlinehandel und Onlinegeschäft.

Jeder Besucher der Website esprit.de hat die Möglichkeit, sich einen bestimmten Artikel online vorab auszusuchen und dann über eine Anzeige zu recherchieren, in welchem nächstgelegenen Laden das jeweilige Teil

Jedoch kann die finale Kaufentscheidung auch offline stattfinden, ohne langen Suchvorgang, in welchem Shop der Artikel verfügbar ist. (Esprit Global Image GmbH 2013).

Esprit hat aktuell etwa 7 000 000 Clubmitglieder. Das Unternehmen verfolgt die Überlegung, dass diejenigen Club-



Abb. 5) Espris virtuelle Umkleidekabine (Esprit Stylingstudio 2013).

Mehr noch als heute werden potenzielle Kunden zukünftig eine enge Verzahnung von offline-, online- und mobilem Einkauf nutzen. Das Konzept des hybriden Handels greift diese Anforderungen auf. Die Beispiele im Kapitel 4 zeigen, dass im deutschen Textileinzelhandel schon erste Ansätze für hybriden Handel gegeben sind. Der Handel beginnt bereits, sich darauf einzustellen, dass dem Kunden der Wechsel der Kanäle möglichst leicht gemacht werden muss, um somit Loyalität des Käufers zum Anbieter zu schaffen und dafür zu sorgen, dass der Kunde auch bei der jeweiligen Marke bleibt.

Damit stehen die Anbieter aber erst am Anfang einer Entwicklung. Entscheidend wird sein, das Onlinegeschäft nicht als Konkurrenz, sondern als Chance zu sehen. Die Textilunternehmen müssen einen ganzheitlichen Ansatz realisieren, der es einerseits ihnen ermöglicht, Informationen, die über den Kunden im einen Kanal benötigt werden, aus einem anderen Kanal zu bekommen, und der andererseits dem Kunden die Chance bietet, jederzeit in allen Phasen des Kaufprozesses den Kanal zu wechseln und dabei bei demselben Unternehmen zu bleiben.

Wenn es den Händlern gelingt, diese Kanalgrenzen auch unternehmensintern so niedrig wie möglich zu halten und dafür zu sorgen, dass die stationären Händler auch mit dem Onlinehandel zusammenarbeiten, kann der hybride Handel für alle Beteiligten gewinnbringend sein. Wenn dies nicht geschieht, besteht die Gefahr darin, dass der Kunde die stationären Läden mehr als Showrooms sieht, in denen er sich über Produkte informiert und sie austestet, und dass er

den Kauf dann letztendlich jedoch woanders vollzieht.

Dies ist nicht gewünscht und ist zu vermeiden. Tatsächlich bieten in den hybriden Handel integrierte Showrooms ein großes Potenzial für den Verkauf. Beispielsweise können sie von großen Modemarken gezielt aufgebaut werden, um das Erlebnis „Einkaufen“ so spannend wie möglich für den Kunden zu gestalten. In diesem Punkt kann der deutsche Textileinzelhandel bereits jetzt von anderen Ländern lernen. In London hat Burberry einen Laden realisiert, der darauf ausgelegt ist, dem Kunden vom Betreten des Ladens bis zum Verlassen ein Event zu bieten. Dazu gehören echte und virtuelle Konzerte, Verkäufer, die Informationen zu den Produkten auf Tablet-PCs zeigen, und virtuelle Spiegel, die Produktinformationen präsentieren. (Burberry 2013).

Eine weitere wichtige Komponente, die derzeit im deutschen Textileinzelhandel fehlt, ist die Einbindung von Social Media am Point of Sale. Seiten, auf denen sich die Menschen im Internet verbinden, um Informationen auszutauschen und in Kontakt zu bleiben, gewinnen im Alltag immer mehr an Bedeutung und nicht selten werden Freunde zuerst via Facebook gefragt, ob die Hose gut aussieht, bevor sie gekauft wird. Ein Pionier diesbezüglich ist C&A in Brasilien. Dort sind die Kleiderbügel, auf denen die Modewaren hängen, mit dem Internet verbunden, und es wird direkt im Laden angezeigt, wie vielen Personen das Kleidungsstück aktuell gefällt. Somit wird ein wichtiges Maß, das für oder gegen eine Kaufentscheidung sprechen kann, direkt in den Laden transferiert. (Likes in Echtzeit 2012).

Eine der größten Herausforderungen für den Erfolg des hybriden Handels wird jedoch sein, die Menschen davon zu überzeugen, dass auch und gerade der hybride Handel sorgfältig mit ihren Daten umgeht, dass Verknüpfungen von mobilem, online und stationärem Handel also nicht bedeuten, dass Datenschutzbelange außer Acht gelassen werden. Hier

steht speziell der deutsche Textileinzelhandel vor der großen Aufgabe, den sicherheitsorientierten deutschen Kunden zu beweisen, dass hybrider Handel einen Mehrwert ohne unnötige Gefahren bieten kann. Dies kann nur gelingen, wenn hybrider Handel als ganzheitliches, sicheres Konzept implementiert wird, das dem Kunden einen geschützten und zugleich vereinfachten Einkauf im Sinne des Smart Shopping ermöglicht.

## LITERATUR

Broeckelmann, Philipp 2010: Konsumentenentscheidung im Mobile Commerce, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden.

Burberry 2013: <http://de.burberry.com/store/store-locator/regent-street-store/> o. A., Zugriff am 05.09.2013.

Der Kaufprozess o. J.: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/media/257/222629.png> o. A., Zugriff am 08.09.2013.

Esprit Stylingstudio 2013: <http://www.esprit.de/styling-studio> o. A., Zugriff am 29.08.2013.

Foscht, Thomas; Swoboda, Bernhard 2007: Käuferverhalten Grundlagen – Perspektive – Anwendungen, 3. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden.

Jades24 2013: Payment 2013 - Praxiserfahrung aus dem High-End-Fashion E-Commerce mit Schwerpunkt Payment, Frankfurt/Main.

Likes in Echtzeit 2012: <http://www.futurebiz.de/artikel/likes-in-echtzeit-ca-zeigt-gefällt-mir-angaben-in-filialen-an/> o. A., Zugriff am 05.09.2013.

Location-Based-Services 2013: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/location-based-services.html> o. A., Zugriff am 04.07.2013.

Marsden, Paul 2013: Digital Point of Sale – Reinventing Retail for the connected Customer. Online verfügbar unter: [http://www.szygy.de/media/21462/szygy\\_whitepaper\\_digital\\_pos.pdf](http://www.szygy.de/media/21462/szygy_whitepaper_digital_pos.pdf). Zugriff am 08.09.2013.

Mobile Informationssuche wird für den Einkauf wichtiger 2012: <http://www.channelobserver.de/artikel/mobile-informationssuche-wird-fuer-den-einkauf-wichtiger/> o. A., Zugriff am 22.07.2013.

Profitable growth in a digital age – From multi-channel to Total Retail 2013: <http://www.pwc.co.uk/retail-consumer/total-retail/introduction.jhtml> o. A., Zugriff am 08.09.2013.

Smart Shopping o. J.: [http://www.verbraucher.org/11110\\_eBay\\_verbraucher.pdf](http://www.verbraucher.org/11110_eBay_verbraucher.pdf) o. A., Zugriff am 21.08.2013.

Stuttgarter Internetagentur LIGADIGITAL 2011: <http://www.openpr.de/news/564279/Stuttgarter-Internetagentur-LIGADIGITAL-ueberarbeitet-den-Online-Shop-JADES24.html> o. A., Zugriff am 02.09.2013.

Wandeln Sie Ihren Onlineshop 2013: <http://www.couch-commerce.com/#!/de-de/> o. A., Zugriff am 31.08.2013.

Zühlke, Lukas 2013: Einkaufsverhalten in Zeiten des hybriden Handels – Untersuchungen zu notwendigen Anpassungen der Wertschöpfungskette am Beispiel des Textileinzelhandels in Deutschland, Bachelorarbeit, Technische Hochschule Wildau, Wildau.

## AUTOREN

**Lukas Zühlke,**  
B.A. Europäisches Management (TH Wildau)  
Consulting Analyst  
SHC Stolle & Heinz Consultants GmbH & Co. KG  
Kleine Johannisstraße 20  
20457 Hamburg  
l.zuehlke@stolleundheinz.com

**Dipl.-Kfm. Michael Stolle**  
Geschäftsführender Gesellschafter  
SHC Stolle & Heinz Consultants GmbH & Co. KG  
Kleine Johannisstraße 20  
20457 Hamburg  
m.stolle@stolleundheinz.com

**Prof. Dr. Bertil Haack**  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik, Recht TH Wildau  
Hochschulring 1  
15745 Wildau  
bertil.haack@th-wildau.de





# TRANSFORMATION EINER EPK IN EINE FORMALISIERTE METHODE

Klaus D. Bösing, Jan Geldmacher

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag untersucht die Transformation einer Ereignisgesteuerten Prozesskette in diverse formalisierte Modellierungsmethoden. Die hierfür gewählten formalen Methoden sind Business Process Model and Notation, Unified Modeling Language, Subjektorientiertes Business Process Management und Petrinetze. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Vor- und Nachteile der Methoden zu definieren und eine geeignete Methode für sowohl Modellierung als auch Automatisierung von Geschäftsprozessen zu finden. Zunächst werden theoretische Grundlagen der Geschäftsprozessmodellierung dargestellt. Des Weiteren wird auf die gesonderten Charakteristika der vorgestellten Methoden eingegangen. Ein besonderer Fokus liegt hier auf dem Thema Syntax und Semantik der Methoden. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Transformation sowie die Vorteile und Nachteile der gewählten Methoden kritisch betrachtet. Als Grundlage für den Vergleich wurde das Beispiel eines Bewerbungsverfahrens als Ereignisgesteuerte Prozesskette entwickelt.

## Abstract

This paper examines the transformation of an event-driven process chain in the most used formal modeling methods for development of business processes. The chosen formal methods are Business Process Model and Notation, Unified Modeling Language, Subject-oriented Business Process Management and Petri nets. The aim of this paper is to define the advantages and disadvantages of these methods and to determine the most suitable method for modeling and automation of business processes that enables the transformation of an EPC into a formal method. The first phase of this paper consists of some basic theoretical topics about business process modeling. In the second phase an analysis of the special characteristics of the methods, such as syntax, semantics etc. can be found. The third part contains the results of the transformations, which is a comparison of EPC with each formal method and a determination of their advantages and disadvantages. For the comparison the EPC of the "application for employment" procedure was first developed. After that, the EPC was transformed into the four formal methods.

## I. EINLEITUNG

Die Motivation für diesen Beitrag entstand in Projekten in Zusammenarbeit mit dem ICT-Dienstleistungsunternehmen T-Systems. In einer Zeit, in der sich Märkte schnell verändern und Unternehmen dem globalen Wettbewerb ausgesetzt sind, werden immer neue Wege gesucht, noch effektiver und effizienter zu wirtschaften, um am Markt bestehen zu können. Aber nicht nur der Wettbewerb wird härter, auch die Erwartungen der Kunden steigen. Schnelligkeit und Flexibilität sowie Kundennähe sind dabei oft genannte Forderungen. Unternehmen stehen dadurch im ständigen Wandel. Um auf diese Veränderungen am Markt reagieren zu können, ist es für sie unabdingbar, die betrieblichen Abläufe stetig zu optimieren bzw. an die Gegebenheiten anzupassen. Dafür ist jedoch eine Dokumentation sinnvoll, die es ermöglicht, die Prozessabläufe zu strukturieren und Standards festzuhalten. Prozesse, die im alltäglichen

Arbeitsgeschäft schon fast automatisch ablaufen, werden häufig nur von den Mitarbeitern beherrscht, die sie ausführen, und nicht selten wenden diese Mitarbeiter Standards an, die sie selbst durch ihre Erfahrung und Arbeit mit den Prozessen gesammelt und festgelegt haben. In der Praxis steht daher auch der Prozess und nicht die Technologie, die diesen ermöglicht, im Mittelpunkt. Die Geschäftsprozesse sind also maßgeblich am Erfolg eines Unternehmens beteiligt. Der Detaillierungsgrad eines Prozesses spielt eine ebenfalls wichtige Rolle, da eine neue Abstraktionsebene eines in der Realität bestehenden Prozesses dazu neigen kann, relevante Informationen auszulassen. Ohne eine Dokumentation der betrieblichen Abläufe ist es nicht möglich, komplexe Sachverhalte auf eine einheitliche Sicht zu reduzieren.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Dokumentationsmöglichkeiten, um betriebliche Abläufe transparent zu machen und eine Optimierung die-

ser zu ermöglichen. Die Modellierung der Geschäftsprozesse kann das Verständnis über Tätigkeiten, Funktionen, Rollen oder Schnittstellen geben und somit zur Erhöhung der Transparenz von Abläufen innerhalb und außerhalb eines Unternehmens beitragen. Damit wird zum einen die Verfahrenssicherheit erhöht, die wiederum Risiken minimieren kann, und zum anderen schafft die Modellierung eine Basis für weiterführende Aktionen, wie z. B. Schwachstellenanalysen oder Optimierung organisatorischer Abläufe. Die Automatisierung ermöglicht nicht nur die Verwaltung der Arbeitsabläufe (Workflow-Management), sondern auch die Verkürzung von Prozessen. Eine ganzheitliche Optimierung betrieblicher Abläufe ist demnach in der Praxis nur durch die Modellierung und die Automatisierung dieser in Form von Geschäftsprozessmodellen möglich.

Die Modellierungsmethode Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) hat sich nicht als formeller Standard durch-

setzen können, wird aber dennoch in vielen Unternehmen als de-facto-Standard betrachtet. Grundsätzlich erfüllt die Methode die fachlichen Anforderungen, die an die Prozessmodellierung gestellt werden. In der Praxis führt die Methode u. a. zu folgenden Problemen (Bösing 2013) :

- Bei der Abbildung von komplexen und kreativen Geschäftsprozessen lassen sich Überwachungs- und Kontrollstrukturen nur bedingt modellieren.
- Wegen der strengen Modellierungsregel gestaltet sich eine aussagekräftige Benennung von Ereignissen oft als problematisch.
- Die EPK-Methode ist für die Simulation von Geschäftsprozessen nur geeignet, wenn zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt werden.

Dies sind nur einige Beispiele. Heute besteht in vielen Unternehmen der Wunsch, ihre oftmals auf fachlicher Ebene modellierten Geschäftsprozesse als Workflow mit einem Workflow Management System ausführen zu lassen. Die Methode stößt aufgrund des fachlichen Konzepts an ihre Grenzen, da die Möglichkeit der Umsetzung in automatisierte Workflows fehlt. Aufgrund des fehlenden Formalismus stellt sich die Frage, inwieweit sich eine semiformale Methode in eine formalisierte Methode überführen lässt.

Ziel dieses Beitrags ist es, eine geeignete Methode zur Modellierung und Automatisierung von Geschäftsprozessen zu ermitteln, die die Transformation einer Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) in eine formalisierte Methode ermöglicht. Diese soll sowohl fachlich als auch operativ einsetzbar sein und bestenfalls ohne Verluste von Informationen funktionieren. Zudem sollen die gebräuchlichen Methoden aus der Praxis vergleichend dargestellt werden, um Vor- und Nachteile aufzuzeigen und diese auf ihre Nachhaltigkeit in der Praxis zu prüfen. Darüber hinaus soll untersucht werden, welche formalen Methoden für den langjährigen Einsatz in Unternehmen tragbar und geeignet sind.

Grundlage dieses Beitrags ist das Ergebnis eines Projekts „Modellierung und Automatisierung von Geschäftsprozessen“ im Sommersemester 2013 im Masterstudiengang Wirtschaftsinformatik der TH Wildau, an dem Luisa Alexandrow, Jan Geldmacher als Projektleiter, Sofia Geraniotaki, Nikolai Paul und Ansgar Wilhelm beteiligt waren (Alexandrow et al. 2013).

## II. GRUNDLAGEN DER GESCHÄFTS-PROZESSMODELLIERUNG

### II.I INFORMELLE, SEMIFORMALE UND FORMALE SPEZIFIKATION

Jede Modellierungsmethode gehört zu einer Formalitätskategorie. Es gibt drei Formalitätskategorien: formale, semiformale und informelle Methoden (Abb. 1). Die Unterscheidung zwischen den drei Kategorien wird entsprechend der Definition der Syntax und der Semantik jeder Methode getroffen (Brocke 2003):

- Informelle Methoden haben weder eine definierte Semantik noch eine definierte Syntax.
- Semiformale Methoden haben eine definierte Syntax, aber ihre Semantik ist nicht eindeutig definiert.
- Formale Methoden haben eine definierte Semantik und Syntax.

Methode	Syntax	Semantik
Informelle Methode	nein	nein
Semiformale Methode	ja	nicht eindeutig definiert
Formale Methode	ja	ja

Abb. 1) Formalitäten von Modellierungsmethoden.

### II.II SYNTAX UND SEMANTIK

Die Weitergabe von Informationen über eine Methode erfordert zwei grundlegende Dinge. Zum einen muss ein dem Sender und Empfänger bekannter Zeichensatz zur Verfügung stehen (Semantik) und zum anderen müssen beide Seiten die gleichen Regeln zum Einsatz dieser Zeichen verwenden (Syntax), damit die Information in einer Nachricht fehlerfrei übertragen werden kann.

Auch für die Modellierung und Automatisierung von Geschäftsprozessen müssen genau diese beiden Voraussetzungen erfüllt sein, weil ein Geschäftsprozess nichts anderes ist als eine Reihe von Informationen, die von einem Menschen zum anderen oder einer Software zur Automatisierung von Geschäftsprozessen übertragen werden.

Die Anforderungen an die Syntax und Semantik sind dabei umfassend. Beide sollen alle relevanten Informationen der Geschäftsprozesse übersichtlich, kurz und automatisierbar darstellen können. Die Auswahl der möglichen Symbole ist ein entscheidender Schritt bei der Komposition einer Methode, denn sie müssen aussagekräftig genug sein, um alle relevanten Informationen zu enthalten, dürfen jedoch nicht zu zahlreich werden, damit der Überblick nicht verloren geht. Der anspruchsvollste Teil ist jedoch die Möglichkeit der Automatisierung von Geschäftsprozessen. Denn in vielen Unternehmen besteht heute der Wunsch, Geschäftsprozesse als Workflows automatisch ausführen zu lassen (Bösing 2013). Damit ein Geschäftsprozess mittels einer Methode komplett automatisierbar ist, muss diese eine formale Semantik aufweisen (Eckleder 2006). Die meisten heutzutage angewandten Methoden werden in einer XML-Datei definiert und sind nicht formal.

### II.III STRATEGISCHE, FACHLICHE UND OPERATIVE EBENE

Die Prozessmodellierung ist ein wesentlicher Bestandteil eines integrierten Konzeptes des Geschäftsprozess- und Workflowmanagements. Der Gestaltungsrahmen umfasst auf mehreren Ebenen die Entwicklung der Unternehmensstrategie (strategische Ebene), das Prozess-Management (fachlich-konzeptionelle Ebene) und

das Workflow-Management (operative Ebene).

Auf der strategischen Ebene erfolgt die Betrachtung der einzelnen Geschäftsfelder des Unternehmens und somit die Auseinandersetzung mit dem damit verbundenen Erfolgsfaktoren. Folge davon ist die Entwicklung von Strategien für das Prozessmanagement. Aus den entwickelten Strategien werden auf der fachlich-konzeptionellen Ebene Geschäftsprozesse abgeleitet. In dieser Ebene werden mögliche Varianten eines Prozesses bewertet und anschließend die geeignetste ausgewählt. Anschließend folgt die Modellierung der Prozesse. Auf der operativen Ebene werden im ersten Schritt die in der fachlich-konzeptionellen Ebene modellierten Prozesse um weitere technische Elemente erweitert. Dieser Schritt ist nötig, um den Prozess mittels eines Workflow-Management-Systems automatisiert ausführen zu können. Die Ausführung dieser Prozesse ist der nächste Schritt in der operativen Ebene. Es werden konkrete Objekte des Prozesses erzeugt und in einem Workflow-Management-System ausgeführt. Im letzten Schritt, dem Prozess-Monitoring, wird das Verhalten der Prozesse verfolgt und kontrolliert (Gehring und Gadatsch 1999).

## II.IV MODELLIERUNGSMETHODEN

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Methoden für die Modellierung von Geschäftsprozessen, die für unterschiedliche Aufgaben entwickelt wurden. Die Methoden lassen sich in verschiedene Formalitätskategorien einordnen und haben eine mehr oder weniger ausgeprägte Syntax und Semantik. Ferner können sie unterschiedlichen Ebenen der Unternehmensstrategie zugeordnet werden. In der Vergangenheit diente die Modellierung überwiegend der Dokumentation und Analyse von Geschäftsprozessen. Vornehmlich wurden semiformale Methoden wie beispielsweise Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPKs) eingesetzt. In Unternehmen basieren viele in der Vergangenheit modellierte Geschäftsprozesse auf der EPK-Methode. Galt es in der Vergangenheit bestehende Prozesse systematisch zu dokumentieren, um sie anschließend

analysieren zu können, steht heute die Automatisierung von Geschäftsprozessen deutlich im Vordergrund. Die Überführung von EPKs als semiformale Methode in eine formale Modellierungsmethode wie beispielsweise der Business Model und Notation (BPMN) könnte dem Wunsch vieler Unternehmen ein Stück näher kommen, ihre mit Hilfe der EPKs entwickelten Geschäftsprozesse als Workflows auszuführen zu lassen. Damit könnten die in der Vergangenheit investierten Kosten gerechtfertigt werden. Für die Transformation von EPKs in formale Methoden wurden inzwischen unterschiedliche Ansätze entwickelt. In (Decker et al. 2009) und (Kotsev et al. 2011) werden Ansätze der Transformation von EPKs in BPMNs unter der Bedingung beschrieben, dass beide Modelle vollständig konform sind und kein Informationsverlust entsteht. In dem Ansatz von (Decker et al. 2009) wird beispielsweise deutlich, dass nur Teilbereiche automatisch bzw. halb automatisch in BPMN-Modelle überführt werden können. In (Dandl 1999) wird dokumentiert, dass objektorientierte Modelle nicht alle Aspekte der prozessorientierten Modelle abdecken. Da die S-BPM-Methode relativ neu ist, gibt es derzeit keine konkreten Lösungsansätze zur Transformation der EPK- in die S-BPM-Methode.

## III. ANALYSE UND EINSATZ DER METHODEN IN DER PRAXIS

### III.I MODELLIERUNG AM BEISPIEL EINES BEWERBUNGSVERFAHRENS

Um Aussagen über eine mögliche Transformation der EPK-Methode in eine formalisierte Methode bestmöglich darstellen zu können, wird ein Modell benötigt, das nach Möglichkeit viele syntaktische Elemente enthält und über die jeweilig verwendete Semantik der einzelnen Methoden überführt werden kann. Im vorliegenden Fall erfolgt dies am Beispiel eines Bewerbungsverfahrens, sowohl aus der Sicht des Bewerbers/der Bewerberin als auch der des Unternehmens (Abb. 2):

Zunächst schreibt der/die Bewerber/in eine Bewerbung an das Unternehmen, welches diese über den Postweg erhält und daraufhin eine Eingangsbestäti-

gung aufgibt und zurück an den Absender schickt. Anschließend prüft das Unternehmen die Bewerbung für diese Position und darüber hinaus auch für alle Stellen, auf die die Bewerbung eventuell zusätzlich passen könnte. Sollte die Bewerbung auf eine freie Stelle passen, so wird der/die Bewerber/in zu einem Interview eingeladen. Diese Einladung erfolgt wieder über den Postweg. Der/die Bewerber/in kann nach Erhalt der Einladung diese bestätigen oder einen anderen Termin vorschlagen. Die Antwort geht zurück zum Unternehmen, wo nun entweder der Termin genehmigt wird oder eine erneute Einladung mit einem anderen Termin bzw. eine Absage erteilt wird. Sollte eine Absage erteilt werden, so wird diese dem/der Bewerber/in mitgeteilt und der Prozess ist beendet. Sollte ein Interviewtermin beidseitig zustande kommen, so kann das Interview durchgeführt werden. Das Unternehmen kann nun entscheiden, ob es den/die Bewerber/in einstellen möchte oder nicht.

In diesem Beispiel werden alle Konnektoren (AND, OR, XOR) verwendet. Im Kontext ergeben sich bestimmte Ereignisse, die erst nach Ausführung bestimmter Ereignisse in Kraft treten. Es ist eine Interaktion von zwei Akteuren (Bewerber/in und Unternehmen) und bietet somit eine gute Ausgangslage zur Modellierung und Transformation in die jeweiligen Modelle.

### III.I.I EREIGNISGESTEUERTE PROZESSKETTEN

Die Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK) des Bewerbungsverfahrens wurde mit Hilfe des ARIS-Express-Modellierungswerkzeugs entwickelt. Während der Entwicklung wurden einige Vorteile und Nachteile dieser Methode festgestellt.

Es ist schwierig, den Prozess an einigen Stellen nachzubilden, auch wenn die Syntax und die Semantik der EPKs einfach zu verstehen sind. Im Wesentlichen passiert das, weil viele Regeln gerade in puncto der bereits angesprochenen Konnektoren sich nicht eins zu eins abbilden lassen, was sehr zeitintensiv ist. Ein weiterer Nachteil ist, dass jeder Funktion eine Rolle zu-

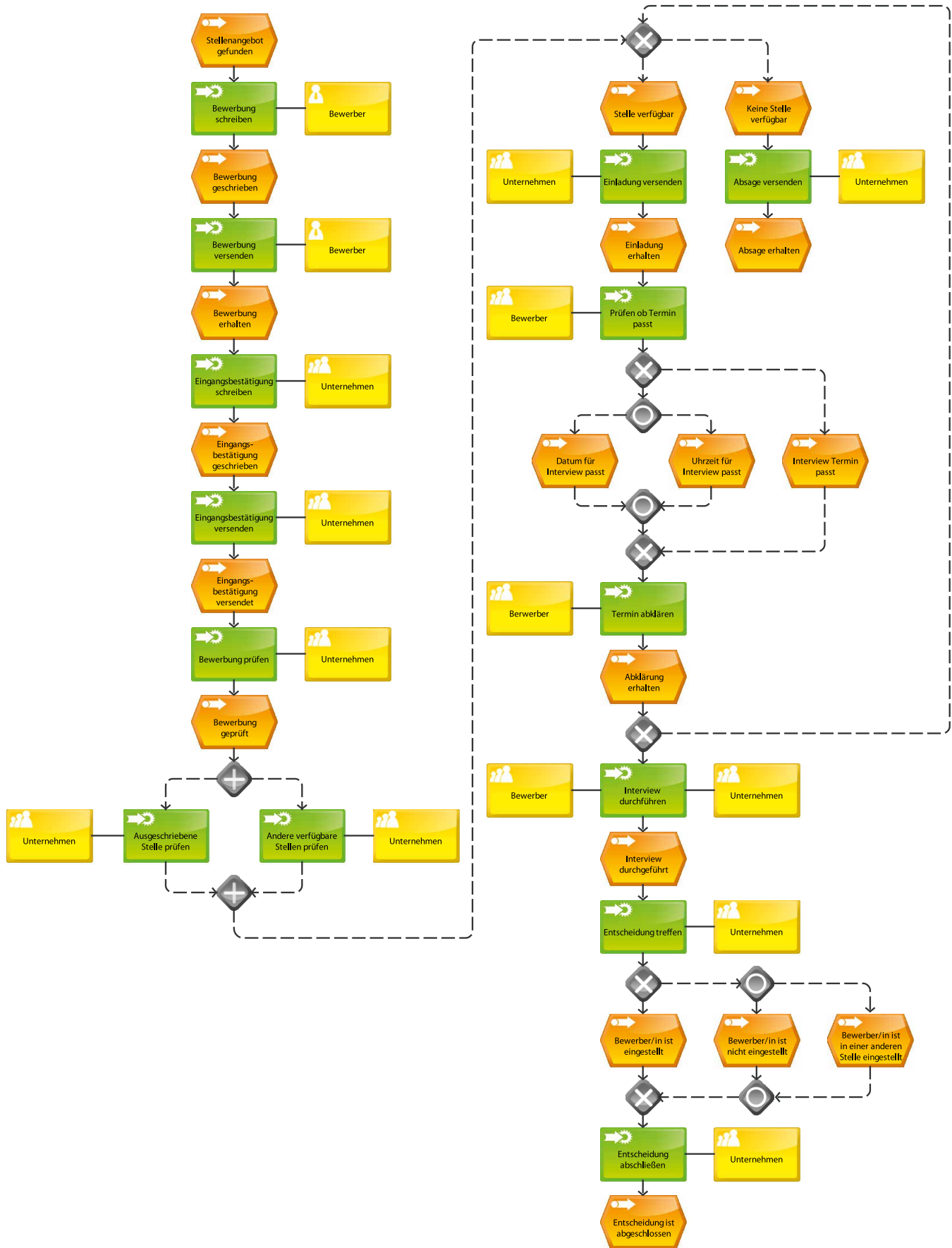


Abb. 2) Bewerbungsprozess als EPK-Basismodell modelliert.

geordnet werden muss. Deswegen gibt es dieselbe Rolle mehrmals statt nur einmal, wie z. B. in BPMN. Teilweise ist es nötig, die EPK an einer Stelle zu ändern. Diese Stelle konnte nicht so einfach ausfindig gemacht werden, da EPKs sehr lang und komplex werden können. Abhilfe schaffen hier die sogenannten Vorgangskettendiagramme, in denen eindeutig zugewiesen werden kann, wo die Zuständigkeitsbereiche der involvierten Akteure liegen.

Die EPK-Methode ist mächtig, weil sie exakt so viele Elemente besitzt, wie zur Darstellung eines Prozesses benötigt werden. Trotzdem wäre es hilfreicher, wenn noch mehr syntaktische Elemente bereitgestellt werden würden. Dies könnte vor allem bei der Darstellung zu mehr Klarheit beitragen. Im Fall des Bewerbungsverfahrens wäre z. B. ein spezielles Symbol für zeitgesteuerte Aktivitäten hilfreich.

Die Abbildung des Bewerbungsverfahrens ist letztendlich unproblematisch, da das gewählte Szenario nur einen kleinen überschaubaren Prozess darstellt. Bei größeren Prozessen, wie sie in den meisten Unternehmen vorkommen, ist dies wiederum komplexer und zeitintensiver. Ein großer und wichtiger Nachteil der EPK-Methode ist, dass die modellierten Prozesse nicht automatisierbar sind.

### III.1.II SUBJEKTORIENTIERTES BPM

Nach der Modellierung bzw. Transformation des Beispielszenarios in Subjektorientiertes BPM (S-BPM) kann festgestellt werden, dass S-BPM aufgrund der einfachen Verwendung – mit lediglich fünf Elementen für die Prozessmodellierung – für jeden Anwender geeignet ist. Dieser kann ohne besondere IT-Kenntnisse oder auch im Bereich der Modellierung im Allgemeinen komplexe Geschäftsprozesse beschreiben und diese als Applikation direkt ausführen sowie ad hoc wieder ändern. Dies wird zudem durch die Orientierung am Aufbau der natürlichen Sprache ermöglicht. Allein diese Aspekte können für Unternehmen wirtschaftsfördernd sein, da beispielsweise Schulungen für Mitarbeiter nicht dringend notwendig werden. Für den Einstieg wird dem Mitarbeiter

ein umfangreiches Handbuch zur Verfügung gestellt, das in ausführlichen und detaillierten Schritten die Methode und den Umgang mit der Software Metasonic Suite von der Metasonic AG beschreibt (Metasonic 2010).

Ein weiterer Punkt ist, dass dieses Modell durch die direkte Ausführung in Echtzeit dynamische Prozesse erlebbar machen kann. So ermöglicht S-BPM in Verbindung mit der Metasonic Suite eine sofortige Transformation in eine formale Theorie der Informatik. Die Prozessmodellierung ist dann für Maschinen lesbar bzw. kann diese als IT-Anwendung ausgeführt werden. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber der EPK-Methode, denn so muss das Prozessmodell nicht mehr in Software neu umgesetzt oder programmiert werden. S-BPM ist außerdem über eine erweiterte Applikation automatisierbar und somit in diesem Punkt bisher einzigartig.

Im Vergleich zu EPK stellt die S-BPM-Methode die Kommunikation bzw. Interaktion mit den Beteiligten (Subjekten) in den Mittelpunkt und adressiert damit einen sehr wichtigen Aspekt der organisatorischen Unternehmenskultur. Die Akteure modellieren ihre Abläufe selbst anhand der intuitiv bedienbaren Benutzeroberfläche und steuern dazu die benötigten Services. Die Prozessbeschreibung wird als XML-Dokument abgelegt und bei Ausführung als Workflow interpretiert. Das Modell stellt somit die Grundlage der Prozessausführung dar. Somit lässt sich vor allem die eingangs in dieser Arbeit beschriebene Problematik der nicht gegebenen Transparenz von Prozessen deutlich mindern, da Mitarbeiter durch die Subjektsicht und einfache Bedienung der Methode von Anfang an in die Prozessgestaltung eingebunden werden. So kann dieser Aspekt zu mehr Motivation und Zufriedenheit in Unternehmen führen, da Mitarbeiter sich stärker mit dem Unternehmen und den Prozessen identifizieren und bemüht sind, sich kontinuierlich zu beteiligen sowie Verbesserungsvorschläge einzubringen.

Vergleichend zur EPK-Methode ist jedoch ein entscheidender Nachteil festzustellen. Bei der Prozesserstellung

mittels S-BPM gibt es keine Konnektoren, wie es in EPK der Fall ist. Dies führt beim gewählten Szenario bereits zu einer unübersichtlichen Darstellung des Modells.

Im Fallbeispiel stellt sich heraus, dass nach dem Schritt der Bewerbungsprüfung entweder der Bewerber für die ausgeschriebene Stelle oder für eine andere verfügbare Stelle geprüft wird und daraufhin entweder eine Zusage oder eine Absage erhält. Zwar sind die gerichteten Graphen zu einem Funktionszustand in diesem Beispiel noch nachvollziehbar, die fehlenden Konnektoren führen aber bereits zur Unübersichtlichkeit des gesamten Modells. Daraus resultiert, dass bei größeren Prozessen, die in der Prozessmodellierung nicht selten anzutreffen sind, dieser Nachteil zu einem gravierenden Problem führen kann. Die Modellierung wird komplex und dies kann sogar bis zur Überforderung der Mitarbeiter führen, da diese die Prozesse selbst realisieren sollen, aber aufgrund der entstehenden Unübersichtlichkeit das Modell nicht mehr richtig lesen respektive verstehen können.

### III.1.III OBJEKTORIENTIERTE GESCHÄFTS-PROZESSMODELLIERUNG

Aktivitätsdiagramme der Unified Modeling Language (UML) werden verwendet, um dynamische Aspekte eines Systems zu modellieren. Modelliert werden nacheinander ablaufende oder möglicherweise nebenläufig ablaufende Schritte im Verarbeitungsprozess. Die Konzentration bei der Modellierung dieser dynamischen Aspekte bezieht sich auf die Aktivitäten, die zwischen den Objekten stattfinden.

Eine Aktivität ist ein Zustand mit einer internen Aktion und einer oder mehreren ausgehenden Transitionen. Sie ist ein einzelner Schritt im Prozessablauf. Wenn Transitionen durch die Bedingungen unterschieden werden, können einer Aktivität auch mehrere Transitionen folgen. Besteht ein Prozess also aus vielen parallelen Aktivitäten, so wird das Modell aufgrund zahlreicher Synchronisationsknoten schnell unübersichtlich. Durch den Einsatz von Partitionen bzw. Pools kann das Modell zwar in sogenannte Aktivi-



tätsbereiche unterteilt werden, die Darstellung bei komplexen Prozessen bleibt jedoch aufwendig.

### III.I.IV BUSINESS PROCESS MODEL AND NOTATION

Grundsätzlich ist die Transformation eines EPK mittels der Business Process Model and Notation (BPMN) einfach, da schon mit den Grundbausteinen eine einfache Abbildung eines Geschäftsprozesses möglich ist. Diese Abbildung lässt sich nach Bedarf auch detaillierter darstellen. Durch die Standardisierung der Object Management Group (OMG) ist BPMN überall anwendbar und wird kontinuierlich weiterentwickelt. BPMN bietet eine optimale Verbindung zwischen Geschäftsprozessen und IT, die lediglich aufgrund der hohen Komplexität schwer zu erlernen ist. Sogenannte Pools und Swimlanes (Object Management Group 2010) zeigen auf einen Blick alle Zugehörigkeiten im Prozess und können über Markierungen und Annotationen zusätzliche Informationen erhalten. Generell wirkt ein Modell in BPMN deutlich übersichtlicher und strukturierter als ein vergleichbares EPK. Bei der automatisierten Transformation des Bewerbungsverfahrens (als EPK) traten zunehmend Fehler bei den (X)OR-Konnektoren auf, welche einer manuellen Nachbearbeitung bedürfen.

In einem Unternehmen ist eine direkte Einarbeitung der Belegschaft in die Symbolik von BPMN wünschenswert, da so der zusätzliche Schritt über ein EPK umgangen werden kann. Diese direkte Einarbeitung birgt jedoch aufgrund der Zeitintensität auch ein mögliches Risiko, da BPMN insgesamt aus über 150 verschiedenen Symbolen besteht (Object Management Group 2010). Bestimmte Geschäftsprozesse können unter Umständen anders abgebildet werden, da viele fachliche Aspekte fallbezogen sind und damit nicht berücksichtigt werden.

### III.I.IV PETRINETZE

Petrinetze gelten allgemein als der Ursprung für Simulationstechnik und Verfahrensabbildung. Durch ihre Formalität und die Einfachheit der Syntax

bzw. der zur Verfügung stehenden Symbole sind Petrinetze hochgradig flexibel und können auf fast jedes Anwendungsbeispiel angewandt werden. In der Stärke liegt jedoch auch die Schwäche, denn die Darstellung komplexerer Geschäftsprozesse wird sehr schnell sehr groß und damit auch unübersichtlich. Die beschränkte Anzahl an Symbolen und die einfache Möglichkeit der Abhängigkeiten (Graphen) erfordern eine aufwendige Abbildung von Prozessen, bei denen viele Inhalte miteinander kombiniert dargestellt werden müssen. In unserem Praxis-Beispiel erfordert die Abbildung der Terminabsprache des Bewerbungstermins z. B. im Vergleich zu BPMN deutlich mehr Platz und trägt damit zum flächenmäßigen Wachstum des Petrinetzes bei. Ein Beispiel dafür stellt die Information dar, dass die Absprache des Bewerbungstermins per E-Mail stattfindet. Solche Informationen können in Petrinetzen nur schriftlich hinterlegt werden. Die größte Herausforderung bei der Transformation eines EPKs in ein Petrinetz ist die Modellierung der Konnektoren (AND, OR, XOR). Diese können in Petrinetzen nicht eindeutig implementiert werden. Diesem Umstand ist es geschuldet, dass Petrinetze erweitert werden, aber dadurch jedoch ihre Formalität teilweise verlieren oder einfach nicht standardisiert sind.

### III.II BEWERTUNGSKRITERIEN

Um die vorgestellten Methoden besser voneinander abgrenzen bzw. bewerten zu können, ist es notwendig, eindeutige Kriterien zu formulieren. In diesem Beitrag liegt der Fokus klar auf der Transformation und der anschließenden Automatisierbarkeit. Diese Fähigkeit ist dementsprechend eine der Hauptkriterien zur Unterscheidung der Methoden. Für die Weitergabe von Informationen ist es außerdem wichtig, ob eine Methode formal beschrieben ist und somit eine eindeutige Semantik und Syntax besitzt. Dies wurde ebenfalls als Kriterium festgehalten.

Da bei der Modellierung fachgebietsübergreifend gearbeitet wird und die Modelle an Ausprägung zunehmen, ist es wichtig, Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Jenes fachgebiets-

übergreifende Arbeiten ist auch ein Grund, warum ein Modell einfach in der Handhabung sein sollte. Jeder Anwender ist somit in der Lage, sowohl seinen als auch andere Prozesse zu verstehen und weiterzugeben. Eine Standardisierung durch eine offizielle Institution unterstützt die universelle Übertragbarkeit und bildet damit das letzte Unterscheidungskriterium in dieser Arbeit.

### III.III BEWERTUNGSMATRIX

Die in den vorherigen Abschnitten ermittelten Vor- und Nachteile lassen sich in der folgenden Bewertungsmatrix (Abb. 3) übersichtlich darstellen. Dabei steht ein Plus für eine positive und ein Minus für eine negative Bewertung. Ist ein Kriterium in besonderer Ausprägung gegeben, so wird dieses durch doppelte Vergabe vom jeweiligen Symbol hervorgehoben.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Transformation eines Geschäftsprozesses, der mit der EPK-Methode modelliert wurde, in eine formale Methode möglich ist. Eine Transformation lässt sich bis zu einem gewissen Grade ohne Probleme durchführen. In vielen Fällen aber müssen auf der operativen Ebene mehr oder weniger Korrekturen vorgenommen werden.

So eignen sich S-BPM und bedingt auch Petrinetze für die Transformation zwischen fachlich-konzeptioneller und operativer Ebene. Dies ist vor allem darin begründet, dass beide Methoden ohne mögliche Konnektoren bzw. Gateways (vor allem OR und XOR) auskommen. Die Transformation ist damit wechselseitig, ebenenübergreifend durchführbar. Bei Petrinetzen bedarf es zusätzlich der Kontrolle einer Instanz, die dafür sorgt, dass es zu keinem Informationsverlust kommt. Jedoch führen bei beiden Methoden die fehlenden Konnektoren zu starker Unübersichtlichkeit. Eine verlustfreie Transformation einer EPK in ein vergleichbares BPMN-Modell ist generell zwar möglich, aber durch die verwendeten Gateways nicht immer rückwirkend durchführbar.

Die Methoden BPMN und EPK sind auf-



Kriterien \ Methoden	EPK	S-BPM	UML	BPMN	Petrinetze
Automatisierung möglich	-	+	-	+	+
Formalität gegeben	-	+	-	+	+
Übersichtlichkeit	-	-	+	+	-
Einfache Handhabung	+	++	+	+	++
Methode als Standard	-	-	+	+	+

Abb. 3) Bewertungsmatrix

grund ihrer einfachen syntaktischen Struktur auf fachlich-konzeptioneller Ebene vorzuziehen, da im Grunde jeder involvierte Akteur in der Lage ist, seine relevanten Prozesse abbilden zu können. Dabei stehen die beteiligten Akteure bei der Modellierung ihrer Prozesse in BPMN jedoch vor der Hürde einer mannigfaltigen Auswahl an Symbolen. Der augenscheinlich gravierendste Vorteil ist jedoch gleichzeitig ein Nachteil der EPK, denn bei komplexeren Darstellungen werden Verantwortungsbereiche nicht eindeutig dargestellt und müssen zusätzlich an anderer Stelle hinterlegt werden. Dies ist in BPMN anhand von Swimlanes und Pools möglich. Ein Versuch, diese Informationen auch in EPK zu hinterlegen, ist die Darstellung der Prozesse mit sogenannten Vorgangskettendiagrammen.

Ähnlich dazu gibt es auch in UML je nach Diagrammtyp (Aktivitätsdiagramm und Use-Case-Diagramm) eine Vielzahl unterschiedlicher Symbole, die das Modellieren erschweren. Diese Vielzahl kommt jedoch nur dann zum Tragen, wenn die im Prozess vorhandenen Parallelitäten von Akteuren so ausgeprägt sind, dass diese den eigentlichen Rahmen sprengen und zur Unübersichtlichkeit neigen. Diese Tatsache lässt sich bereits an dem relativ unkomplizierten Verfahren des Bewerbungsprozesses belegen. Für die Formalisierung gibt es keine festgelegten Standards, somit bietet die UML keine Möglichkeit der Automatisierung von Geschäftsprozessen. Es gibt Bemühungen von Forschungsgruppen, die UML in Petrinetze zu transformieren und somit eine Formalisierung zu ermöglichen, allerdings sind diese noch nicht Teil der eigentlichen Spezifikation.

Es ist festzustellen, dass Petrinetze aufgrund ihrer grundlegenden Struktur die Basis für alle heute eingesetzten Methoden bilden. Dementsprechend haben diese selbstverständlich weiterhin ihre Existenzberechtigung. Gleichzeitig sind jedoch die weiterentwickelten Methoden notwendig, um zusätzliche Informationen hinterlegen zu können, da bei steigendem Informationsgehalt die gleiche Übersichtlichkeit gewährleistet werden sollte.

Für Unternehmen ist es aus diesem Grunde gerade auf Führungsebene ratsam, sich mit allen Methoden zu beschäftigen, um die hier aufgeführten Vor- und Nachteile abwägen zu können. In erster Linie sollten sich Unternehmen bei der Wahl der Methode auf die fachlich-konzeptionelle Ebene stützen, da diese den Ausgangspunkt für sämtliches operatives Durchführen bildet. Eine Transformation bedarf stets der zusätzlichen Kommunikation, da es gerade hier zu möglichen Fehlern kommen kann.

## LITERATUR

Alexandrow, L.; Geldmacher, J.; Geraniotaki, S.; Nikolai P.; Wilhelm, A.; (2013): Transformation einer EPK in eine formalisierte Methode, Semesterarbeit zu Modellierung und Automatisierung von Geschäftsprozessen, Sommersemester 2013, Masterstudiengang Wirtschaftsinformatik, Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik, Technische Hochschule Wildau, Wildau

Bösing, K. D. (2013): BPMN als neuer Modellierungsstandard in: Wissenschaftliche Beiträge der TH Wildau, S. 121-127, Ungvári, L. (Hrsg.), Technische Hochschule Wildau, Wildau

Brocke, J. (2003): Referenzmodellierung – Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen, Brocke, J (Hrsg.), Logos Verlag, Berlin;

Dandl, J. (1999): Objektorientierte Prozessmodellierung mit der UML und EPK, Arbeitspapiere WI, Nr.12, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz

Decker, G.; Tscheschner, W.; Puchan, J. (2009): Migration von EPK zu BPMN, in: EPK 2009, Geschäftsprozessmanagement mit Ereignisgesteuerten Prozessketten, Proceeding, S. 91-109, Nüttgens, M.; Rump; F. J.; Mending, J.; Gehrke, N. (Hrsg.), 8. Workshop der Gesellschaft für Informatik e.V., Berlin

Eckleder, A. (2006): Semantikprüfung von Geschäftsprozessmodellen, [http://193.196.7.212/woped/wp-content/uploads/2013/01/STA\\_ECKLEDER.pdf](http://193.196.7.212/woped/wp-content/uploads/2013/01/STA_ECKLEDER.pdf), Zugriff: 21.05.2013

Gadatsch, A. (2010): Grundkurs Geschäftsprozess-Management, 6. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden

Gehring, H.; Gadatsch, A. (1999): Ein Rahmenkonzept für die Modellierung von Geschäftsprozessen und Workflows, Fachbereichsbericht Nr. 274, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, FernUniversität Hagen, Hagen  
Kotsev, V.; Stanev, I.; Grigorova, K. (2011): BPMN-EPC-BPMN Converter, in: Imagination, Creativity, Design, Development, Proceeding of the International Students Conference on Informatics, ICDD, S. 150-156, Simian, D. (Ed.), Sibiu, Romania

Metasonic AG (2010): Case Study – Einführung von Geschäftsprozessmanagement mit Hilfe von subjektorientierten BPM (S BPM) bei der FIDUCIA, Pfaffenhofen, Metasonic AG (Hrsg.), [http://www.metasonic.de/sites/default/files/pdf/6/Metasonic\\_Fiducia\\_Case\\_Study\\_de.pdf](http://www.metasonic.de/sites/default/files/pdf/6/Metasonic_Fiducia_Case_Study_de.pdf), Zugriff: 10.04.2013

Object Management Group (2011): Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0, <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>, Zugriff: 20.06.2013

## AUTOREN

**Prof. Dr. Klaus D. Bösing**  
Technische Hochschule Wildau  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht  
Fachgebiet Software Engineering  
Tel.: +49 33 75 50 89 52  
eMail: klaus.boesing@th-wildau.de

**Jan Geldmacher**  
Studiengang M. Sc. Wirtschaftsinformatik  
Technische Hochschule Wildau  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht  
eMail: jan.geldmacher@th-wildau.de



# GRÜNDUNGS-AUSBILDUNG AN HOCHSCHULEN IN DEUTSCHLAND

Dr. Christian Schultz, Prof. Dr. Dana Mietzner

## Zusammenfassung

Die ersten Entrepreneurship-Kurse an Hochschulen wurden bereits in den 30er Jahren in den USA angeboten. Führende Hochschulen in diesem Bereich sind die Harvard Business School, das Babson College und das MIT, die alle in der Region Boston angesiedelt sind. Entrepreneurship ist eine zentrale Säule im Curriculum vieler amerikanischer Universitäten und Business Schools. Seit in Deutschland in den 90er Jahren die ersten Kurse für Entrepreneurship angeboten wurden, sind eine Reihe von Lehrstühlen für Entrepreneurship und verwandte Themengebiete entstanden. In der vorliegenden Studie wird aufgezeigt, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Kurskonzepte in Deutschland existiert und in jüngster Zeit der Anteil der Kurse zu theoretischen Ansätzen des Entrepreneurships zu Lasten praxisorientierter Lehrformate angestiegen ist. Dieser Trend ist insofern alarmierend, da insbesondere praxisorientierte Formate Studierende in die Lage versetzen, unternehmerisch zu handeln.

## Abstract

The first courses in entrepreneurship in academic institutions were offered in the 30s in the US. Leading universities in this field are the Harvard Business School, Babson college and the MIT, which are all located in the Boston area. Entrepreneurship education has become a cornerstone in the curriculum of the majority of American universities and business schools. In Germany the first courses were offered in the 90s and a growing number of chairs for entrepreneurship and related fields have been established since then. This study shows that a variety of offered courses exists in Germany. But recently a concentration in the proportion of theory-based lectures and business plan courses to the overall supply takes place, while other more practice-oriented courses diminish. This trend is alarming because practical courses put the students in touch with real-life entrepreneurial decisions and enable them to act entrepreneurial. Different explanations for this trend are provided here as well as limitations and an outlook.

## I. ENTWICKLUNG UND NUTZEN DER GRÜNDUNGS-AUSBILDUNG

In den USA wurden Kurse zur Gründungsausbildung (engl. Entrepreneurship Education) bereits in den 30er Jahren entwickelt, wobei dem Babson College, der Harvard Business School und dem MIT eine Schlüsselrolle in der weltweiten Verbreitung der Curricula zukommt. Gründungsausbildung umfasst im weitesten Sinne alle Bildungsmaßnahmen zur Entwicklung unternehmerischer Einstellungen und Fertigkeiten, die für eine erfolgreiche Unternehmensgründung und Unternehmensführung erforderlich sind. In Deutschland wurde die Gründungsausbildung vor allem von den Industrie- und Handelskammern übernommen und erst 1997 wurde der erste Lehrstuhl für Entrepreneurship eingerichtet (vgl. Klandt, 2004, 294), so dass im Vergleich zu den USA, aber auch zum europäischen Ausland in diesem Bereich durchaus noch nationaler Nachholbedarf besteht.

## BEDEUTUNG DER GRÜNDUNGS-AUSBILDUNG

Manche Wissenschaftler sind nach wie vor der Meinung, dass es widersinnig ist, Entrepreneurship zu lehren, da der Erfolg eines Gründers zu stark von der Persönlichkeit und psychologischen Eigenschaften abhängen würde. In einer vielbeachteten Studie bestätigen Lüthje und Franke (2003), dass zumindest die Überzeugung, ein Unternehmen zu gründen, stark von bestimmten Persönlichkeitsfaktoren abhängig ist, beispielsweise der Risikofreude. Auch andere empirische Studien, wie diejenige von Keßler et al. (2009), die weiterführende Modelle der Gründungsneigung mit Variablen wie „Umwelt“ (Faktoren: Selbständigkeit der Eltern, unternehmerische Rollenbilder, Image der Selbständigkeit) oder „Eigenschaften der Person“ (Faktoren: Geschlecht, Alter, Leistungsmotivation, Risikoneigung, interne Kontrollüberzeugung, Innovationsorientierung) auf ihren Einfluss hin untersuchen, zeigen, dass auch hier signifikante Beziehungen mit Variablen

vorliegen, die zunächst nicht durch Qualifikationsmaßnahmen beeinflusst werden können. Die Kritiker führen an, dass Talent und Persönlichkeit nicht erlernt werden können und folglich eine Lehre, die auf diese Bereiche abzielt, sinnlos ist (vgl. Thompson, 2004).

Ein Gegenargument, das niemand bestreiten würde, ist, dass Medizin, Rechtswissenschaften oder Biologie Disziplinen sind, die erlernbar sind. Auch in diesen Bereichen steht eine Mehrheit untalenter Praktiker einer kleinen Elite von Talenten gegenüber, die große Erfolge erzielen und radikale Umbrüche bewirken. Vor diesem Hintergrund argumentiert Fayolle (2008, 326), dass es sehr wohl möglich ist, Entrepreneurship zu lehren, es jedoch unmöglich ist, sowohl im Vorhinein festzustellen, welche Studierende Talent besitzen, als auch den späteren Erfolg zu garantieren. Langfristig betrachtet wird das Gründungspotenzial von Studierenden im Haupt- und Nebenerwerb auf ca. 20-40 % geschätzt (vgl. Kailer, 2007).

Weitere Argumente für die Durchführung einer akademischen Gründungsausbildung, die empirisch gesichert erscheinen, sind:

- Studierende, die ihre Gründung sorgfältig geplant haben, evaluieren diese selbständig sehr viel kritischer als bereits aktive Unternehmer und senken damit wiederum das Risiko des Scheiterns (vgl. Kailer, 2007; Heinemann und Welter, 2007).
- Zahlreiche Studien belegen den Zusammenhang zwischen Kompetenzausstattung von Gründern und dem späteren Unternehmenserfolg (vgl. Picot et al. 1989; Brüderl et al. 1991; Cressy 1994; Schmidt et al. 1998; Wanzenböck 1998), wobei allerdings Gründungserfolg und Kompetenz nicht einheitlich operationalisiert wurden.
- Weitere Studien belegen eine positive Beziehung zwischen der Häufigkeit der Teilnahme an Kursen der Gründungsausbildung und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Unternehmen gegründet wird (vgl. Kailer, 2005). Diejenigen, die hier mehr Engagement an den Tag legen, tun dies mit der Motivation, jetzt oder zu einem späteren Zeitpunkt eine Gründung durchzuführen. Schon Clark et al. (1984) bestätigen diese Hypothese. Kolvereid und Moen (1997) finden ebenfalls Indikatoren, die einen Zusammenhang zwischen Gründungsausbildung und realisierter Gründung nahelegen.

Durch eine wirkungsvolle Gründungsausbildung können das Gründungspotential besser erschlossen und die Bereiche Wissenschaft und Praxis besser verknüpft werden. Zusätzlich werden Ressourcen in der Beratung bereits bestehender Gründungsprojekte reduziert, da der Beratungsbedarf sinkt (Kailer, 2007, 210). Auf Grund dieser beiden Kerneffekte ist die Gründungsausbildung ein entscheidender Baustein in einer integrierten hochschulweiten Gründungsstrategie.

In der vorliegenden Studie wird die Struktur der Gründungsausbildung in Deutschland untersucht. Zu diesem

Zweck wurden zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten die vorhandenen Lehrangebote an deutschen Hochschulen erhoben und typologisiert. Die Untersuchung trägt damit zur Beantwortung der folgenden Fragen bei:

- In welchen Lehrformaten wird in Deutschland die Gründungsausbildung durchgeführt?
- Wie hat sich die Struktur der Gründungsausbildung in Deutschland verändert?

## II. GRÜNDUNGS-AUSBILDUNG IN DEUTSCHLAND

Um einen Überblick über die Struktur der Gründungsausbildung in Deutschland zu gewinnen, wurde in einem ersten Schritt eine Typologie der Lehrangebote entwickelt, denen die vorhandenen Lehrveranstaltungen zugeordnet wurden.

### Die Typologie beinhaltet neun verschiedene Kategorien:

- Vorlesung mit dem Fokus Entrepreneurship Theorie und Businessplan
- Übung mit dem Fokus auf fachbezogene Fallstudien
- Übung mit dem Fokus auf fachbezogene Theorie
- Übungsfirma
- Seminar mit dem Fokus Theorie des Entrepreneurships
- Seminar mit dem Fokus Firmenkooperation
- Seminar mit dem Fokus Businessplan
- Seminar mit dem Fokus fachbezogene Fallstudien

	2007	2010	2012
Lehrstühle	53	83	97
Hochschulen	46	70	78
Lehrveranstaltungen	119	203	267

Tab. 1) Daten der einzelnen Teilerhebungen

### ■ Projektmitarbeit in realen Gründungsprojekten

In einem zweiten Schritt wurden die empirischen Daten erhoben. Als Ausgangspunkt dieser quantitativen Erhebungen wurde die aktuelle Liste zu Entrepreneurship-Professuren an öffentlichen und privaten Hochschulen in Deutschland des Förderkreis Gründungs-Forschung e.V. (FGF) in den Jahren 2007, 2010 und 2012 genutzt. Der FGF e.V. gilt als das maßgebliche Organ der akademischen Gründungsforschung und -ausbildung im deutschsprachigen Raum.

Mit Hilfe von Recherchen auf den Websites der lokalisierten Lehrstühle (Vorlesungsverzeichnisse, Studienordnungen, Modulhandbücher) wurde zunächst eine Liste der Lehrveranstaltungen erstellt, die dann anhand weitergehender Beschreibungen analysiert und anschließend typologisiert wurden. In der untenstehenden Tabelle 1 sind die Datengrundlagen zu den unterschiedlichen Erhebungszeitpunkten dargestellt. Während in 2007 und 2010 jeweils im Oktober die Bestandsaufnahme durchgeführt wurde, ist dies in 2012 bereits im September geschehen.

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die Anzahl der Entrepreneurship-Lehrstühle in Deutschland seit 2007 stark gewachsen ist (83 %). Überproportional hat sich das Angebot der Lehrveranstaltungen entwickelt, die um mehr als 124 % zugenommen haben. In Abbildung 1 sind die relativen Veränderungen in der Lehrveranstaltungsstruktur dargestellt.

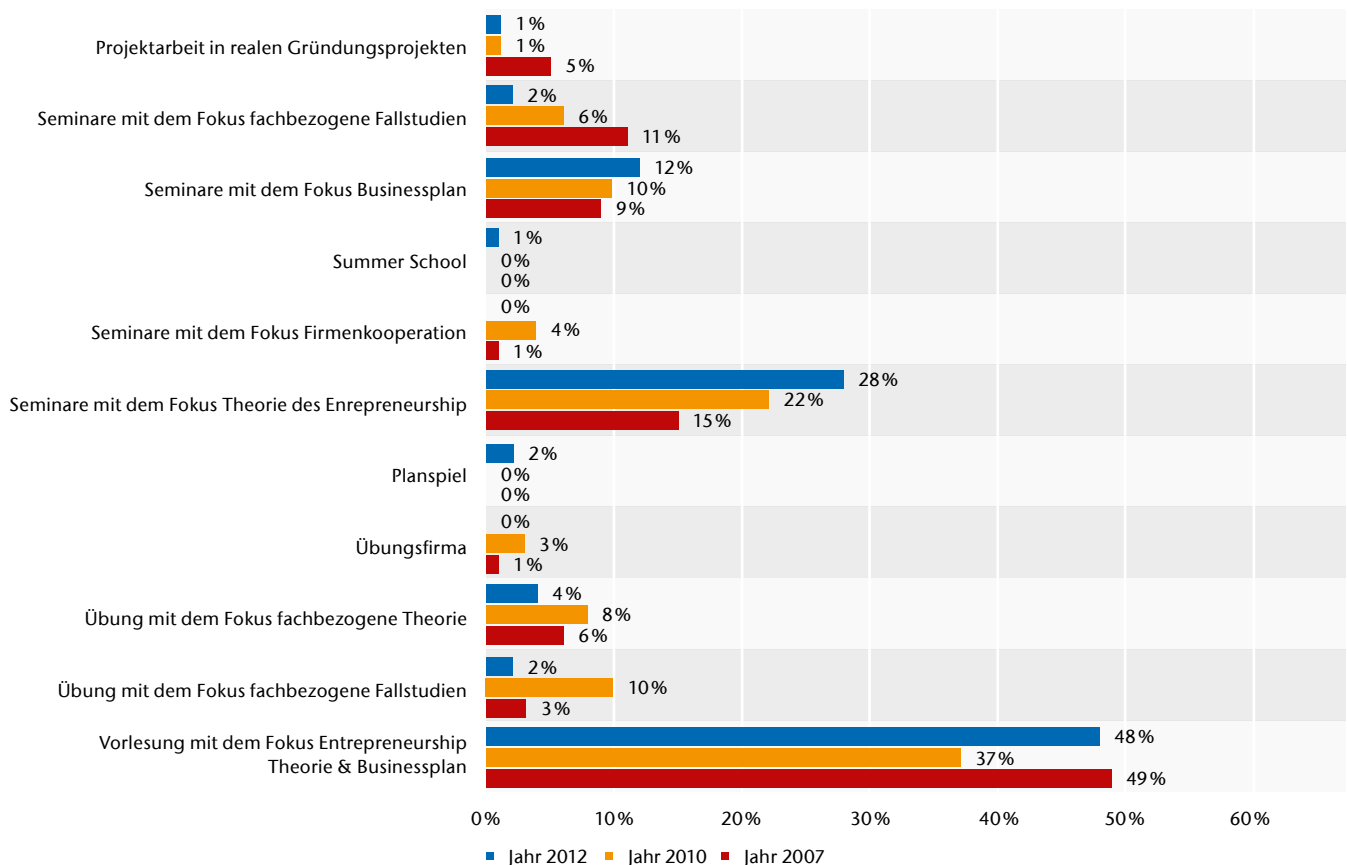


Abb. 1) Vergleich der Erhebungen 2007, 2010 und 2012.

## ERHEBUNGSERGEBNISSE

Die Auswertung der in 2012 durchgeführten Erhebung zu Lehrangeboten an deutschen Hochschulen zeigt, dass der klassische Baustein der akademischen Gründungsausbildung Vorlesung mit dem Fokus Entrepreneurship Theorie & Businessplan, wie auch zu den vorher untersuchten Zeitpunkten, den absoluten Löwenanteil des Gesamtangebots (2012: 48 %) einnimmt. Überraschend ist hier die jüngste Entwicklung, da hier nach einem Tief im Jahr 2010 mit 37 % des Gesamtangebots nun wieder fast das Niveau von 2007 (49 %) erreicht wurde. Parallel hat sich der Anteil von Seminaren mit dem Fokus Theorie des Entrepreneurship auf nunmehr 28 % fast verdoppelt (2007: 15 %).

Seminare mit dem Fokus auf die Businessplanerstellung verzeichnen ein kontinuierliches, aber deutlich schwächeres Wachstum (2007: 9 %, 2010: 10 %, 2012: 12 %). Bemerkenswert ist, dass Lehrangebote mit hoher Praxisnähe wie Übungsfirmen

oder Seminare mit fachbezogenen Fallstudien, die schon in 2007 und 2010 nur einen geringen Anteil besaßen, nun in ihrer Bedeutung noch weiter geschrumpft sind.

Diese Gesamtentwicklung lässt konstatieren, dass der Praxisbezug in der Gründungsausbildung nicht mehr nur sehr begrenzt Eingang in die Lehrangebote an deutschen Hochschulen findet, sondern gegenwärtig sogar aus den Curricula verschwindet. Dieses Ergebnis kann unter Umständen auf den vergleichsweise höheren Gesamtaufwand praxisbezogener Lehrformate für das Lehrpersonal zurückgeführt werden, da zumeist Praxispartner gesucht werden müssen und die Studierenden eine höhere Betreuungsleistung in Anspruch nehmen. Ein anderer Erklärungsansatz ist die zunehmende „Verwissenschaftlichung“ der Entrepreneurship-Disziplin in Form einer zunehmenden Anzahl von wissenschaftlichen Studien, die die Lehrstuhlinhaber in speziellen Seminaren berücksichtigen wollen.

## III. FAZIT UND AUSBLICK

Vor dem Hintergrund der festgestellten zunehmenden Dominanz theoriebezogener Lehrformen und Lehrmethoden wie Vorlesungen, Übungen und Seminaren stellt sich die Frage, ob die aktuelle Angebotsstruktur dem Ziel, die Ausgründungen aus den Hochschulen zu steigern und eine engere Verzahnung und Durchlässigkeit von Wissenschaft und Wirtschaft zu gewährleisten, gerecht wird. Für manche mag dieser Trend im Zusammenspiel mit der Abnahme praxisbezogener Seminare alarmierend sein, da so das Potential akademischer Gründungen bei Weitem nicht ausgeschöpft wird, für andere mag das Ergebnis den zunehmenden wissenschaftlichen Kanon der Disziplin und deren akademischen Anspruch widerspiegeln.

### LIMITIERUNGEN UND AUSBLICK

Eine Limitierung dieser Studie ist, dass keine Aussage darüber gemacht werden kann, warum das Lehrangebot sich verändert hat bzw. warum die

Lehrstuhlinhaber ihre Angebote verändert haben. Des Weiteren existieren an den Hochschulen stark unterschiedliche Prüfungsordnungen, die einzelne Kurse uneinheitlich mit Leistungs- und Bonuspunkten bewerten, daher ist keine Aussage möglich, welchen Anteil einzelne Kurse an der studentischen Gesamtleistung einnehmen.

Es ist davon auszugehen, dass das Potential der akademischen Gründungen durch die vorhandene Struktur der Gründungsausbildung zumindest nicht vollständig ausgeschöpft wird. Um die vorhandenen Potentiale besser zu heben, ist eine Form der Gründungsausbildung notwendig, die auf die Bedürfnisse der Studierenden individueller eingeht. Poorsoltan (2005) schlägt für eine solche neuartige Ausbildung ein Programm vor, das in erster Linie aus Methoden des aktions- bzw. des problemorientierten Lernens, wie z.B. Rollenspiele, Fallstudien und Gruppenaufgaben, besteht. Rasmussen und Sørheim (2006) identifizieren Lehrmodule mit diesen innovativen Komponenten als neuen vielversprechenden Trend in der internationalen Gründungsausbildung.

Neben innovativen Lehrmethoden sehen Clarysse et al. (2009) in der zunehmenden Durchführung von Intensivkursen, sog. „Boot Camps“, einen Trend in den Lehrprogrammen internationaler Business Schools. Genauso kommt es zu einer stärker werdenden Individualisierung im Lernprozess, da das individuelle Coaching einen immer wichtigeren Stellenwert einnimmt und die konventionelle Wissensvermittlung im Seminarraum ergänzt. Die Autoren schlagen die folgenden gründungslastigen Kurse vor, um die Business School inhaltlich weiterzuentwickeln, damit sie den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht wird (Clarysse et al. 2009, 442): Entrepreneurial Marketing, Discovery-based Planning, Entrepreneurial Finance und Business Planning.

Einen gänzlich anderen Ansatz verfolgt Honig (2004), der die pädagogische Philosophie des Lernens aus Fehlern und das Simulieren von Alternativen in den Mittelpunkt stellt. Dieses Vorgehen nennt er kontingenz-

basiertes Planen (contingency-based business planning). Der Kern seines Vorschlags ist, dass grundsätzlich unkonventioneller gedacht wird und nicht etwa für jeden Studierenden in der Gründungsausbildung dieselbe Abfolge bzw. alle angebotenen Lehrmodule gelten müssen. Vielmehr wird nach der individuellen Evaluation des individuellen Gründungsprojekts ermittelt, inwieweit durch den Besuch eines Lehrmoduls eine weitere Qualifizierung notwendig ist.

## LITERATUR

Brüderl, J.; Preisendörfer, P.; Baumann, A. (1991). Determinanten der Überlebenschancen neugegründeter Kleinbetriebe. *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung* 24: 91–100.

Clark, B. W.; Davis, C. H.; Harnish, V. C. (1984). „Do courses in entrepreneurship aid in new venture creation.“ *Journal of Business Venturing* 1 (1): 26-31.

Clarysse, B.; Mosey, S.; Lambrecht, I. (2009). „New trends in technology management education: A view from Europe.“ *Academy of Management: Learning and Education* 8: 427-443.

Cressy, R. (1994). „Are business startups debt-rationed? Centre for Small & Medium Sized Enterprises. Working Paper No. 20“, Warwick University.

Fayolle, A. (2008). „Entrepreneurship education at a crossroads: Towards a more mature teaching field.“ *Journal of Enterprising Culture* 16: 325–337.

Lüthje, F. und Franke, N. (2003). „The ‘making’ of an entrepreneur: testing a model of entrepreneurial intent among engineering students at MIT.“ *R&D Management* 33 (2): 135-147.

Heinemann, D. und Welter, F. (2007). Auf dem Weg zur Unternehmer-Uni. *Schriftenreihe der Universität Siegen - Pro KMU*. Siegen.

Honig, B. (2004). „Entrepreneurship education: Toward a model of contingency-based business planning.“ *Academy of Management Learning and Education* 3: 258-273.

Kailer, N. (2005). Unternehmensgründung und -übernahme durch HochschulabsolventInnen. *ibw-Mitteilungen* 4: 1-10.

Kailer, N. (2007). „Evaluation of entrepreneurship education.“ Fayolle, A. (Hg.): *Handbook of research in entrepreneurship education - A contextual perspective*. Cheltenham (UK)/ Northampton (M.A.): 221-243.

Keßler, A. et al (2009). Prädiktoren der Gründungsneigung und Gründungsrealisierung von AbsolventInnen eines auf Entrepreneurship-Ausbildung ausgerichteten Fachhochschulstudiengangs. *G-Forum Jahreskonferenz*.

Klandt, H. (2004). „Entrepreneurship education and research in German-speaking Europe.“ *Academy of Management and Learning* 3 (3): 293-301.

Kolvereid, L. und Moen, Ö. (1997). „Entrepreneurship among business graduates: Does a major in entrepreneurship make a difference.“ *Journal of European Industrial Training* 21: 154-160.

Picot, A.; Laub, U. -D; Schneider, D. (1989). *Innovative Unternehmensgründungen. Eine ökonomisch-empirische Analyse*. New York, Berlin.

Poorsoltan, K. (2005). „Idea generation, networking and seed money.“ *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education* 17: 42-47.

Rasmussen, E.A. und Sørheim, R. (2006). „Action-based entrepreneurship education.“ *Technovation* 26: 185-194.

Thompson, J. (2004). „The facets of the entrepreneur: Identifying entrepreneurial potential.“ *Management Decision* 4 (2): 243-258.

Schmidt, A. et al. (1998). *Erfolgsfaktor Qualifikation. Trierer Schriften zur Mittelstandsökonomie, Band 2*, Münster.

Wanzenböck, H. (1998). *Überleben und Wachstum junger Unternehmen*. Wien, New York.

## AUTOREN

**Dr. Christian Schultz**,  
Lehrstuhl für Innovationsmanagement  
und Entrepreneurship,  
Universität Potsdam,  
Tel.: 0331-977 4562,  
Christian.Schultz@uni-potsdam.de

**Prof. Dr. Dana Mietzner**,  
Professur für Innovations- und Regionalmanagement,  
Leiterin der Forschergruppe Innovations- und  
Regionalforschung,  
Technische Hochschule Wildau [FH],  
Tel: 03375-508 199,  
Dana.Mietzner@th-wildau.de



# LEGACY OF EUROPEAN ENTERPRISE: TEACHING BUSINESS HISTORY IN THE INTERNATIONAL MANAGEMENT CURRICULUM

Marco Althaus

## Abstract

Business history can be a valuable, even critical element in teaching international management – not only at elite institutions and at postgraduate level, but at universities of applied sciences and in undergraduate education, too. It is specifically relevant for programs with a focus on Europe. Students should be given a chance to discover common and connected pasts of European enterprise. The article offers a rationale for curriculum integration and discusses case selections and teaching methods for non-historians. Five exemplary themes are presented: East India companies, financial market bubbles, telegraphy, the Suez Canal, and the emergence of airlines.

## Zusammenfassung

Unternehmensgeschichte kann ein wertvoller, sogar kritischer Beitrag in der Vermittlung des internationalen Managements sein – nicht nur an elitären Einrichtungen und im Master, sondern auch an Fachhochschulen und in Bachelor-Studiengängen. Besonders relevant ist sie für Studiengänge mit Fokus Europa. Studenten sollten eine Chance erhalten, die gemeinsame und zusammenhängende Vergangenheit europäischer Unternehmenstätigkeit zu entdecken. Der Artikel begründet die Integration ins Curriculum und diskutiert Fallauswahl und Lehrmethodik für Nichthistoriker. Eine exemplarische Auswahl von fünf Themen wird gezeigt: Ostindienkompanien, Finanzmarkt-Blasen, Telegrafie, der Suezkanal und die Entstehung von Fluggesellschaften.

## INTRODUCTION

In fall 2013, five years after the 2008 financial panic, media and academic events were awash with retrospective: How could it happen? Can it happen again? What lessons have been learnt? The global economy, much less the Eurozone, is not yet back to normal. Even though some nations prosper, all continue to struggle. Economists are still searching for their soul; they received much blame for modeling the fantasy of efficient, well-tuned markets. Universities, too, were rebuked. They had trained the people who ran the casino, or trusted, sold and bought its promises. Business educators have reasons for critical self-inspection. Have they responded well enough?

Back then, students were deeply disturbed as anyone when the crisis hit. They demanded answers. Professors tried to explain; confused themselves, they tried to reconstruct events and put them in perspective. Most of those students are on the job market by now. A new generation is coming.

A first-semester student today was a fresh-faced teen when Lehman Brothers collapsed and when Eurozone leaders met to rescue whole nations. Chances are she did not pay much attention, nor did she understand. For her it is already history. Five years is a long time in a young person's life. She may or may not ask to discuss the recent past in class. Hopefully, she will. But what will professors tell her about the lessons of history? And what is their goal?

### I. FINDING A PLACE FOR HISTORY

Among the post-2008 wake-up calls was the plea to engage future decision-makers with history so they will not create crises just to relearn old lessons. It clicked with the new public audiences that business and economic historians found. Pedagogues like Mittelstaedt et al. (2013) argue that financial crises are “ideal teaching moments” due to their “great potential to encourage learning from the past and to foster socio-economic education” and help to “learn learning” (pp. 11, 19).

Yet universities did not make stringent efforts to secure history good spots in curricula. Understandably, business departments find it hard to squeeze in socially demanded extras, be they history, ethics, corporate citizenship or sustainability. Rather, faculties are pressed to purge overloaded curricula of ballast. Also, most European faculties maintain a core subject concept and lack the humanities and social science base of U.S. liberal arts colleges. A few take pride in a studium generale, but they are rare.

A killer argument is that young people do not enroll in business studies for antiquarian retro subjects. It is assumed that history is for them at best charming, at worst boring, but in any case wasteful and irrelevant to a career. They demand what universities advertise: newest management know-how. Busy with the here and now and near future, they come not to be enlightened but to acquire skills and technical prowess which (they think) will impress employers.

The attitude is advanced by the Bologna-induced priority on skills, competences and employability. Keen subscribers are institutions of vocational higher education: the degree-granting polytechnic, university of applied sciences, Fachhochschule in Germanic countries, Dutch hogeschool, Nordic högskola, and the like. Business studies are popular and growing there. Such schools promise to academically teach tools and techniques but use theory in lighter doses. That is a unique selling proposition. It forms the “applied” brand. Unsurprisingly, their management studies integrate only miniature curricula of economics; very few offer freestanding economics degrees. Most business historians drop anchor at large economics departments, so the “applied” school is no natural home.

Elite business schools may run a different kind of ship. Their clientele may expect a distinguished leadership education which offers the idea that if you want to make business history, you should also read it. It can be a cultural identifier, mark of habitus, or a copy of top American MBA schools where business history has a lobby and a tradition. More pedestrian universities have a less elite profile of students who “might not feel the need to understand how and why those who ruled the business world at some historical points did what they did” (Bucheli, 2012, p. 17).

There is one field where business education even at very down-to-earth universities is open to very broad interdisciplinary missions: international business (IB). Narrow functional-technical classes do not suffice. Employers want staff who can work in (and lead) cross-cultural teams, or as expatriates in irritatingly different environments. IB students are set to avoid traps of thinking “what works here works anywhere.” They try to make sense of varieties in organization, employment standards, or finance traditions. They are aware of nuances as they practice intercultural communication. They study Hofstede’s cultural dimensions.

They work on languages, country and regional studies. They learn to decipher foreign institutions, laws, norms, geography, whole economic systems. Naturally, without a clue of how history shaped them, the IB student will be all at sea.

Strangely, history slips into IB programs by stealth. The camouflage is “culture.” IB programs are unthinkable without cultural classes, and deep down in module descriptions they happily sink history. But IB departments avoid course titles which have the word history in it. It is a symptom of presentism: culture is alright since it is a factor in the present; but history is dead past. History finds acceptance as an auxiliary to grasp culture, which in turn is auxiliary to core management classes.

There is a serious issue hidden under the camouflage. History is put to classes on cultural, social, and political environments of business. All fine, but where is the dedicated history of business, companies and management, rather than the history of cultures, societies, and politics?

Such history can aid IB students attain the “gift of professional maturity” which comes to those who know their discipline’s history (Bedeian, 2004). Modern subjects often confuse students with complexity. They may find reassurance in the fact that managers long ago struggled with fairly the same complex problems. Understanding their struggles, their half-baked successes or failures can support asking better questions. Students can learn that to consult history is an extra tool in their toolbox. It helps build a critical mind vis-à-vis change, continuity, and practices hyped as “new”. It makes aware that business trends are outcomes of their own times and places. Business history yields judgment skills, transferable and complementary to many IB subfields.

This is not to suggest that the benchmark is the standalone business history course. It would be great if depart-

ments followed the Copenhagen Business School, where an IB flagship English-taught B.Sc. starts off with a mandatory class, “The Company in its Historical and International Setting.” Realistically, few IB departments will copy that. Some pursue electives, studium generale subjects, or non-credit lectures. However, the author would propose that business history can be part of core IB classes. Granted, one has to make room, i.e. scrap other valuable topics. But a link-up of history with newest content offers creative chances and deepens the modern knowledge universities wish to confer.

It reflects the author’s experience teaching an “International Management in Europe” course (five credit points, four semester weekly hours), a capstone for Wildau’s B.A. in European Management (EM). It is an IB degree in European clothes, with a long track of “European Competences” classes on EU institutions, laws and policies, culture and languages. The consecutive M.A. has more EU modules and a two-semester track “European Identities” in four tongues. The degree is an applied business alternative to generalist European studies at many universities. Its mission is, notably, not to train the next generation of EU praetorian guards; it is no boot camp for Captain Europe waving a blue gold-starred flag. The EM program’s goal is to make graduates who are adept in Europe’s everyday business affairs. But the degree should attract natural Europhiles. They should graduate with a distinct identity as “European Managers” (with a capital M), showing expert pride. Per contra, the author’s consistent experience has been that they rather do not.

In fact, many students even refute the degree’s claim that its European profile earns them job-marketable IB expertise. They yearn for “specialization” but do not see it in the European aspect of IB. Also, the most ambitious seek, in growing numbers, internships or a semester out not with Erasmus but in destinations like Brazil and China. Not because those are more exotic than

<sup>1</sup> In Germany, Hochschule Osnabrück (2011) won attention when it opened a B.A. in “Applied Economics.” Seen as a radical departure, the program was presented as a “reaction to the financial crisis,” an effort to “educate socially responsible economists” and be “closer to reality” (than traditional research universities). It starts with an economic history class and adds behavioral economics and ethics, all compulsory.

Tallinn, Rotterdam, Porto, Sofia or Limerick but promise more dazzling CV credentials. “That’s where the music plays,” some say. It would be silly to criticize their global appetite. The author’s university proudly promotes its partnerships with non-European places. But EM students’ non-identity as “European Managers” is a strange outcome of the EM curriculum. Somehow a piece of identity seems to be missing.

EM teaching staff have scratched their heads over students’ distance to the core EM profile. The scratch point transfers to other university programs educating for the Single Market. What, if not commitment to Europe, sets them apart from IB degrees anywhere? Identity is a complex matter, even more so when talk is of European identity. That is the subject of a prolific literature. It is ambiguous, vague, some say artificial. Still, formal education has socializing effects which may frame a European identity as a serious attitude “based not on spontaneous affinities but on reflection;” admittedly success is limited since identity is formed on the streets, too (Banús, 2007, S. 58).

The author would stipulate that if his department has failed at one crucial point, it is this: The EM program has no manifest idea for a “European Manager” as a persona or self-concept which connects a unique career definition with personal identification with Europe. The department has also not tackled the question if the “European Manager” view may change with the EU’s crisis, which is an identity crisis as much as an economic one. Few EM students are idealists, enthusiasts, or just optimists about Europe. Many lack confidence that its economy is a reliable engine; they repeat media messages that Europe equals stagnation. Like most young people, they do not enjoy the potboilers of the peace project and the “ever closer union” with the largest market on earth, the Euro its shiny crown. The crisis has exposed, in harshly negative ways, the divergence of the 28 (EU) or 50 (Europe) nations, rather than what Europe holds in common in experience and legacy.

One missing piece in the identity puzzle

may be a lack of explicit effort to represent European business roots. History, not seen as pure chronicle (“one damn thing after another”), forges understanding self and others. It provides a sense of affiliation and continuity through a narrative reservoir about who we are, where we came from and where we are going. Business history opens eyes for nuances, dilemmas, solutions, and opportunities in enterprise. There is no objectivity in it. Any saga is social construction. At university it should be pluralistic and critical, not glorify deeds. Teachers should be quick to point out fallacies of Eurocentrism in a global economy. But it is no vice to teach students that they own a rich common and connected European business heritage which is theirs to discover and pass on to others. In a Shakespearean way, the past is prologue: It sets the stage for the next act. Understanding what stage he is on does help an actor to find his role.

## II. NOTES ON NARRATIVES AND CREATIVE TEACHING

Business history is the field of histories of management and organization, applied technology, work, consumption, social styles, stakeholder relations in society, and of course the biographical account of enterprises. Despite strong national currents in business history, IB’s focus should be on the comparative and transnational. A key ingredient is the history of multinational enterprises (MNE). It would be wrong to only look at MNEs in Europe. Using intercontinental interaction and globalization as a prism or lens to look at European past experience is productive. Globalization is a vital and standard theme of IB curricula and textbooks, discussing competing ideas – for example, is globalization a recent force, an evolution since the dawn of human history, or a pendulum swinging back and forth (Peng & Meyer, 2011, p. 17)? In a longer view, students can see that Europe has driven and profited by globalization, so perhaps they should not fear it.

Business history relies mainly on cases. “Applied” disciplines like to foster inductive learning from examples. A case is concrete and memorable. Stu-

dents draw lessons more easily. What works in general management education works in business history. The challenge lies in selection when time plans allow only for a few hours. What period, what region? What industry? What message? One may feel pressed to build a representative sampler, but well-balanced comprehensiveness is illusory. A pragmatic approach is to test one’s favorites and allow for pedagogical trial and error.

Later the author’s own selections will be summarized without referencing all details; topic literature cited is in English and introductory. A suggestion for broader works is thus in order here: Jones’ and Zeitlin’s Oxford Handbook of Business History (2010) is an all-rounder. In it, Kipping and Üsdiken (2008) relate business history and management science. Good shelf additions are Ferguson’s Civilization: The West and the Rest (2011) and Ascent of Money (2008); The World that Trade Created by Pomeranz/Topik (2006), McCraw’s Creating Modern Capitalism (1998), Cassis’ Big Business: the European Experience in the 20th Century (1997), Berend’s Economic History of 20th Europe (2006), and Broadberry’s Cambridge Economic History of Modern Europe (2010). Wilkins (2008) reviews MNE literature. To counter the typical Anglo-American view that Europe’s widespread family ownership of big business is a flawed idea, James’ Family Capitalism (2006) is helpful. Recommended journals are Business History, Enterprise and Society, Business History Review, Itinerario, Enterprise and Society, Zeitschrift für Unternehmensgeschichte, Entreprises et Histoire; among online media, The Exchange (exchange-bhc.blogspot.de), Bloomberg’s Echoes: Dispatches from Economic History (bloomberg.com/view/echoes), and a syllabus collection, Guide to Business History Courses Worldwide of Harvard’s Business History Initiative (hbs.edu/businesshistory). The European Business History Association, Business History Conference, and national groups offer insightful papers and many useful links.

History works on narrative, so ideally instructors are master storytellers.

For once, PowerPoint is a real help for visualizing. Lectures can rely strongly on images, films and multimedia capsules, from YouTube to museum or educational websites. For example, Harvard's (2007) Historical Returns site on the South Sea Bubble has a decent video. Online cartoon films add a touch of fun, like Richard Condie's John Law and the Mississippi Bubble (1978) or Bob Godfrey's Great (1975) on Britain's daredevil entrepreneur Isambard Kingdom Brunel (the author has seen his students singing its tune "It Can't Be Done" on a subway). TV documentaries are sold on DVD; so are movie classics. For example, the author used scenes from A Dispatch from Reuters (1940) to dramatize high-risk investments in telegraph networks and electrifying impacts its use had on stock markets.

Lecturers should not be afraid to use a playful approach, even if that means, taking cues from museum pedagogy and history marketing, to wear wig and costume as a "living history" interpreter. Students love this (and put their in-class photos on social media while the lecture is still on). They can be assigned to work with artifacts, company documents, statistics, charts, newspapers, ads, posters, cartoons or satire sheets. Digitization has made many primary sources available online. Stovall (2010) demonstrates experiential learning tryouts, e.g. role-playing the Hawthorne Studies, planning a historic megaproject, or working an assembly line with Lego bricks kits. In the author's telegraph unit, T-mail crews strung a line across lecture halls, used simple telegraph kits, and competed with mobile phone text-messaging (aha moment: SMS can be beat by a 170-year-old technology). Classes may be blended with web quests, e-discussions, online and PC games.

Museum excursions are natural, but not every local craft gallery fits IB. Large technical museums may be a good choice. They are full of company stories. Take Berlin's: next to its planes, aviation floors colorfully portray airlines' and airports' beginnings and social sides of air travel. Museums of industry, work, post, or firm collections (e.g. BMW or Siemens Museums in

Munich), or seaport museums on shipping and commodities (sugar, coffee, cocoa, tea, fruit, grains, cotton, tobacco, metals, oil) can be visited for quiz-sheet treasure hunts, hands-on activities, or private seminars. Foreign study tours are great opportunities if taken off standard tourist tracks. Expert city walks in financial, commerce or industry quarters can be found with a local agency. Educational institutions often offer special packages. In London, the author's students learned a semester's worth at the Museum of Brands (marketing), the Bank of England (money), and in a seminar on sugar trade in the Docklands (sea trade). At the British Library, the curator encouraged awed students to flip through original 300-year-old ship logs and account ledgers of the East India Company.

### III. BIRTH OF THE MULTINATIONAL COMPANY

The author's first selection unfolds as theatrical melodrama on screen. Drums roll, ocean winds whistle. Full with cargo, cannon ready, tall ships glide past exotic harbors. "The most powerful companies in history," booms a deep voice. "From trading, they gathered immense wealth. And they waged wars against each other. Can you create a company that will dominate all others?"

The colorful trailer for PC trade simulation East India Companies has a fierce tone. It fits the firms' combative tactics and nasty social record; they are not a convenient legacy for Europe. But they "shaped the modern multinational" as prototypes (Robins, 2006). They drove globalization and created big-organization careers with cross-cultural versatility. Their top managers were "merchant kings" in an "age of heroic commerce" when "companies ruled the world" (Bown, 2009, p. 1). But as Bowen et al. (2011) point out, Europe's "monsoon traders" had to reconcile with Asia's local market powers and fine-tune diplomacy. Almost forgotten, they were rediscovered in the 1990s. Their histories "resonate with growing contemporary concerns over multinational businesses and the rapacious effects of globalization"; so the East India company "appears relevant

again" (Blythe, 2011, p. 185). They lived by state power handed to them for public purpose, so they are a bit similar to today's state-backed firms coming out of emerging markets (Economist, 2011, p. 111).

In the age of mercantilism, Europe chartered some 70 companies with national trade monopolies. The "spice race" started the run for exotic goods, then adding saltpeter, indigo, tea, porcelain, silk, cotton, sugar, coffee, tobacco, opium. Fleets went first to the East Indies, then traded in all Asia, Africa, and the Americas. Their trade outposts were called "factories," which over time evolved from purchasing agencies to production centers. In some lands, they forced colonial rule over the locals. In Europe, their imports profoundly changed consumer culture, habits and lifestyles.

Two firms stand out: Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC, 1602-1798) and the English East India Co. (EIC, 1600-1874). The VOC was formed when Dutch cities' rivaling merchant chambers united to form a cartel. Their board managed, together with regional governors, a huge empire. "Statistically, the VOC eclipsed all of its rivals in the Asian trade," says the Dutch National Archive: In its heyday, 30,000 people of many colors were employed in 50 locations worldwide. In 200 years of operation, it sent one million Europeans to work in Asia trade, more than the combined rest of Europe. 4,800 ships filled their cargo holds with 2.5 million tons of Asian goods (Boven, 2002, p. 14). It is a key lesson that for all its might, VOC went broke for poor cost control, loose leadership and bad strategy in changing markets. Unchecked graft let people joke, VOC stood for "Vergaan Onder Corruptie," perished by corruption (Reynders, 2002). Rival EIC lived longer, but its profitable monopoly was killed by home industrialists' rising lobby pushing for free trade (Keay, 1993, p. 451).

The VOC was the world's first joint-stock company. Investors pooled risk by what the Dutch called "acties," pieces of the action. They formed a legal body state-privileged by limited



liability. In Micklethwait's (2005) account *The Company: A Short History of a Revolutionary Idea*, this made the corporation the key unit of modern economies. The stock exchange was its child, too. The Amsterdam Beurs, origin of today's NYSE-Euronext, opened to serve VOC shareholders who could not sell stocks back to the firm. They had to sell on a secondary market. Traders then found they could use VOC shares as underlying assets for contracts: derivatives were born. The tricky trade of short-selling came next. London copied the Amsterdam model but grew faster: More firms traded, liquidity rose, and public debt was floated. The English utilized the securities market more effectively (Petram, 2011, p. 184). Had the VOC used its own exchange better, it may have survived longer; but it relied on "old methods of financing for too long" (Gaastra, 2003, p. 173).

#### IV. WHEN MARKETS BLOW BUBBLES

In *Wall Street: Money Never Sleeps* (2010), evil speculator Gordon Gekko ("greed is good") has on his wall a painting, a Dutch tulip price index chart. It rises steeply, then drops to naught: the 1637 Tulipmania. "This is the greatest bubble story of all time," he tells a young trader. "People got wiped out. But who remembers?" Many do now, thanks to post-2008 debates. For "extraordinary passions it aroused" (Dash, 2001) and colossal fortunes lost, it has been cited over and over as a showcase of extreme mispricing due to easy credit and easy rules. It ended in crisis and state bailouts. It is a good yarn. But: myth-busting historians say Tulipmania is "an artifact" (Thompson E., 2006, p. 99) or "based almost solely on propaganda" (Goldgar, 2007, p. 6). For some bubbles' hyped afterlife, it may be said "the bubble has itself been bubbled" (Hoppit, 2002, p. 141).

Tulipmania was not really an international affair. Most later bubbles were, so bubblenomics is fair game for an IB class. Bubbles are creatures of international business. Free cross-country capital flow aids them. "For the most part," says Kindleberger in his *anatomy of Manias, Panics, and Crashes*, "financial crises ricochet from one

country to another." They "tend to be international and either affect a number of countries at the same time or alternatively spread from the centers where they originate to other countries" (2005, p. 124). So it was in 2008, the 2000 Dotcom bubble, 1997 Asia meltdown, and 1987 Black Monday. Farther back, 1929 is popular to analogize to 2008.

Even more eerie is the familiar look of the 1873 panic ("Gründerkrach"). Viennas's bourse crashed first, then Berlin, then Italian, Belgian, Dutch, Swiss markets. New York went down; panic returned to Vienna. It had all begun with a collapse of Europe's construction boom, fired by young banks lending freely on loose collateral. In another arena, high-risk tools spiraled out of control: German investors in U.S. rail had built "a complex financial pyramid rested on a pinhead" (Nelson, 2008). Nervous over default, financiers pulled back. Interbank lending froze. Assets turned toxic. A credit crunch broke industrials, banks shut down, and a long depression followed in Europe and America.

1720 was the earliest European bubble year. Next to France and Britain, markets from Hamburg to Amsterdam, Milan to Lisbon were affected when the crisis hit. It began in London with the South Sea Company and the Mississippi Company in Paris. These firms sold investors, many foreign, on riches with emerging markets. On paper, they set to trade and colonize – but never did. Both firms involved state debt assets and public banks. Then Europe saw hundreds of "bubble companies" copying the cash-collecting model. The Dutch called them "windhandel" firms, selling the wind. It was a carnival of opportunistic start-ups without a business plan, bizarre foreign ventures and sure swindles. Long-term dividend payments were not what equity-buyers wanted. Their clever idea was "selling them on to greater fools. In a very short time, however, they were to discover that there were no greater fools in the market than themselves" (Chancellor, 1999, p. 72).

Students keen on international finance may later say in their careers, "this

time it's different!," as in the title of Rogoff's and Reinhart's book (2011). They may think, "I know when to pull out." To make them wiser, they can reconstruct how infamous firms, like South Sea or Mississippi, attracted so many. Besides fraud and animal spirits, swings of judgment about uncertain future profits are at work: "In a bubble not everyone is irrational," notes Ferguson (2008, p. 122). It is hard to tell in a concrete situation if speculation is reasoned risk-taking or stupid gambling. Frehen et al. (2013) argue that 1720 bubbled because money was bet on real innovations: a shift from Asia to Atlantic trade, creative concepts to swap government debt for private stocks, and new models of maritime insurance. The market was not without fundamentals. But still, speculation made them matters of "extraordinary popular delusions and the madness of crowds" (Mackay, 1995).

#### V. BUSINESS GOES ONLINE

Today's students are digital natives, glued to their gadgets. They post, poke, tweet, skype, blog, stream, up and download constantly. They cannot conceive of IB careers without instant global data flow. One electrifying insight is that our digital network economy got off in the 1840s. Online pioneers created the world's first Internet in the 19th century; theirs was even more revolutionary than the Internet of the 20th, argues Standage (2009). The original e-mail was a t-mail, t as in telegraph. It sparked the telecom and electric industries and enabled value-adding information services. One can trace a path "from dot-dash to dot.com" (Wheen, 2010). Student knowledge of the industrial age may be reconfigured: Around 1900, students usually guess the world's biggest MNE was a manufacturing giant. In reality, it was a European telegraph firm (Huggill, 1999, p. 32).

An "intimate relationship between the telegraph and commerce" developed (Wenzlhuemer, 2012, p. 88). This is especially true for IB: Where messages before telegraphy had traveled days, weeks or months, they were now relayed in minutes. From efficient shipping and railway logistics to mail-order

catalogues, price data to feeding content to mass media, the wire was indispensable. It was not cheap, but firms were willing to pay premium rates. Constant updating kept firms competitive, and telegraphy “was like a drug to businessmen, who swiftly became addicted” (Standage, 2009, p. 166) like smartphone-obsessed managers today. Bankers and investors by the 1870s equipped offices with a ticker constantly spitting out real-time stock quotes, a teleprinter. Its alphanumeric code lives on in “ticker symbols” for listed companies still scrolling over websites and TV screens.

Managers used the telegraph to lead and scale up ever-larger firms. It offered headquarters direct reach in vast territory. It widened the span of control. Coordinated companies could grow into really big business. One telegraphy-era tool every business student knows is the organization chart. First used in railroads, it not only set hierarchies but reporting and data flow (Rosenthal, 2013).

Bypassing middlemen, merchants and factories now could make online deals with distant suppliers or customers: “Suddenly the price of goods and the speed with which they could be delivered became more important than their geographic location” (Standage, 2009, p. 165). Equity and commodity bourses used to be slow-paced. Many regional exchanges only served small areas. Telegraphy integrated fragmented markets, and had centralizing effects. Bourses with larger markets made better prices – if traders got current price information: “It is axiomatic that a market cannot be larger than the area in which communication is, effectively, instant,” says Gordon (2000, p. 80). Across Europe, agencies for time-sensitive news sprang up like those of Charles Havas (Paris), Bernhard Wolff (Berlin), Guglielmo Stefani (Turin) and Paul Julius Reuter, a German in London. His firm, Reuters, now with 60,000 staff in 100+ countries, promotes itself as “the world’s leading source of intelligent information for businesses and professionals.” In 2007, Reuters Group plc sold for €13 billion to Thomson Corp., overtaking rival Bloomberg (Thompson, 2007).

International demand for line infrastructure was huge. That was a chance for foreign specialists like the small Berlin equipment workshop, Telegraphen Bau-Anstalt von Siemens & Halske. It grew fast as a state contractor for network systems, and as a cable maker. Public procurement can be tricky. Blamed for technical failures, Siemens fell out of favor with the Prussian state. Its home market destroyed, the firm survived by opening foreign subsidiaries. The czar let Siemens wire Russia from Finland to the Crimea. When it then finished the 11,000 km Indo-European Line to Calcutta in just two years, it was a sensation. Siemens secured projects in the Americas and Africa. It equipped China, Indonesia, and Japan before the century ended. It entered transatlantic cable business, too. It was a high-risk venture to lay “threads across the ocean” (Gordon, 2003), but by 1900 hundreds of thousands of kilometers of submarine cables connected Europe with all continents via seabed. Students may compare current and historic global cable maps: They realize that when using non-European websites, they run data on a century-old network (just with better bandwidth, thanks to optical fibre). The telegraph business had made the world a smaller place.

## VI. MEGAPROJECT: EUROPE AT SUEZ

Energy firm GDF Suez is one of Europe’s oldest MNEs. With 220,000 employees in 70 countries and as a Euronext CAC40 blue chip, it ranks 95th on Forbes’ Global2000 list of “most powerful” firms; among electric utilities, it ranks second (DeCarlo, 2013). What is most curious is the name. GDF stands for the merged-in Gaz de France. But Suez? As in, Suez Canal? Yes. The firm, born 1859, built the waterway. The Compagnie universelle du canal maritime de Suez ran it until 1956 when Egyptian nationalists took it away. France and Britain staged a military invasion to retrieve the canal, but were halted by the UN. In Paris, the firm sat as “mere pawn in a wider political game” (Bonin, 2010, p. 474). Stranded as a canal company with no canal, it changed into a bank group. But in the 1990s, it morphed into an all-European utilities champion, “quite

a business school case study for a Europeanization management model,” (Bonin, 2005, p. 25). In a portrait discussing the firm’s plans, the Financial Times ran a headline, “GDF Suez rekindles spirit of Lesseps” (Betts, 2010). How can a 21st century student understand this 21st century headline?

The FT observed, GDF Suez has been “steadily returning to its old Suez Canal roots” by going “back to its industrial origins,” and pursuing grand plans in the Middle East (Betts, 2010). Company founder Ferdinand de Lesseps had lobbied the Ottoman Empire to fulfill Napoleon’s dream: part the desert to shorten shipping from Asia to Europe by 6,000 km. Since opening 1869, the bulk of trade between Europe and Asia travels through it, i.e. 10-15 percent of global seaborne trade goods (Khan-kishiyeva, 2013). This likely includes most students’ pants, shirts, shoes, pens and bags, smartphones, laptops, the gasoline in their car’s tank, if not the (Asian made) car itself. In 2012, 16,600 ships with 755,000 tons of cargo passed, and paid €5 billion tolls (SCA, 2014). A fleet of EU warships protects this trade lifeline from pirates and terrorists south of Suez.

Lesseps’ project was truly European. European management was key to all stages – winning legal concessions, filling a capital pool, finding contractors, operating the ten-year moving construction site. The firm’s top managers and engineering crew had many passports. The project came to life on a common European belief in that it could be done. It successfully created attention in Europe. It was less good at finding pancontinental financing. Leading banks were unenthusiastic, so the firm went public to recruit middle-class investors. Its book-building road show went to a dozen nations. Securities sold well in France but flopped everywhere else, partly due to British sabotage. Britain feared for its supremacy at sea. Ironically, it later became the firm’s major shareholder.

1.5 million Egyptians worked on the canal in a decade. Many were corvée laborers supplied by the Egyptian state. In a long scandal, the company was attacked as a slaveholder. Its mana-



gers tried to defend the firms' practices in the European media, and prove human conditions. Yet diseases, heat, lack of water and care took their toll: 35,000 workers died (Wilson, 1939, p. 31). Clearly, this is a good case for teaching about a multinational firm's Corporate Social Responsibility (CSR).

Most of the 164 km were dug by hand, sand carried away by mules and camels. Only later did the firm find enough capital to bring in steam-powered machines. Sometimes there were no workers, materials, or no contractors, or no legal authorizations, or no money to go on. Hence, Suez set the standard for cost overruns (and lying about it) in transport infrastructure, says megaprojects expert Bent Flyvbjerg: "Actual construction costs were 20 times higher than the earliest estimated costs and three times higher than the cost estimate for the year before construction began" (2002, p. 286). It took years before the Canal became profitable for the company, but finally the firm thrived.

The host country hardly profited at all, which Europeans ignored until the sun set on colonialism. They also neglected economic development of the canal corridor. For 144 years, its banks have been empty. Ports and canal communities are poor, jobless, and hotbeds of violent rebellion. In a new megaproject, Egypt plans to make the area a world hub for logistics and industry (Werr, 2012).

## VII. SHARING THE SKIES

Civil aviation is the most international of international businesses. But airlines have never been "just another industry" (Rhoades, 2008, p. 3). Relative to their size, they get overproportional attention but usually underperform. They tend to be undercapitalized, suffer high fixed operating costs, and yield ridiculously low profit margins. When Europe's airlines took off in the 1920s, the situation was the same. Except that flying was still an adventure, and managers were still inventing the airline.

European airlines flew on two wings. First, they were from the start international. It made no sense to fly only

domestic. Countries were too small. Even large nations could be traveled well by ground transport. Some airlines were what IB theory 70 years later described as "born global," a firm type which internationalizes instantly "by design and not by emergence" (Tanev, 2013, p. 5). Second, the state was ever-present. It regulated the industry heavily. It offered lucrative air mail contracts which "subsidized the passengers and made it worthwhile to bother with them" (Hudson & Pettifer, 1979, p. 51). It paid other subsidies, or even became owner. Most airlines started on private initiative but came fast under state influence. Privileged firms became flag carriers of the nation, evolving into "government birds" (Staniland, 2003). Britain, France, Belgium, the Netherlands, Italy, Spain, and Portugal financed a national air service to connect homeland and colonies. It was a matter of national prestige, "almost unthinkable" not to have one (Dierikx, 2008, p. 13).

Deutsche Luft Hansa had no such task in the 1920s. Germany had lost its colonies and was restricted in aviation development. Still, DLH received generous subsidies. A visible airline was important politically. Germany was forbidden to have an air force, and national reputation was in need of repair. DLH was to promote exports, expand commercial relations, and be a symbol for Germany's technical and economic leadership (Fritzsche, 1992, p. 178). DLH spread its wings over Europe and concentrated on linking major cities; by the late 1920s, it flew more passengers and kilometers than all neighbor airlines combined. It became "Europe's first 'European' airline" (Lyth, 2011, p. 262). There were global ambitions, too. DLH was able to compete hard in remote places (Crouch, 2003, p. 212). DLH had subsidiaries in Brazil (Condor) and Spain (Iberia). Forerunner Junkers had already connected Turkey, Persia, and South America, which was a hot spot for Germans interests. In a highly political deal with the revolutionary Soviet Union, DLH co-owned German-Russian airline Deruluft, and for China mail, it created the Eurasia Aviation Corp.

To fly cross-border, foreign airlines had

to rely on bilateral state agreements. After World War I, air law was strict. States insisted on full sovereignty over their airspace, unwilling to apply to the sky maritime law's "freedom of the seas" principle that oceans are open to all trade. Only in 1944 did a UN conference in Chicago declare "freedoms of the air". With many wrenches thrown in the works, "it was almost miraculous that the 1920s and 1930s saw the development of an extensive international network of air services," notes Dierikx; often, political obstacles "at the negotiating table were even bigger than the actual problems to be overcome en route" (2008, p. 15). Airlines, fearing dog-eat-fog competition, tried to iron out matters among themselves. In 1919, managers of six young airlines (British, Danish, Dutch, German, Norwegian, and Swedish) founded the International Air Traffic Association (IATA) – which is still key in today's global air transport. Its members began to standardize ticketing, booking, safety and technical rules, passenger rights, liability and insurance, and to synchronize schedules. Most European airlines became IATA members fast. By the 1930s this European idea drew in firms from Africa, Asia, and the Americas. It became the "parliament of the world's airlines." Its relaunch after 1945 led to state-ratified price-fixing which, for some, made IATA "one of the most hated cartels in the world" (Sampson, 1985, p. 10). The cartel "suited the Europeans" because it protected profits of weak airlines (Heppenheimer, 1995, p. 117).

## VIII. CONCLUSIONS

The five compact cases presented here are suggestions meant to engage the reader in thinking about scenarios for class, based on examples from the author's teaching in 2010-12. Detailed tips for didactics, methods or media have not been given here, nor has student feedback been discussed. For that, the author refers back to section II. Rather, the author's intention was to introduce to the motivated non-historian reader what kind of themes and topics may be used in an IB class. Historic cases should be interesting to the student who is not per se interested in history. If told that "history matters!", he may

not be all that all willing to make an extra effort to find out all by himself how history matters. This is for the professor to prove. To link yesterday's legacy of European business with today's critical questions is, of course, key to making this kind of teaching relevant.

## LITERATURE

- Banús, E. (2007). Educate European identity? *Journal of Social Science Education*, 6(1), S. 57-67.
- Bedeian, A. G. (2004, March). The gift of professional maturity. *Academy of Management Learning & Education*, 3(1), pp. 92-98.
- Berend, I. T. (2006). An economic history of twentieth-century Europe: economic regimes from laissez-faire to globalization. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Betts, P. (2010, March 4). GDF Suez rekindles spirit of Lesseps. Retrieved August 3, 2013, from *Financial Times*: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/92b4983c-27c7-11df-863d-00144feabdc0.html#axzz2etV6ZxCe>
- Blythe, R. J. (2011). Smoke, and flame, and thunder: The company, its demise and its legacies, . 1830-70. In H. V. Bowen, J. McAleer, & R. J. Blyth, Monsoon traders. The maritime world of the East India Company (pp. 158-185). London: Scala.
- Bonin, H. (2005). Suez: The endeavour to evolve from a French flagship in utilities to a European corporation (1982-2006). Retrieved August 3, 2013, from Hubert-Bonin.com: <http://boninhub.free.fr/files/documents/BONIN%20SUEZ%20SCHROTER%2022%20APRIL.doc>
- Bonin, H. (2010). History of the Suez Canal Company 1858-1960: between controversy and utility. Geneva: Droz.
- Boven, M. W. (2002). Nationaal Archief TANAP memory of the world register nomination. Retrieved from Unesco: [http://portal.unesco.org/ci/en/files/2635/11546101681netherlands\\_voc\\_archives.doc/netherlands%2Bvoc%2Barchives.doc](http://portal.unesco.org/ci/en/files/2635/11546101681netherlands_voc_archives.doc/netherlands%2Bvoc%2Barchives.doc)
- Bowen, H. V., McAleer, J., & Blyth, R. J. (2011). Monsoon traders. The maritime world of the East India Company. London: Scala.
- Bown, S. R. (2009). Merchant kings. When companies ruled the world, 1600-1900. London: Conway.
- Broadberry, S. (2010). The Cambridge economic history of modern Europe, vol. 2: 1870 to the present. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Bucheli, M. (2012). Integrating business history in a friendly environment where no previous tradition existed. *Teaching business history: insights and debates* [ed. G. Jones & W. Friedman] (pp. 16-18). Cambridge, Mass.: Harvard Business School.
- Cassidy, Y. (1997). Big business: the European experience in the 20th Century. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Chancellor, E. (1999). Devil take the hindmost: a history of financial speculation. New York: Penguin.
- Crouch, T. D. (2003). Wings. A history of aviation from kites to the space age. New York / London: W.W. Norton.
- Dash, M. (2001). Tulipomania. The story of the world's most coveted flower & the extraordinary passions it aroused. New York: Broadway Books.
- DeCarlo, S. (2013, April 17). The world's biggest companies. Retrieved August 3, 2013, from *Forbes Global 2000*: <http://www.forbes.com/global2000/>
- Dierikx, M. (2008). Clipping the clouds. How air travel changed the world. Westport: Praeger.
- Banús, E. (2007). Educate European identity? *Journal of Social Science Education*, 6(1), S. 57-67.
- Bedeian, A. G. (2004, March). The gift of professional maturity. *Academy of Management Learning & Education*, 3(1), pp. 92-98.
- Berend, I. T. (2006). An economic history of twentieth-century Europe: economic regimes from laissez-faire to globalization. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Betts, P. (2010, March 4). GDF Suez rekindles spirit of Lesseps. Retrieved August 3, 2013, from *Financial Times*: <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/92b4983c-27c7-11df-863d-00144feabdc0.html#axzz2etV6ZxCe>
- Blythe, R. J. (2011). Smoke, and flame, and thunder: The company, its demise and its legacies, . 1830-70. In H. V. Bowen, J. McAleer, & R. J. Blyth, Monsoon traders. The maritime world of the East India Company (pp. 158-185). London: Scala.
- Bonin, H. (2005). Suez: The endeavour to evolve from a French flagship in utilities to a European corporation (1982-2006). Retrieved August 3, 2013, from Hubert-Bonin.com: <http://boninhub.free.fr/files/documents/BONIN%20SUEZ%20SCHROTER%2022%20APRIL.doc>
- Bonin, H. (2010). History of the Suez Canal Company 1858-1960: between controversy and utility. Geneva: Droz.
- Boven, M. W. (2002). Nationaal Archief TANAP memory of the world register nomination. Retrieved from Unesco: [http://portal.unesco.org/ci/en/files/2635/11546101681netherlands\\_voc\\_archives.doc/netherlands%2Bvoc%2Barchives.doc](http://portal.unesco.org/ci/en/files/2635/11546101681netherlands_voc_archives.doc/netherlands%2Bvoc%2Barchives.doc)
- Bowen, H. V., McAleer, J., & Blyth, R. J. (2011). Monsoon traders. The maritime world of the East India Company. London: Scala.
- Bown, S. R. (2009). Merchant kings. When companies ruled the world, 1600-1900. London: Conway.
- Broadberry, S. (2010). The Cambridge economic history of modern Europe, vol. 2: 1870 to the present. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Bucheli, M. (2012). Integrating business history in a friendly environment where no previous tradition existed. *Teaching business history: insights and debates* [ed. G. Jones & W. Friedman] (pp. 16-18). Cambridge, Mass.: Harvard Business School.
- Cassidy, Y. (1997). Big business: the European experience in the 20th Century. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Chancellor, E. (1999). Devil take the hindmost: a history of financial speculation. New York: Penguin.
- Crouch, T. D. (2003). Wings. A history of aviation from kites to the space age. New York / London: W.W. Norton.
- Dash, M. (2001). Tulipomania. The story of the world's most coveted flower & the extraordinary passions it aroused. New York: Broadway Books.
- DeCarlo, S. (2013, April 17). The world's biggest companies. Retrieved August 3, 2013, from *Forbes Global 2000*: <http://www.forbes.com/global2000/>
- Dierikx, M. (2008). Clipping the clouds. How air travel changed the world. Westport: Praeger.
- (2013, June). New evidence on the first financial bubble. *Journal of Financial Economics*, 108(3), pp. 585-607.
- Fritzsche, P. (1992). A nation of fliers. German aviation and the popular imagination. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Gaastra, F. S. (2003). The Dutch East India Company: expansion and decline. Zutphen: Walburg Pers.
- Goldgar, A. (2007). Tulipmania: money, honor, and knowledge in the Dutch Golden Age. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Gordon, J. S. (2000). The great game: the emergence of Wall Street as a world power, 1653-2000. New York: Touchstone.
- Gordon, J. S. (2003). A thread across the ocean: the heroic story of the transatlantic cable. New York: Harper Perennial.
- Harvard Business School. (2007). Financial bubbles. Retrieved from Historical returns: <http://www.library.hbs.edu/hc/historicalreturns/fb/>
- Heppenheimer, T. A. (1995). Turbulent skies. The history of commercial aviation. New York: Wiley.
- Hochschule Osnabrück. (2011, April 12). Hochschule Osnabrück reagiert auf Finanzkrise [press release]. Retrieved August 1, 2013, from Hochschule Osnabrück: <http://www.hs-osnabrueck.de/722+M5c7e79a0f6e.html>
- Hoppit, J. (2002). The myths of the South Sea Bubble. *Transactions of the Royal Historical Society*, 12(1), pp. 141-165.
- Hudson, K., & Pettifer, J. (1979). Diamonds in the sky: a social history of air travel. London: Bodley Head / BBC.
- Hugill, P. J. (1999). Global communications since 1844: geopolitics and technology. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press.
- James, H. (2006). Family capitalism: Wendels, Haniels, Falcks, and the continental European model. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Jones, G., & Zeitlin, J. (2010). The Oxford handbook of business history. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Keay, J. (1993). The honourable company. A history of the English East India Company. London: HarperCollins.
- Khankishiyeva, E. (2013, August 26). Egypt's economy: light at end of tunnel. Retrieved September 6, 2013, from Trend News Agency: <http://en.trend.az/capital/analytical/2182542.html>
- Kindleberger, C. (2005). Manias, panics, and crashes: a history of financial crises [5th ed.]. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kipping, M., & Üsdiken, B. (2008). Business history and management studies. In G. Jones, & J. Zeitlin, The Oxford handbook of business history (pp. 96-119). Oxford: Oxford Univ. Press.
- Lyth, P. (2011). Deutsche Lufthansa and the German state, 1926-1941. In T. Gourvish, Business and politics in Europe, 1900 - 1970 (pp. 246-268). Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Mackay, C. (1995). Extraordinary popular delusions and the madness of crowds. Ware: Wordsworth.
- McCraw, T. K. (1998). Creating modern capitalism: how entrepreneurs, companies, and countries triumphed in three industrial revolutions. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.
- Micklethwait, J., & Wooldridge, A. (2005). The company: A short history of a revolutionary idea. New York: Modern Library.
- Mittelstaedt, E., Lutz, R., & Wiepcke, C. (2013). The financial crisis - an ideal teaching moment. *Journal of Social Science Education*, 12, pp. 11-20.
- Nelson, S. R. (2008, October 17). The real Great

Depression. Retrieved August 25, 2013, from Chronicle of Higher Education: <http://srnls.people.wm.edu/articles/realGrTDepr.html>

Peng, M., & Meyer, K. (2011). *International business*. London: Cengage Learning EMEA.

Petram, L. O. (2011). The world's first stock exchange: how the Amsterdam market for Dutch East India Company shares became a modern securities market, 1602-1700 [Dissertation]. Retrieved from Amsterdam University: <http://dare.uva.nl/document/201694>

Pomeranz, K., & Topik, S. (2006). *The world that trade created. Society, culture, and the world economy* [2d ed.]. Armonk, NY / London: M. E. Sharpe.

Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2011). *This time is different: eight centuries of financial folly*. Princeton: Princeton Univ. Press.

Reynders, P. (2002). Why did the largest corporation in the world go broke? An economic review. Retrieved from Project Gutenberg Australia: <http://gutenberg.net.au/VOC.html>

Rhoades, D. L. (2008). *Evolution of international aviation: Phoenix rising*. Farnham: Ashgate.

Robins, N. (2006). *The corporation that changed the world: how the East India Company shaped the modern multinational*. London: Pluto Press.

Rosenthal, C. (2013, March). Big data in the age of the telegraph. Retrieved August 3, 2013, from McKinsey Quarterly: [http://www.mckinsey.com/insights/organization/big\\_data\\_in\\_the\\_age\\_of\\_the\\_telegraph](http://www.mckinsey.com/insights/organization/big_data_in_the_age_of_the_telegraph)

Sampson, A. (1985). *Empires of the sky. The politics, contests and cartels of world airlines*. Hodder, Stoughton: Coronet.

SCA. (2014). Suez Canal statistics. Retrieved May 15, 2014, from Suez Canal Authority: <http://www.suezcanal.gov.eg/TRstat.aspx?reportId=4>

Standage, T. (2009). *The Victorian Internet: the remarkable story of the telegraph and the 19th century's on-line pioneers*. New York: Bloomsbury.

Staniland, M. (2003). *Government birds: air transport and the state in Western Europe*. Lanham, Md.: Rowman & Littlefield.

Stovall, S. A. (2010). Recreating the arsenal of Venice using experiential activities to teach the history of management. *Journal of Management Education*, 34(3), S. 458-473 .

Tanev, S. (2013, March). Global from the start: the characteristics of born-global firms in the technology sector. *Technology Innovation Management Review*, 8(3), pp. 5-8.

Thompson, E. (2006). The tulipmania: fact or artifact? *Public Choice*, 130, pp. 99-114.

Thompson, M. (2007, May 15). Thomson, Reuters to forge global info leader. Retrieved August 10, 2013, from Reuters.com: <http://www.reuters.com/article/2007/05/15/us-reuters-thomson-idUSL1553044220070515>

Wenzlhuemer, R. (2012). *Connecting the nineteenth-century world: the telegraph and globalization*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Werr, P. (2012, October 10). Egypt sees revenue in Suez Canal corridor project. Retrieved August 3, 2013, from Reuters.com: <http://www.reuters.com/article/2012/10/10/us-egypt-canal-idUSBRE8990Y920121010>

Wheen, A. (2010). *Dot-dash to dot.com: How modern telecommunications evolved from the telegraph to the Internet*. New York: Springer.

Wilkins, M. (2008). The history of the multinational enterprise. In A. M. Rugman, *The Oxford handbook of international business* (S. 3-38). Oxford: Oxford Univ. Press.

Wilson, A. T. (1939). *The Suez Canal. Its past, present, and future* [2d ed.]. Oxford: Oxford Univ. Press.

## AUTHOR

**Prof. Dr. Marco Althaus**

Social Sciences

Department of Business, Computing and Law

Technical University of Applied Sciences Wildau

T +49 3375 508-341

[marco.althaus@th-wildau.de](mailto:marco.althaus@th-wildau.de)



# ONLINEKURS „INTERKULTURELLES LERNEN UND ARBEITEN“ ALS EIN BAUSTEIN DER INTERKULTURELLEN QUALIFIZIERUNG – ANMERKUNGEN ZUM EINSATZ

Olga Rösch, Margit Scholl, Bettina Strewe, Christian Niemczik, Anja Teske

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundprojekts „InterKomp KMU 2.0“ ist im Teilprojekt „Technik und Kultur“ der TH Wildau [FH]<sup>1</sup> ein computergestütztes Lehrwerk zu interkulturellen Kompetenzen für KMU und insbesondere für KKV in Brandenburg entstanden, das inhaltlich und methodisch sowohl mehreren Anforderungen an Weiterbildungsangebote im Themenfeld Interkulturalität entspricht als auch dem Lehr- und Lernformat Blended Learning (BL) genügt. Der modular aufgebaute Onlinekurs bildet thematisch die wichtigsten Schwerpunkte des Bereiches Interkulturelles Lernen ab, stellt eine bereichernde Ergänzung für jede interkulturelle Bildungsmaßnahme dar und ist für Nutzer frei und kostenlos zugänglich. Für das selbstständige Lernen ist der Onlinekurs eine gute Möglichkeit, eine größere Sensibilität für interkulturellen Kontexte zu entwickeln und das Grundlagenwissen auf dem Gebiet der interkulturellen Kommunikation anzueignen. Allerdings muss er als Lehr- und Lernmaterial in den Gesamtzusammenhang der interkulturellen Bildung eingebettet und der Lernprozess durch diskursive Lernmethoden in den Präsenzphasen professionell begleitet werden, um das Lernziel interkultureller Handlungskompetenz zu erreichen.

## Abstract

The sub-project “Technology and Culture” at the UAS Wildau” forms part of the joint project “Interkomp KMU 2.0”. It has generated a computerized textbook providing an online course on intercultural competences for small and medium-sized enterprises (SMEs), with a particular focus on micro and small enterprises (MSEs) in Brandenburg. The contents and methodology of this course satisfy the various demands for further education in the field of interculturalism and conform to the teaching and learning formats of Blended Learning (BL). With its modular structure, the course takes a thematic approach, mapping out most important areas for intercultural study and work. It represents a valuable addition to any intercultural training programme and is universally accessible to users free of charge. The course is a useful resource for self-directed learning, providing an opportunity to develop greater sensitivity to intercultural contexts and acquire a basic grounding in the field of intercultural communication. However, its teaching and learning materials need to be integrated into the overall context of intercultural education and the learning process should go hand in hand with discursive learning methods applied in the course of professional on-campus training periods. In this way the learning objectives of intercultural competence can be achieved.

## I. EINLEITUNG

Die Bedeutung interkultureller Kompetenz bei der Verhandlungskommunikation, Vertragsgestaltung oder Durchführung von internationalen Projekten ist unbestritten. Interkulturelle Kompetenz ist zu einer unverzichtbaren Qualifikationskomponente in der Managerausbildung geworden und gilt inzwischen als Ausweis für Professionalität bei der Abwicklung von internationalen Geschäften. Dementsprechend ist der Bedarf an Kulturwissen bzw. Fachwissen der In-

terkulturalisten in den letzten 20 Jahren stark gestiegen.

Die Hochschulen begegneten dem Bedarf der globalisierten Märkte und einer Multikulturalisierung der Gesellschaft mit Intensivierung ihrer Forschung zur interkulturellen Kommunikation<sup>2</sup>, durch neue innovative Studiengänge mit interkulturellen Schwerpunktsetzungen sowie mit studienbegleitenden Lehrangeboten in verschiedenen Formaten. Die größeren international agierenden Wirtschaftsunternehmen, aber auch

nichtkommerzielle Einrichtungen, Institutionen und öffentlicher Dienst reagierten auf den Bedarf mit entsprechenden Fortbildungsmaßnahmen (vgl. z.B. Grünhage-Monetti, 2005, Otten/ Scheitza/ Cnyrim, 2007 u.a.).

Bildungsangebote mit interkulturellen Schwerpunkten umfassen thematisch ein breites Spektrum und werden methodisch in vielfältigen Formaten zwischen klassischem Unterricht und Lehre über Trainings bzw. Seminare bis zu Coachings und Beratungen realisiert. Das Lehrfach

<sup>1</sup>Der Anfang der Arbeiten an dem Themenkomplex „Technik und Kultur“ wurde an der TH Wildau 2008 durch eine gleichnamige Fachtagung gemacht, die von Prof. Dr. Olga Rösch, Leiterin des Instituts für interkulturelle Kommunikation, konzipiert und durchgeführt wurde. Die Tagungsbeiträge sind in der Wildauer Schriftenreihe Interkulturelle Kommunikation, Bd. 6 veröffentlicht, s. Rösch (2008).

<sup>2</sup>Wir können heute auf eine Vielzahl von Fachpublikationen aus dem deutschsprachigen Raum zurückgreifen, die die Entwicklungen reflektieren, hier z.B. einige Veröffentlichungen der letzten 7 Jahre: Bolten 2007, Moosmüller 2007, Rothlauf 2009, Kutschker/ Schmid 2010, Barmeyer 2010, Weidemann/ Straub/ Notnagel 2010, Koch 2012, Busch 2013, Thomas 1995-2014 u.a..

Interkulturelle Kommunikation bzw. das Interkulturelle Training hat in der Folge für die Vermittlung von Grundlagen seinen eigenen Themenkanon und ein bestimmtes Methodenarsenal entwickelt (vgl. z.B. Roth & Köck 2004, Thomas & Hößler 2007, Heringer 2007, Lüsebrink 2008, Eß 2010, Müller/Gelbricht 2013 u.a.).

Das FHProfUnt<sup>3</sup>-Verbundprojekt „Konzipierung von modularen Weiterbildungsangeboten für KMU an der Schnittstelle von Technik und Kultur zum Thema ‚Internationales IT-gestütztes Projekt- und Wissensmanagement im multikulturellen Umfeld‘ (InterKomp KMU 2.0)“ wurde von Juli 2010 bis Oktober 2013 vom BMBF gefördert und gemeinsam mit der HWR Berlin durchgeführt. In diesem Rahmen wurde an der Technischen Hochschule Wildau unter Leitung von Frau Prof. Dr. Margit Scholl ein elektronisches Lehrwerk in Form eines videobasierten Onlinekurses zu interkulturellen Kompetenzen für KMU und KKV in Brandenburg erarbeitet, das inhaltlich und methodisch vielfältigen Anforderungen an Weiterbildungsangeboten im Themenfeld Interkulturalität Rechnung tragen und dem Lehr- und Lernformat Blended Learning genügen sollte.

Vornehmlich um die Anforderungen der KKV/KMU in Brandenburg kennenzulernen, wurden im Teilprojekt „Kultur und Technik“ zwei Umfragen erstellt. Auf der Wirtschaftsmesse TH Connect an der TH Wildau<sup>4</sup> wurden 2010/2011 Daten von 30 Brandenburger Unternehmen zum Thema Weiterbildungsmaßnahmen und Trainingsinhalte sowie Bedarfe im Bereich der interkulturellen Weiterbildung abgefragt. Die zweite Umfrage „Qualität und Kompetenz in interkulturellen Bildungsmaßnahmen“ wurde im Sommer 2012 für interkulturelle Trainer<sup>5</sup> und in Weiterbildungsmaßnahmen professionell Tätige als Online-Umfrage durchgeführt. Frage-

stellung war, welche interkulturellen Kenntnisse und Kompetenzen von den o.g. Experten als substantiell für Geschäftsleute in der internationalen Wirtschaft erachtet werden.

Die Thematik der interkulturellen Weiterbildung wurde somit von zwei Seiten beleuchtet, um Einschätzungen bzw. Einstellungen von Unternehmensmitarbeitern und von Weiterbildungsanbietern zur Situation und zu relevanten Inhalten und Methoden interkultureller Qualifikationen zu eruieren. Die Ergebnisse dienen der Vorbereitung eines onlinegestützten Lernangebotes zum Erwerb interkultureller Schlüsselkompetenzen für Mitarbeiter/-innen in Brandenburger KKV/KMU.

#### **Folgende Fragen waren hierbei von zentraler Bedeutung:**

1. Inwieweit ist den KKV/KMU in Brandenburg Interkulturalität als Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg bewusst?
2. In welchem Umfang wird in KKV/KMU in Brandenburg Weiterbildung bereits mit Methoden des Blended Learning durchgeführt?
3. Wie sollte ein attraktives Lernangebot aussehen, das mit geringem Zeitaufwand durch Trainer und Mitarbeiter in Unternehmen abgerufen werden kann?

In unserem Beitrag<sup>6</sup> werden zunächst die Ergebnisse beider Umfragen dargestellt und daraus die wesentlichen Positionen für die Erarbeitung des anvisierten Onlinekurses abgeleitet. Darauf folgt eine kurze Beschreibung des Lehrmaterials. Anschließend werden die Möglichkeiten und Grenzen eines Onlinekurses im Rahmen von Blended Learning erörtert.

## **II. ERGEBNISSE DER UMFRAGEN<sup>7</sup>**

### **II.1 DIE SICHT DER UNTERNEHMEN (ERSTE UMFRAGE)**

Die Umfrage in den KMU erfolgte mittels Fragebögen und Interviews. In der Fragebogenbefragung ging es zunächst darum zu erfahren, ob seitens der KMU ein Interesse an Weiterbildungen besteht, welche Arbeitsbereiche und Themen von Interesse sein könnten. Darüber hinaus sollte der Umfang von Weiterbildung durch Blended-Learning-Szenarien ermittelt werden. In Bezug auf Interkulturalität wurde erfragt, ob die Unternehmen ausländische Mitarbeiter beschäftigen, Geschäftskontakte ins Ausland pflegen und ob die unternehmensinterne Weiterbildung an die Internationalisierung angepasst wird. Anschließend wurden persönliche Gespräche mit prototypischen Gesprächspartnern der mittleren Leitungsebene geführt.

Durch den Fragebogen wurde deutlich, dass die Unternehmen an Weiterbildungen interessiert sind, aber bis dato nur ungenaue Vorstellungen von den Methoden des Blended Learnings hatten. Außerdem stellte sich heraus, dass der Terminus Blended Learning wenig geläufig war, der deswegen durch den Begriff E-Learning ersetzt wurde. Es wurde ermittelt, dass nur 20 Prozent (6 von 30) der Befragten E-Learning bei der Weiterbildung einsetzen.

Geschäftskontakte ins Ausland sind bei den KKV/KMU in Brandenburg nur in Einzelfällen vorhanden, ausländische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden in den KKV/KMU Brandenburgs zwar beschäftigt<sup>8</sup>, doch wird Interkulturalität von den KMU bisher nicht als Weiterbildungsthema wahrgenommen. Alle Befragten verstanden sich zwar als kulturinteressiert und wollten ihre Mitarbeiter weiterbilden, allerdings haben Investitionen in das Be-

<sup>3</sup> FHProfUnt = Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen. S. URL: <http://www.bmbf.de/de/1952.php?hilit=fhprofunt>

<sup>4</sup> TH Connect 2013 = URL: <http://thconnect.de/ausstellerservice/angebot/>

<sup>5</sup> Unter dem Begriff „Trainer“ werden hier Personen subsumiert, die Weiterbildungsmaßnahmen in verschiedenen Formen anbieten, also Trainerinnen und Trainer, Coaches, Beraterinnen und Berater, Dozentinnen und Dozenten, Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Interkulturellen Kommunikation.

<sup>6</sup> Der komplette Abschlussbericht des Projekts InterKomp KMU 2.0 ist bereits veröffentlicht, s. Scholl (2013).

<sup>7</sup> Die Umfragen werden hier leicht komprimiert dargestellt. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in der unveröffentlichten Projektdokumentation, die bei der Projektleiterin, Frau Prof. Dr. Margit Scholl, hinterlegt ist.

<sup>8</sup> In 54 % der 30 befragten Unternehmen ist die Belegschaft zu höchstens 14 % nicht-deutscher Herkunft, während in lediglich 10 % der KMU die Belegschaft zu mindestens 30 % nicht-deutscher Herkunft sind.



triebsvermögen deutlichen Vorrang. Dennoch haben 60% der Befragten Weiterbildungsbedarf bestätigt.

Die Interviews zeigten, dass die Unternehmen zwar fachspezifisch aus- und weiterbilden, jedoch nicht in übergeordneten Themen wie Interkulturalität. Darüber hinaus unterscheiden sich die Weiterbildungsmaßnahmen je nach Unternehmen, selbst wenn sie zur gleichen Branche gehören. So wird bisher in Handwerksbetrieben sehr traditionell weitergebildet, durch Hands-On-Trainings und Kommunikation zwischen Meister und Gesellen. Es wurde deutlich, dass die Methoden und Inhalte eines zu erstellenden Kurses zum Thema Interkulturalität den unterschiedlichen weiterbildungsspezifischen Rahmenbedingungen der Unternehmen Rechnung tragen müssen, insbesondere in Bezug auf den Bildungsstand der Mitarbeiter, die Verfügbarkeit von Technik und die Bereitschaft der Unternehmensleitung, Mitarbeiter für Weiterbildungen freizustellen.

Auch wenn der Ausländeranteil in den Brandenburger Unternehmen bislang noch gering<sup>9</sup> ist, stellten die Interviewten fest, dass die KKU/KMU in Brandenburg sich in naher Zukunft auf unterschiedliche Mentalitäten einstellen müssen. So wird z.B. wahrgenommen, dass aus Osteuropa<sup>10</sup> stammenden Fachkräfte in den befragten Unternehmen in der Regel über gute Sprach- und Fachkompetenzen verfügen, aber in Bezug auf das Kommunikations- und Konfliktverhalten kulturspezifische Besonderheiten aufweisen, wodurch gravierende Missverständnisse im Arbeitsprozess entstehen können. Hierfür wären die Personalverantwortlichen zu sensibilisieren, z.B. im Rahmen einer interkulturellen Weiterbildung.

Das onlinebasierte Lernen spielt bisher eine untergeordnete Rolle, obwohl Bedarf besteht. Gerade marktspezifische onlinebasierte Weiterbildungen wären

nach Meinung der Interviewpartner besonders sinnvoll. Die Interviewten waren sich beispielsweise bewusst, dass bei Geschäftskontakten z.B. nach China Kulturwissen erforderlich ist (z.B. Verhandlungstaktik und Rituale, Formen der Kontaktabstimmung u.a.). Neben interkulturellen Themen spielen aber auch die rechtlichen, insbesondere zollrechtlichen, steuerlichen und logistischen Bedingungen vor Ort eine Rolle.

Die Interviewten sahen die Defizite in ihren Unternehmen, indem sie diese mit den Praktiken von größeren Unternehmen verglichen, in denen interkulturelle Coaches Auslandsgeschäfte begleiten und für die interkulturelle Weiterbildung der Mitarbeiter mehr getan wird, z.B. auch durch die Beschaffung spezifischer Lernsoftware für das Selbststudium. KKU/KMU sind nach Aussage der Gesprächspartner vor allem im alltäglichen Geschäft tätig, wobei Zeitmangel und knappes Budget interkulturelle Fragen in den Hintergrund drängen.

## II.II DIE SICHT DER WEITERBILDUNGSANBIETER (ZWEITE UMFRAGE)

Ziel der zweiten Befragung war, sich ein Bild von der Unterrichtspraxis der Personen zu machen, die interkulturelle Weiterbildungen professionell deutschlandweit durchführen. Sie folgte der Annahme, dass interkulturelle Trainer sich in ihrem Vorgehen, in Zielstellungen, Inhalten, Methoden und didaktischem Herangehen nach ihren Zielgruppen, nach den Bedarfen von Teilnehmenden bzw. von Auftraggebern richten und ihr Trainingskonzept<sup>11</sup> entsprechend gestalten, da der Lernerfolg bekanntlich mit dem Maß der Übereinstimmung von Erwartung der Trainingsteilnehmenden und der Trainingsgestaltung korreliert (vgl. Barmeyer 2000, Brislin 2000, Kinast 2009, Kováčová 2010).

Die Befragten arbeiten mehrheitlich in der Wirtschaft, 29 Befragte arbeiten in

Großunternehmen und 25 in KMU, davon zwei in Berlin/Brandenburg bzw. nur in Brandenburg. Weitere Befragte sind in Verwaltung und Hochschulen tätig. Branchenspezifisch wurden v. a. Automobilindustrie (50%), IT-Branche (28%), Luftfahrt (22%), Finanzwesen (22%), Medizin und Pharma (17%) sowie zu geringeren Anteilen Chemie, Maschinenbau, Verwaltung, erneuerbare Energien u. a. angegeben (Mehrfachnennungen waren möglich).

Der Fragebogen<sup>12</sup> wurde von 61 Personen beantwortet, allerdings in unterschiedlicher Ausführlichkeit<sup>13</sup>. Auf die Frage, welche Lehr- bzw. Lerninhalte die Befragten für zentral erachten, weisen 60% der Antworten (nur von 10 Personen beantwortet) auf die Bedeutung der emotiv-affektiven Seite des Kompetenzerwerbs und auf empathische Fähigkeiten hin, darunter Offenheit, Bewusstsein, Umgang mit Unsicherheit und weitere emotive Erfahrungswerte. 20% haben explizit die kognitive Wissenskomponente in den Vordergrund des Lernens gestellt. In den restlichen Äußerungen sind andere Aspekte genannt worden. Als wichtig für die kognitive Ebene werden „relevantes Wissen“ - teils in Einzelbereichen wie Kommunikation und Konfliktverhalten oder das Wissen um ethno-relative Faktoren und auch kulturelles Hintergrundwissen, „um Verhalten einzuschätzen“ - angegeben. Auf der operativen Ebene werden als Lernziel überwiegend gute Kommunikationsfähigkeiten (Gesprächsführung, Zuhören) und adäquater Umgang in konkreten Situationen bzw. interkulturellen Interaktionen genannt.

Die Zielgruppe der Trainer wurde dazu befragt, ob es in ihrem Trainingserleben Situationen gab bzw. gibt, in denen Teilnehmende oder Auftraggeber andere Erwartungen an die interkulturellen Bildungsmaßnahmen hatten als die Trainer, sei es inhaltlich oder methodisch. Auf diese Frage antworteten lediglich 11 Personen, von ihnen nur eine Person mit „Nein“, 10 mit

<sup>9</sup> Zur Zeit der Befragung waren es 1,55% (Statistisches Jahrbuch Brandenburg 2011, S. 90 ff).

<sup>10</sup> Die meisten ausländische Arbeitskräfte im Land Brandenburg kommen laut Statistisches Jahrbuch Brandenburg (2011) aus Osteuropa (Polen 1.946, Russen 630, Ukrainer 471), gefolgt von Menschen aus asiatischen Ländern (1.844) und der Türkei (1.402).

<sup>11</sup> Bzw. ihre Begleitung, Beratung, Seminare sowie ggf. Konfliktanalyse und interkulturelle Mediation u.a.

<sup>12</sup> Die Konzeption und Auswertung der Umfrage wurde unter Mitarbeit von der im Projekt beschäftigten Studentin Franziska Koltermann durchgeführt.

<sup>13</sup> Insgesamt haben 81 in Deutschland tätigen Personen den Fragebogen aufgerufen, 41 Personen haben mit der Beantwortung begonnen, 20 Befragte haben die zentralen Bereiche beantwortet.

„Ja“ bzw. „Gelegentlich“; sie gaben als Begründung an, dass Trainingsteilnehmende häufig Patentrezepte bzw. Regeln oder ToDo's (6 Befragte) oder auch einen Sprachkurs erwarten (1) bzw. gar keine Vorstellung vom Kursinhalt haben (1).

60% der befragten Trainer gaben an, dass sich Lehr- bzw. Lerninhalte in den Trainings wenig zielgruppen- und branchenspezifisch unterscheiden. 40% hoben Unterschiede in den Lerninhalten sowie Bedürfnissen und Rollen von Teilnehmern hervor und wiesen auf divergente Trainingsziele hin. Ihre Trainingsteilnehmenden sind zu knapp drei Vierteln Manager und Führungskräfte aus der Wirtschaft (Groß-, Mittel- und Kleinunternehmen), darunter auch Expatriates, weiter zu gut einem Drittel Firmenmitarbeiter (Fachkräfte, Sachbearbeiter) sowie zu wenigen Anteilen Flüchtlinge, Migranten, Missionare, Studierende u.a.

Etwa die Hälfte der Befragten nannte vorwiegend Gespräche und Diskussionen als Arbeitsmethoden, ein Drittel der Trainer wendet auch Rollenspiele und Szenarien als Praxis des interaktiven, erfahrungsorientierten Lernens an. Diese Angaben stehen interessanterweise im umgekehrten Verhältnis zu den Nennungen in Bezug auf Lerninhalte und angestrebte Kompetenzen, bei denen die affektive Ebene als besonders bedeutsam bezeichnet wurde<sup>14</sup>. Der stärkere Einsatz von diskursiven Methoden könnte allerdings auch auf die Präferenzen der Teilnehmer zurückgeführt werden (vgl. Barmeyer 2000). Immerhin fünf von sechs Antworten im Bereich „Sozialform“ weisen Gruppenarbeit oder Paararbeit als kooperative Lernformen aus.

Mediennutzung erfolgt sowohl in klassischer Art und Weise (Flipchart, Kärtchen, Figuren etc.) als auch über elektronische (Powerpoint) und audiovisuelle Medien.

In Bezug auf Lehr- und Lernformate gaben 13 Personen (von 13 Nennungen) an, ausschließlich Präsenztrainings und keine Online-Trainings durchzuführen, lediglich eine Person nennt

zusätzlich „Online (Skype)“. Aufgrund dieser Angaben kann keine Auswertung zu möglichen Online-Trainingszenarien erfolgen. Aus den Angaben der Befragten lässt sich jedoch schließen, dass das Medium Internet hauptsächlich als Informationsbeschaffungsmedium, Wissensspeicher und eher nicht als Interaktionsinstrument genutzt wird, d. h. Dokumente (Bilder, Filme) werden geladen, Informationen werden abgefragt, doch interaktive Formen wie Virtual Classroom, Online-Diskussionen, Webinar und weitere Online-Kommunikationsformen werden – so die Schlussfolgerung – nicht als Trainingselement genutzt und auch nicht positiv eingeschätzt. Zitate von Befragten zeugen davon: „Der Nachteil von Online-Maßnahmen ist, dass das emotionale Erleben fehlt.“ „ ... kein Dialog ...“; „Online finde ich keine gute Möglichkeit zur interkulturellen Sensibilisierung, da es um innere Haltungen und Werte geht – jeder kann sich online besser verstecken.“ Die Wirkung sei diffus und nicht greifbar. Eine Person spricht sich gegen die Online-Trainings mit dem Argument „mehr Zeitaufwand ... für Qualität, Effektivität“ aus. Als Vorteile von Online-Training werden zumindest organisatorische Aspekte wie Kosten- und Zeitersparnis durch entfallende Anreise bzw. Ortsunabhängigkeit, Flexibilität und geringerer logistischer Aufwand angeführt.

## II.III SYNOPSE

Zur ersten Umfrage: In KKU/KMU in Brandenburg stehen bisher Trainings bzw. Weiterbildungsmaßnahmen im Vordergrund, die ein momentanes Problem der Mitarbeiter beseitigen, z.B. Schulungen in handwerklichen Techniken oder in Softwareanwendungen für den täglichen Gebrauch. Hierbei ist von Bedeutung, auf dem aktuellen Stand zu sein und mit Mitarbeitern unterschiedlicher Kulturen erfolgreich agieren zu können. Das Budget für Weiterbildungen ist jedoch limitiert.

Die Wünsche zu interkulturellen Weiterbildungsmaßnahmen fokussierten auf Vermittlung von Informationen

(„fremde Rituale“) bzw. einer Art „Handwerk-Tools“ („Verhandlungstechnik“). Das Bewusstsein dafür, was Interkulturalität bedeutet und auf welchen Wegen eine reflektierte interkulturelle Kompetenz zu erwerben wäre, ist laut Selbsteinschätzung noch weit unterentwickelt. Die Interviewpartner sehen deshalb auch ihre Aufgabe darin, ein entsprechendes Verständnis bei KKU/KMU zu wecken und zu entwickeln. Einen einheitlichen, dezidierten Weiterbildungsbedarf an interkultureller Qualifizierung, auch innerhalb einzelner KKU/KMU-Branchen, konnte aus dem Datenmaterial nicht abgeleitet werden.

Ebenso hat sich gezeigt, dass die Befragten kaum klare Vorstellungen über Konzepte, Methoden und Möglichkeiten des Blended Learnings haben und dementsprechend auch keinen besonderen Weiterbildungsbedarf sahen. Allerdings haben sie eingeräumt, dass in den KMU sowohl gegenüber Blended-Learning-Konzepten als auch gegenüber interkulturellen Qualifizierungsmaßnahmen gewisse Vorbehalte bestehen, die im zweiten Falle sogar noch stärker ausgeprägt sind.

Zur zweiten Umfrage: Die Antworten der Trainer lassen eine Professionalität in ihrem Metier erkennen. Eine stärkere Gewichtung der emotiven Komponente des Kompetenzerwerbs während des Trainingsgeschehens entspricht der Realität des interkulturellen Lernens. Die Lernprozesse verlaufen in mehreren Phasen (s. Bolten, 2007:80ff, Thomas, 2014:166ff) und sind den unvorbereiteten Teilnehmern i.d.R. zunächst kaum bewusst (s. dazu Kap 5). Daraus resultiert das bekannte Missverständnis, dem Interkulturalisten in ihrer Dozenten- bzw. Trainertätigkeit immer wieder begegnen, nämlich die Erwartungen einiger Teilnehmer, dass man schnell „Tricks“ u.ä. für die Geschäfte mit kulturell Anderen erlernt. Dies bedeutet jedoch eher eine Utilitarisierung des Kulturwissens als interkulturelle Kompetenz (vgl. Rösch, 2013). Hiermit korrespondiert auch, dass es einige Trainer als besonders schwierig ansehen, in der Veranstaltung Hintergründe (Basiswis-

<sup>14</sup> Die für interkulturelles Lernen unverzichtbaren affektiven Lernerfahrungen werden in stärkerem Maße über interaktive Lernszenarien wie Rollenspiele u. ä. erworben (vgl. Brislin 2000).

sen) interkultureller Kompetenzen wie Werte und Haltungen zu vermitteln bzw. die Teilnehmenden für andere Kulturen überhaupt zu sensibilisieren. Die Aussagen der Trainer, dass die Lehr- und Lerninhalte nur wenig zielgruppen- und branchenspezifisch variieren, sprechen dafür, dass ein bestimmter Themenkanon und Methodenpool erforderlich ist, um das Lernziel – interkulturelle Kompetenz für die praktische Gestaltung der interkulturellen Zusammenarbeit – zu erreichen.

Fazit: Nach Auswertung beider Umfragen kann zunächst festgehalten werden, dass Vorstellungen sowie Wünsche und Erwartungen der Lernerseite mit Angeboten und Vorstellungen der Anbieterseite eher divergieren. Es liegt jedoch nahe, diese Situation als Kommunikationsdefizit zu interpretieren. Obwohl den Interessierten eine relativ große Auswahl an Bildungsmöglichkeiten in Bezug auf interkulturelle Thematik und E-Learning-Konzepte zur Verfügung steht, scheinen die diesbezüglichen Informationen in den KMU/KKU nicht bekannt genug zu sein und die Bedenken aufgrund von Zeit- und Geldmangel derzeit noch zu überwiegen.

### III. LEITGEDANKEN BEI ERSTELLUNG DES ONLINEKURSES

Das Gemeinschaftsvorhaben „InterKomp KMU 2.0“ sollte helfen, den besonderen Rahmenbedingungen der KKU/KMU Rechnung zu tragen und die interkulturellen Kompetenzen ihrer Mitarbeiter zu verbessern. Gerade der bevorstehende demographische Wandel mit rückläufigen Studentenzahlen, der unterdessen mit einer verstärkten Multikulturalisierung der Gesellschaft einhergeht, wird die KKU/KMU in der Region vor große Herausforderungen stellen.

Die Entwicklung in Deutschland wird sicherlich auch vom Zuzug sowohl hochqualifizierter Experten als auch Studierender und Absolventen aus dem Ausland abhängig sein. Hiervon können die KKU/KMU profitieren, wenn es gelingt, eine neue Qualität an interkultureller Kompetenz kontextbezogen und handlungsorientiert zu etablieren. Ohne die Kompetenz, internationale

Fachkräfte zu integrieren, können KKU/KMU nicht dauerhaft wettbewerbsfähig bleiben. Die Informationen über die Möglichkeit der interkulturellen Weiterbildung müssen an die KMU der Region in einer angemessenen Form weitergegeben werden.

Als Ergebnis der beschriebenen Umfragen wurden folgende Anforderungen an die Lehrmaterialien gestellt:

- 1. Geringe Kosten:** Angesichts des Kostendrucks in den Brandenburger KMU sollte die Anschaffung von Lehrmaterialien nur geringe Kosten verursachen. Auch für die Trainer ist der Kostenfaktor entscheidend, da sie als Freiberufler kaum über finanzielle und zeitliche Möglichkeiten verfügen, für ihre Kunden webbasierte Lernkurse zu entwickeln.
- 2. Kurze Lerneinheiten bei freier Zeiteinteilung:** Die Mitarbeiter in KMU stehen unter hohem Arbeitsdruck, der oftmals nur wenig Zeit für Weiterbildung lässt. Zeitaufwändige Sensibilisierungsmaßnahmen im Bereich Interkulturalität sind insofern problematisch. Daher sollten die Lerneinheiten möglichst kurz (5-15 Minuten) und jederzeit aufrufbar sein.
- 3. Einfache kognitive und organisatorische Zugänglichkeit:** Die einfache Zugänglichkeit der Lerneinheiten ist ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanz für Mitarbeiter und Trainer. Deshalb wurde die Erstellung von kurzen Lernvideos als die Möglichkeit gesehen, das Thema Interkulturalität audio-visuell und damit kognitiv ansprechend zu gestalten. Als technische Lösung bot sich ein Onlinekurs an, auf den über einen Internetzugang zugegriffen werden kann.
- 4. Individuelles Lerntempo und Modularisierung:** Die Mitarbeiter (auch Personalabteilungen) und Trainer sollten sich die Inhalte/Themen anschauen können, die sie selbst aktuell für relevant empfinden. Außerdem sollten die Lernenden ihr individuelles Lerntempo bestimmen können. Eine übersichtliche Strukturierung der Lerneinheiten sowie die Verfügbarkeit von einzelnen Lernvideos soll

beides ermöglichen. Für Mitarbeiter und Trainer, die sich vertiefend mit einem Thema auseinandersetzen möchten, sollen zudem etwas längere Lerntexte bereitstehen. Diese wiederum sind für Trainer interessant, weil sie als Lernunterlagen im Training verwendet werden können.

**5. Beispiele aus dem konkreten Arbeitsumfeld:** Für Mitarbeiter ist die konkrete und anschauliche Beschreibung einer Kulturdimension bzw. einer interkulturellen Interaktion und deren Analyse wichtig, um Lernerfolg zu erzielen. Trainer sollten in unserem Lehrmaterial didaktisch verwendbare Beispiele finden und in ihren Trainings für Unternehmen einsetzen können. Daher wurde bei der Erstellung der Lernvideos und der vertiefenden Lerntexte darauf geachtet, konkrete Beispiele auch audio-visuell darzustellen.

**6. Grundlage für Blended-Learning-Szenarien schaffen:** Blended Learning wird als Kombination von Lerneinheiten in Präsenzphasen und in E-Learning-Phasen gesehen. Jedoch wird diese Lernform weder in KMU noch bei interkulturellen Trainern genutzt. In großen Unternehmen und in anderen Trainingsbranchen findet Blended Learning bereits breite Verwendung (z.B. zu Arbeitssicherheitsthemen). Ein onlinebasierter Kurs mit interkultureller Thematik würde die Grundlage für die Durchführung von Blended-Learning-Trainings schaffen, da einzelne Module auch vor oder nach einem Seminar bearbeitet werden könnten.

Im Ergebnis der geschilderten Anforderungen wurde ein videobasierter Onlinekurs entwickelt, der Mitarbeitern und Trainern frei zugänglich ist. Interessierte Nutzer sollen über die Projektwebseite auf der Homepage der TH Wildau dorthin gelangen können:

[kmu-interkomp20.th-wildau.de/?page\\_id=313](http://kmu-interkomp20.th-wildau.de/?page_id=313)

**Nutzername:** *kmugast*

**Kennwort:** *kmuinterkomp20*

Das Projektteam der TH Wildau stellt eine weitreichende Verteilung dieses Onlinekurses sicher. Dafür werden Lizenzrechte der Creative Commons 3.0 genutzt, d.h. dass Änderungen am Werk möglich sind, wenn diese von uns freigegeben werden, und dass die Inhalte des Kurses auch kommerziell genutzt werden können.

Dabei ist zu beachten, dass die Onlinekurse interkulturelle Präsenztrainings nicht ersetzen können. Vielmehr wird es für individuelle Fragestellungen von KMU immer notwendig bleiben, spezialisierte Trainer zu engagieren. In diesem Sinne sehen wir unsere Onlinekurse als einen wichtigen Schritt zur Bereicherung und Ergänzung vorhandener Methoden und Lernformate.

#### IV. DER ONLINEKURS INTERKOMP KMU 2.0 - INTERKULTURELLES LERNEN UND ARBEITEN

Der Onlinekurs „Interkulturelles Lernen und Arbeiten“ besteht aus Teil 1 „Einführung in die Interkulturelle Kommunikation“ und Teil 2 „Interkulturelles Arbeiten“. Er umfasst 12 Lernvideos auf der Lernplattform der TH Wildau sowie auf YouTube, enthält Aufgaben zur Reflexion und Anwendung sowie ca. 120 Seiten vertiefendes Lernmaterial<sup>15</sup>.

Ausgangspunkt der Lerneinheiten waren Texte zu Grundbegriffen, Problemen und Fragestellungen der interkulturellen Kommunikation. Es ging dabei um die Aspekte der Kultur, die in den interkulturellen Interaktionen für Missverständnisse und Misserfolge verantwortlich sein können und deshalb besondere Aufmerksamkeit verdienen. Es sind Themen wie z.B. Kulturverständnis, Stereotype, kulturbedingte Kommunikationsstile, Umgang mit Macht, Zeit, Regeln und Strukturen sowie zwischenmenschliche Beziehungen in der interkulturellen Zusammenarbeit. Diese thematischen Schwerpunkte, die den zusammenhängenden Themenkanon des interkulturellen Lernens (s.o.) gleichsam abbilden, wurden in acht Hauptthemen gegliedert und in 12 Module übertragen.

Die Lernvideos sind mit 5 bis 15 Minuten kurz gestaltet und vermitteln in ansprechender Form relevantes Wissen zum Grundverständnis des interkulturellen Lernens. Die zugrundeliegenden Texte wurden zunächst in das Präsentationsformat PowerPoint umgewandelt, um diese anschließend zu vertonen. Die entstandenen Lernvideos sind zudem durch einige Links angereichert und enthalten u.a. Rollenspiel-Videos mit anschaulichen Beispielen. Flankiert werden die Lernvideos außerdem mit vertiefenden Texten. In den Vertiefungstexten finden sich viele anschauliche Beispiele, die den Nutzern das jeweilige Thema detailliert vermitteln. Die Reflexionsfragen sind knapp formuliert und dienen der nachträglichen Verarbeitung des Gelernten. Die Anordnung „Lernvideos“, „Reflexion“, „Vertiefung“ bietet verschiedene Ebenen der kognitiven Elaboration und soll eine übersichtliche Navigation gewähren.

Die Lernvideos bieten zudem ein Inhaltsverzeichnis und werden durch Aufgabenstellungen und Forendiskussionen unterstützt. Um auch den Zugriff über Smartphone zu gewährleisten, können die Lernvideos auf YouTube hochgeladen und dann im Lernkurs verlinkt werden, so dass sie auch auf kleinen Displays betrachtet werden können.

Insgesamt sollen durch die Mischung aus Lernvideos, Reflexionsfragen und Vertiefungstexten unterschiedliche Lerntypen und Lernbedürfnisse angesprochen werden. Die Erklärungen sollen trotz ihrer Komplexität verständlich bleiben, auch für KMU-Mitarbeiter, die sich bisher weder mit webbasiertem Lernen noch mit interkulturellen Themen auseinander gesetzt haben.

Der Kurs wurde im Laufe der Arbeit in einer Beta-Version getestet und auch von mehreren Seiten evaluiert. Das Feedback floss in die weitere Entwicklung des Onlinekurses ein. Der veröffentlichte Kurs wurde von den Nutzern insgesamt positiv aufgenommen (ausführlicher dazu s. Scholl, 2013:69-73).

#### V. E-LEARNING ALS EINE MÖGLICHKEIT DER INTERKULTURELLEN KOMPE- TENZVERMITTLUNG

Der Einsatz von E-Learning in der interkulturellen Bildung führt erst dann zum gewünschten Erfolg, wenn die Onlinekurse entsprechend dem Lernziel eingesetzt bzw. in die Vielfalt der Lernmethoden adäquat eingeordnet werden und die Kursteilnehmenden mit dem Prozess des interkulturellen Lernens vertraut sind.

##### V.I ZUM EINSATZ IM BERUFSLEBEN

Die interkulturellen Trainings sind bekanntlich ein Bestandteil des interkulturellen Lernens, aber sie gehören zu den unentbehrlichen und besonders häufig praktizierten Formen der interkulturellen Qualifizierung. Hinsichtlich des Einsatzortes u. -zwecks werden i.d.R. zwei Typen von Trainings unterschieden: 1. Trainings „off the job“ im Sinne von Weiterbildungsmaßnahmen, die keine konkreten Problemsituationen im Fokus haben, sondern grundsätzlich der kulturellen Kompetenzverbesserung dienen, und 2. Trainings „on the job“, die bei Problemen vor Ort am Arbeitsplatz eingesetzt werden. Die beiden Trainingstypen werden als „Tools interkultureller Kompetenzverbesserung“ gesehen (Bolten, 2007:223):

Selbst wenn E-Learning in der Graphik nur unter „on the job“-Typ explizit erwähnt ist, kann aus der Beschreibung des von uns entwickelten Onlinekurses eindeutig abgeleitet werden, dass er für beide Trainingstypen gut geeignet ist. In beiden Fällen muss das Lernen von professionellen Trainern methodisch-didaktisch beratend begleitet werden, um an Lernbedarf, Lernkultur und Lernkontext angepasst zu werden.

##### V.II ZUM LERNPROZESS

Im Abschnitt 2.3 wurde die Frage nach den Erwartungen der Teilnehmer an interkulturelle Trainings und die damit verbundenen Missverständnisse in Bezug auf deren Inhalte und Methoden bereits angesprochen und auf die Lernphasen des interkulturellen

<sup>15</sup> Die Entwicklung von Modulen sowie die Arbeit an Texten wurden von Herrn Prof. Alexander Thomas begleitet.



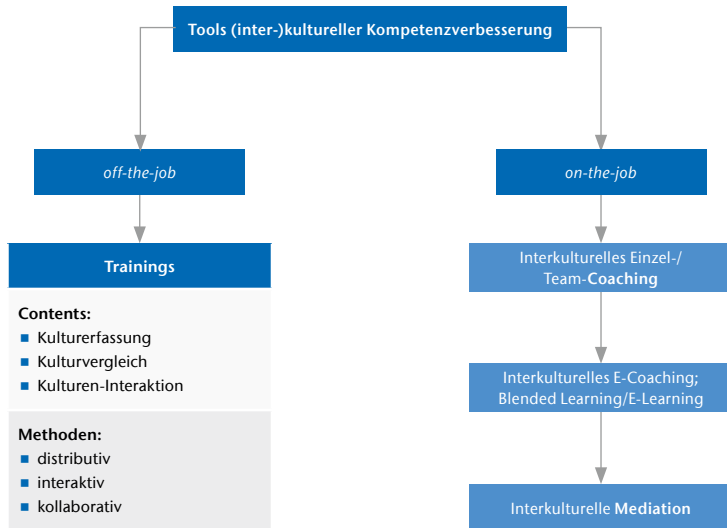


Abb. 1) Tools zur Verbesserung der (inter-)kulturellen Kompetenz (aus Bolten 2007:223)

Lernens hingewiesen. Darauf soll hier noch einmal eingegangen werden.

Der Wunsch vieler Trainingsteilnehmenden, die sich auf eine Zusammenarbeit mit kulturell Fremdem einstellen, besteht erfahrungsgemäß oft darin, die interkulturelle Kompetenz zeitsparend durch einige Informationen über eine fremde Kultur und durch „Tipps und Tricks“ als eine Art „Handwerk“ zu erwerben. Das ist nicht überraschend und zeugt keineswegs von mangelnder Tiefgründigkeit. Denn dahinter steht ein verständliches Bedürfnis, durch Information und Wissen mehr Sicherheit im Umgang mit dem Fremden bzw. in der Fremde zu erlangen. Zu dieser Sicherheit kann man jedoch erst über den etwas längeren Weg der Auseinandersetzung mit der eigenen Kultur und der Weiterentwicklung von Fähigkeiten zur Selbstreflexion gelangen. Das ist den meisten Lernern nicht wirklich bewusst.

Der Prozess des interkulturellen Lernens ist in der Fachliteratur bereits aus unterschiedlichen Blickwinkeln hinlänglich beschrieben worden (vgl. dazu eine Übersicht bei Thomas, 2014: 166ff). Zur Anschauung wird das gut bekannte Phasenmodell von Leenen & Grosch (1998: 40) bemüht, welches v.a. die Prozesshaftigkeit des Lernens im Fokus hat und leicht verständlich ist. Ordnet man die o.g. Wünsche seinen Zielebenen zu, so korrespondieren die Äußerungen der Lernenden in der

Tendenz mit der Phase 6 „Erweiterung der Handlungsoptionen“ bzw. 7 „Interkulturelle Zusammenarbeit gestalten“:

1. Kulturgebundenheit erkennen
2. Fremdheit wahrnehmen
3. Das Eigene bewusst machen
4. Das Fremde adäquat deuten lernen
5. Verständnis für das Fremde entwickeln
6. Erweiterung der Handlungsoptionen
7. Interkulturelle Zusammenarbeit gestalten.

Die Zeit und der Diskussionsraum, die für die vorausgehenden Phasen 1 – 5 objektiv benötigt werden, sollen mit bedacht werden, denn die Materie Kultur im Sinne von Kommunikation hat zu einem großen Anteil die Gefühle-

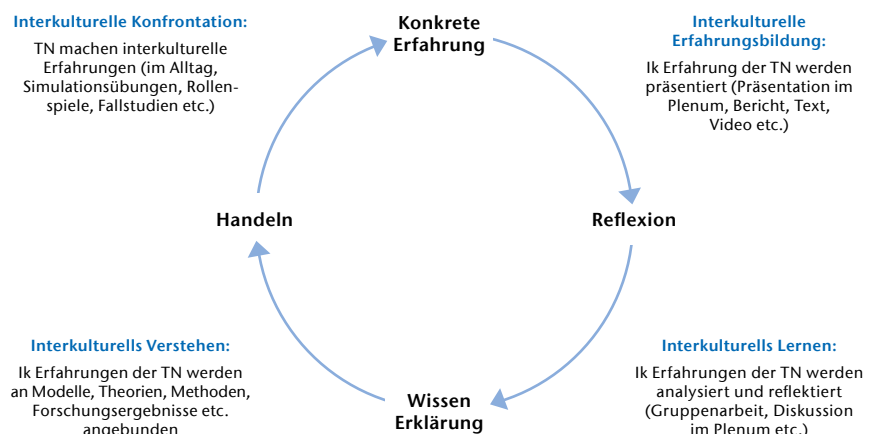


Abb. 2) Didaktisches Grundkonzept erfahrungsorientierten Lernens (aus Thomas & Hübler 2007:86)

bene als ihre Existenzform. Diese Ebene ist nicht unbedingt per Mausclick zugänglich; sie ist außerdem interpretationsbedürftig und interpretationsanfällig. Für die Entwicklung einer interkulturellen Handlungskompetenz für das Berufsleben im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten bietet sich ein erfahrungsorientiertes Lehr-Lern-Konzept an mit Übungen, Fallstudien, Rollenspielen, Reflexion, Diskussion sowie Wissensvermittlung und Lehrgesprächen zwecks Anbindung an theoretische Inhalte. Es geht hierbei um Folgen von konkreten interkulturellen Erfahrungen der Lernenden, um Reflexion dieser Erfahrungen, um Heranziehen von Kulturwissen und Interpretationssystemen und schließlich um Ausarbeitung von kulturisomorphen bzw. kulturadäquaten Handlungsstrategien.

Aus der Graphik wird ersichtlich, dass sowohl kognitive als auch affektive Wege des Lernens erforderlich sind, um Lernfortschritte „erfahrbar“ zu machen. Die aufeinander aufbauenden Entwicklungsphasen geben insofern die Realität des Lernprozesses wieder. Es geht hierbei um die interkulturellen Erfahrungen der Lernenden (Auslandsaufenthalt, Simulationsspiel), um Reflexion dieser Erfahrungen (Diskussion, Lehrgespräch), um Heranziehen von Kulturwissen und Interpretationssystemen (Theorievermittlung) und schließlich um kulturadäquates Handeln (Erarbeitung von Handlungsoptionen in einer Arbeitsgruppe). Dieser Ansatz hat sich im Laufe der Jahre bewährt und stellt gewissermaßen ein

Ergebnis der langjährigen Lehr-Lern-Forschung sowie Lehrerfahrung dar (Thomas & Hößler, 2007).

Der Bedarf an Diskussionen ist nicht nur aus der eigenen Lehrtätigkeit hinreichend bekannt, er wird sowohl von den befragten Trainern bestätigt (s.o. „Gespräch als Arbeitsmethode“) als auch von den Nutzern (darunter auch Studenten, die aus eigenem Interesse den Onlinekurs studiert haben) gemeldet. Hier sei eine Feedback-Äußerung aus einem KMU zitiert:

„Jetzt kommt bei mir die Frage, wie ich z.B. die Kasachen dazu bringe, innerhalb des Termins doch noch zu den eigentlichen Arbeitspunkten zu kommen, ehe ich in den Flieger steige. Bei den meisten Lernstufen, wo es um das Verständnis für die andere Kultur geht, ist das Thema der Einbeziehung in den Projektverlauf als wichtig angekommen. Die Sensibilisierung für andere Kulturen und Abläufe ist da. Erkenntnis: Von da geht die Arbeit aber erst richtig los, wenn das Unternehmen ein interkulturelles Projekt durchführen möchte“.

Hier wäre eine Diskussion mit den Seminarteilnehmern über diverse Handlungsoptionen bzw. die Gestaltung der Zusammenarbeit offensichtlich zielführend.

### V.III ZUM E-LEARNING

Im Bereich der interkulturellen Kompetenzvermittlung hat das E-Learning eine Entwicklung erfahren, die bis zu einem gewissen Grade mit der Entwicklung des Internets einhergeht. Je nach Verwendung der netzbasierten Medien werden drei Nutzungsszenarien unterschieden: E-Learning 1. by distributing, 2. by interacting und 3. by collaboration. Idealtypisch kommen in der ersten Variante vorwiegend die Medien wie Präsentationen, Skripte, semi-interaktive Lernmodule u.a. zum Einsatz, in der zweiten sind es Lern-/Content-Managersysteme, interaktive Simulationen und Lernplattformen und in der dritten Virtual Classroom, Blogs, Wikis, Community Software u.a. (vgl. Bolten, 2010:402). In allen drei Szenarien wird die Rolle des gesteuerten Lernprozesses, in

dem die Beziehung „Lernende-Lernende“ in jeder Entwicklungsphase anders gestaltet werden kann, explizit hervorgehoben (vgl. ebd.). Außerdem wird festgestellt, dass die ersten zwei Szenarien, im Unterschied zu E-Learning by collaboration, auch nicht zu „grundsätzlichen Neuentwicklungen von Aufgaben- und Übungstypen geführt haben“ (ebd. S. 403). Es gibt zwar Unterschiede im „Hinblick auf technologische Grundbedingungen“, jedoch sind die drei Entwicklungsphasen des E-Learning „nicht als qualitative Stufenfolge zu verstehen“. Sie koexistieren nebeneinander und werden je nach Nutzergruppe „in sehr unterschiedlicher Weise als mehr oder minder bedarfsgerecht eingeschätzt“ (ebd.).

Unser Onlinekurs steht eher in der Konzeption des E-Learning by distributing mit einigen Elementen des E-Learning by interacting und kann im Rahmen des Blended Learning am günstigsten durch eine didaktisch-methodische Anpassung seitens des professionellen Trainers an die jeweilige Zielgruppe zum Einsatz kommen. Mit der Wahl der Konzeption des Onlinekurses tragen wir den Möglichkeiten der Brandenburger KKK/KMU in Bezug auf Zeit, Kosten, vorherige Erfahrungen mit E-Learning, technologische Grundbedingungen usw. im vollen Umfang Rechnung.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Module unseres Onlinekurses lassen sich im Rahmen von Blended Learning in jeder Lernphase und in beiden o.g. Trainingstypen (off the job und on the job) mit Gewinn für die Lernenden einsetzen. Beim Erwerb von Kulturwissen und der Aneignung von Interpretationssystemen ist das besonders für das individuelle Lernen hilfreich. Ein webbasierter Onlinekurs stellt somit ein geeignetes „Instrument interkultureller Kompetenzverbesserung“ dar (vgl. Bolten, 2007:228f, 2010).

Um Missverständnissen vorzubeugen und eventuelle Enttäuschungen zu vermeiden, muss den Nutzern deutlich gemacht werden, dass ein solcher Onlinekurs nicht anstelle, sondern nur in Kombination mit Präsenzphasen

bzw. Betreuung zum wirklichen Lernerfolg führt. Das diskursive Lernen, begleitet vom reflektierten Nachdenken bzw. vom kritischen Hinterfragen der Selbstverständlichkeiten sowie von der Besprechung einer kulturbedingten Konfliktsituation, ist ein fester Bestandteil des interkulturellen Lernprozesses. Erfahrungsgemäß können oft erst im Laufe der Diskussionen zielgruppenspezifische und lernkontextabhängige Lernschritte erreicht sowie kulturadäquate, problemlösungsorientierte Strategien für interkulturelles Handeln erarbeitet werden.

Insgesamt ist das Projektteam der TH Wildau nach etlichen Tests und Evaluationen des Onlinekurses sicher, dass "Interkulturelles Lernen und Arbeiten" Unternehmen und ihre Mitarbeiter sowie Trainer in Inhalten, Methoden und im webbasierten Lernen erfolgreich in unterschiedlichen Fort- und Weiterbildungsaktivitäten unterstützen kann. Die Notwendigkeit eines Blended Learning-Szenarios, d.h. der Onlinekurs begleitet und ergänzt durch Trainings bzw. Beratungen, sollte jedoch den interessierten Nutzern unbedingt kommuniziert werden, um eine Nachhaltigkeit des Lernerfolgs zu sichern.

### LITERATUR

- Barmeyer, Christoph (2000): Interkulturelles Management und Lernstile. Campus, Frankfurt/M.
- Bergemann, Niels/Sourisseaux, Andreas L. J. (Hrsg.) (2003): Interkulturelles Management. 3. Auflage. Springer, Berlin
- Bolten, Jürgen (2007): Einführung in die Wirtschaftskommunikation. UTB, Basel u. a.
- Bolten, Jürgen (2010): E-Learning, in: Weidemann, Arne/ Straub, Jürgen/ Notnagel, Steffi (Hrsg.) (2010): Wie lehrt man interkulturelle Kompetenz? Theorien, Methoden und Praxis in der Hochschulausbildung. Ein Handbuch. transcript, Bielefeld, S. 397 – 416.
- Brislin, Richard (2000): Understanding Culture's Influence on Behavior. 2nd ed. Fort Worth: Harcourt.
- Busch, Dominic (2013): Im Dispositiv interkultureller Kommunikation. Dilemmata und Perspektiven eines interdisziplinären Forschungsfeldes, transcript, Bielefeld.
- Eß, Oliver (Hrsg.) (2010): Das Andere lehren – Handbuch Interkulturelle Handlungskompetenz. Waxmann, München.
- Grünhage-Monetti, Matilde (Hrsg.) (2005): Interkulturelle Kompetenz in der Zuwanderungsgesellschaft: Fortbildungskonzepte für kommunale Verwaltungen und Migrantenorganisationen. Perspektive Praxis. Bertelsmann, Bielefeld.
- Heringer, Jürgen (2007): Interkulturelle Kommunikation. Grundlagen und Konzepte, 2. Auflage, A. Francke Tübingen und Basel.



Kinast, Eva (2009): Evaluation interkultureller Trainings. In: Thomas, Alexander /Kinast, Eva-Ulrike /Schroll-Machl, Sylvia 2009 (Hrsg): Handbuch interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Band 1: Grundlagen und Praxisfelder. S. 204-216. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

Koch, Eckart (2012): Interkulturelles Management. Für Führungspraxis, Projektarbeit und Kommunikation. UVK, Utb, Konstanz/München:

Kováčová, Michaela (2010): Komparative Evaluation kulturspezifischer didaktischer und erfahrungsorientierter interkultureller Trainings. Lang, Frankfurt/Main. URL: [12.08.2012] <http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=xF5l2ntw558C&oi=fnd&pg=PA11&dq=evaluation+interkultureller+Bildungsma> [12.08.2012]

Kutschker, Michael/ Schmid, Stefan (2010): Internationales Management. 7. Auflage, Oldenbourg, München.

Leenen, W. R. & Grosch, H. (1998): Bausteine zur Grundlegung interkulturellen Lernens. In: Interkulturelles Lernen. Arbeitshilfen für die politische Bildung, S. 29-46. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung.

Lüsebrink, Hans-Jürgen (2008): Interkulturelle Kommunikation – Interaktion, Fremdwahrnehmung, Kulturtransfer. 2. Auflage, J.B. Metzler, Stuttgart/Weimar.

Moosmüller, Alois (Hrsg.) (2007): Interkulturelle Kommunikation – Konturen einer wissenschaftlichen Disziplin, Münchener Beiträge zur Interkulturellen Kommunikation, Band 20, Waxmann, Münster.

Müller, Stefan/ Gelbrich, Katja: Interkulturelle Kommunikation (2013): Weltbilder, Normen, Symbole, Rituale und Tabus. Vahlens, Reihe Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, München

Otten, Matthias/Scheitza, Alexander/Cnyrim, Andrea (Hrsg.) (2007): Interkulturelle Kompetenz im Wandel, Band 1+2, Frankfurt am Main/London.

Rösch, Olga (2013): Fragen der Vermittlung von Kulturwissen in der Ingenieurausbildung, in: Stumpf, S./Schuch, E./ Meyer, U. (Hrsg.), Technik und Kultur - Anwendungsorientierte Beiträge zu einem Spannungsfeld, Pabst Science Publishers, Lengerich, S. 149-166.

Rösch, Olga (Hrsg.) (2008): Technik und Kultur. Wildauer Schriftenreihe Interkulturelle Kommunikation, Band 6, Berlin.

Roth, Julianne/ Köck Christoph (Hrsg.) (2004): Culture Communication Skills – Interkulturelle Kompetenz. Handbuch für Erwachsenenbildung. Bayerischer Volkshochschulverband e.V. München.

Rothlauf, Jürgen (2009): Interkulturelles Management. 3. Auflage. Oldenbourg, München

Scholl, Margit (Hrsg.) (2013): Konzipierung von modularen Weiterbildungsangeboten für KMU an der Schnittstelle von Technik und Kultur zum Thema Internationales IT-gestütztes Projekt- und Wissenschaftsmanagement im multikulturellen Umfeld. Shaker, Aachen.

Statistisches Jahrbuch Brandenburg (2011): Seite 90 ff, Kapitel 02: Erwerbstätigkeit. abrufbar unter [www.statistik-berlin-brandenburg.de/Produkte/Jahrbuch/jb2011/jb\\_201102\\_BB.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Produkte/Jahrbuch/jb2011/jb_201102_BB.pdf)

Straub, Jürgen/ Weidemann, Arne/ Weidemann, Doris (Hrsg.) (2007): Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kompetenz: Grundbegriffe – Theorien – Anwendungsfelder. J.B. Metzler, Stuttgart/Weimar.

TH Connect 2013 = URL: <http://thconnect.de/aussteller-service/angebot> [12.08.2012]

Thomas, Alexander (2014): Wie Fremdes vertraut werden kann. Mit internationalen Geschäftspartnern zusammenarbeiten, Springer Gabler, Wiesbaden

Thomas, Alexander /Höbler, Ulrich (2007): Interkulturelle Qualifizierung an den Regensburger Hochschulen: Das Zusatzstudium Internationale Handlungskompetenz. Interculture Journal, 6 (3), 73-95. Verfügbar unter: [http://www.interculture-journal.com/download/issues/2007\\_03.pdf](http://www.interculture-journal.com/download/issues/2007_03.pdf) [10.01.2014]

Thomas, Alexander et al. (1995-2014): Trainingsreihe für Manager. Reihe Handlungskompetenz im Ausland. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht. (bisher 37 Bände erschienen).

Thomas, Alexander/ Kinast, Eva-Ulrike/ Schroll-Machl, Sylvia (Hrsg.) (2009): Handbuch interkulturelle Kommunikation und Kooperation, Bd.1 +2, 2. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

Weidemann, Arne/ Straub, Jürgen/ Notnagel, Steffi (Hrsg.) (2010): Wie lehrt man interkulturelle Kompetenz? Theorien, Methoden und Praxis in der Hochschul-ausbildung. Ein Handbuch. transcript, Bielefeld.

## AUTOREN

**Prof. Dr. phil. Olga Rösch**  
Fachgebiet Interkulturelle Kommunikation  
Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften (INW)  
[www.tfh-wildau.de/roesch](http://www.tfh-wildau.de/roesch)  
[olga.roesch@th-wildau.de](mailto:olga.roesch@th-wildau.de)

**Prof. Dr. rer. nat. Margit Scholl**  
Fachgebiet Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht  
[www.th-wildau.de/scholl](http://www.th-wildau.de/scholl)  
[margit.scholl@th-wildau.de](mailto:margit.scholl@th-wildau.de)

**Dr. phil. Bettina Strewe**  
Freiberufliche Trainerin  
InterKult Ost  
[www.bettina.strewe.de](http://www.bettina.strewe.de)  
[bettina@strewe.de](mailto:bettina@strewe.de)

**Christian Niemczik**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter in Projekten  
COMBLE, [learn@wildau](mailto:learn@wildau) und InterKomp KMU 2.0  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht  
[christian.niemczik@th-wildau.de](mailto:christian.niemczik@th-wildau.de)

**Anja Teske MA**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin in Projekten  
InterKomp KMU 2.0 und iBaMs  
Fachbereich Wirtschaft, Informatik und Recht  
[ateske@th-wildau.de](mailto:ateske@th-wildau.de)









**Technische Hochschule  
Wildau [FH]**  
*Technical University  
of Applied Sciences*

Hochschulring 1  
15745 Wildau  
Germany

Telefon +49 (0) 3375 / 508-300

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