

# hAWK 12



## Nachwuchs- wissenschaftler- konferenz

mitteldeutscher Fachhochschulen,  
Hochschule Harz, Wernigerode,  
14. April 2011

Frieder Stolzenburg,  
Florian Ruh (Hrsg.)

Tagungsband



# Impressum

Titel	12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen, Hochschule Harz, Wernigerode, 14. April 2011, Tagungsband
Herausgeber	Frieder Stolzenburg, Florian Ruh
Adresse	Hochschule Harz Friedrichstr. 57–59 38855 Wernigerode
Umschlaggestaltung	Kerstin Repp
Erscheinungsjahr	2011
Druck	Koch-Druck, Halberstadt



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>Organisation</b>	<b>3</b>
<b>Angewandte Naturwissenschaften</b>	<b>5</b>
Charakterisierung von Algen aus der „Alten Elbe“ bei Magdeburg mittels MALDI-TOF-MS und Sequenzierung (J. Zwanzig, C. Cordes, B. Feuerstein, HS Anhalt, HS Magdeburg-Stendal)	7
Veränderungsanalyse der Vegetation des Schukjer Moores zwischen 1986 und 2009 – Ableitung von Entwicklungstendenzen und zukünftigen Renaturierungsansätzen (K. Krenz, B. Felinks, HS Anhalt)	11
Grundlegende Untersuchungen zur Erzeugung von nanokristallinen Diamant-Schichten mittels Laserpulsabschneidung (PLD) (H. Grüttner, S. Weißmantel, HS Mittweida)	17
Tribologische Eigenschaften von mikrostrukturierten tetraedisch gebundenen amorphen Kohlenstoffschichten (TA-C) (K. Günther, S. Weißmantel, F. Marquardt, M. Pfeiffer, HS Mittweida)	23
Abscheidung von Graphenschichten auf Kupfersubstraten (H. Lux, C. Villringer, O. Seifarth, M. Hofmann, S. Schrader, W. Mehr, IHP Frankfurt, TH Wildau)	29
Effect of microstructured and ta-C coated glass-surfaces on cell growth (A.-C. Teichmann, M. Pfeiffer, K. Günther, S. Weißmantel, P. Radehaus, HS Mittweida)	35
Posturographie und zirkadianer Rhythmus (M. Alexander, A. Schenka, T. Schnupp, C. Heinze, M. Golz, FH Schmalkalden)	41
Belüftung in Druckleitungen – Sind besondere Eintragssysteme notwendig? (U. Urban, A. Heilmann, HS Harz)	47
Bewertung der bestehenden Fernwärmeversorgung in der Stadt Hettstedt und Beschreibung der Fernwärmeabsatzplanung bis zum Jahr 2030 (M. Bauer, K. Franke, M. Kubessa, HTWK Leipzig, Stadtwerke Hettstedt GmbH)	53
<b>Automatisierungstechnik / Informatik</b>	<b>59</b>
Erkennung von Instrumenten aus Musikaufnahmen mit Verfahren des Maschinellen Lernens (M. Kahl, M. Golz, FH Schmalkalden)	61
Semantic Object Recognition in Digital Images (F. Schmidsberger, F. Stolzenburg, HS Harz)	67

Beschleunigung der Musterklassifikation in einem Bildverarbeitungssystem durch Einsatz von Grafikprozessoren (C. Zöllner, D. Sommer, M. Golz, F. Haug, FH Schmalkalden, Robert Bosch GmbH) . . . . .	73
Anwendung computergestützter Intelligenz zur Auswertung eines okulomotorischen Vigilanztests (T. Schnupp, M. Golz, FH Schmalkalden) . . . . .	79
SIM-Karten-Forensik (S. Luttenberger, R. Creutzburg, FH Brandenburg) . . . . .	85
Modellgestützte Softwareentwicklung zum Steuerelektronikentwurf von verteilten alternativen Elektroenergieanlagen mit Hilfe von VHDL-AMS (S. Slawinski, L. Zacharias, M. Bodach, T. Barucki, WH Zwickau, Adapted Solutions GmbH) . . . . .	91
Entwicklung einer Echtzeit-Steuereinheit für den Einsatz in verschiedenen SoCs (H. Heimbach gen. Göthe, O. Punk, U. Heuert, HS Merseburg) . . . . .	97
Universal Protocol: Cross-Code-Generation (O. Punk, U. Heuert, HS Merseburg) . . . . .	103
Design und Implementierung einer Anwendersoftware für eine moderne Geräteplattform zur Auslegung eines Ultraschall-A-Bildgerätes (T. Höhdorf, U. Heuert, HS Merseburg) . . . . .	109
Entwicklung eines Informationssystems für Forschungsleistungen (A. Fischer, R. Kullmann, FH Brandenburg) . . . . .	115
Durchführung von Modultests durch den Auftraggeber in Softwareentwicklungsprojekten mittels jCUT (P. Sprengholz, U. Oesing, FH Jena) . . . . .	121
Neuromarketing als Mittel zur Unterstützung des Electronic Customer Relationship Management (eCRM) (M. Wolf, FH Schmalkalden) . . . . .	127

**Biotechnologien / Life Sciences** **133**

Verfahren zur störungsarmen Erfassung der Pulsfrequenz unter extremen Bewegungsbedingungen (S. Guttke, M. Laukner, HTWK Leipzig, Uni Rostock) . . . . .	135
Vorhofflimmern – Frühzeitige Erkennung von Rezidiven durch Analyse der autonomen Regulation (A. Seeck, W. Rademacher, A. Voss, FH Jena, UK Jena) . . . . .	141
Bestimmung von lokalen Geschwindigkeitsvektoren in Infarkttrandzonen (S. Hanitsch, M. Wittmann, D. Romberg, HS Anhalt) . . . . .	147
Methodik zur rhythmobiologischen Bewertung von Schichtarbeitsplänen (C. Heinze, S. Schirmer, K. Fehr, M. Golz, FH Schmalkalden) . . . . .	153
Analyse der autonomen Regulation bei Patienten mit Schizophrenie und deren Angehörigen ersten Grades (S. Schulz, K. J. Bär, A. Voss, FH Jena, UK Jena) . . . . .	159
Herstellung von Bioethanol mit der Hochleistungs-Sequencing-Batch-Reaktor-Technologie (J.-H. Richter-Listewnik, R. Pätz, HS Anhalt) . . . . .	165

<b>Ingenieurwissenschaften</b>	<b>171</b>
Potentielle Eignung und Nutzung von hochdichten Strohballen als Baustoff für Lärmschutzwände (M. Schöbel, HTWK Leipzig) . . . . .	173
Energieversorgung einer Pegelsonde durch Energy Harvesting auf der Grundlage eines thermoelektrischen Generators (B. Polomski, M. Hofmann, K. Meiner, O. Schiepan, S. Schrader, TH Wildau) . . . . .	179
Bestandsmanagement: Die Bewirtschaftung von Erdgasspeichern unter Unsicherheit (M. Hanfeld, HS Zittau/Görlitz, IHI Zittau) . . . . .	185
Neue Endbearbeitungsverfahren – präferiert für die Medizintechnik (H. Goldau, C. Bzdok, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	191
Experimentelle Untersuchung der Zylinderspaltströmung mit Seitenfluss (P. Stücke, M. Schmidt, M. Nobis, WH Zwickau) . . . . .	197
Feinschneiden von refraktären Metallfolien mittels CO <sub>2</sub> - und Picosekunden-Laser (S. Hilber, J. P. Bergmann, J. Bliedtner, FH Jena, TU Ilmenau) . . . . .	203
Remote-Schweiß-Strategien zum Fügen ultradünner metallischer Folien (A. Patschger, M. Hild, J. P. Bergmann, J. Bliedtner, FH Jena, Jenoptik AT GmbH, TU Ilmenau) . . . . .	209
Reibschweißen mit kontrollierter Wärmeführung (H. Goldau, H. Schmidt, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	215
<b>Kultur- und Medienwissenschaften</b>	<b>221</b>
„Die Einseitigkeit ist Programm.“ – Rahmenbedingungen einer internationalen Hochschulkoooperation (G. Lauterbach, WH Zwickau) . . . . .	223
Mashup als Geschäftsmodell – Kommerzielle Mashup-Strategien unter Verwendung von Affiliate-Programmen (A. Witt, FH Brandenburg) . . . . .	229
<b>Sozialwissenschaften / Gesundheitswesen</b>	<b>235</b>
Stellen internetgestützte Interventionsangebote eine Möglichkeit dar, die Versorgungssituation psychisch Kranker in Deutschland zu verbessern? (J. Hoffmann, C. Wendel, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	237
Achtung Tyrannen! – Eine kritische Kindbildanalyse (C. Junge, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	243
Die Rolle des riskanten Alkoholkonsums im Stressbewältigungsverhalten von weiblichen Fach- und Führungskräften (A. Wartmann, Uni Hannover) . . . . .	249
Soziale Unterstützung stationärer Psychotherapiepatienten – Eine empirische Untersuchung an Jugendlichen und jungen Erwachsenen (S. Jäger, C. Tögel, G. H. Franke, HS Magdeburg-Stendal, SIT Magdeburg) . . . . .	255
Lebensqualitätsveränderungen zerebralgeschädigter Personen durch computergestütztes Gesichtsfeldtraining (S. Bade, G. H. Franke, B. A. Sabel, C. Gall, HS Magdeburg-Stendal, OvGU Magdeburg) . . . . .	261

Is low back pain a symptom of a greater syndrome? (D. Nowik, S. A. Lie, S. E. Reme, H. R. Eriksen, G. H. Franke, HS Magdeburg-Stendal, Uni Helse, Norwegen) . . . . .	267
---	-----

**Wirtschaftswissenschaften** **273**

Performance-Effizienz im Dienstleistungssektor: Die Anwendung der Data Envelopment Analysis zur Messung der Performance-Effizienz von Mit- arbeitern am Beispiel einer Filialbank (M. Koch, HS Harz) . . . . .	275
Ermittlung regionaler Entwicklungsschwerpunkte im Energieholzsektor am Beispiel von Nord-Ost Brandenburg (M. Schultze, S. Siegemund, M. Hahs, TH Wildau, HS Eberswalde) . . .	281
Stolperstein Service Level Agreement – Vom Problem der rechtlichen Quali- fizierung zur praxisorientierten Umsetzung (C. Uri, FH Schmalkalden) . . . . .	287
Agentenbasierte Simulation zum Test von Preisoptimierungsalgorithmen (M. Oettler, A. Börsch, A. Ittner, HS Mittweida, TU Chemnitz) . . . . .	293

**Poster** **299**

Analytics-As-A-Service: die nächste Generation von Scoring- und Empfeh- lungssystemen (H. Langner, S. Dahms, A. Ittner, HS Mittweida) . . . . .	301
Berechnung der Wärmeübertragung in einem Kleinwindenergiegenerator (M. Eckart, S. Miersch, T. Burkhardt, N. Michalke, HTW Dresden) . . . .	305
Bestimmung der Permittivität dünner Bindemittel- und Farbschichten (T. Stieler, S. Backes, HS Magdeburg-Stendal, FH Erfurt) . . . . .	309
CD-, DVD- und Blu-ray Disc-Forensik (F. Irmeler, R. Creutzburg, FH Brandenburg) . . . . .	313
Der virtuelle Audioprozessor und die Audio-Language – ein erster Performan- cevergleich mit Matlab-Simulink (S. Jaritz, H. Kahnt, FH Jena) . . . . .	317
Design und Test einer Reaktionskammer zur Abscheidung von Kohlenstoff- funktionsschichten auf Nickel- und Iridiumsubstraten (M. Hofmann, D. Biniok, O. Seifarth, H. Beyer, S. Schrader, W. Mehr, TH Wildau, IHP Frankfurt) . . . . .	321
Digitales Spielen im Alter – Die Spielkonsole Nintendo Wii im Kontext des erfolgreichen Alterns (S. Dummert, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	325
eCampus-Services & -Infrastrukturen – eGovernment-Komponenten- und Ser- vice-orientierte elektronische Campusverwaltung mit verbesserter Si- cherheit (M. Henning, H. Werner, P. Kußmann, N. Brehm, H. Strack, HS Harz) . .	329
eCollabSec – Plattform für elektronische Collaboration mit integrierter Si- cherheit (P. Kußmann, M. Henning, H. Strack, HS Harz) . . . . .	333
Ein Beitrag zur Untersuchung biomechanischer Kenngrößen mittels mecha- tronischer Zweitore (M. Reuter, FH Jena) . . . . .	337
Einfluss einer Partikelgrößenmesssonde auf die Stabilität des Wirbelbettes (K. Germer, B. Wolf, HS Anhalt) . . . . .	341



Ein System zur automatischen, ontologiebasierten Parametrierung von Feldgeräten (V. Richter, S. Rellin, HS Anhalt) . . . . .	345
Energieprofilbasierende Analysemethoden von Proteinfamilien (F. Heinke, R. Brumm, HS Mittweida) . . . . .	349
Entwicklung eines Integritätstest-Verfahrens und der zugehörigen Prüfvorrichtung zur Leckfreiprüfung von getauchten Membransystemen (K. Wild, H. Müller, S. Rietz, R. Voigt, WH Zwickau, Microdyn Nadir GmbH)	353
Entwicklung von Axialturbinen für die Flussenergienutzung (C. Thiericke, D. Surek, HS Merseburg) . . . . .	357
Grenzen internationaler Institutionalisierung (H. Fischbach, HS Harz) . . . . .	361
HSS gehört beim Bohren noch lange nicht zum alten „Eisen“. (S. Scholze, E. Wißuwa, K. Günther, HS Mittweida) . . . . .	365
Identifizierung von Mikroorganismen in Ziegenkäse mit MALDI-TOF-MS (L. Leisering, S. Weinholz, I. Schellenberg, C. Cordes, HS Anhalt) . . . .	369
Integrierte Planung in der frühen Produktentstehungsphase (T. Flucke, Volkswagen AG) . . . . .	371
Interoperabilitätsanalyse von Transceivern für polymeroptische Fasern (S. Haupt, M. Haupt, U. Fischer-Hirchert, HS Harz) . . . . .	375
Kernmagnetische 1HT2-Relaxationszeitmessungen zur Kunststoffdiagnostik (S. Döhler, C. Schicktanz, U. Heuert, HS Merseburg) . . . . .	379
Lernmöglichkeiten und -beschränkungen in der Freiarbeit am Beispiel einer Montessori-Grundschule in Sachsen (M. Lubke, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	383
Macintosh based iPhone forensics (T. Höne, R. Creutzburg, FH Brandenburg) . . . . .	387
Modellbildung und Untersuchung einer auf der Resonanzschwingungstechnologie basierenden Mischungsanlage (H. Adam, Y. Ding, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	391
Numerische Untersuchung zur Zylinderspaltströmung mit Seitenfluss (P. Stücke, M. Schmidt, M. Nobis, WH Zwickau) . . . . .	395
Optimierung der Prozessqualität in der medizinisch-orthopädischen Rehabilitation durch den Einsatz einer Rehabilitationspsychologin – Pilotprojekt zur Etablierung der Rehabilitationspsychologie (M. Heinze, G. H. Franke, S. Struck, P. Reutermann, HS Magdeburg-Stendal, KMG Elbtalklinik Bad Wilsnack GmbH) . . . . .	399
Optimierung von Modell und Modellierungsmethodik im Vorentwurf von Straßenverkehrsanlagen (M. Ritzmann, M. Bischoff, M. Golz, R. Böse, FH Schmalkalden) . . . . .	403
Planen mit Multiagentensystemen – Wie Oktokopter selbstständig Aufgaben lösen können (F. Ruh, HS Harz) . . . . .	407
Projekterfolg durch den Einsatz von Social Software – eine literaturbasierte Analyse (A. Carjell, FH Schmalkalden) . . . . .	411

Psychische Belastung, Lebensqualität und Krankheitsverarbeitung bei stationär behandelten gynäkologischen Patientinnen (M. Jagla, O. Parchmann, E. Kumbier, B. Zirkenbach, G. H. Franke, Uni Flensburg, Krankenhaus Sangerhausen, Johanniterzentren in der Altmark GmbH, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	415
Psychopathie – Aktuelles Verständnis eines historischen Störungsbegriffs in der deutschen Psychiatrie (A. Schmiedeberg, C. Wendel, R. Jantke, HS Magdeburg-Stendal) . . . . .	419
Sicherheitsüberprüfungen – Ein Spagat zwischen Kosten und Nutzen? (M. Rahnefeld, M. Scharsich, FH Brandenburg) . . . . .	423
Sodium Reduction in a Smoky Bacon Seasoning for Potato Chips (I. Trumpf, D. Harrieder, H. Kievelitz, HS Anhalt, Symrise Pty. Ltd., Australien) . . . . .	427
Testentwicklung zur Lebensfähigkeit granulierter Starterkulturen (S. Weinholz, M. Wassermann, C. Cordes, HS Anhalt, VTA GmbH) . . . . .	431
Theoretical and experimental analysis of single mode fiber-to-fiber joint loss due to lateral misalignment (M. Joncic, M. Haupt, U. Fischer-Hirchert, HS Harz) . . . . .	433
Universal Benchmark and Compare System – Vorstellung, aktueller Entwicklungsstand und Ausblick (T. Stolze, A. Oppelt, K.-D. Kramer, HS Harz) . . . . .	437
Untersuchungen zur Elektronenstrahlmodifizierung von Polylactid (P. Morgenstern, K. Harre, G. Heinrich, HTW Dresden, IPF Dresden) . . . . .	441
Wasserökonomie – Bewertungsansätze für Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen (S. Radtschenko, FH Schmalkalden) . . . . .	445
Wirbelschichtcoating von Pellets mit hoher Wirkstoffbeladung (F. Priese, B. Wolf, HS Anhalt) . . . . .	449
<b>Index</b>	<b>453</b>

# Vorwort

Die 12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz findet am 14. April 2011 nach 2002 und 2006 zum dritten Mal an der Hochschule Harz in Wernigerode statt. Seit ihrem Anfang im Jahr 2000 an der Hochschule Merseburg hat sich die Konferenz ständig weiterentwickelt und vergrößert. Junge Wissenschaftler aus zahlreichen Hochschulen in Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen sowie Brandenburg stellen die Ergebnisse ihrer Forschungsarbeiten dar und unterstreichen so eindrücklich die Leistungsfähigkeit der Hochschulen für angewandte Wissenschaften in der angewandten Forschung. Viele dieser Wissenschaftler befinden sich in kooperativen Promotionsverfahren, die zusammen mit universitären Partnern durchgeführt werden.



Der Aufruf nach Tagungsbeiträgen fand mit 107 Einreichungen ein überaus großes Echo. Daher wurden alle eingereichten Beiträge durch ein 9-köpfiges Programmkomitee unter Einbeziehung von 69 Gutachtern kritisch durchgesehen. Im Ergebnis der Begutachtung konnten 47 Einreichungen als Vollbeiträge und 39 als Poster in das Programm aufgenommen werden. Alle akzeptierten Beiträge aus den Bereichen Angewandte Naturwissenschaften, Automatisierungstechnik, Informatik, Ingenieurwesen, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie Gesundheitswesen sind in diesem umfangreichen Tagungsband vereint.

Ohne die Unterstützung durch viele Personen und Institutionen wäre die Ausrichtung einer Veranstaltung wie die Nachwuchswissenschaftlerkonferenz nicht möglich. Daher gebührt mein Dank allen Mitgliedern des Programmkomitees, allen Gutachtern und Sitzungsleitern und dem lokalen Organisationskomitee. Besonders möchte ich mich beim Kultusministerium Sachsen-Anhalt für die großzügige Förderung der Veranstaltung sowie bei der Kultusministerin, Prof. Dr. Wolff, für die Übernahme der Schirmherrschaft über die Veranstaltung bedanken.

Wernigerode im März 2011



Prof. Dr. Frieder Stolzenburg  
Leiter der 12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz  
Prorektor für Forschung und Wissenstransfer  
Hochschule Harz



# Organisation

## Leitung

Prof. Dr. Frieder Stolzenburg, HS Harz

## Programmkomitee

Prof. Dr. Arno Fischer, FH Brandenburg  
Prof. Dr. Wilfried Honekamp, HS Zittau/Görlitz  
Prof. Dr. Jörg Kirbs, HS Merseburg  
Prof. Dr. Rudolf Lückmann, HS Anhalt  
Dr. Knut Meißner, IAI GmbH, Wernigerode  
Prof. Dr. Jan Mugele, HS Magdeburg-Stendal  
Prof. Dr. Thomas Seul, FH Schmalkalden  
Prof. Dr. Bruno Spessert, FH Jena  
Prof. Dr. Frieder Stolzenburg, HS Harz

## Organisationskomitee

Prof. Dr. Frieder Stolzenburg, HS Harz  
Florian Ruh, HS Harz  
Thomas Lohr, HS Harz  
Doris Wüstenhagen, HS Harz  
Sabine Kaden, HS Harz  
Veronika Kölle, HS Harz  
Kai Machemehl, HS Harz  
Stefanie Möller, HS Harz  
Nadine Pöhlmann, HS Harz  
Timo Schulze Baek, HS Harz

## Gutachter

Birgit Apfelbaum, HS Harz  
Jonas Brüstel, FH Brandenburg  
Anne Buchterkirchen, FH Brandenburg  
Sven-Uwe Büttner, FH Schmalkalden  
Susanne Busse, FH Brandenburg  
Reiner Creutzburg, FH Brandenburg  
Andre Döring, HS Merseburg  
Harald Eckardt, FH Schmalkalden  
Thomas Engel, FH Brandenburg  
Georg Felser, HS Harz  
Arno Fischer, FH Brandenburg  
Ulrich Fischer-Hirchert, HS Harz  
Ursula Fissgus, HS Anhalt  
André Göbel, HS Harz  
Sven-F. Goecke, FH Brandenburg  
Thomas Guthmann, FH Jena  
Katrin Hädrich, FH Jena  
Moritz Halle, FH Jena  
Matthias Haupt, HS Harz  
Kai Holl, FH Schmalkalden  
Thomas Höne, FH Brandenburg  
Ivonne Honekamp, Uni Bamberg  
Wilfried Honekamp, HS Zittau/Görlitz  
Frank Irmeler, FH Brandenburg  
Hans-Jürgen Kaftan, HS Anhalt  
Bruno Klauk, HS Harz  
Lutz Klimpel, HS Merseburg  
Kurt Koppe, HS Anhalt  
Lothar Koppers, HS Anhalt  
Klaus-Dietrich Kramer, HS Harz  
Peter Kußmann, HS Harz  
Franciska Lück, FH Brandenburg  
Rudolf Lückmann, HS Anhalt  
Thomas Lohr, HS Harz  
Klaus Lorenz, HS Anhalt  
Rudolf Mecke, HS Harz  
Knut Meißner, IAI GmbH  
Christian Mieke, FH Brandenburg  
Jan-Bernd Möller, FH Jena  
Jürgen Mottok, HS Regensburg  
Jan Mugele, HS Magdeburg-Stendal  
Ulf Müller, FH Schmalkalden  
Sachar Paulus, FH Brandenburg  
Daira Posselt, FH Brandenburg  
Hardy Pundt, HS Harz  
Michael Reiher, HS Zittau/Görlitz  
Georg Ringwelski, HS Zittau/Görlitz  
Florian Ruh, HS Harz  
Christel Salewski, HS Magdeburg-Stendal  
Tobias Scheidat, FH Brandenburg  
Ingo Schellenberg, HS Anhalt  
Stefan Schlechtweg-Dorendorf, HS Anhalt  
Ruben Schlutter, FH Schmalkalden  
Falk Schmidsberger, HS Harz  
Carsten Schwenke, FH Brandenburg  
Thomas Seul, FH Schmalkalden  
René Simon, HS Harz  
Annedore Söchting, IAI GmbH  
Thomas Spangenberg, HS Harz  
Bruno Spessert, FH Jena  
Cord Spreckelsen, RWTH Aachen  
Thomas Stolze, HS Harz  
Frieder Stolzenburg, HS Harz  
Alexander Ströher, UMIT  
Hermann Strack, HS Harz  
Klaus ten Hagen, HS Zittau/Görlitz  
Anika Thomas, FH Jena  
Ute Urban, HS Harz  
Nicoletta Wojtera, Uni Bochum

# Angewandte Naturwissenschaften

## **Sitzungsleiter:**

Prof. Dr. B. Spessert (FH Jena)

Prof. Dr. U. Fischer-Hirchert (HS Harz)





## Charakterisierung von Algen aus der „Alten Elbe“ bei Magdeburg mittels MALDI-TOF-MS und Sequenzierung

Dipl.-Ing. (FH) J. Zwanzig, Phone: 03496-67-3582, Fax: 03496-67-2599, E-Mail: j.zwanzig@bwp.hs-anhalt.de,  
Hochschule Anhalt (FH), Bernburger Str. 55, 06366 Köthen

Prof. Dr. C. Cordes, Phone: 03496-67-2523, Fax: 03496-67-2599, E-Mail: c.cordes@bwp.hs-anhalt.de,  
Hochschule Anhalt (FH), Bernburger Str. 55, 06366 Köthen

Dr. B. Feuerstein, Phone: 0391-886-4237, Fax: 0391-886-4234, E-Mail: bernd.feuerstein@hs-magdeburg.de,  
Hochschule Magdeburg-Stendal

**Abstract:** This work deals with the purification and identification of algae derived from a backwater of the river Elbe („Alte Elbe“) by sequencing and Maldi-Tof-MS characterization.

**Keywords:** Maldi-Tof-MS; Identification of algae; sequencing

### Einleitung

Die „Alte Elbe“ bei Magdeburg ist ein Altwasser, das durch Abtrennung und Isolierung von der Stromelbe entstanden ist und einem natürlichen Alterungsprozess unterliegt. Mehrere biotische und abiotische Faktoren bestimmen dabei das jeweilige Erscheinungsbild der Planktonbizzönose, wobei erhebliche jahreszeitliche Schwankungen um das Jahresmittel von etwa 3 mm<sup>3</sup>/L Phytoplankton-Gesamtbiolumen auftreten. Nach [1] waren im Jahr 2006 im Phytoplankton vor allem Cyanophyceae mit den Arten *Limothrix redeckii*, *Microcystis flosaquae* und *Planktothrix agardhi*, gefolgt mit deutlichem Abstand von Chryptophyceae, Chrysophyceae und Dinophyta dominierende Klassen.

MALDI-TOF-MS (Matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry) ist schon seit vielen Jahren eine vielseitig verwendete Methode. Diese Technik erlaubt eine sehr schnelle Analyse verschiedenster Biomoleküle, z.B. Proteine, Nukleinsäuren und Kohlenhydrate [2].

Ziel dieses Projektes ist es, eine Datenbank mit massenspektrometrischen Daten (sog. Peptid Mass Fingerprints) für aus der „Alten Elbe“ stammende Algen aufzubauen. Damit soll die Möglichkeit einer sehr schnellen Identifizierung dieser Algen eröffnet werden. Als Identifizierungsmethodik soll die MALDI-TOF-Massenspektrometrie (MALDI-TOF-MS) etabliert werden. Für den Aufbau einer entsprechenden Datenbank müssen parallel die mittels MALDI-TOF-MS für jede Spezies ermittelten „Fingerprints“ durch molekularbiologische Untersuchungen

verifiziert werden. Dies erfolgt durch Kombination von PCR (Polymerase chain reaction) und Sequenzierungsanalyse.

### **Methoden und Ergebnisse**

Die verwendeten Algen wurden von Herrn Dr. Feuerstein (Hochschule Magdeburg-Stendal) zur Verfügung gestellt, in einem speziellen Algenmedium (Bold's Basal) sowohl in Flüssig- als auch auf Festkultur (Zugabe von 2% Agar-Agar) angezogen und unter definierten Temperatur- und Lichtbedingungen kultiviert.

Zur Optimierung der DNA-Extraktion aus Algen wurden verschiedene Aufschlussmethoden hinsichtlich ihrer Eignung, Zeitbedarf und Qualität der resultierenden DNA untersucht. Dabei erwies sich die Behandlung mit Glasperlen als erfolgreich. Die isolierte DNA diente dann als Template für die PCR, bei der ein universelles Primerpaar zur Amplifikation eines Teiles der 18S rDNA genutzt wurde [3]. Anschließend konnten die generierten PCR-Fragmente sequenziert (CEQ 8000, Beckman Coulter, Krefeld) und mit Hilfe der BLAST-Datenbank (Basic Local Alignment Search Tool) identifiziert werden.

Die MALDI-TOF-Analysen wurden mit dem Voyager DE Pro (Applied Biosystems, Forster, USA) durchgeführt. Mit einem sterilen Zahnstocher wurde etwas Algenprobe von der Agar-Platte entnommen, auf das MALDI-Target übertragen und für die Co-Kristallisation mit 0,3µl DHB-Matrix (2,5-Dihydroxy-Benzoessäure) überschichtet (siehe Abb.1).

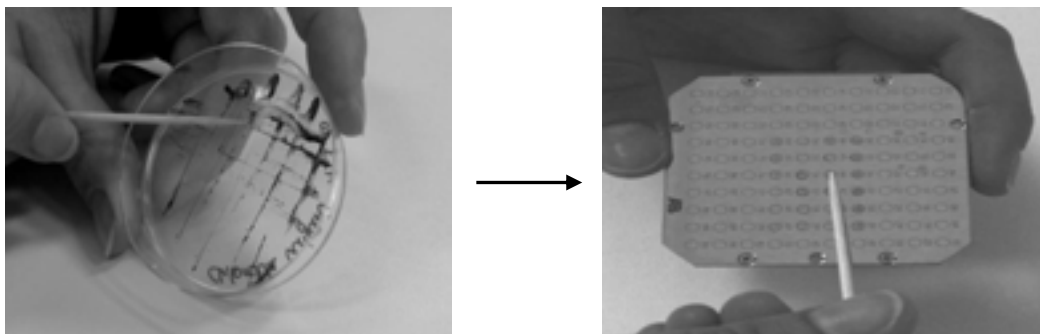


Abb. 1: Probenentnahme von der Agar-Platte und Übertragung auf das MALDI-Target

Der Probensteller wird in das Voyager DE PRO System überführt und mit Laserenergie beschossen, wobei die Matrix explosionsartig verdampft. Die Analytmoleküle werden in die Gasphase überführt, bei einer Spannung von 20 kV beschleunigt und im Massenanalysator entsprechend ihres Masse/Ladungsverhältnisses getrennt. Dabei wird die Flugzeit ermittelt, die ein Ion benötigt, um eine definierte Driftstrecke zu durchfliegen. Molekül-Ionen mit kleinerem Masse/Ladungsverhältnis durchfliegen den TOF-Analysator schneller als Moleküle mit größerem Masse/Ladungsverhältnis [4].

Am Detektor werden die ankommenden Ionen in elektrische Signale umgewandelt und in Form von Massenspektren dargestellt. Unmittelbar werden die erstellten Spektren in der Analysensoftware Data Explorer 4.0 (Applied Biosystems, Forster, USA) mittels Basislinienkorrektur und Peakglättung bearbeitet sowie die Peaks beschriftet (siehe Abb. 2). Die Auswertung der Massenspektren erfolgt anschließend mit Hilfe des Softwareprogrammes SARAMIS (Biomerieux, Nürtingen) [5].

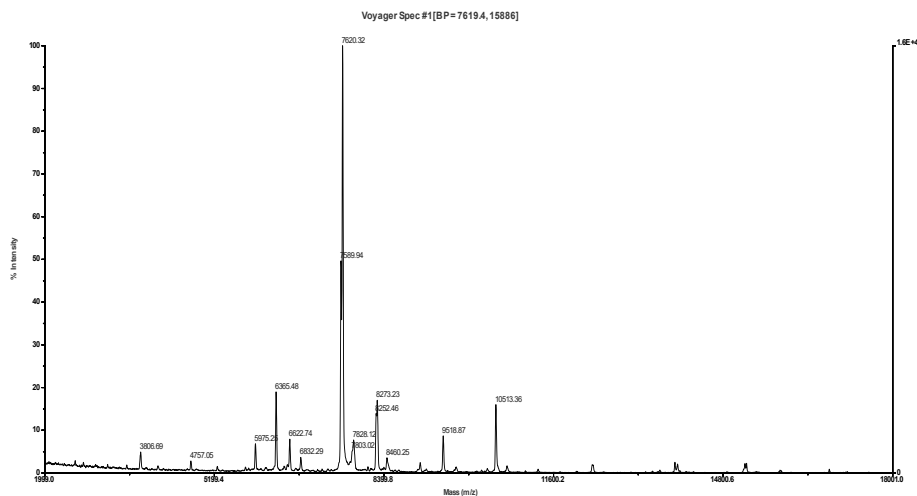


Abb. 2: Spektrum einer MALDI-TOF-Analyse

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Mit Hilfe des universellen Primerpaares wurde ein Teil der 18S rDNA der untersuchten Organismen amplifiziert und sequenziert. Nach Vergleich der erhaltenen Sequenzen mit den hinterlegten Sequenzen in der BLAST-Datenbank konnten die Algen eindeutig identifiziert werden.

Die Erstellung von Massenspektren der vorliegenden Algenproben mittels MALDI-TOF-MS ist möglich. Zurzeit werden weiterhin Spektren verschiedener Algenproben

gesammelt, um bei genügender Anzahl Referenzspektren in die Datenbank zu hinterlegen. Somit wird eine schnelle und einfache Bestimmung unbekannter Algen möglich.

### **Literatur**

- [1] Lüderitz, V.; Langheinrich, U.; Kunz C. (2009): Flussaltwässer, Vieweg+Teubner Verlag, S. 51 ff.
- [2] Bonk, T. and Humeny, A. (2001): MALDI-TOF-MS analysis of protein and DNA, *Neuroscientist.*, Vol. 7, No. 1, pp. 6-12.
- [3] Diez, B.; Pedros-Alio, C. ; Marsh, T.L. and Massana, R. (2001): Application of Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) To Study the Diversity of Marine Picoeukaryotic Assemblages and Comparison of DGGE with Other Molecular Techniques, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 67, No.7, p. 2942–2951.
- [4] Hortin, G. L. (2006): The MALDI-TOF Mass Spectrometric View of the Plasma Proteome and Peptidome. *Clinical Chemistry*, Vol. 52/7, 1223 – 1237.
- [5] [www.Biomerieux.de](http://www.Biomerieux.de); 04.03.2011

## **Veränderungsanalyse der Vegetation des Schukjer Moores zwischen 1986 und 2009 - Ableitung von Entwicklungstendenzen und zukünftigen Renaturierungsansätzen**

Kristina Krenz; B.Sc., Hochschule Anhalt (FH), Telefon: 04635/ 657, E-Mail: Kristina@krenz-soerup.de,  
Schlesienstr.3, 24966 Sörup

Prof. Dr. Birgit Felinks, Telefon: 03471/355/-1131, Fax: 03471/355 91131, E-Mail: b.felinks@loel.hs-anhalt.de,  
Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

### **Zusammenfassung**

Infolge der langjährigen menschlichen Einflussnahme sind intakte Moore in der heutigen Landschaft seltene und gefährdete Biotope. Auch das im Norden von Schleswig-Holstein gelegene 11 ha große Schukjer Moor wurde vor allem durch Entwässerung und Torfabbau hinsichtlich Wasserhaushalt und Vegetationsstruktur stark überprägt. Im Jahr 1989 wurde durch eine Änderung des Wasserregimes und der Pflegemaßnahmen Einfluss auf die Vegetationsentwicklung genommen. 20 Jahre nach Durchführung der Renaturierungsmaßnahmen wurde die Veränderung der Vegetation untersucht, um einerseits den Erfolg der Renaturierung zu analysieren und andererseits Vorschläge für eine Optimierung der Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten zu können. Zur Erfassung des aktuellen Zustandes des Schukjer Moores wurden die relativen Wasserstände mit Hilfe des Nivellments gemessen, die Strukturtypen der Moorfläche kartiert und Vegetationsaufnahmen durchgeführt.

Der Vergleich der aktuellen Vegetationsverhältnisse mit dem Zustand aus dem Jahr 1986 zeigt insgesamt eine Verschiebung innerhalb der vorhandenen Pflanzengesellschaften bzw. eine Veränderung des Arteninventars innerhalb der einzelnen Pflanzengesellschaft. Röhrichte und Seggenrieder sowie Weidengebüsche nahmen flächenmäßig zu, wohingegen die Waldgesellschaften und weitere Gesellschaften des Hochmoorrestes zurückgingen. Zudem nahm der Wasserstand im Moorkörper im Verlauf der Vegetationsperiode 2009 stetig ab. Es ist deshalb davon auszugehen, dass durch die 1989 durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen keine dauerhaft nassen Verhältnisse geschaffen wurden, da durch ein Überlaufrohr immer noch ein Wasserabfluss aus dem Gebiet möglich ist. Von den derzeit wechselfeuchten Verhältnissen im Moor profitieren daher die Bruchwälder und nicht die typischen Moorheidekomplexe.

Um eine weitere Ausdehnung der Pfeifengras-Dominanzbestände zu Lasten von standorttypischen sowie arten- und struktureicheren Beständen mit Zwergsträuchern und Torfmoosen im zentralen Bereich zu verhindern, ist ein verbesserter Wasserrückhalt im Gebiet anzustreben. Da durch die 1989 initiierten Entkusselungsmaßnahme sowie Mahd der Hochmoorrestflächen ein Beitrag zum Erhalt der hochmoortypischen Pflanzenarten und Vegetationseinheiten geleistet wurde, sind diese Maßnahmen beizubehalten. Um einen Nährstoffeintrag von den angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verhindern, ist die bereits bestehende Pufferzone in einigen Bereichen gezielt zu erweitern und durch ein angepasstes Mahdregime in extensiv genutztes, artenreiches Feuchtgrünland zu entwickeln.

## **1 Einleitung**

Moore besitzen eine besondere Bedeutung für Biodiversität, Wasserspeicherung und Nährstofffiltration. Als CO<sub>2</sub>-Senke spielen sie in der heutigen Zeit eine wichtige Rolle für den Klimaschutz. Allerdings sind Moore infolge langjähriger intensiver land- und forstwirtschaftlicher Nutzung und aufgrund von Torfabbau stark rückläufig und zählen mit zu den am stärksten gefährdeten Ökosystemen in Deutschland (Succow & Joosten 2001). Hochmoorrenaturierung wird in Norddeutschland seit Anfang 1970 betrieben. Grundlage für den Hochmoorschutz bildet der § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), der dieses Biotop unter gesetzlichen Schutz stellt.

Bei dem im Norden von Schleswig- Holstein gelegenen 11 ha großen Schukjer Moor handelt es sich um ein Hochmoor, welches in dem zentralen Bereich noch durch Torfsubstrate und eine typische Moorvegetation gekennzeichnet ist. 1989 wurden im Rahmen der Flurbereinigung weitreichende Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt, die im Wesentlichen auf eine Stabilisierung des Wasserregimes abzielten. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde untersucht inwieweit diese Maßnahmen einen Beitrag zur erfolgreichen Renaturierung des Schukjer Moores geleistet haben. Ausgehend von einer Veränderungsanalyse der Vegetation über 20 Jahre sollte einerseits eine Bewertung der durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen in Hinblick auf das Erreichen der Entwicklungsziele durchgeführt werden. Andererseits sollten Aussagen zu den künftigen Entwicklungstendenzen und Vorschläge für eine Optimierung der gegenwärtig durchgeführten Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen abgeleitet werden.

## 2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Im Norden von Schleswig-Holstein im Landkreis Schleswig-Flensburg befindet sich das Schukjer Moor, welches sich in Nord-Süd-Richtung erstreckt (Abb. 1). Die zentrale Hochmoorfläche einschließlich der umgrenzenden Erlenbruchwäldern und Weidengebüschen beträgt 11 ha.

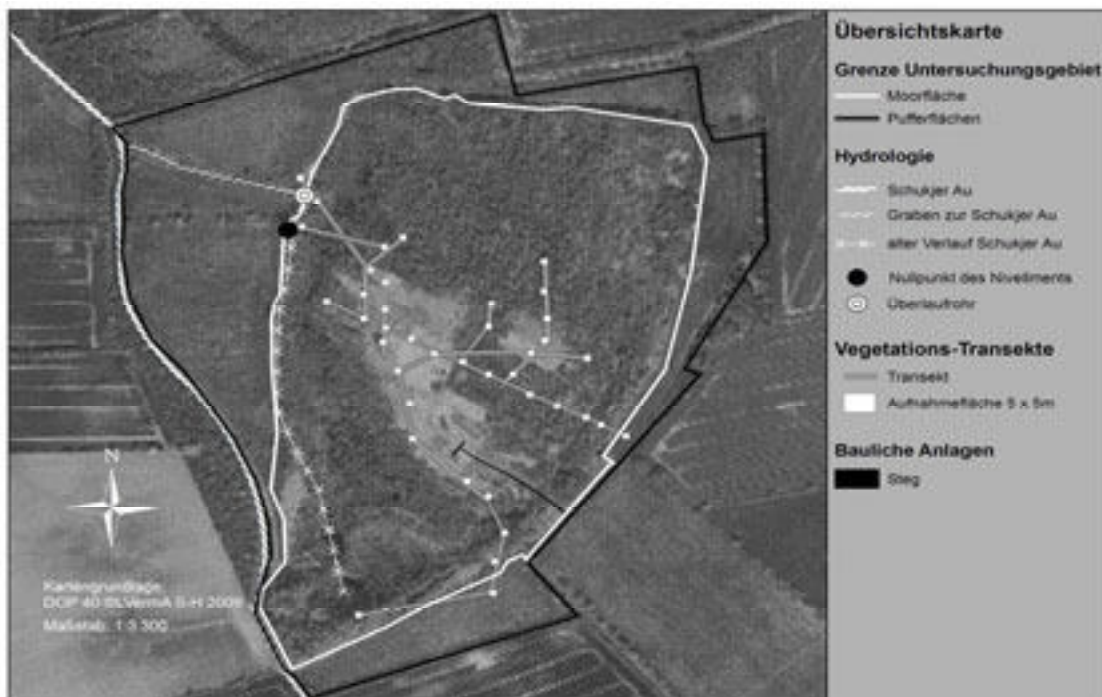


Abbildung 1: Übersichtskarte Schukjer Moor

Zu den umgebenden landwirtschaftlichen Flächen wird die Moorfläche von insgesamt 8 ha großen Pufferflächen abgegrenzt, die als extensives Grünland mit Obstgehölzen alter Sorten genutzt werden. Das Einzugsgebiet des Moores ist hauptsächlich durch intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt, die auf der Ostseite des Mooregebietes bis nahe an die Hochmoorfläche heranreicht. Des Weiteren ist das Moor von einer Vielzahl von Gräben durchzogen, die auf die ehemalige Nutzung hinweisen. Im Zuge der 1989 durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen wurde die Schukjer Au um 500 m westlich vom Moor in einen Geländeeinschnitt verlegt. Seitdem ist das Schukjer

Moor mit einem Überlaufrohr über eine Rohrleitung mit der Schukjer Au verbunden, welche auch gleichzeitig die einzige Abflussmöglichkeit darstellt. Mit Hilfe dieses Rohres ist die Höhe des anstehenden Wassers im Moor regulierbar. Zur Entwicklung des standorttypischen Moorheidekomplexes wurde auf den zentralen Hochmoorrestflächen eine Entkusselung von Gehölzen und Mahd von *Molinia caerulea* (Pfeifengras) durchgeführt. Diese Freiflächen werden seitdem regelmäßig durch den ansässigen Naturschutzverein gepflegt. Zur Arbeitserleichterung und zur besseren Begehrbarkeit des Moores können die Hochmoorrestflächen in der östlichen Hälfte mit Hilfe eines Holzsteges erreicht werden.

### **3 Methodik**

Um den aktuellen Zustand des Schukjer Moores zu analysieren wurde Mitte April 2009 eine Nivellierung durchgeführt. Dabei wurden nicht die absoluten Höhen gemessen, sondern die relativen Höhen untereinander. Um Informationen zu dem aktuellen Wasserstand im Torfkörper zu bekommen, wurden 16 Filterrohre in den Moorboden geschlagen, die ebenfalls einnivelliert wurden.

Für eine flächenhafte Darstellung der aktuellen Verteilung verschiedener Vegetationseinheiten wurde zunächst eine Strukturtypenkartierung im zentralen Moorbereich durchgeführt. Grundlage waren die von Mordhorst (1986) ermittelten Struktureinheiten, die folgenden übergeordneten Strukturtypenklassen zugeordnet sind: Röhrichte/Seggenrieder, Grünlandgesellschaften, Ruderalfluren, Gesellschaften des Hochmoorrestes, Waldgesellschaften und sonstige Waldgesellschaften. Auf Basis der Strukturkartierung wurden zwei Transekte angelegt, mit denen die standorttypischen und naturschutzfachlich relevanten Strukturtypen Moorbirkenwald, Moorbirkenwald mit Erlenbruchwald, Erlenbruchwald, Schilfröhricht, Weidengebüsch und die Pfeifengrasbestände mit Heide und Torfmoosen abgedeckt wurden. Entlang der Transekte wurde in regelmäßigen Abständen auf 5x 5m großen Flächen eine Vegetationsaufnahme mit der Braun-Blanquet-Skala angefertigt. Mit den insgesamt 40 Aufnahmeflächen waren alle Strukturtypen mehrfach repräsentiert. Die Bewertung der Renaturierungsmaßnahmen erfolgt durch Vergleich zwischen dem von Mordhorst (1986) dokumentierten Zustand und den Ergebnissen der Wiederholungsaufnahmen aus dem Jahr 2009.

### **4 Entwicklung des Schukjer Moores seit 1986 bis 2009**

Die Auswertung der Strukturtypenkartierungen aus den Jahren 1986 und 2009 zeigt eine Zunahme der Röhrichte und Seggenrieder sowie sonstigen Waldgesellschaften (Weidengebüsche), jedoch eine Abnahme der Gesellschaften des Hochmoorrestes (Tab.1).

Tabelle 1: Flächenanteile der übergeordneten Strukturtypen 1986 und 2009

Strukturtypenklassen	1986 (ha)	2009 (ha)
Röhrichte und Seggenrieder	0,53	0,97
Grünlandgesellschaften	0,29	0,03
Ruderalfluren	0,57	0,20
Gewässer	0,04	0,24
Waldgesellschaften	3,04	2,87
Gesellschaften des Hochmoorrestes	2,36	1,48
Sonstige Waldgesellschaften/Gebüschformationen	2,73	5,03
Einzelgehölz	0,01	0,02

Die detaillierte Auswertung der Veränderungen der Gesellschaften des Hochmoorrestes zeigt, dass 20 Jahre nach den Renaturierungsmaßnahmen die Pfeifengrasbestände mit Heide und Torfmoosen zugenommen, reine Pfeifengrasbestände, Moorbirkenwald und Mosaike aus Moorbirkenwald und Schilfröhricht jedoch abgenommen haben (Abb. 2). Während in den reinen Pfeifengrasbeständen aufgrund der Dominanz von *Molinia caerulea* (Pfeifengras) andere hochmoortypische Arten nicht oder mit nur sehr geringer Deckung zu finden sind, kommen in den Pfeifengras-Beständen mit Heide und Torfmoosen neben *Molinia caerulea* (Pfeifengras) auch hochmoortypische Arten wie *Eriophorum vaginatum* (Scheiden-Wollgras), *Erica tetralix* (Glockenheide), *Vaccinium oxycoccus* (Moosbeere), *Calluna vulgaris* (Heidekraut) und verschiedene *Sphagnum* (Torfmoose) vor. Der Moorbirkenwald mit der Charakterart *Betula pubescens* (Moor-Birke) machte 1986 den Großteil der Gesellschaften des Hochmoorrestes aus, wohingegen 2009 der Flächenanteil ebenso wie beim Moorbirkenwald mit *Phragmites australis* (Schilf) deutlich kleiner ist als 1986. Die Verringerung des Moorbirkenwaldes und der reinen Pfeifengrasbestände lässt sich durch die Entkusselung und die anschließend in unregelmäßigen Abständen durchgeführte Mahd erklären, die diese Pflanzenbestände in ihrer Ausprägung veränderten.

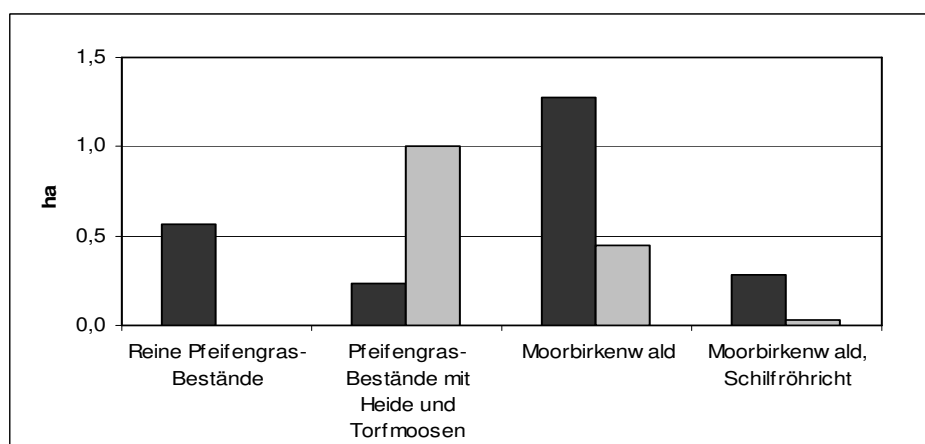


Abbildung 2: Vergleich der Gesellschaften des Hochmoorrestes 1986 (■) und 2009 (□).

Die Veränderung der Anteilsverteilung der Strukturtypen spiegelt sich auch in der vergleichenden Auswertung der Vegetationsaufnahmen aus den Jahren 1986 und 2009 wider.



Der Vergleich der Vegetationsaufnahmen zeigte zudem, dass sich die Artenzusammensetzung innerhalb der pflanzensoziologischen Einheiten änderte oder eine Veränderung des Deckungsgrades auftrat. Die Grauweiden-Gebüsche (*Frangulo-Salicetum cinereae*), Schwarzerlenreiche Bruchwälder (*Alnion glutinosae*), Birken-Moorwald (*Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*) wurden artenreicher vorgefunden. Beim Schilf-Röhricht (*Phragmitetum australis*), welches neben den bereits genannten Gesellschaften überwiegend im Moor zu finden ist, änderte sich lediglich die Lage der Fläche. Anstelle der mittlerweile nur noch auf Sonderstandorten vorkommenden Hochmoorbultengesellschaft (*Sphagnetalia magellanici*) treten die Feuchtheiden (*Ericetum tetralicis*.) wobei 2009 jedoch deutlich weniger hochmoortypische Arten kartiert wurden. Die Pufferzonen weisen pflanzensoziologische Einheiten des Wirtschaftsgrünlandes (*Molinio-Arrhenatheretea*) auf.

Die Wasserstände nahmen in der Vegetationsperiode 2009 stetig ab. Zudem traten tiefere wie auch höhere Wasserstände nicht sprunghaft auf, sondern wurden allmählich tiefer bzw. höher.

## **5 Entwicklungstendenz und Zielfestlegungen**

Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Renaturierungsmaßnahmen wurde das prioritäre Entwicklungsziel- die Entwicklung des Landschaftsraumes Schukjer Moor und dessen Erhaltung und Förderung seiner Vielgestaltigkeit als Lebensraum von Pflanzen und Tieren sowie die nachhaltige Sicherung seiner Vielfalt, Eigenart und Schönheit- erreicht. Diese sehr allgemein formulierte Zielstellung wird durch den Erhalt und Entwicklung der verschiedenen Landschaftselemente (Moorheidekomplexe, Moorbirkenwald, Erlen-Eschen-Wald, Weidengebüsch/Erlenbruchwald, Hasel-Niederwald, Streuwiesen, extensiv genutztes Feuchtgrünland und Quelltümpel) konkretisiert (MORDHORST 1986). Allerdings haben die Renaturierungsmaßnahmen nicht zu einer absoluten Zunahme der hochmoortypischen Vegetationstypen im Schukjer Moor geführt. Vielmehr kam es zu einer Verschiebung innerhalb der vorhandenen Pflanzengesellschaften bzw. eine Veränderung des Arteninventars innerhalb der einzelnen Pflanzengesellschaften, sodass sich im zentralen Bereich die Entwicklung vom Hochmoorstadium weiter entfernt.

Zwischen 1986 und 2009 ist vor allem eine Abnahme der typischen Pflanzengesellschaften des Hochmoores zu verzeichnen, wohingegen die Bruchwälder (Birken-, Erlen-, und Weidenbruch) ein immer größeres Gewicht in dem Gebiet erlangen. Ebenso ist auf den durch Pflege offengehaltenen Flächen eine Entwicklungstendenz weg vom Moorheidestadium hin zum Pfeifengrasstadium zu erkennen. Besonders die Maßnahmen zur Anhebung des Wasserstandes scheinen durch die Verlegung der Schukjer Au keine dauernd nassen Verhältnisse zu schaffen, zumal das Moor durch das Überlaufrohr immer noch einen Abfluss besitzt. Infolge der damit einhergehenden wechselfeuchten Wasserverhältnisse profitieren die Bruchwälder und nicht die Moorheidekomplexe. Die Entkusselungsmaßnahme und Mahd der Hochmoorestflächen sind bei den vorhandenen Wasserständen mit Blick auf die Förderung von hochmoortypischen Pflanzen und Vegetationseinheiten als positiv anzusehen und tragen zur Vielgestaltigkeit des Lebensraumes bei.

Jedoch sind diese Pflegemaßnahmen sowohl finanziell als auch personell aufwendig und verhindern eine natürliche Entwicklung zum Moorbirkenwaldstadium.

Aber es ist eine Möglichkeit, um eine Vielfalt an Lebensraumtypen zu erhalten, die sich bei höherem Wasserstand durchaus auch ohne Pflege einstellen würde (WAGNER & MÜLLER 1986).

Die Entwicklung einer zusammenhängenden Pufferfläche aus extensivem Grünland um das gesamte Hochmoor ist eine wesentliche Voraussetzung für die Renaturierung des Hochmoorkomplexes. Aufgrund der aktuellen Artenzusammensetzung sollte das Bewirtschaftungsregime dahingehend geändert werden, dass sich ein artenreiches extensiv genutztes Feuchtgrünland etabliert.

Ausgehend von dem aktuellen Zustand des Schukjer Moores kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der Erhalt bzw. die Entwicklung des Gesamtkomplexes bestehend aus Bruchwald und Hochmoorkern nur durch eine Anhebung des Wasserstandes bzw. optimierte Wasserrückhaltung möglich ist. Dies ist beispielsweise durch die Änderung der Höhe des Überlaufrohres möglich. Eine Kontrolle der aktuellen Wasserstände ist über die 16 im Gebiet vorhandenen Filterrohre möglich.

Zum Erhalt und zur Förderung der naturschutzfachlich wertgebenden noch vorhandenen hochmoortypischen Arten und Vegetationseinheiten und um eine Vergrasung durch *Molinia caerulea* (Pfeifengras) bzw. Verbuschung durch *Betula pubescens* (Moor-Birke) zu vermeiden, sollen die Hochmoorkernflächen in unregelmäßigen Abständen (3 - 5 Jahre) gemäht werden. Die Pufferzone ist insbesondere auf der Ostseite des Moores zu erweitern, um die Nährstoffeinträge aus den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen zu minimieren. Die jetzigen Pufferflächen sollten durch eine zweischürige Mahd mit Abtransport zum Nährstoffaustrag beitragen. Als Entwicklungsziel ist ein artenreiches Feuchtgrünland anzustreben.

Auf Grund der noch vorhandenen Ausstattung mit hochmoortypischen Arten und Vegetationseinheiten weist das Schukjer Moor gegenwärtig noch ein ausreichendes Entwicklungspotenzial auf, welches die Möglichkeit zur Durchführung von erneuten Renaturierungsmaßnahmen und optimierten Pflegemaßnahmen rechtfertigt.

## Literaturverzeichnis

- MORDHORST, H. (1986): Erläuterungsbericht zum Pflege und Entwicklungsplan Schukjer Moor. Erarbeitet im Auftrage des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Flensburg, Nortorf:
- SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 16. WAHLPERIODE (2008): Moorschutzprogramm für Schleswig-Holstein. Drucksache 16/2272.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Auflage, Stuttgart: Schweizerbart.
- WAGNER, C. & MÜLLER, K. (1986): Auswirken des Entkusselns auf den Wasserhaushalt und die Vegetation (besonders der Torfmoose) in den verschiedenen Degenerationsstadien des entwässerten Hochmoores und des Zwischenmoores. Gutachten im Auftrag des schleswig-holsteinischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Kiel.

## **Grundlegende Untersuchungen zur Erzeugung von nanokristallinen Diamant - Schichten mittels Laserpulsabscheidung (PLD)**

Dipl.- Ing. (FH) Hagen Grüttner, Phone.: ++49.3727-58-1395, Fax: ++49.3727-58-1398, E-Mail: hgruettn@htwm.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Prof. Dr. rer. nat. Steffen Weißmantel, Tel.: ++49.3727-58-1449, Fax: ++49.3727-58-1398, E-Mail: steffen@htwm.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

### **Abstract:**

Es werden grundlegende Untersuchungen zur Erzeugung von nanokristallinen Diamantschichten mittels PLD (Pulsed Laser Deposition) vorgestellt. Die Schichtabscheidung erfolgte auf Silizium (111)- Substraten, durch Laserpulsablation eines Graphittargets mit einem KrF- Excimerlaser. Die Substrate wurden mit einer Diamantsuspension und/ oder mittels Ionenbeschuss vorbehandelt. Folgende Prozessparameter wurden variiert: Laserfluenz zwischen 10 J/cm<sup>2</sup> und 15 J/cm<sup>2</sup>, Substrattemperatur zwischen 360 °C und 660 °C und Wasserstoffdruck zwischen 3 mbar und 7 mbar. Der Einfluss der Abscheideparameter auf das Wachstum der nanokristallinen Diamant (n-D)- Schichten, wurde mittels Raman- Spektroskopie (Anregungswellenlänge 532 nm) und Rasterelektronenmikroskopie ermittelt. Die jeweiligen Schichtdicken wurden mittels Oberflächenprofilometrie bestimmt. Bei geeigneter Wahl der Prozessparameter konnten nanokristalline Diamantanteile in den Schichten nachgewiesen werden.

### **Keywords:**

Nanokristalliner Diamant; PLD; PVD; Dünnschicht; Kohlenstoff

## **1 Einleitung**

Untersuchungen zur Herstellung von nanokristallinen Diamantschichten (n-D-Schichten) wurden in den letzten Jahren von einigen Forschungsgruppen durchgeführt. Als Abscheideverfahren kam dabei bisher vorwiegend das konventionelle MW CVD- Verfahren zum Einsatz. Um mittels MW CVD n-D- Schichten auf nicht diamantähnlichen Substraten erzeugen zu können, müssen die Substrate zunächst aufwändig vorbehandelt werden. Die Vorbehandlung erfolgt durch Aufbringen einer Suspension aus Diamantpulver mittels Ultraschall [3]. Während der anschließenden Schichtabscheidung sind bei diesem Verfahren hohe Substrattemperaturen von 750 °C bis 1000 °C notwendig [4]. Es können Abscheideraten bis 5,77 µm/h [5] und Korngrößen von ca. 5 nm [3] erreicht werden. Die Schichten besitzen nicht nur nanokristalline Diamant-, sondern auch amorphe Kohlenstoffanteile und ihre Oberflächen sind relativ rau. Über die Erzeugung nanokristalliner Diamantschichten mittels Laserpulsabscheidung berichteten erstmals T. Hara et.al. [1, 2]. Im Gegensatz zum MW CVD- Verfahren bietet das PLD-Verfahren einige Vorteile. Beispielsweise zeigen

T. Hara et.al. [1,2], dass bei diesem Verfahren die Vorbehandlung mit einer Diamantsuspension nicht notwendig ist. Außerdem beträgt die Substrattemperatur während der Abscheidung maximal 550°C. Die Abscheideraten beider Verfahren sind annähernd gleich, jedoch ist der nanokristalline Diamantanteil beim PLD-Verfahren wesentlich größer. Weiterhin besitzen die Schichten, welche mittels PLD-Verfahren abgeschieden werden, wesentlich geringere Rauigkeiten [1,2].

## 2. Experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung

Die Schichten mit Dicken im Bereich von 100 nm bis 2 µm wurden auf Silizium (111)-Substrate (N1-polier) abgeschieden. Die Substrate wurden mittels Ionenbeschuss oder mittels Diamantsuspension (Korngröße 50 nm) vorbehandelt. Die Beschichtung wurde bei Substrattemperaturen zwischen 360 °C und 660 °C durchgeführt. Die Ablation des Graphittargets erfolgte unter Verwendung eines KrF-Excimer-Lasers ( $\lambda = 248$  nm, FWHM = 20 ns,  $Q_{P \max} = 600$  mJ) bei einer Pulswiederholfrequenz von 50 Hz. Der Laserstrahl wurde in einem Winkel von 45° auf das Target gerichtet und mit Hilfe beweglicher Optiken mäanderförmig über dieses bewegt. Die Fokussfläche auf dem Target betrug ca. 2,5 mm<sup>2</sup>. Die Laserfluenz wurde zwischen 10 J/cm<sup>2</sup> und 15 J/cm<sup>2</sup> variiert. Der Abstand zwischen Target und Substrat betrug 40 mm. Die Abscheidung erfolgte unter Wasserstoffatmosphäre. Dabei wurden Wasserstoffgasdrücke zwischen 3 mbar und 7 mbar eingestellt. Der Wasserstoffdruck wurde bei kontinuierlich in den Rezipienten einströmendem Wasserstoff (ca. 5 sccm) durch Justage eines Ventils zwischen Rezipient und Vakuumpumpe eingestellt und konstant gehalten. Der Basisdruck im Rezipienten lag stets unter  $3 \cdot 10^{-6}$  mbar.

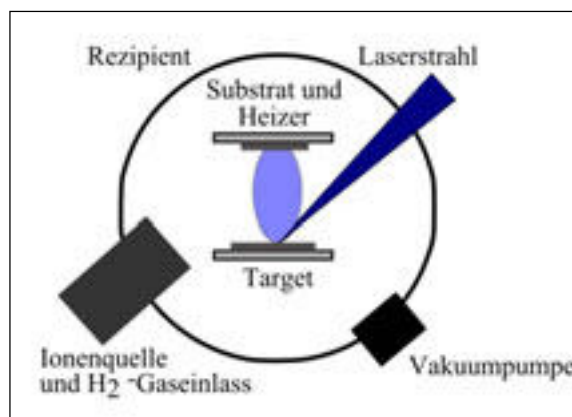


Abb.1: Experimenteller Aufbau

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Ermittlung des geeigneten Wasserstoffdrucks

Die Rolle des Wasserstoffs während der Abscheidung: Die vom Target ablatierten, hochenergetischen Kohlenstoffatome kollidieren zunächst mit dem molekular vorliegenden Wasserstoff. Dieser dissoziiert dadurch zu atomarem Wasserstoff. Dieser ist dafür bekannt, dass er während der Schichtabscheidung einen signifikanten Einfluss auf das Beschichtungsergebnis hat. Er beeinflusst die Schichtmorphologie und ist in der Lage sp<sup>2</sup>- Bindungsanteile des Kohlenstoffs während der Schichterzeugung zu ätzen. Bei geeignetem Verhältnis zwischen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen wird vorrangig nanokristalliner bzw. ultrananokristalliner Diamant gebildet [2]. Zur Ermittlung des geeigneten Wasserstoffdrucks wurde dieser zwischen 7 mbar und 3 mbar variiert. Die Laserpulsfluenz betrug stets 12 J/cm<sup>2</sup> und die Substrattemperatur 460 °C. Die Vorbehandlung der Substrate erfolgte mittels Ionenbeschuss. Die aufge-

nommenen Raman- Spektren der erzeugten Schichten (Abb.2), zeigen die für nanokristallinen Diamant typischen D- und G- Band- Peaks von ungeordnetem, feinkristallinen  $sp^2$ - Kohlenstoff. Dieser bildet die Matrix, in welche die n-D- Kristalle eingebettet sind, bzw. neben trans- Polyacetylenen (t-PA) die Korngrenzen der n-D- Kristalle bilden. Die geringe Ausprägung bzw. Abwesenheit des diamanttypischen Peaks bei  $1333\text{ cm}^{-1}$  rührt daher, dass die Raman- Effizienz für  $sp^2$ - gebundenem Kohlenstoff um ein bis zwei Größenordnungen höher ist, als für die  $sp^3$ - Bindungsanteile [6]. Somit wird der Diamantpeak durch den D- Band- Peak des amorphen Kohlenstoffs überdeckt. Die n-D- Raman- Spektren werden also durch die Korngrenzen dominiert. Dies ist selbst bei einem  $sp^2$ - Schichtanteil von weniger als 5 % der Fall [6].

Die Spektren weisen G- Band- Peaks bei  $1606\text{ cm}^{-1}$  bis  $1608\text{ cm}^{-1}$  und D- Band- Peaks bei  $1329\text{ cm}^{-1}$  bis  $1333\text{ cm}^{-1}$  auf. Die Verschiebung der D- Bande von  $1580\text{ cm}^{-1}$  (polykristalliner Graphit-  $sp^2$ ) hin zu  $1606\text{ cm}^{-1}$  bis  $1608\text{ cm}^{-1}$  zeigt, dass in den erzeugten Schichten ein erhöhter Anteil  $sp^3$ - gebundener Kohlenstoff vorliegt [7]. Weiterhin liegen die D- Band- Peaks aller Schichten sehr nahe bzw. genau an der Peakposition von kristallinem Diamant. Somit kann aus-

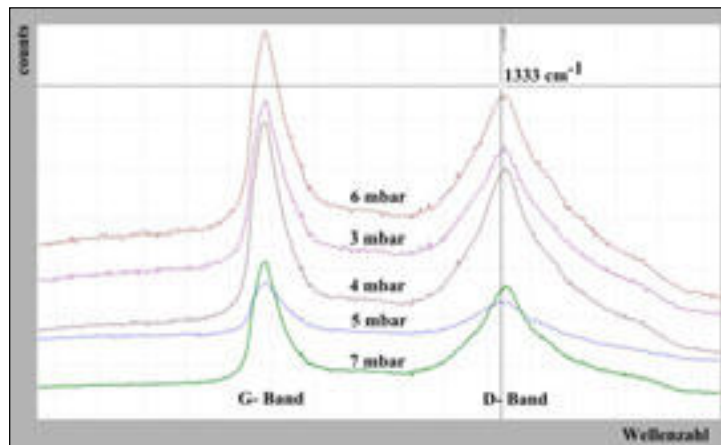


Abb.2: Raman- Spektren der, bei verschiedenen Wasserstoffdrücken erzeugten Schichten

gesagt werden, dass es sich hier um Schichten mit einem nicht unwesentlichen Anteil an nanokristallinem Diamant handelt. Aufgrund der Tatsache, dass die  $sp^2$ - gebundenen Kohlenstoffanteile das Spektrum dominieren, kann davon ausgegangen werden, dass das Spektrum mit den niedrigsten Peakintensitäten die geringste  $sp^2$ -Konzentration aufweist. Die Peakintensitäten sind hier vergleichbar da die erzeugten Schichten annähernd die gleiche Dicke ( $d= 500\text{ nm}$ ) aufweisen. Bei einem Wasserstoffdruck von 5 mbar zeigte sich die geringste Peakausprägung. Auch das Verhältnis der Peakintensitäten  $I(D)$  zu  $I(G)$  war bei dieser Probe, mit 0,85 am größten. Je höher das Verhältnis  $I(D)$  zu  $I(G)$  ist, desto höher ist laut [7] der  $sp^3$ - Bindungsanteil. Da sich die entsprechenden Parameter sowohl bei höheren, als auch geringeren Wasserstoffdrücken das Verhältnis  $I(D)$  zu  $I(G)$  verringert und die Peakintensitäten größer werden, ist ein Wasserstoffdruck von 5 mbar zur n-D- Schichterzeugung als günstig zu betrachten. Im Raman- Spektrum der Probe (Abb. 3) deuten sich zwei weitere Peaks bei  $1480\text{ cm}^{-1}$  und  $1175\text{ cm}^{-1}$  (Schulter) an. Diese Peaks sind laut [8] typisch und treten ausschließlich bei nanokristallinem und ultrananokristallinem Diamant auf. Sie werden C-H Biege- und C-C Streckschwingungen, sowie C=C Streckschwingungen von t- PA (trans- Polyacetylen) -Strukturen zugeschrieben, welche sich in den Korngrenzen von n-D- Kristallen befinden [6, 8]. Abb. 4 zeigt eine REM-Aufnahme einer bei 5 mbar Wasserstoffdruck erzeugten Schicht (Raman- Spektrum siehe Abb.3).

Zu sehen sind hier Diamant- Kristallite mit einer Ausdehnung von 200 nm (gemittelt). Ebenfalls gut zu erkennen ist die  $sp^2$ - Kohlenstoffmatrix in welche die Kristallite eingebettet sind.

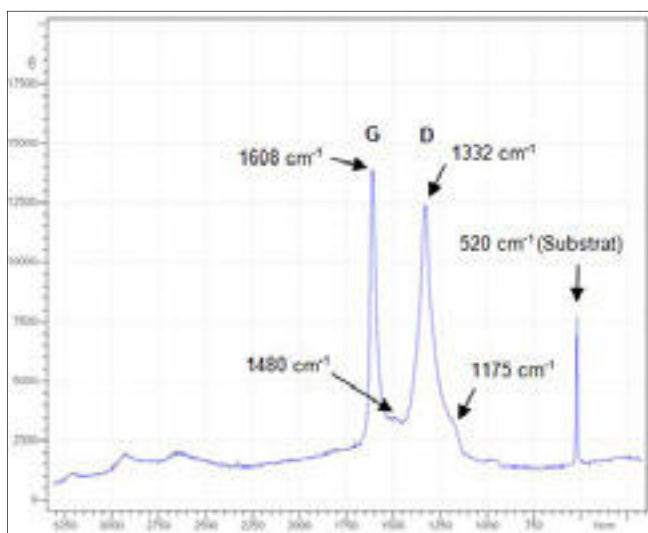


Abb.3: Raman- Spektrum der n-D- Schicht, welche bei 5 mbar  $H_2$ - Druck hergestellt wurde

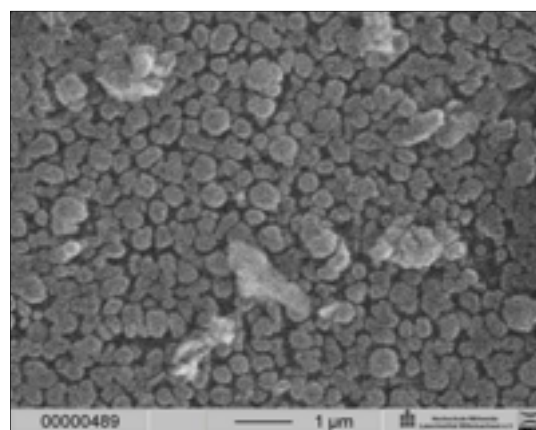


Abb.4: REM- Aufnahme der n-D- Schicht (5 mbar  $H_2$ - Druck)

### 3.2 Untersuchungen des Einflusses der Substrattemperatur

Für die Untersuchung des Einflusses der Substrattemperatur auf das Beschichtungsergebnis wurde diese zwischen 360 °C und 660 °C variiert. Der Wasserstoffdruck wurde auf 5 mbar eingestellt und die Laserfluenz betrug stets  $12 J/cm^2$ . Die Vorbehandlung der Substrate erfolgte mittels Ionenbeschuss. Abb. 5 zeigt die Raman- Spektren der erzeugten Schichten. Für Graphit liegt die D- Bande, bzw. deren Peak, etwa bei  $1360 cm^{-1}$  und der Peak der G- Bande bei etwa  $1560 cm^{-1}$  bis  $1580 cm^{-1}$ . Dies konnte im Raman- Spektrum der Schicht, welche bei 660°C abgeschieden wurde, festgestellt werden. Die entsprechenden Peaks liegen hier bei  $1350 cm^{-1}$  bzw.  $1585 cm^{-1}$ . Dies bedeutet, dass die Substrattemperatur von 660 °C zu einer überwiegenden Abscheidung graphitischer Schichten geführt hat und damit für die Erzeugung von n-D- Schichten mittels PLD zu hoch ist. Bei einer Substrattemperatur von 360 °C ist das Raman- Spektrum der Schichten durch Fluoreszenzerscheinungen vollständig überdeckt. Ursache hierfür ist eine nicht identifizierte Schichtzusammensetzung.

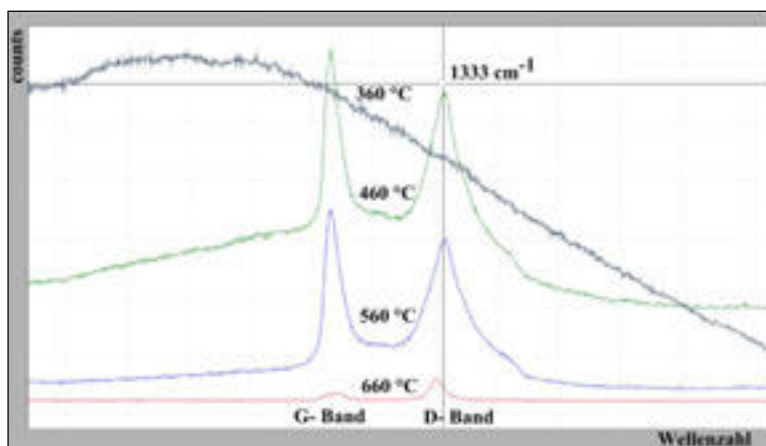


Abb.5: Raman- Spektren der bei verschiedenen Substrattemperaturen abgeschiedenen Schichten

Bei Substrattemperaturen von 460 °C und 560 °C zeigten sich die für n-D- Schichten typischen Raman- Spektren. Es deuten sich jeweils, die für nanokristallinen Diamant typischen Peaks bei  $1480\text{ cm}^{-1}$  und  $1175\text{ cm}^{-1}$  an. Die D- Band- Peaks liegen bei  $1326\text{ cm}^{-1}$  (560°C) und  $1333\text{ cm}^{-1}$  (460 °C) und die G- Band- Peaks bei  $1606\text{ cm}^{-1}$  (560 °C / 460 °C). Ein Einfluss der Temperatur auf das Verhältnis  $I(D) / I(G)$  und damit auf den  $\text{sp}^3$ - Gehalt, sowie auf die Kristallitgröße, konnte nicht festgestellt werden. Somit scheint das n-D- Wachstum in einem relativ weiten Temperaturbereich (hier:  $660^\circ\text{C} > T > 360^\circ\text{C}$ ) möglich zu sein. Temperaturabhängig ergab sich ein Unterschied in der Aufwachsrate, von 15 nm/ min. bei 560 °C und 45 nm/ min. bei 460 °C. Eine Besonderheit zeigte sich bei einer Substrattemperatur von 560 °C. Abb. 6 zeigt eine REM- Aufnahme der erzeugten Schicht, in der zu erkennen ist, dass es während der Abscheidung zu einem Inselwachstum mikroskaliger Diamantkristalle kam. Die Ursache hierfür wird noch untersucht.

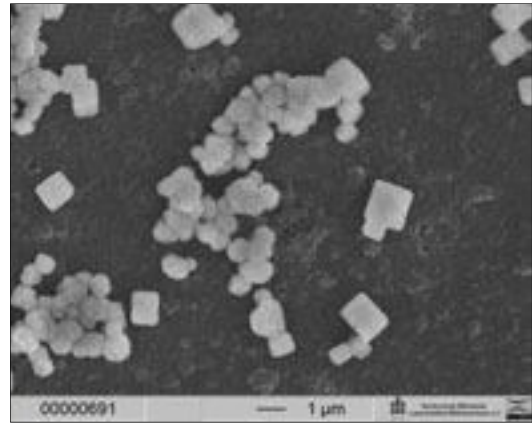


Abb.6: REM- Aufnahme der bei 560 °C erzeugten n-D- Schicht

### 3.3 Untersuchungen zum Einfluss der Laserfluenz

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Laserpulsfluenzen auf das Schichtwachstum wurden sämtliche Beschichtungsparameter konstant gehalten und nur die Fluenz variiert. Die Abscheidung fand bei einer Substrattemperatur von 460 °C statt. Der Wasserstoffdruck wurde auf 5 mbar eingestellt. Die Substrate wurden mittels Ionenstrahl vorbehandelt. Es erfolgten Beschichtungen bei  $H = 10\text{ J/cm}^2$ ,  $12\text{ J/cm}^2$  und  $15\text{ J/cm}^2$ . Die Proben zeigen sehr ähnliche Raman- Spektren. Auch das Verhältnis der Peakintensitäten bleibt annähernd konstant. Somit lässt sich ableiten, dass bei genügend hoher Laserpulsfluenz und einer daraus resultierenden, genügend hohen kinetischen Energie der ablatierten Teilchen, n-D- Schichten erzeugt werden können und dass die Fluenz keinen wesentlichen Einfluss auf das Beschichtungsergebnis hat. Die Schwellfluenz, unterhalb der die ablatierten Teilchen eine zu geringe kinetische Energie für das n-D- Wachstum aufweisen liegt somit für den verwendeten Aufbau (Abstand Target- Substrat= 4 cm) unterhalb von  $10\text{ J/cm}^2$ .

### 3.4 Vorbehandlung des Substrates mit Diamantsuspension

Es wurde untersucht, wie sich die Vorbehandlung des Siliziumsubstrates mit Diamantsuspension auf die resultierende Schicht auswirkt. Hierfür wurden zwei Substrate unter identischen Bedingungen beschichtet, wobei eines mit Diamantsuspension vorbehandelt wurde. Bei der Diamantsuspension handelt es sich um ein Gemisch aus monokristallinen Diamantkörnern mit einem Durchmesser von 50 nm und Ethanol. Die anschließende Abscheidung erfolgte bei einer Substrattemperatur von 460 °C und einer Fluenz von  $12\text{ J/cm}^2$ . Die Raman- Spektren der beiden Schichten unterscheiden sich in 2 wesentlichen Punkten. Zum einen ist der G- Band- Peak der vorbehandelten Probe hin zu einer größeren Wellenzahl verschoben, zum anderen ist bei dieser Probe das Verhältnis  $I(D) / I(G)$  größer (vgl. Tabelle 1). Beides spricht

dafür, dass hier der Anteil an  $sp^3$ - Bindungen größer ist als bei der unbehandelten Probe. Auch der für n-D typische t-PA- Peak (sog. Peakschulter) bei  $1175\text{ cm}^{-1}$  ist bei der vorbehandelten Probe wesentlich stärker ausgeprägt. Anhand der Spektren kann ausgesagt werden, dass es zu einer Erhöhung der  $sp^3$ - Bindungsanteile, bedingt durch die Vorbehandlung, gekommen ist. Die aufgebrachten Diamantkristalle dienen hier als Nukleationskeime und begünstigen das n-D- Schichtwachstum.

Vorbehandlung	D-Band- Peak	G-Band- Peak	I(D)/I(G)
nein	$1333\text{ cm}^{-1}$	$1606\text{ cm}^{-1}$	0,85
ja	$1333\text{ cm}^{-1}$	$1610\text{ cm}^{-1}$	0,94

**Tabelle 1:** Raman- Peakpositionen und Intensitätsverhältnisse der vorbehandelten/ nicht vorbehandelten Proben.

#### 4. Zusammenfassung

Es konnten mittels PLD- Verfahren und geeigneten Prozessparametern nanokristalline Diamantschichten erzeugt werden. Als günstige Prozessparameter haben sich ein Wasserstoff- Hintergrundgasdruck von 5 mbar und eine Laserpulsfluenz zwischen  $10\text{ J/cm}^2$  und  $15\text{ J/cm}^2$  bei einem Abstand Target- Substrat von 4 cm sowie einer Substrattemperatur von  $460\text{ °C}$  erwiesen. Eine Vorbehandlung der Substrate mittels Diamantsuspension ist bei Einsatz des PLD- Verfahrens nicht zwingend erforderlich, wirkt sich jedoch positiv auf das Beschichtungsergebnis aus.

#### 5. Danksagung

Wir danken dem Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projektes „LAMIS“ (Laserpulsabscheidung von Schichten und Mikrostrukturierung von Festkörpermaterialeien; Projekt Nummer: 080937862/ PRANO: 1236340295926), sowie der Hochschule Mittweida für die Ermöglichung und Unterstützung des Projektes.

#### Quellen:

- [1] T. Hara et. al. : “Nanocrystalline diamond film prepared by pulsed Laser deposition in a hydrogen atmosphere”; *Diamond and related Materials* 13 (2004); S. 279-283
- [2] T. Hara et. al. : “Ultrananocrystalline Diamond prepared by pulsed laser deposition”; *Diamond and related Materials* 15 (2006); S. 649-653
- [3] C. Popov et. al. : “Influence of the substrate nature on the properties of nanocrystalline diamond films”; *Diamond and related Materials* 16 (2007); S. 740-743
- [4] J. Stiegler et. al. : “An investigation of structural defects in diamond films grown at low substrate temperatures”; *Diamond and related Materials* 8 (1999); S. 651-656
- [5] N. Woehrl, V. Buck: „Influence of hydrogen on the residual stress in nanocrystalline diamond films“; *Diamond and Related Materials* 16 (2007); S. 748–752
- [6] Frederik Klauser et. al. : “Raman Studies of Nano- and Ultra-nanocrystalline Diamond Films Grown by Hot-Filament CVD”; *Chem. Vap. Deposition* (2010) 16; S. 127–135
- [7] Vikram S Yadav et. al. : “Study of Raman Spectra of Nano-crystalline Diamond Like Carbon (DLC) films Composition ( $sp^2:sp^3$ ) with Substrate Temperature”; *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 Vol I WCECS 2009, October 20-22, 2009, San Francisco, USA*
- [8] W. Kulisch et. al. : “Electrical properties of ultrananocrystalline diamond/amorphous carbon nanocomposite films“; *Diamond & Related Materials* 19 (2010); S. 449–452



# **TRIBOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN VON MIKROSTRUKTURIERTEN TETRAEDRISCH GEBUNDENEN AMORPHEN KOHLENSTOFFSCHICHTEN (TA-C)**

Katja Guenther, Steffen Weissmantel, Franka Marquardt, Manuel Pfeiffer

Tel.: +49 3727- 58 1072; Fax.: +49 3727 – 58 1496; E-Mail: katja.guenther.1@hs-mittweida.de University of Applied Sciences Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

## **Abstract**

Mittels Laserpulsabscheidung (PLD) wurden superharte tetraedisch gebundene amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) auf polierten Stahlsubstraten abgeschieden. Mit einem Femtosekunden-Laser konnten so genannte Ripple-Strukturen mit Gitterperioden von ca. 0,7  $\mu\text{m}$  in den ta-C Schichten erzeugt werden. Diese Arbeit fasst erste Ergebnisse zum Einfluss der Ripple-Strukturen auf die tribologischen Eigenschaften und das Verschleißverhalten der ta-C beschichteten Stahlsubstrate unter Trockenlaufbedingungen zusammen.

## **Keywords:**

PLD (pulsed laser deposition); ta-C (tetraedisch gebundene amorphe Kohlenstoffschichten); superharte Schichten; Reibung; Pin-on-Disc-Verfahren; Schichtspannungsreduzierung; Ripple; Verschleiß; Verschleißrate; Mikrostrukturen; DLC (Diamond like carbon)

## **1 Einleitung**

Superharte, wasserstofffreie, amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) mit einem hohen Anteil an tetraedischen  $\text{sp}^3$ - Bindungen werden in die Gruppe der "Diamantartigen Kohlenstoffschichten" (DLC) eingeordnet. Sie besitzen Härten im Bereich von 40 – 90 GPa [i], E-Modul - Werte zwischen 200 - 820 GPa[i], sowie geringe Reibkoeffizientenwerte zwischen 0,1- 0,2 [i-ii]. Diese herausragenden Eigenschaften in Kombination mit ihrer geringen Oberflächenrauheit prädestinieren die ta-C-Schichten für den Einsatz als verschleiß- und reibungsmindernde Schichten, z.B. auf Maschinenbauteilen und Werkzeugen[ii].

Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen wurden mit dem Ziel durchgeführt, den Reibkoeffizienten und den Verschleiß von Stahlproben durch Beschichtung mit ta-C und Mikrostrukturierung der ta-C- Schichten zu reduzieren. Als Mikrostrukturen werden in dieser Arbeit sich selbst organisierende Gitterstrukturen (so genannte Ripples) mittels Femtosekundenlaserstrahlung in den ta-C- Schichten erzeugt und die tribologischen Eigenschaften unter Trockenlaufbedingungen (d.h. ohne Einsatz von Schmiermitteln) untersucht.

## **2 Experimentelle Anordnungen**

### **2.1 ta-C Schichtabscheidung auf Stahlsubstraten**

Die in dieser Arbeit verwendeten ta-C Schichten wurden mit dem PLD-Verfahren in Kombination mit dem Laserpulsspannungsreduzierungs-Verfahren hergestellt. Dabei

werden alternierend 100 nm dicke ta-C Schichten abgeschieden und anschließend mittels Laserstrahlung spannungsreduziert. So können annähernd spannungsfreie superharte ta-C Schichten mit mehreren  $\mu\text{m}$ - Schichtdicke haftfest abgeschieden werden. Dieser Prozess wurde schon in früheren Veröffentlichungen ausführlich beschrieben[11]. Als Substrate werden N1 polierte Thyrodur- Stahlscheiben (40 mm Durchmesser, 5 mm Dicke, 4 nm mittlere Rauheit) und 100 Cr6 Stahlkugeln (6 mm Durchmesser) verwendet. Der Schicht bildende Teilchenstrom wird durch Ablation eines Graphit- Targets mit Hilfe eines KrF- Excimerlaser (248 nm Wellenlänge; 25 ns Pulsdauer, 1 J Pulsenergie, max. Pulswiederholrate 50 Hz) mit instabilem Resonator

Tabelle 1: Verwendete Abscheidebedingungen.

Reinigung: - 5 Minuten Ethanolultraschallbad; - Argon- Ionenbeschuss (1 min, 700 eV Energie, 150 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ Stromdichte am Substrat).
Ablations Parameter: - Laserpulsfluenz $H = 10 - 16 \text{ J}/\text{cm}^2$ . - Wellenlänge $\lambda = 248 \text{ nm}$ . - Pulswiederholrate $f = 50 \text{ Hz}$ .
Parameter für die Spannungsreduzierung: - Fluenz $H = 100 - 110 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ . - Wellenlänge $\lambda = 248 \text{ nm}$ . - Pulswiederholrate $f = 40 \text{ Hz}$ . - 200 Pulse pro Flächenelement.

erzeugt. Ein weiterer KrF- Excimerlaser vom gleichen Typ mit stabilem Resonator wird zur Laserpulsspannungsreduzierung der 100 nm dicken Subschichten verwendet. Der Arbeitsdruck in der Beschichtungskammer beträgt während der Schichtabscheidung  $1 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$ . Zur Verbesserung der Haftfestigkeit der ta-C Schichten wird das Substrat unmittelbar vor der Beschichtung mit Argonionen aus einer Kaufmannionenquelle vorbehandelt. Danach erfolgt ohne Unterbrechung des Vakuums die PLD-Abscheidung einer haftvermittelnden Zwischenschicht aus Wolframcarbid.

Die Härte sowie der E-Modulwert der unbeschichteten bzw. beschichteten Stahlsubstrate wurden mit einem Nanoindenter "UNAT M" der Firma ASMEC GmbH und die Haftfestigkeit mit einem konventionellen Scratchtester "Revetest" von der Firma CSM-Instruments gemessen. Die Bestimmung der Oberflächenrauheit sowie die ta-C Schichtdicke erfolgt mit einem Oberflächenprofilometer DEKTAK 3030 von Veeco Instruments.

Tabelle 2: Eigenschaften der verwendeten Materialien.

Material	ta-C- Schicht- dicke [ $\mu\text{m}$ ]	Härte [GPa]	E- Modul [GPa]	Rauheit [nm]	kritische Last [N]
Stahl Thyrodur 2990 (Scheibe)	---	9	245	4 - 10	---
Stahl 100 Cr6 (Kugel)	---	9	240	4 - 10	---
ta-C Schicht auf der Stahlscheibe	2.0	53 - 65	500 - 900	10 - 50	20 - 27

## **2.2 Erzeugung der Ripple- Strukturen unter Verwendung von Femtosekundenlaserstrahlung.**

Die Ripple- Erzeugung (siehe Fig. 1) erfolgte mit einem fs-Laser vom Typ Clark MXR CPA 2010 (mittlere Wellenlänge von 755 nm, Pulsdauer von 150 fs, Laserpulsenergien von 1 mJ, Pulswiederholfrequenz 1kHz). Die Ripples entstehen bei Laserstrahlfluenzen im Bereich von 0,69 bis 2,36 J/cm<sup>2</sup> und besitzen Gitterperioden von ca. 700 nm sowie Struktur-tiefen von 250- 300 nm und weisen annähernd eine sinus-förmige Oberflächentopografie auf.

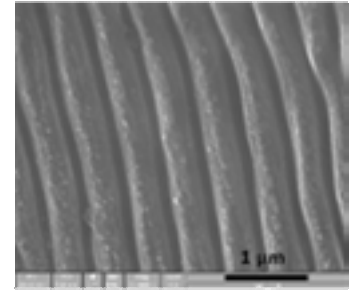


Fig. 1: SEM- Aufnahme von Ripples in ta-C.

## **2.3 Tribologische Tests**

Für die Verschleiß- und Reibungsuntersuchungen wurde ein konventionelles Pin- on- Disc- Tribometer der Firma CSM- Instruments verwendet, in dem eine Kugel von 6 mm Durchmesser mit konstanter Last gegen eine rotierende Scheibe gepresst wird. Es wurden Lasten von 10N und Geschwindigkeiten von 10 cm/s verwendet. Der Reibkoeffizientenverlauf wurde über eine Strecke von 1000 m unter Trockenlaufbedingungen (also ohne Schmiermittel) aufgezeichnet. Die Tests erfolgten unter normaler Atmosphäre bei einer Luftfeuchtigkeit zwischen 30-60%. Als Reibpartner wurden sowohl unbeschichtete als auch mit ta-C beschichteten 100Cr6 Stahlkugel verwendet. Die Verschleißraten der mit ta-C beschichteten Proben (Scheiben) wurden durch Vermessung der Breite der Verschleißspur und des Profils der Verschleißspur mit dem Oberflächenprofilometer bestimmt. Die Verschleißrate des Reibpartners (Kugel) wurde optisch mit Hilfe des Digitalmikroskops ermittelt.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

### **3.1 Referenzmessung an unstrukturierten ta-C beschichteten Proben**

Der Einsatz einer unbeschichteten 100Cr6 Stahlkugel zeigte, dass sich der Reibkoeffizient nach einer Einlaufphase von wenigen Metern einem Wert von 0,1 annähert; bei Verwendung einer mit ta-C beschichteten Kugel ergibt sich ein Wert von 0,15 (siehe Fig. 2). Dieser Unterschied ist wahrscheinlich auf das verschiedenartige Abrasionsverhalten der Reibpartner zurückzuführen. Die Verwendung einer unbeschichteten Stahlkugel bewirkt einen deutlich höheren Kugelabrieb im Vergleich zur ta-C beschichteten Kugel. Die Verschleißrate der unbeschichteten Kugel ist ca. 2 Größenordnungen größer als die der beschichteten Kugel, obwohl der Reibkoeffizient größer ist (siehe Fig. 3a und 3c). Wird eine unbeschichtete Stahlkugel verwendet, erhöht sich die reale Kontaktfläche zwischen beiden Reibpartnern im Vergleich zu einer beschichteten Kugel um das 2,5 fache nach 1000 m Reibweg. Das bedeutet, dass die Last pro Fläche mit zunehmendem Reibweg bei einer unbeschichteten Kugel stärker sinkt und somit der Reibkoeffizient kleiner ist als bei Verwendung einer beschichteten Kugel. Das abgetragene Material (Debris) setzt sich hauptsächlich an den Rändern der Verschleißspur auf der Scheibe ab (Fig.3b und 3d). Die Verschleißraten der Scheiben (Fig. 3b und 3d) sind annähernd zweimal höher, wenn eine

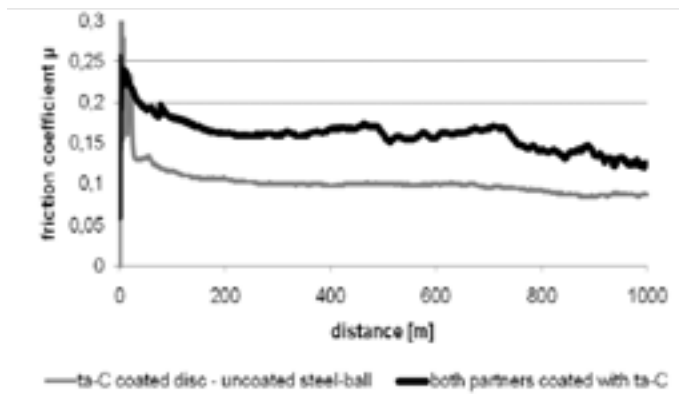
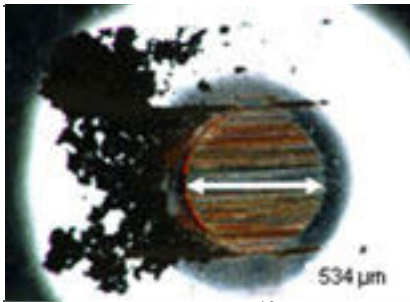


Fig. 2: Reibkoeffizientenverlauf von unstrukturierter Scheibe gegen unbeschichtete Kugel (Last 10 N, Geschwindigkeit 10 cm/s, ohne Schmiermittel).

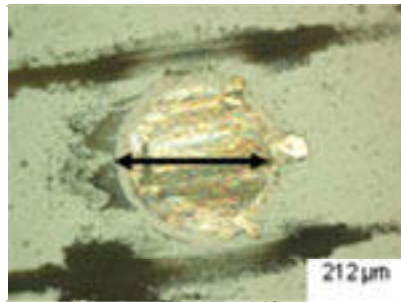
unbeschichtete Kugel als Reibpartner verwendet wurde. Der abrasive Verschleiß kann als Oberflächenerosion definiert werden. Wegen der tribologischen Beanspruchung kommt es zur Oberflächenzerrüttung und Rissbildung im nahen Oberflächenbereichen der Probe. Das abgetragene Material setzt sich sowohl an der Kugel als auch an den Rändern der Verschleißspur auf der Scheibe ab (Fig. 3b und 4d).

(a) unbeschichtete Kugel



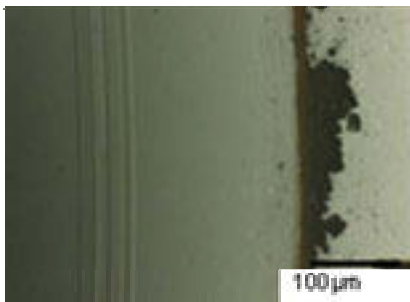
Verschleißrate  $1.3 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3/\text{Nm}$

(c) ta-C beschichtete Kugel



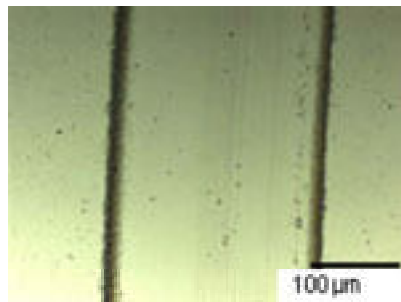
Verschleißrate  $3.4 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3/\text{Nm}$

(b) ta-C beschichtete Scheibe



Verschleißrate  $3.1 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/(\text{Nm})$

(d) ta-C beschichtete Scheibe



Verschleißrate  $1.5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/(\text{Nm})$

Fig. 3 Beispielhafte Digitalmikroskopaufnahme der unbeschichteten Kugel (a), die gegen einen ta-C beschichteten und unstrukturierten Scheibe gelaufen ist (b) und eine ta-C beschichtete Kugel (c), die gegen eine ta-C beschichtete und unstrukturierte Scheibe gelaufen ist (d) (Last 10 N, Prüfstrecke 1000 m).

### 3.2 Einfluss der Ripple-Strukturen auf das tribologische Verhalten der ta-C beschichteten Proben

Bei der Untersuchung des tribologischen Verhaltens von mit Ripple-Strukturen versehenen ta-C beschichteten Scheiben wurde ebenfalls eine Einlaufphase im Reibkoeffizientenverlauf festgestellt (siehe Fig. 4). Die Verwendung einer unbeschichteten 100Cr6 Stahlkugel bewirkte einen deutlichen Anstieg des Reibkoeffizienten auf 0,16 im Vergleich zur unstrukturierten Referenzprobe.

*Tribologische Eigenschaften von mikrostrukturierten tetraedisch gebundenen amorphen Kohlenstoffschichten (TA-C)*

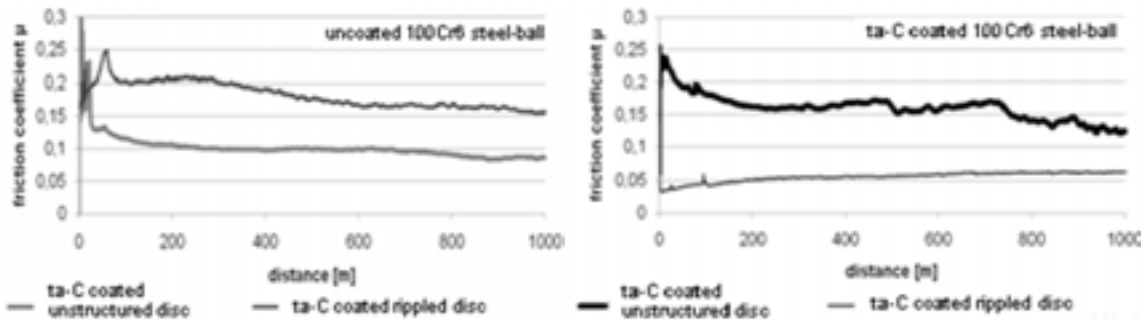
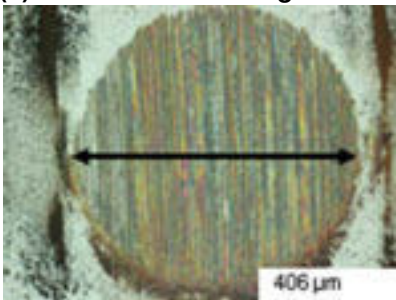


Fig. 4: Reibkoeffizientenverlauf in Abhängigkeit von der Prüfstrecke von unstrukturierten Scheiben im Vergleich zu gerippten Scheiben, wenn unbeschichtete und ta-C beschichteten Kugeln als Reibpartner zum Einsatz kommen (Last 10 N, Geschwindigkeit 10 cm/s, ohne Schmiermittel).

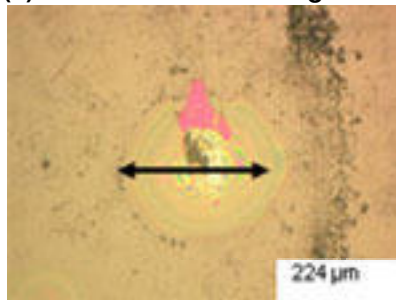
Wahrscheinlich lagert sich von der Kugel abgetragenes Material in den grabenähnlichen Vertiefungen der Ripple-Strukturen ab und die mit Stahl gefüllten Bereiche rufen dann einen höheren Reibkoeffizienten hervor. Weitere Untersuchungen zu diesem Phänomen werden gegenwärtig durchgeführt. Bei Einsatz von ta-C beschichtete Stahlkugeln verringert sich der Reibkoeffizient auf Werte bis 0,06. Dieses Verhalten kann auf die Verringerung der realen Kontaktfläche zwischen beiden Reibpartner durch die Oberflächentopographie der Ripple-Struktur zurückgeführt werden.

**(a) unbeschichtete Kugel**



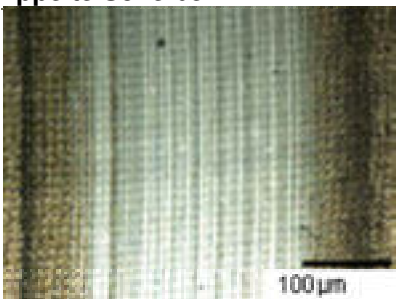
Verschleißrate  $4.5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/\text{Nm}$

**(c) ta-C beschichtete Kugel**



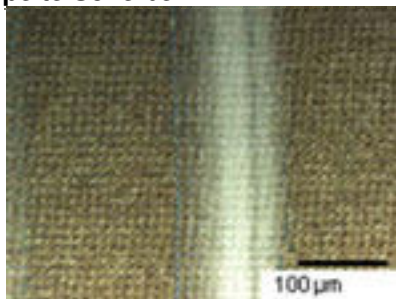
Verschleißrate  $4.2 \cdot 10^{-18} \text{ m}^3/\text{Nm}$

**(b) ta-C beschichtete und gerippte Scheibe**



Verschleißrate  $1.0 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3/\text{Nm}$

**(d) ta-C beschichtete und gerippte Scheibe**



Verschleißrate  $4.3 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/\text{Nm}$

Fig. 5 Beispielhafte Digitalmikroskopaufnahme einer unbeschichteten Kugel (a), die gegen eine ta-C beschichtete und mit Ripple Strukturen versehene Scheibe (b) gelaufen ist sowie eine ta-C beschichtete Kugel (c), die gegen eine ta-C beschichtete und mit Ripple-Strukturen versehene Scheibe (d) gelaufen ist (Last 10 N, Prüfstrecke 1000 m).

Bei Verwendung von unbeschichteten Kugeln als Reibpartner erhöht sich die Verschleißrate der Scheibe (Fig.5b) scheinbar um annähernd eine Größenordnung im Vergleich zur Referenzprobe (Fig.3b). Die Berücksichtigung der Oberflächentopographie der Ripples bei der Berechnung der Verschleißrate ergibt unter der Annahme, dass diese sinusförmig ist, eine reale Verschleißrate der Probe von annähernd  $5 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/\text{Nm}$ . Der reale Wert ist damit nur annähernd halb so groß wie der ermittelte Wert und liegt damit wieder im gleichen Bereich wie die Referenzprobe. Die Ver-

schleißrate der unbeschichteten Kugel (Fig. 5a) hat sich dabei um nahezu eine Größenordnung verringert im Vergleich zur Referenzkugel (Fig. 3a), was wieder auf eine geringere Kontaktfläche zwischen beiden Reibpartnern zurückzuführen ist.

Bei Verwendung von ta-C beschichteten Kugeln muss die Verschleißrate der Scheibe (Fig. 5d) aus dem gleichen Grund halbiert werden und man erhält für die Verschleißrate einen realen Wert von ca.  $2 \cdot 10^{-17} \text{ m}^3/\text{Nm}$ . Die Verschleißrate der Scheibe besitzt damit annähernd den gleichen Wert wie die unstrukturierte Referenzprobe (Fig. 3d).

#### 4 Zusammenfassung

Bei Verwendung von ta-C beschichteten Kugeln als Reibpartner ist die Verschleißrate der ta-C beschichteten Scheibe etwa halb so groß wie bei Einsatz von unbeschichteten Kugeln. Der Reibkoeffizient beträgt jedoch mit unbeschichteter Kugel  $\mu = 0,1$  und mit beschichteter Kugel  $\mu = 0,15$ .

Die reale Verschleißrate der Scheibe bleibt durch das Rippeln der ta-C Schicht im Vergleich zur unstrukturierten Scheibe nahezu unverändert und liegt im Größenbereich  $10^{-17} \text{ m}^3/\text{Nm}$ . Der Reibungskoeffizient mit unbeschichteter Kugel ist in diesem Fall höher als mit beschichteter Kugel. Mit beschichteter Kugel konnte er bei einer Last von 10 N auf bis zu 0,06 reduziert werden.

Weiterführende Untersuchungen zur Belastbarkeit der ta-C Schichten auf HSS- Bohrer stellt Herr Stefan Scholze in der Veröffentlichung 75 dar. Außerdem konnten bereits Untersuchungen zur Biokompatibilität von ta-C Schichten durchgeführt werden. Nachzulesen sind die ersten Ergebnisse in der Veröffentlichung 39 von Frau Anne – Christin Teichmann.

#### 5 Danksagung

Die Autoren danken der Hochschule Mittweida für die Bereitstellung der günstigen Rahmenbedingungen für die Untersuchungen sowie die finanzielle Unterstützung durch das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst (Projekt Nummer: 080937862/ PRANO: 1236340295926)

#### 6 Literatur

---

[i] VDI- Richtlinie: VDI 2840, p.18

[ii] M.C.Kang, H.S.Tak, Y.K.Jeong, H.W. Lee, J.S.Kim; Diamond & Related Materials 19 (2010) 866-869

[iii] S.Weißmantel, G.Reiße, D.Rost; Surface & coatings Technology 188-189 (2004) 268-273.

# Abscheidung von Graphenschichten auf Kupfersubstraten

H. Lux, Technical University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstraße 1, 15745 Wildau

C. Villringer, Technical University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstraße 1, 15745 Wildau

O. Seifahrt, IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder)

M. Hofmann, Technical University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstraße 1, 15745 Wildau

S. Schrader, Technical University of Applied Sciences Wildau, Bahnhofstraße 1, 15745 Wildau

W. Mehr, IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder)

## **Abstract**

Graphen ist aufgrund seiner interessanten physikalischen Eigenschaften Gegenstand intensiver Forschung. Nicht zuletzt wegen seiner extrem hohen Ladungsträgerbeweglichkeit kann Graphen ein wichtiger Baustein bei der Entwicklung von Hochfrequenzanwendungen im Terahertzbereich sein.

Es wird daher nach einem Verfahren gesucht, Graphen großflächig und mit hoher Qualität abzuscheiden. Im Hinblick auf die Verträglichkeit der Prozessparameter mit der CMOS-Technologie wird die Abscheidung mittels CVD auf Metalloberflächen untersucht. Die Wahl von Kupfer als Substrat erscheint hier aus verschiedenen Gründen zweckmäßig, wie später noch gezeigt wird.

Der Prozess der Abscheidung findet in einer mit Argon stabilisierten Methanatmosphäre für 3 min (Argonfluss 200 sccm, Methanfluss 50 sccm) statt. Die Vorbehandlung der Oberfläche erfolgt bei 700°C durch die Zugabe von Wasserstoff (chemische Erosion). Die Prozessergebnisse werden anschließend mittels Raman-Spektroskopie untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass die Oberflächenrauigkeit bei der Bildung von Graphen eine wichtige Rolle spielt. Die mittels AFM charakterisierten Substratoberflächen wiesen Rauigkeiten im Bereich von 1,6 nm bis 31 nm auf, wobei sich nur auf dem Substrat mit der geringsten Rauigkeit (thermisch verdampftes Kupfer auf Silizium mit  $Ra(50 \times 50) \mu\text{m}^2 = (1.6 \pm 0.3) \text{nm}$ ) Graphen bilden konnte.

Durch Variation der Substrattemperatur konnte gezeigt werden, dass die Bildungstemperatur von Graphen deutlich über 750°C liegt. Auf den mit 950°C prozessierten Proben konnte im Raman-Spektrum Graphen nachgewiesen werden.

**Keywords:** Kohlenstofffunktionsschicht, Graphen, Kupfer, CVD

## **1 Einleitung**

Kohlenstoff gilt als eines der interessantesten Elemente im Periodensystem. Seine vielfältigen Erscheinungsformen machen ihn seit Jahrzehnten zum Gegenstand unterschiedlichster Forschungen.

Spätestens seit dem 05.10.2010, als der Nobelpreis für Physik an die Wissenschaftler Andre Geim und Konstantin Novoselov verliehen wurde, ist die quasi-zweidimensionale Erscheinungsform, das Graphen, in aller Munde.

Bereits im Jahr 2004 gelang es Geim und Novoselov, eine freitragende Monolage aus Kohlenstoff herzustellen und zu charakterisieren [1], was zum damaligen Zeitpunkt als unmöglich galt. Verbreitet herrschte die Meinung, dass strikt zweidimensionale Kristalle nicht stabil sein könnten[2]. Graphen jedoch entzieht sich dieser Einschränkung durch ein Aufwellen der Oberfläche, wodurch eine energetisch günstige, dreidimensionale Struktur entsteht[2].

Aufgrund der vorhergesagten extrem hohen Ladungsträgerbeweglichkeit sind Graphene besonders im Hinblick auf künftige Hochfrequenzanwendungen im Terahertzbereich interessant. Es wird daher nach einer Methode gesucht, Graphen mit hoher Qualität großflächig abzuscheiden. Für den Einsatz in der Halbleitertechnik ist zudem eine Kompatibilität des Prozesses mit der CMOS-Technologie unabdingbar. Dies betrifft insbesondere die Prozesstemperatur, die  $1000^{\circ}\text{C}$  nicht überschreiten sollte.

Neben der von Geim und Novoselov verwendeten sticky-tape-Methode entwickelten sich in den letzten Jahren unterschiedliche Verfahren zur Herstellung der Kohlenstoff-Monolagen.

Die Züchtung von Graphen aus Siliziumcarbid (SiC) ist schon seit längerem bekannt und im Prinzip einfach. Bei Temperaturen von über  $1150^{\circ}\text{C}$  zersetzt sich der SiC-Kristall. Silizium verdampft aufgrund seines hohen Dampfdrucks, während sich der verbleibende Kohlenstoff als Graphen bzw. Graphit auf der Oberfläche abgelagert (vergl. Abb. 1)[3]. Um der Rauigkeit von SiC bei Temperaturen jenseits von  $1150^{\circ}\text{C}$  entgegenzuwirken, setzen derzeitige Forschungen auf eine Stabilisierung des Prozesses mit Argon, was die Bildungstemperatur von Graphen auf über  $1600^{\circ}\text{C}$  erhöht[3]. Dies allerdings macht das Verfahren mit der CMOS-Technik nur schwer vereinbar.

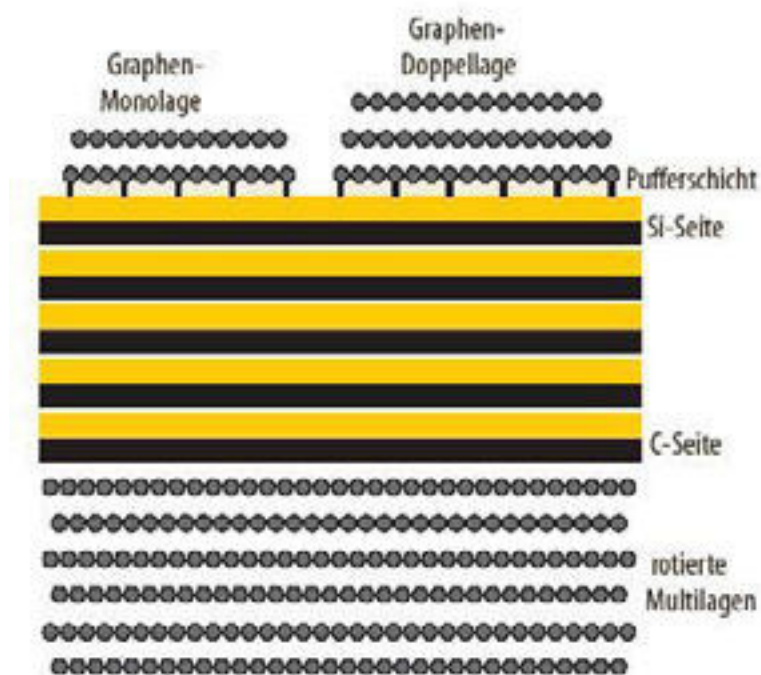


Abbildung 1: Graphenmono-, -doppel-, und -multilagen auf SiC[3]

Ein weiterer Ansatz besteht in der Realisierung eines CVD-Verfahrens auf Metalloberflächen. Hierbei wird ein kohlenstoffhaltiges Gas (z.B. Methan) an der erwärmten Metalloberfläche aufgespalten und als Graphen abgelagert. Hierzu eignen sich eine Vielfalt von Substratmaterialien wie z.B. Kupfer, Nickel, Cobalt, Iridium, Platin und Rhenium. Im Hinblick auf die Kompatibilität mit der CMOS-Technologie ist Kupfer ein



aussichtsreicher Kandidat. Scheidet man Kupfer durch z.B. thermische Verdampfung auf einem Siliziumwafer ab, so kann nach der Graphenabscheidung durch ein Standard-Ätzverfahren das Kupfer entfernt werden, ohne die Graphenschicht oder das Silizium zu beschädigen. Die thermische Verdampfung von Kupfer hat zudem einen weiteren Vorteil. Es bilden sich sehr glatte Schichten, was die Bildung von Graphen begünstigt. Dass die Herstellung von Graphen auf Kupfersubstraten auch in großer Skalierung möglich ist, zeigen u.a. Arbeiten von X. Li, et. al.[4].

## 2 Experimente

In der eigens für unsere Experimente entworfenen Reaktionskammer (vergl. Abb. 2) kann ein Substrat über einen Zeitraum von mehreren Minuten konstant bei hoher Temperatur (bis 950°C) gehalten und anschließend mit definierten Raten abgekühlt werden.

Hierzu dienen ein Keramikheizer und ein luftdurchströmter Wärmetauscher. Die Gasanschlüsse erlauben die Prozessierung unterschiedlicher kohlenstoffhaltiger Prozessgase sowie die Stabilisierung des Prozesses mit Argon. Durch die Zugabe von Wasserstoff vor dem Abscheidungsprozess wird die erwärmte Substratoberfläche durch chemische Erosion gereinigt[5].

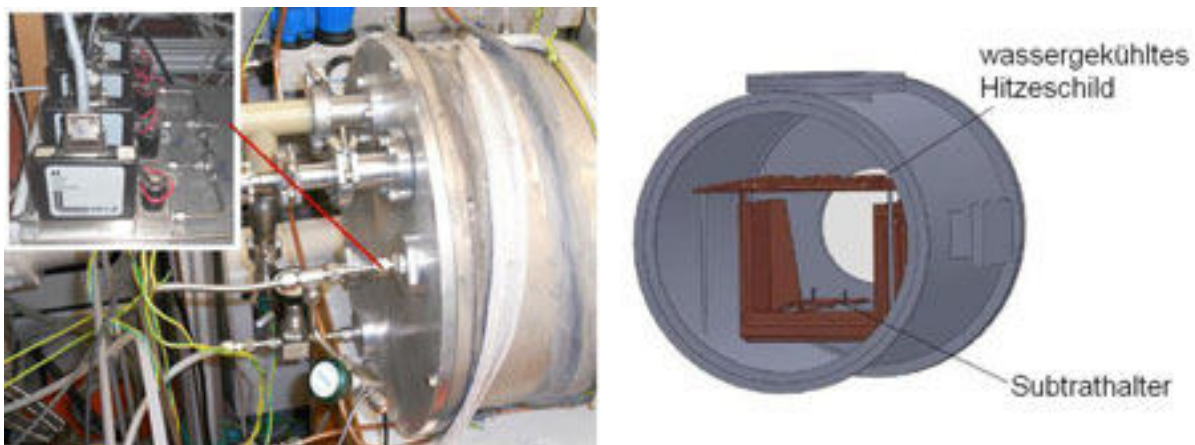


Abbildung 2: Prozesskammer mit Prozessgasanschlüssen (links) und Hitzeschild mit Probenhalter (rechts)

Untersucht wurde zum Einen der Einfluss der Substrattemperatur während des Prozesses, welche hierzu auf 750°C und 950°C eingestellt wurde. Nach der chemischen Erosion (10 min Wasserstoff mit 65 sccm) läuft der Abscheidungsprozess mit Methan (50 sccm) für 3 min. Die Stabilisierung der Reaktionsatmosphäre erfolgt durch die Zugabe von Argon (200 sccm) (vergl. Abb. 3b). Während des Prozesses wird das Methan an der Oberfläche des Kupfers aufgespalten. Unter optimalen Reaktionsbe-

dingungen lagert sich der freiwerdende Kohlenstoff auf der Kupferoberfläche ab und bildet Graphen (vergl. Abb. 3a).

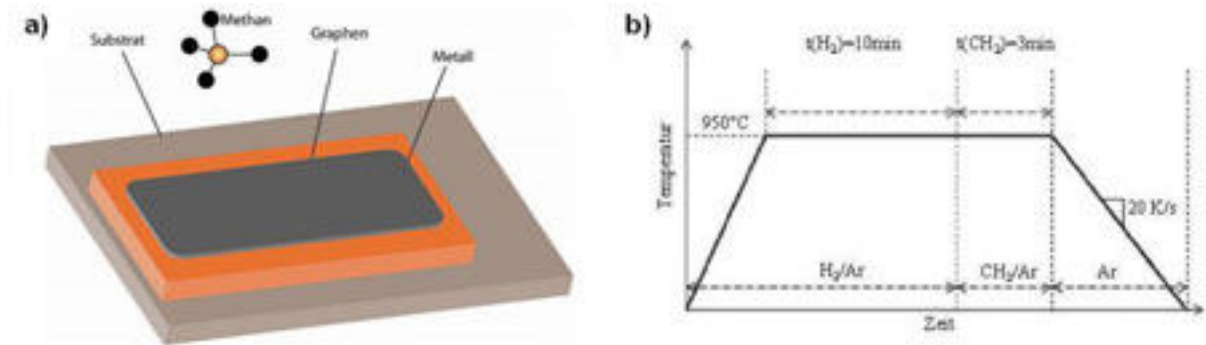


Abbildung 3: a) Schichtsystem mit Graphen auf Kupfer, b) Schematischer Ablauf des Reaktionsprozesses [6]

Um Aussagen über den Einfluss der Substratrauhigkeit machen zu können, wurden neben dem thermisch verdampften Kupfer auf Silizium ebenfalls hochreine Kupferfolien prozessiert. Die Rauigkeiten der Substrate (vergl. Tab. 1) variierten damit in einem Bereich zwischen 1,6 nm und 31 nm und wurden vor dem Versuch mittels AFM-Messung ermittelt (vergl. Abb. 4). Die hohen Reinheiten sowohl der aufgedampften Schicht als auch der Folien konnten durch EDX-Messungen verifiziert werden.

Substrat	Reinheit	R <sub>a</sub> (50x50) µm	R <sub>a</sub> (10x10) µm
Folie unpoliert	99.6%	(31±8)nm	(9±2)nm
Blech unpoliert	99.99%	(9.9±1.8)nm	(6±2)nm
Folie poliert	99.6%	(3.9±0.7)nm	(4.5±1.4)nm
Cu auf Si, verdampft	>99%	(1.6±0.3)nm	(0.86±0.13)nm

Tabelle 1: Oberflächen- und Materialparameter

Die Kühlung erfolgte durch den mit Luft durchströmten Wärmetauscher, wobei die Kühlrate im Bereich von (750-350)°C auf ca. 20 K/s eingestellt wurde.

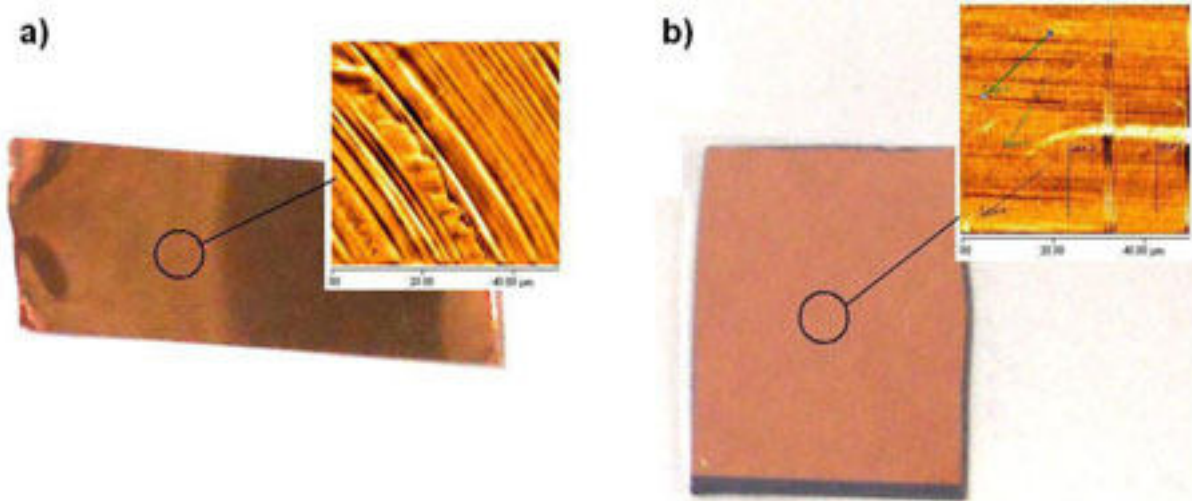


Abbildung 4: ausgewählte Kupfersubstrate mit AFM-Aufnahme  
a) Kupferfolie, gewalzt  
b) Kupfer, thermisch verdampft auf Silizium

### 3 Ergebnisse

Auf allen thermisch verdampften Kupferschichten konnte mittels Raman-Spektroskopie Kohlenstoff nachgewiesen werden. Es bildete sich auf der bei 950°C prozessierten Probe Graphen (vergl. Abb. 5). Der G-Peak bei 1550 cm<sup>-1</sup> weist eindeutig auf sp<sup>2</sup>-hybridisierten Kohlenstoff hin, der 2D-Peak bei 2600 cm<sup>-1</sup> auf die Bildung von Graphen. Der vergleichsweise hohe D-Peak zeigt eine gestörtes Graphenwachstum auf, während der hohe Stickstoffpeak auf eine geringe Bedeckung von Graphen hinweist. Womöglich haben sich Graphenflakes mit einigen Nanometern Größe gebildet. Bei einer Laserspotgröße von einigen Mikrometern im Ramanmikroskop erklärt das den hohen Stickstoffpeak bei 2320 cm<sup>-1</sup>.

Die Störungen des Schichtwachstums und die geringe Bedeckung resultieren wahrscheinlich aus einer anlagenbedingten geringen Substrattemperatur von 950°C während des Prozesses anstelle der empfohlenen 1000°C[4].

Weitere Ausbaustufen der Anlage zielen auf eine Erhöhung der Prozesstemperatur ab mit dem Ziel, eine gleichmäßige Graphenschicht auf Kupfer (thermisch verdampft auf einem Siliziumsubstrat) in der Größe von einigen cm<sup>2</sup> zu realisieren.

Die hier nicht gezeigten Ramanspektren der Kupferfolien zeigen für keine der untersuchten Substrattemperaturen Anzeichen für eine Bedeckung mit Kohlenstoff. Dies resultiert vermutlich aus der zu hohen Oberflächenrauigkeit.

Es wird daher geschlussfolgert, dass für den Prozess der Graphenabscheidung auf Kupfer zwei wesentliche Parameter erfüllt sein müssen:

Eine geringe Oberflächenrauigkeit und eine Substrattemperatur von mehr als 750°C.

## 4 Literatur

- [1] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grogorieva and A. A. Firsov, *Science* 306, 666 (2004)
- [2] P. Recher, B. Trauzettel, Mit Tesafilm nach Stockholm, *Physik Journal* 9 (2010) Nr.12, S.22ff, Wiley-VCH Verlag
- [3] T. Seyller, Epitaktisches Graphen, *Physik Journal* 9 (2010) Nr.8/9, S.53ff, Wiley-VCH Verlag
- [4] X. Li, et. al, Graphene Films on Copper Foils Large-Area Synthesis of High-Quality and Uniform, *Science* 324, 1312 (2009)
- [5] D. Biniok, Konzipierung, Aufbau und Test einer Reaktionskammer zur Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten, TH Wildau (2010)
- [6] J. H. Mun, C. Hwang, S. K. Lim, and B. J. Cho. Optical reectance measurement of large-scale graphene layers synthesized on nickel thin film by carbon segregation. *CARBON* 48, 447 (2010).

## **Effect of microstructured and ta-C coated glass-surfaces on cell growth**

Dipl.-Ing. (FH) Anne-Christin Teichmann, Phone: ++49.3727-58-1182, Fax: ++49.3727-58-1179, E-Mail: teichman@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Dipl.-Ing. (FH) Manuel Pfeiffer, Phone: ++49.3727-58-1072, E-Mail: mpfeiff3@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Dipl.-Ing. (FH) Katja Günther, Phone: ++49.3727-58-1072, E-Mail: guenthe2@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Prof. Dr. rer. nat. Steffen Weißmantel, Phone: ++49.3727-58-1449, E-Mail: steffen@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Prof. Dr. rer. nat. Petra Radehaus, Phone: ++49.3727-58-1041, E-Mail: radehaus@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

**Abstract** To investigate the effects of tetrahedral amorphous carbon (ta-C) coating and microstructuring of glass surfaces the growth of human osteosarcoma SAOS-2 osteoblasts and fibroblast-like mouse cells L-929 was analyzed. Microstructures were established by femtosecond laser with focused laser beam and the coating with tetrahedral amorphous carbon (ta-C) film was achieved by excimer laser ablation for film deposition. SAOS-2 and L-929 cells were cultured on these ta-C coated and/or microstructured glass-surfaces. The reaction of the cells to these modified surfaces was investigated by fluorescence staining. By application of the laser annealing process alternating to the deposition process, the preparation of several micrometer thick stress-free ta-C films with 80-85 % sp<sup>3</sup> bonds and 60-65 GPa hardness was possible. Cultivation of SAOS-2 and L-929 cells on these modified glass surfaces showed no detrimental effects on cell viability, also if they grow slower and do not spread so well, like on control. By confocal laser scanning microscopy the cell morphology was analyzed and a positive influence of coating the microstructures was observed, in contrast to the non-coated microstructures, where cells avoid growing.

**Keywords:** microstructure, coating, ta-C, tetrahedral amorphous carbon, adhesion, cell growth

### **1 Motivation**

The reaction and interaction of cells and surfaces are strongly affected by the properties and the topography of the surrounding surfaces. Several studies have shown that coating and structuring of surfaces can influence the adhesion, proliferation, and morphology of cells. Diamond-like carbon films can have a hardness and strength up to 90% of that of natural diamond. If they have a high fraction of sp<sup>3</sup> diamond bonds (80-85%) and do not contain hydrogen, they are called tetrahedral amorphous carbon (ta-C). Due to the high hardness, wear and corrosion resistance, chemical inertness, low frictional coefficient and excellent smoothness of ta-C, it fulfills the criteria of a good biomaterial.<sup>1</sup> Furthermore the structuring of surfaces can promote the adhesion of cells, influence the morphology and also induce aligned cell growth.<sup>2, 3</sup>

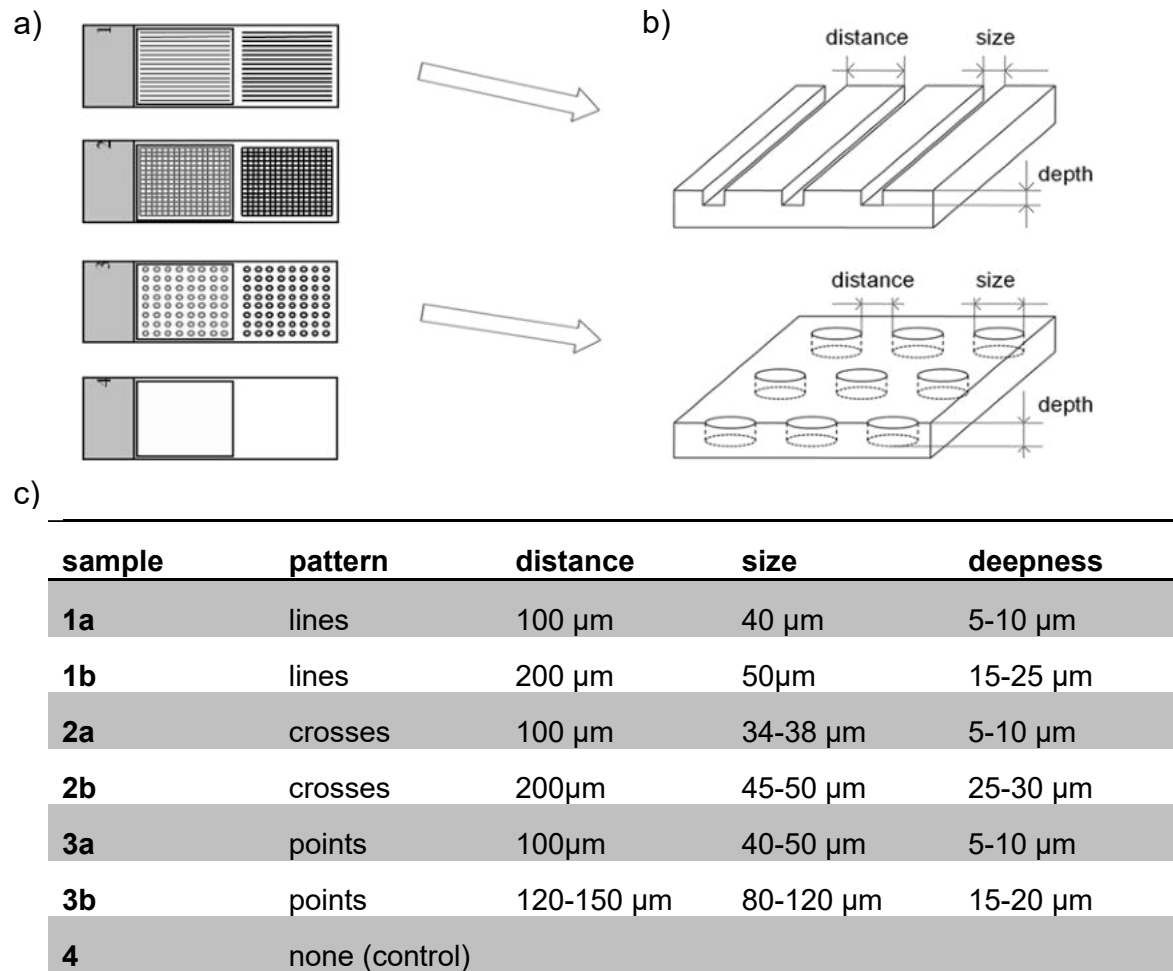
The goal of this study is to investigate the effects of tetrahedral amorphous carbon (ta-C) coatings and microstructured glass surfaces on the human osteosarcoma SAOS-2 osteoblasts and also on the fibroblast-like mouse cell line L-929.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Coating Methods and Material Preparation

Tetrahedral amorphous carbon (ta-C) was deposited with excimer laser (LPX300 Coherent) ablation. A 100 nm thick ta-C film was achieved via pulsed laser deposition (PLD) on the samples with 80-85% sp<sup>3</sup> bonds and a hardness of 60-65 GPa (see also presentation number 89 – Katja Günther). The microstructures were created by femtosecond laser pulses of 775 nm mean wavelength and 130 fs pulse duration with focused laser beam.

The microstructures were done on 76 x 26 x 1 mm microscope glass slides and afterwards the ta-C film was deposited. The samples were separated in 2 half. Both of them were microstructured with the same pattern: lines, grids or points. One sample was left without pattern, but one half was coated (figure 1).



**Figure 1. Schematic illustration of the structures and overview of all structures.** a) Arrangement of the deepening, left half is coated, right half is non-coated. b) Magnification of the structures and definition of the measurements. c) Overview of different structures and their measurements.

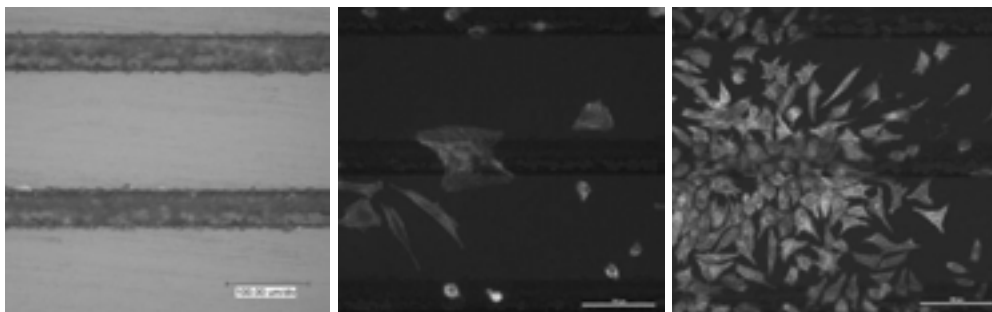
## **2.2 Cell Lines, Growth Conditions, Staining and Microscopic Analysis**

Two cell lines, the human osteosarcoma SAOS-2 osteoblasts and the fibroblast-like mouse cells L-929, were used for the experiments on the ta-C coated and / or microstructured glass-slides. Both strains were cultured in Rosewell Park Memorial Institute RPMI-1640 medium (Biochrome AG) containing 10% fetal calf serum. Cells were harvested at 90% confluence, seeded on the samples and then cultured in 4-well dishes (Nunc) for 4 days. Growth was performed by 37°C in humidified 5% CO<sub>2</sub>-in-air.

For fluorescence microscopy, the cells were fixed in 3.7 % formaldehyde, prepared with 0.1 % triton X-100 for staining and the actin-strains were labeled with BODIPY<sup>®</sup> FL phalloidin (Invitrogen). The samples were visualized by fluorescence microscopy (Zeiss Axiovert 200 M). Microphotographs of non-overlapping areas and from separated growing zones were taken from all samples using 100x and 200x magnification.

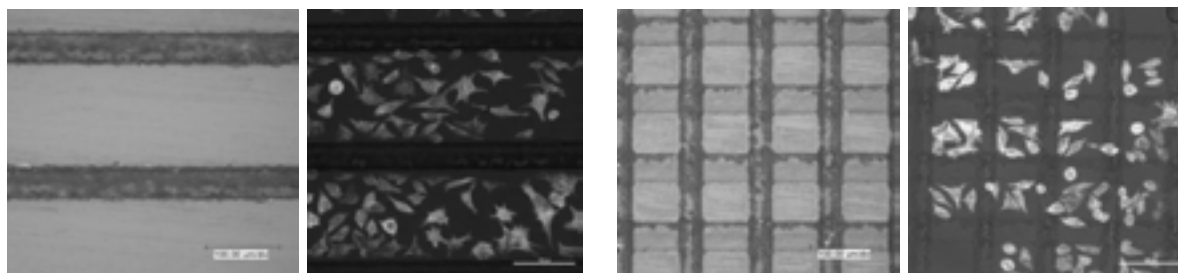
## **3 Results**

The investigation of the general growth properties shows that although the cells grow on the structured and coated surfaces, there are apparent differences in cell morphology in comparison to the control glass slide. The cells grow slower, they do not spread so well, the number of rounded cells is increased and the actin filaments do not show such a distinct shape. Additionally there are differences between the coated and the non-coated structures. On the coated structures the cells show no negative response to the deepening, into which they grow, as seen at the SAOS-2 and L-929 cells on sample 1b in figure 2.



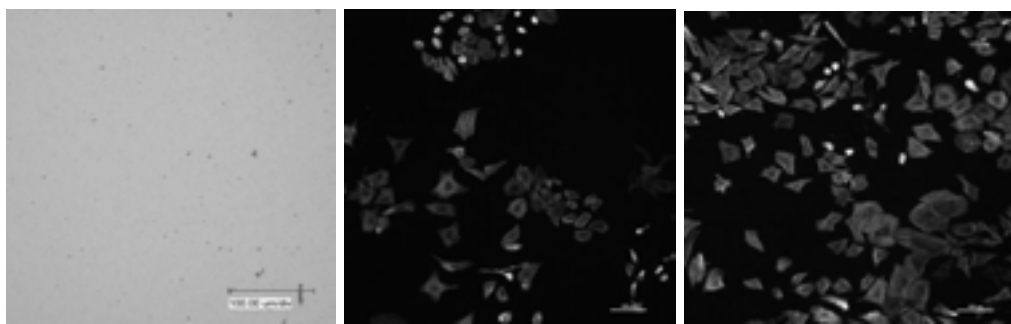
**Figure 2: Microphotographs of cell growth on sample 1b (numbering same as in figure 1).** Left to right: light microscopy photograph, fluorescence microscopic photograph of SAOS-2 cells on coated sample (BODIPY FL phalloidin green), fluorescence microscopic photograph of L-929 cells on coated sample (BODIPY FL phalloidin green).

On the non-coated structures, the cells seem to avoid the deepening, for example L-929 cells on sample 1a and 2a. Even if they grow densely on the normal surface, nearly no cells can be observed in the deepening (figure 3).



**Figure 3: Microphotographs of cell growth (numbering same as in figure 1).** Left to right: light microscopy photograph of sample 1b and fluorescence microscopic photograph of L-929 cells on non-coated sample (BODIPY FL phalloidin green), light microscopy photograph of sample 2a and fluorescence microscopic photograph of L-929 cells on non-coated sample (BODIPY FL phalloidin green).

In contrast to this, the cells that grow on coated, but non-structured surfaces, seem to grow worse than on non-coated-non-structured surfaces (figure 4).



**Figure 4: Microphotographs of cell growth on sample 4 (numbering same as in figure 1).** Left to right: light microscopy photograph, fluorescence microscopic photograph of SAOS-2 cells on coated sample (BODIPY FL phalloidin green), fluorescence microscopic photograph of SAOS-2 cells on non-coated sample (BODIPY FL).

## 4 Conclusion

Based on these results, a correlation between cell morphology and the deepening is apparent. The structuring in combination with the coating of glass slides affects a homogenous cell growth. Although the cells grow moderately slower and fewer adhere in comparison on the control surface, there seems to be no sustainable indication that ta-C deposition is not suitable for cell culture applications.

In the future, further cell lines should be tested and additional experiments, like analyzing cell morphology with SEM (scanning electron microscopy) or measurement of adhesion force by AFM (atomic force microscopy), have to be done, to confirm these initial results.

## 5 References

- <sup>1</sup> Roy RK, Lee KR. Biomedical applications of diamond-like carbon coatings: a review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2007; 83(1):72-84.



- <sup>2</sup> Hao L, Lawrence J, Phua YF, Chian KS, Lim GC, Zheng HY. Enhanced human osteoblast cell adhesion and proliferation on 316 LS stainless steel by means of CO<sub>2</sub> laser surface treatment. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005; 73(1):148-56.
- <sup>3</sup> Jungbauer S, Kemkemer R, Gruler H, Kaufmann D, Spatz JP. Cell shape normalization, dendrite orientation, and melanin production of normal and genetically altered (haploinsufficient NF1)-melanocytes by microstructured substrate interactions. *Chemphyschem.* 2004 23; 5(1):85-92.

## **6 Acknowledgement**

The authors gratefully acknowledge the institute of human genetics in Jena, especially PD Dr. rer. nat. / med. habil. Thomas Liehr.

Funded by the financial support by the ESF (project-number: 080937862) and the Saxonian State Ministry of Science and Arts (SMWK).



# Posturographie und zirkadianer Rhythmus

M. Sc. Mark Alexander, Telefon: +49.3683-688-4205, Fax: +49.3683-688-4499, E-Mail: m.alexander@microsleep.de, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

Dipl. - Inform. (FH) Adolf Schenka, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

Dipl. - Inform. (FH) Thomas Schnupp, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

Dipl. - Inform. (FH) Christian Heinze, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

Prof. Martin Golz, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

## Zusammenfassung

Vigilanz ist die Fähigkeit zur Daueraufmerksamkeit. Sie wird stark durch den zirkadianen Biorhythmus beeinflusst. Posturographie wird seit kurzem auf ihre Anwendbarkeit als Vigilanzschnelltest geprüft. Ein solcher Test muss sich sensitiv auf zirkadiane Schwankungen zeigen.

In dieser Arbeit wird das LAVIE-Protokoll als Studiendesign vorgestellt, um den individuellen zirkadianen Rhythmus unbeeinflusst vom Schlaf-Wach-Zyklus zu untersuchen. Eine Pilotstudie mit einem Probanden wurde durchgeführt und 96 posturographische Einzelmessungen unter Eye-Closed-Bedingung über 48h erhoben. Als Messsystem wurde ein Nintendo Wii Balance Board verwendet. Eine Analyseketten zur Bestimmung zirkadianer Zyklen wird vorgestellt und auf die Messungen angewendet.

5 von 37 untersuchten posturographischen Merkmalen zeigen besonders deutliche Anzeichen zirkadianer Zyklen. Dieses Verhalten lässt sich auf stärkere Amplituden der Gleichgewichtsschwankungen während der natürlichen Schlafzeiten zurückführen.

Mit dieser Arbeit wird exemplarisch gezeigt, dass Posturographie sensitiv auf zirkadiane Schwankungen ist, und low-cost-Messsysteme für die Erhebung ausreichen.

**Schlagerworte:** Posturographie, Signalanalyse, zirkadianer Rhythmus, Lavie-Protokoll, Biorhythmus

## 1 Einführung

Vigilanz ist die Fähigkeit zur Daueraufmerksamkeit; sie ist in unserer 24/7 Gesellschaft in vielen Bereichen des Alltags und der Arbeitswelt eine wichtige Voraussetzung. Tätigkeiten, wie die Überwachung von Kraftwerken aber auch das Befahren monotoner Strecken erfordern eine hohe Vigilanz um auch allgemein geringer Stimulierung auf Schwache Reize korrekt zu reagieren. In den vergangenen Jahren wurden Bemühungen intensiviert Vigilanz-Tests zu entwickeln, welche leicht benutzbar und zeit- und kosteneffizient sind. Die Posturographie ist ein Ansatz für einen Vigilanzschnelltest [1]. Vigilanz wird stark durch den zirkadianen Biorhythmus moderiert. Ein Test der verspricht Vigilanz einzuschätzen, muss sensitiv auf zirkadiane Zyklen sein.

In dieser Arbeit wird das LAVIE-Protokoll als ein geeignetes Studiendesign vorgestellt, um entkoppelt vom Schlaf-Wach-Zyklus Tests und Experimente zur Detektion des Biorhythmus durchzuführen und Posturographie als Test eingeführt. Die Datenanalyse der posturographischen Messungen von Vorverarbeitung über Merkmalsextraktion bis zur Detektion zirkadianer Zyklen wird erläutert. Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen und ein Ausblick schließen die Arbeit ab.

## 2 LAVIE Pilotstudie

### 2.1 Studiendesign und Durchführung

Um den zirkadianen Biorhythmus eines Individuums zu messen, müssen Überlagerungseffekte mit anderen Rhythmen möglichst ausgeschlossen werden. Da der Biorhythmus eine Periode von ca. 24h hat, kollidieren regelmäßige und häufige Messungen mit dem natürlichen Schlafverhalten. Neben permanenten Schlafentzug bietet das sog. LAVIE-Protokoll [2] eine elegante Alternative, um den Schlaf-Wachrhythmus vom Biorhythmus zu entkoppeln und so Messungen zirkadianer Effekte zu ermöglichen. Das Lavie-Protokoll sieht hierzu einen ständigen Wechsel von kurzen Schlaf- und Wachphasen vor. In dieser Pilotstudie wurde ein 30-Minuten-Zyklus mit 10 Minuten Schlaf und 20 Minuten Wachzeit gewählt. Die Gesamtdauer betrug 48h, enthielt also 96 Wachphasen, in denen folgende Vigilanztests und Experimente durchgeführt wurden:

Posturographie (s.u) – VAS-Fragebogen – phonetische Sprachanalyse [3] – Steady State Visually Evoked Potentials [4]

Permanent wurden folgende Biosignale aufgezeichnet:

EEG – EKG – Umgebungslicht – Körperlage – Blutsauerstoffsättigung

Im Rahmen einer Pilotstudie wurde das Protokoll mit einem einzelnen männlichen 30-jährigen Probanden durchgeführt. Aktometrie, Interview und Fragebogen weisen ihn als Chronotyp: „Normaltyp“ [5] aus. Es wurden keine Erkrankungen angegeben, ebenso keine den zirkadianen Rhythmus oder das Gleichgewicht beeinflussende Medikamentierung.

### 2.2 Posturographie

Posturographie ist ein Verfahren zur Analyse des menschlichen Gleichgewichts. Es wird vornehmlich zur Diagnose von Gleichgewichtsstörungen [6], Verlaufskontrolle bei das Gleichgewicht beeinträchtigenden Krankheiten [7] eingesetzt, aber auch zum Test auf Alkoholisierung [8], Müdigkeit und Fit-for-duty-Tests [1] und sportmedizinisch bei der Trainingsüberwachung [9].

Bei der Posturographie wird der Schwerpunkt des Menschen mittelbar durch die Aufnahme des Fußkraftschwerpunkts (COP, center of pressure) gemessen. Dazu stellt sich der Proband aufrecht und möglichst ruhig auf eine Kraftmessplattform; die Sensoren in den Ecken der Plattform nehmen die Kräfte auf, die die Füße des Probanden aufbringen um das Gleichgewicht zu halten.

Aus den Kräften ergibt sich der zweidimensionale Verlauf des COP, das Stabilogramm. Aus dessen Verlauf werden Merkmale abgeleitet, die Informationen über Steuerungssysteme des Gleichgewichts tragen. [10] legt nahe, dass die Leistungsfähigkeit des Gleichgewichts chronobiologischen Rhythmen unterworfen ist, die sich in den Merkmalen widerspiegeln.

In dieser Studie wurde als Low-Cost-Variante eines Posturographie-Systems das „Nintendo Wii Balance Board“ mit einer Aufnahme Frequenz von 100Hz genutzt.

Pro Wachphase wurden Messungen unter zwei Bedingungen unmittelbar hintereinander durchgeführt. Die Messdauer betrug jeweils 80 Sekunden. Die erste Messung mit offenen Augen (EO) und einer Fixationsmarke führt durch die visuelle Rückkopp-

lung zu einem stabileren Stand. Bei der zweiten Messung mit geschlossenen Augen (EC) entfällt diese Rückkopplung; es ist aufgrund der härteren Bedingungen ein gesteigerter Kontrast zwischen unterschiedlichen zirkadianen Niveaus zu erwarten.

Dieser Beitrag beschränkt sich auf die Analyse und Diskussion der 96 EC-Messungen.

### 3 Methoden

#### 3.1 Vorverarbeitung

Die mit dem Balance Board aufgenommenen Daten wurden im ersten Verarbeitungsschritt graphisch dargestellt und visuell überprüft. Anschließend wurden an einzelnen Messwerten auftretenden Datenausreißer durch lineare Interpolation entfernt.

Die AP- und ML-Komponente des COP (s. Abb. 1) wurden nachfolgend getrennt voneinander mit einem Butterworth-Filter (8. Grad, 10Hz cut-off) digital lowpass gefiltert um hochfrequentes Rauschen zu eliminieren, das sich besonders auf statistische Merkmale negativ auswirkt. Um geometrische Verzerrungen zu minimieren wurde dazu eine 0-Phasen-Filterung [11] eingesetzt.

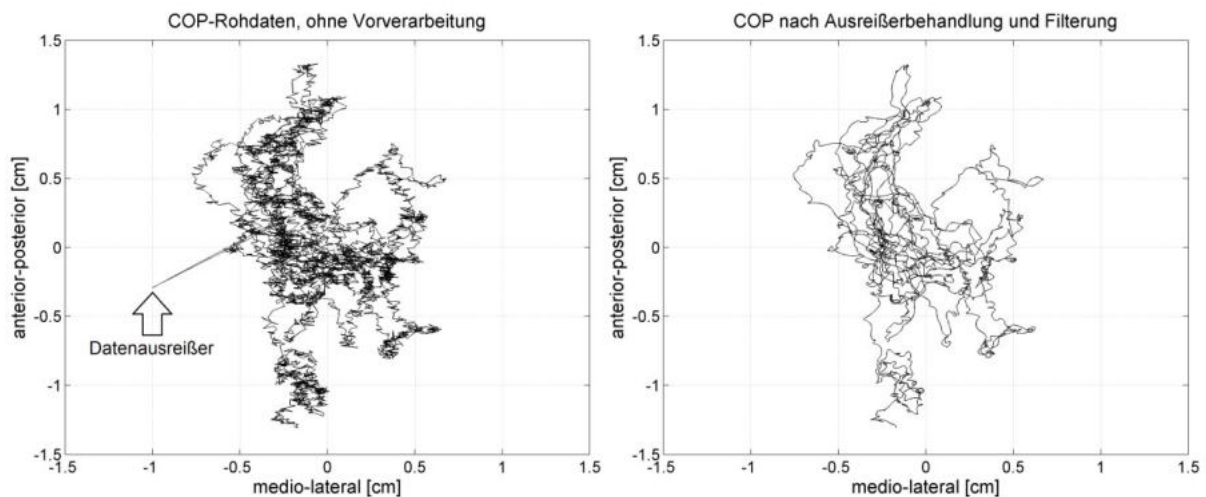


Abb. 1: unverarbeitete COP-Daten (links) und COP-Daten nach Abschluß der Vorverarbeitung (rechts)

#### 3.2 Merkmalsextraktion

Bei der Merkmalsextraktion wurde ein Satz von 37 Merkmalen und Merkmalsvarianten erhoben. Neben einfachen statistischen und geometrischen Merkmalen, wurde die Stabilogramm-Diffusionplot-Analyse [12] genutzt. [10] hat bereits gezeigt, dass Diffusionplot Merkmale sensitiv auf den individuellen zirkadianen Rhythmus reagieren.

Viele der extrahierten Merkmale zeigten tendenziell 24-stündige Rhythmen. Die 5 Merkmale mit den stärksten zirkadianen Zyklen (s. Ergebnisse) werden im Folgenden kurz beschrieben.

Schwankungspfad (SP): Länge des vom COP zurückgelegten Weges [13][14]

Konvexe Fläche (CA): kleinste konvexe Fläche die alle Messpunkte des COP umschließt [13][14]

Mittlere Distanz zum Zentrum (MD): Mittel der Distanzen der Messpunkte vom Mittelpunkt des COP-Kurve (Radius) [13][14]

Diffusion Koeffizient (short term) ( $D_{ST}$ ): Diffusionskoeffizient im Kurzzeitbereich [12]

Skalierungsexponent (short term) ( $H_{ST}$ ): Skalierungsexponent im Kurzzeitbereich [12]

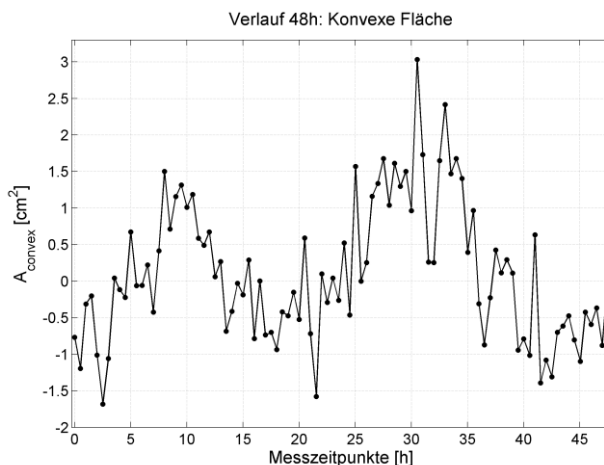


Abb. 2: Konvexe Fläche mit zirkadianen Schwankungen

### 3.3 Detektion Circadianer Zyklen

Zur Bestimmung der zirkadianen Zyklen wurden die vom COP-Verlauf gewonnenen posturographischen Merkmale mit Kosinus-Funktionen unterschiedlicher Periodendauer (zwischen 10h und 35h, Schrittweite 6min) gekreuzkorreliert. Zu jeder Periodendauer wurde der zugehörige maximale (normierte) Kreuzkorrelationskoeffizient ermittelt. Erwartet werden starke Korrelationen mit Kosinusfunktionen einer Periodendauer nahe 24h.

Bei allen Merkmalen mit ausgeprägten zirkadianen Verhalten zeigten sich in der zweiten Nacht deutlich stärkere Amplituden. Alle Merkmale wurden zum Ausgleich darum einer Logarithmierung unterworfen, was zu klarer Detektion einer ca. 24h Periode führte. Überdies wurden aus den Merkmalen lineare Trends und konstante Offsets entfernt.

## 4 Ergebnisse & Diskussion

Von 37 untersuchten posturographischen Merkmalen zeigten 5 Merkmale (Tab. 1) deutliche Anzeichen (maximaler Kreuzkorrelationskoeffizient (KKK) > 0,6) zirkadianer Zyklen ( $23,5h < \text{Periodendauer} < 24,5h$ ).

Abbildung 3 zeigt sehr deutlich den zirkadianen 24.0h Zyklus sowie subharmonische Artefakte des Zyklus am Merkmal Konvexe Fläche.

Merkmal	KKK	Periode
SP	0,694	24,0h
CA	0,656	24,0h
MD	0,633	24,0h
D <sub>ST</sub>	0,633	24,0h
H <sub>ST</sub>	0,681	24,0h

Tabelle 1: Erzielte Kreuzkorrelationskoeffizienten

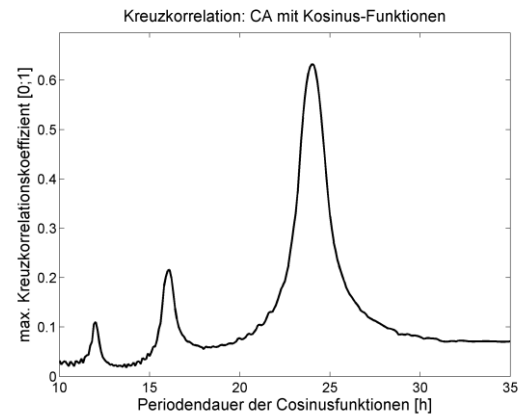


Abbildung 3: Zirkadianer 24- Rhythmus und subharmonische Artefakte

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Bereits eine einfache visuelle Inspektion zeigt, dass der COP in den Nachtphasen deutlich größere Flächen einnimmt. Dementsprechend zeigten Flächenmaße, aber auch SP und MD erwartungsgemäß deutliche zirkadiane Effekte. Die Merkmale des Kurzzeitbereichs der Stabilogramm-Diffusions-Analyse D<sub>ST</sub> und H<sub>ST</sub> werden von [12] als Parameter des posturographischen Regelsystems interpretiert; sie sind allerdings eng verknüpft mit der mittleren Schwankungsgeschwindigkeit und damit an SP gebunden. Der von [10] als wichtig identifizierte kritische Punkt zwischen Kurzzeitbereich und Langzeitbereich konnte aufgrund hoher Variabilität im Langzeitbereich automatisiert nicht stabil bestimmt werden.

Die gefundenen zirkadianen Effekte in den posturographischen Merkmalen der LAVIE-Pilot-Studie sind auf höhere mittlere Amplituden der Gleichgewichtsschwankungen in den Nachtphasen zurückzuführen. Es konnte dennoch gezeigt werden, dass mit Posturographie zirkadiane Effekte – zumindest in diesem einen Fall – nachgewiesen werden können. Dafür war preiswerte Messtechnik aus dem Gaming-Bereich ausreichend.

Bei posturographischen Messungen ist eine hohe inter- und intra-individuelle Variabilität zu erwarten [13][14]; die Erkenntnisse der Pilotstudie sind daher in einer breiter angelegten Studie mit größerer Probandenzahl und mehreren Durchläufen des 48-Stunden Lavie-Protokolls zu bestätigen. Es muss untersucht werden, ob geeignete Normierungen und elaboriertere Merkmalsextraktion (z.B. im Zustandsraum [15]) von der Schwankungsamplitude unabhängige Merkmale mit zirkadianen Zyklen liefern kann. Hochwertigere Messelektronik kann ebenfalls zur Gewinnung aussagekräftiger Merkmale beitragen. Des Weiteren können Untersuchungen der Unterschiede zwischen EO- und EC-Messungen Rückschlüsse geben, welche Teile des posturographischen Steuermechanismus biorhythmischen Schwankungen unterworfen sind.

### Danksagung

Diese Untersuchungen wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen“ unter dem Kennzeichen 1769X08 finanziell gefördert.

## Literatur

- [1] Schnupp T, Schenka A, Sommer D, Golz M & Krajewski J (2010) Using Postural Control System Measures to Detect Hypovigilance. In Spink AJ et al. (Eds.), *Proc Measuring Behaviour 2010*, Eindhoven: 189-191
- [2] Lavie P & Segal S (1989) Twenty-four hour structure of sleepiness in morning and evening persons investigated by the ultrashort sleep-wake cycle. *Sleep* 12, 522-8.
- [3] Krajewski J, Batliner A, Golz M (2009) Acoustic Sleepiness Detection - Framework and Validation of a Speech Adapted Pattern Recognition Approach. *J Behav Res Meth* 41, 795-804
- [4] Mo C et al. (2007) Signal Modality Characterisation of EEG with Response to Steady-State Auditory and Visual BCI Paradigms. *Proc Machine Learning for Sig Proc*, Thessaloniki: 223-8
- [5] Griefahn B, Künemund C, Bröde P, Mehnert P (2001) Zur Validität der deutschen Übersetzung des Morningness-Eveningness-Questionnaires von Horne und Östberg. *Somnologie* 5, 71-80
- [6] Mitchell S et al. (1995) Open-Loop and Closed-Loop Postural Control Mechanisms in Parkinson's Disease: Increased Mediolateral Activity During Quiet Standing. *Neuroscience Letters* 197, 133-6
- [7] Soto A et al. (2004) The usefulness of computerized dynamic posturography for the study of equilibrium in patients with Meniere's disease. *Hearing Research* 196 (1-2), 26-32
- [8] Walther L E, Repik I, Schnupp T, Sommer D, Hörmann K, & Golz M (2010). The Use of Artificial Neural Networks in Evaluation of Posturographic Data. *Laryngo-rhino-otologie* (in press)
- [9] WEI Xiao-yan, LIU Xing-min (2005) Core stability training for middle and long-distance runners. *New Studies in Athletics* 20 (1), 25-37
- [10] Forsman P et al. (2007) Daytime changes in postural stability. *J Occup Environ Med* 49 (6), 591-6
- [11] A. V. Oppenheim and R. W. Shaffer (1989) *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ
- [12] Collins JJ & Deluca CJ (1993) Open-loop and closed-loop control of posture: A random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res* 95 (2), 308-18
- [13] Alexander M (2006) Neuroinformatische Analyse posturographischer Messreihen für den Einsatz in der Biometrie. Diplomarbeit, FH Schmalkalden
- [14] Schenka A (2007) Test und Verifikation eines Posturographiesystems und neuroinformatische Analyse der intra- und interindividuellen Variabilität. Diplomarbeit, FH Schmalkalden.
- [15] Schnupp T, Holzbrecher-Morys M, Mandic D & Golz M (2009) Sensitivity of posturography to elimination of visual feedback. In Sloten J et al. (Eds.) *IFMBE Proceedings* 22 (16), 2077-2080



## Belüftung in Druckleitungen – Sind besondere Eintragungssysteme notwendig?

Dipl.-Ing. Ute Urban, Telefon: ++49.3943-659-360, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: [uurban@hs-harz.de](mailto:uurban@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

Prof. Dr. Andrea Heilmann., Telefon: ++49.3943-659-312, E-Mail: [aheilmann@hs-harz.de](mailto:aheilmann@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

### Abstract

Die Belüftung von Druckleitungen stellt eine Maßnahme zur Reduzierung Geruchsbildung dar. Bei dem bisherigen grobblasigen Eintrag geht der Sauerstoff nicht in Lösung. Bessere Ergebnisse sind durch feinblasige Eintragungssysteme zu erzielen, die in diesem Projekt untersucht wurden.

**Keywords:** Druckleitung, Geruch, Korrosion

## 1 Einleitung zur Übersicht der Maßnahmen

Laut einer Umfrage unter Abwasserzweckverbänden in Sachsen-Anhalt im Jahr 2009 sind über 80% der Verbände mit Geruchs- und Korrosionsproblemen konfrontiert (1). Für die Bekämpfung dieser Probleme werden eine Vielzahl von Maßnahmen angeboten, wie die Abbildung 1 im Überblick zeigt.

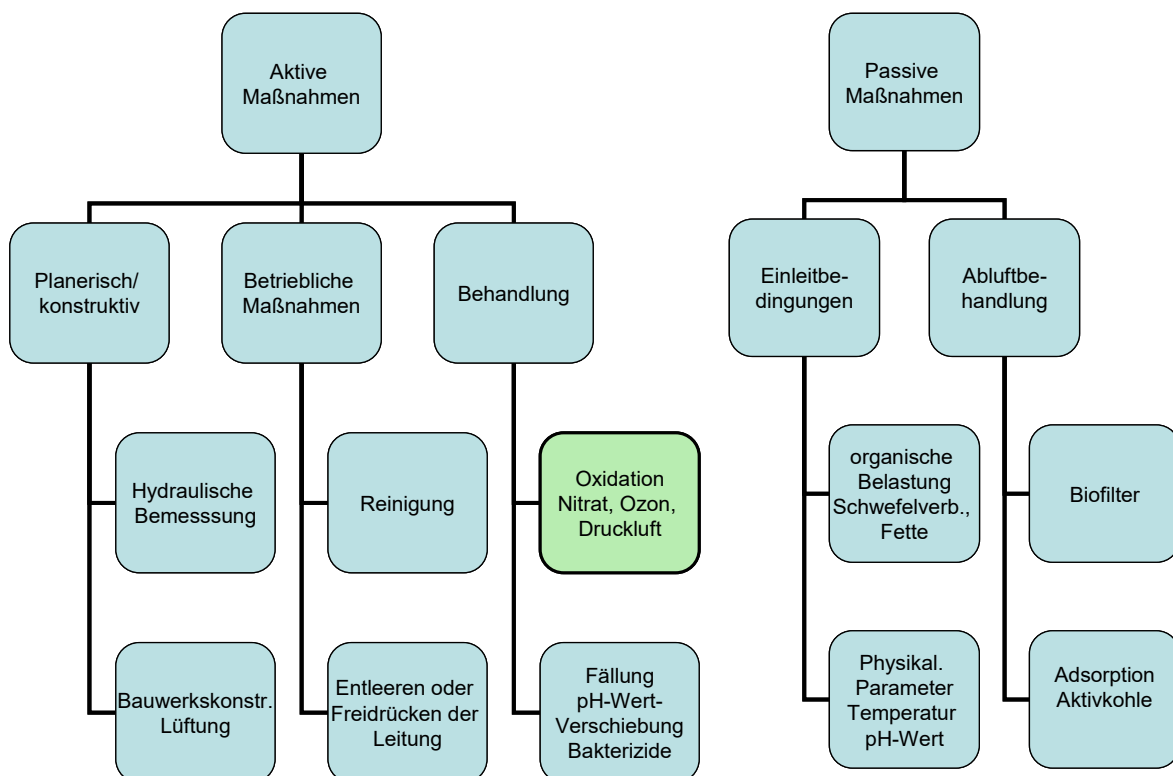


Abbildung 1: Überblick über Maßnahmen zur Geruchs- und Korrosionsvermeidung (2)

Die passiven Maßnahmen betreffen zunächst die Einleitbedingungen, um die zugeführten primären Osmogene zu begrenzen. Physikalische Parameter wie Temperatur und pH-Wert beugen einer verstärkten Emission vor.

Um im austretenden Gas das Sulfid zu absorbieren oder zu neutralisieren werden Biofilter oder Absorptionsfilter aus Aktivkohle, mit eisenhaltigen Substanzen oder Materialien mit hoher Porosität eingesetzt. Beispiele hierfür sind Schachtabdeckungen, Biofilter im Schachtdeckel (3) oder direkt über der Sohle (4), die gewährleisten, dass der Schachtraum sulfidfrei bleibt und somit die Korrosion im Luftraum des Schachtes unterbunden wird. Diese Maßnahmen vermindern allerdings nur die Geruchsbelastigung. Die Sulfidbildung wird hierdurch nicht verringert.

Aktive Maßnahmen untergliedern sich in planerisch-konstruktive und betriebliche Maßnahmen, wie die Reinigung und Molchung, sowie das Entleeren der Leitung meist durch Druckluftspülstationen.

Häufig reichen diese Maßnahmen allerdings nicht aus, um die Geruchsbelastigung zu reduzieren und eine weitere Behandlung ist notwendig. Dies kann durch Unterdrückung der biologischen Prozesse durch Bakterizide erfolgen. Deren Dosierung kann nur in kleinen Teilströmen erfolgen, um eine Beeinträchtigung der Mikroorganismen auf der Kläranlage zu verhindern. Die Verschiebung des pH-Wertes führt zu einer deutlich verringerten Sulfidemission.

Eine weitere Option, stellt die Fällung des Sulfides mit Metallsalzen, insbesondere  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen dar. Die Dosiermenge variiert nach der zu fällenden Sulfidmenge und muss somit standortspezifisch ermittelt werden (5). Die Fällung wirkt sehr schnell, da es eine rein chemische Reaktion ist. Allerdings wirken die Metall-Ionen nicht auf die anderen Osmogene, wie organische Säuren, so dass hiermit nur die Korrosion reduziert werden kann, die Geruchsbelastigung aber nicht ausreichend verringert wird. Allerdings kann das im Kanal dosierte Eisen in der nachfolgenden Kläranlage die Eisendosierung zur Phosphatfällung entlasten.

Um die Sulfidbildung zu unterbinden und ggf. eine Oxidation des zuvor gebildeten Sulfides zu erreichen, wird die Dosierung von oxidierenden Substanzen, wie Ozon, Kaliumpermanganat oder insbesondere von Nitraten vorgenommen. Diese Substanzen stellen Sauerstoff für biologische Prozesse zur Verfügung, so dass die Desulfurikanten inaktiviert werden. Durch diese Veränderung vom anaeroben zum aeroben Milieu kann nicht nur die Sulfidbildung, sondern auch die Bildung von organischen Säuren verringert werden. Somit wirken diese Maßnahmen vorbeugend und auf verschiedene Osmogene, die sich aus dem Abwasser bilden können. Allerdings ist die Dosierung der Chemikalien kostenaufwändig, so dass Alternativen hierzu gesucht werden.

Eine aussichtsreiche Methode stellt die Belüftung von Druckleitungen dar. Dazu wurde innerhalb eines Forschungsprojektes an der Hochschule Harz (6) untersucht, ob besondere Eintragssysteme erforderlich sind.

## 2 Methodik der Untersuchungen

### 2.1 Belüftungsmethodik

Optimale Lebensbedingungen für die aerobe Biozönose bedingen im Wasser nicht nur Nährstoffe, sondern auch gelösten Sauerstoff. Der Eintrag ist von folgenden Parametern abhängig:

- Blasengröße und somit Stoffaustauschfläche
- Druck bzw. Belüftungstiefe

Der Sauerstoffeintrag in ein wässriges Medium ist bei Normalbedingungen (Sauerstoffgehalt von 0 mg/l, Wassertemperatur von 20 °C, atmosphärische Normaldruck 1013,25 hPa) von verschiedenen Faktoren abhängig und wird folgendermaßen beschrieben:

$$n = k_L \cdot A \cdot (c^* - c)$$

(Stoffübergang  $n$  = Stoffübergangskoeffizient  $k_L$ , spez. Stoffübertragungsfläche  $A$ , treibendes Konzentrationsgefälle  $(c^* - c)$ ).

Der Sauerstoff kann durch Oberflächenbelüfter, Begasung, Walzenbelüfter, Tauchbelüfter oder Düsenbelüftung in das Wasser eingebracht werden. Dabei kann die Dosierung

- direkt in der Druckleitung durch Belüftungsschläuche oder Düsen
- im Zulauf der Druckleitung bzw. Vorlagegehältern (7)

erfolgen. Für eine optimale Sauerstoffversorgung muss der Sauerstoff in Lösung gehen. Die grobblasige Begasung erscheint deshalb weniger geeignet, Sauerstoff in Lösung zu bringen, da die Stoffaustauschfläche zu gering ist. Deshalb sollte ein feinblasiger Eintrag erfolgen, wie es seit einigen Jahren auch auf Kläranlagen angewendet wird.

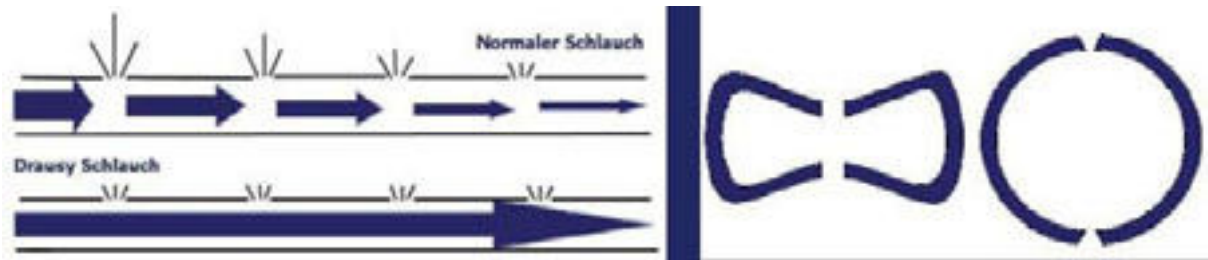
Der Einsatz von Reinsauerstoff würde zwar zu höheren Sauerstoffeinträgen führen. Da Reinsauerstoff einen Gefahrstoff darstellt und das Gas zur Eintragsstelle transportiert werden muss, wird hier mit Druckluft gearbeitet.

Die Untersuchungen zur Belüftung wurden sowohl in einer Versuchsanlage als auch in Praxisanlagen durchgeführt.

### 2.2 Beschreibung der Eintragssysteme

Aufgrund der Verstopfungsanfälligkeit der Eintragssysteme wurde im DWA-Merkblatt M168 (1998) der Eintrag durch einen einfachen Stutzen empfohlen. Dieser grobblasige Eintrag führt allerdings lediglich zu einer Verwirbelung an der Dosierstelle. Die Lösung des in der Luft enthaltenen Sauerstoffs erfolgt nur unzureichend, da die Stoffaustauschfläche zwischen Luftblase und Abwasser gering ist. Deshalb sollte untersucht werden, ob ein feinblasiger Eintrag Vorteile bringt.

Dazu wurden in der Versuchsanlage Belüftungsdüsen und ein gelochter Schlauch, der über die gesamte Versuchsstrecke von 20 m die Leitung gleichmäßig belüftet, untersucht.

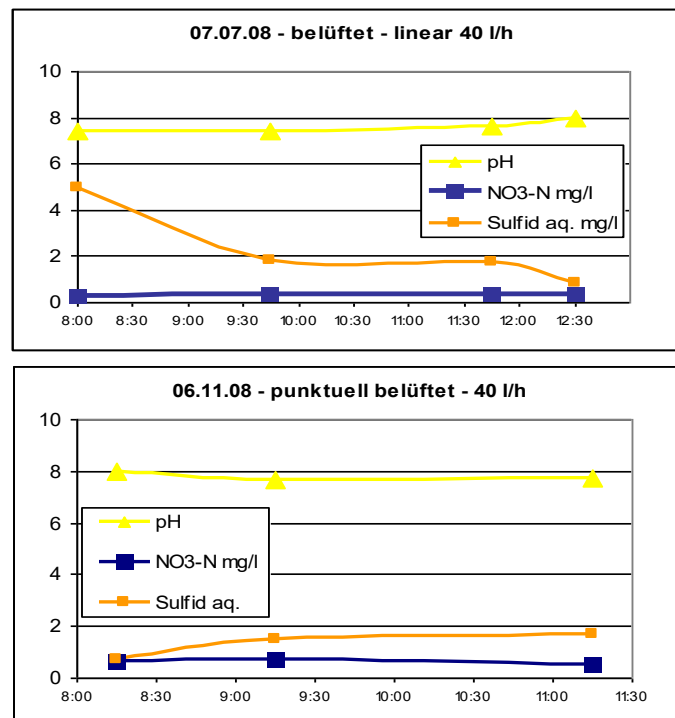


**Abbildung 2:** Bilder von schlauchartigen Eintragungssystemen und des eingesetzten Drausy-Schlauchsystems

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnis in der Versuchsanlage

Die Ergebnisse der Sulfidkonzentration in der Versuchsanlage sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die lineare Belüftung über die gesamte Länge der Leitung führt zu einer deutlichen Reduzierung der Sulfidkonzentration. Dagegen steigt die Sulfidkonzentration bei der Belüftung über eine Düse am Anfang der Leitung zu einem leichten Anstieg der Sulfidkonzentration.



**Abbildung 3:** Messergebnisse der feinblasigen Belüftung in der Versuchsanlage, oben: linear belüftet; unten: punktuell belüftet

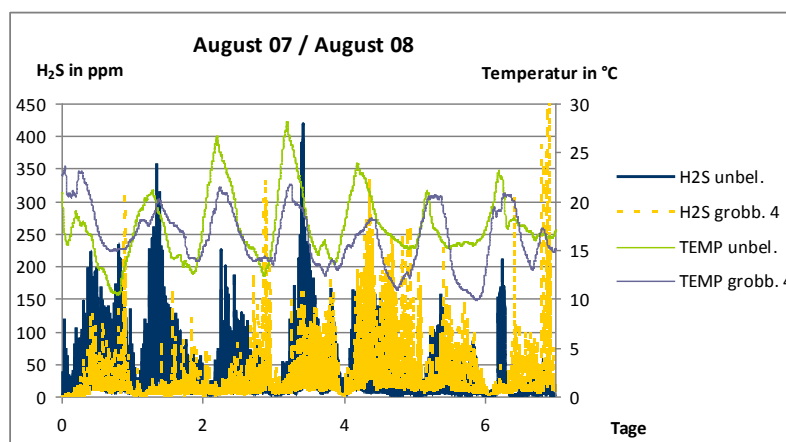
### 3.2 Ergebnis in der Praxisanlage

Nach den Untersuchungen in der Versuchsanlage, wurde die feinblasige Belüftung in Praxisanlagen übertragen. Auf dieser Strecke wurden verschiedene Dosierstrategien getestet. Es sind hohe Sulfidemissionen feststellbar gewesen und zusätzlich Korrosionsprobleme zu verzeichnen, da das Abwasser am Druckleitungsende in einen Vorlagebehälter stürzt und weitertransportiert wird.

Zum Vergleich der Wirkung der Belüftungsmaßnahmen wurden die Gasmessungen für die verschiedenen Behandlungen

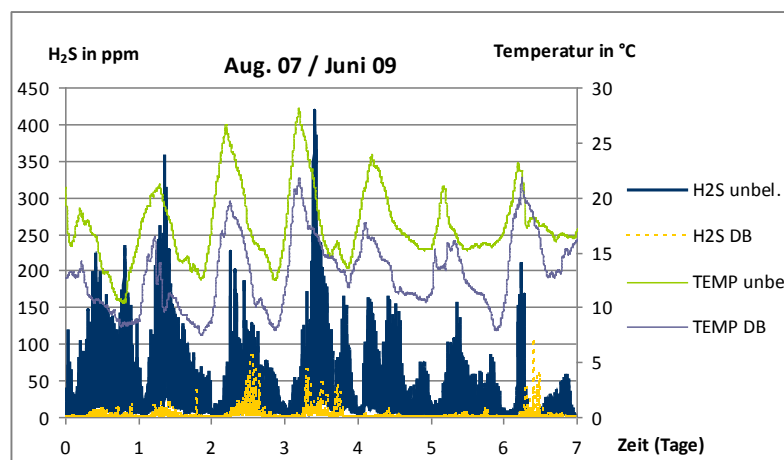
- Belüftung über Stutzen
- Düsenbelüftung

der unbelüfteten Ausgangssituation in Abbildung 4 zusammengestellt.

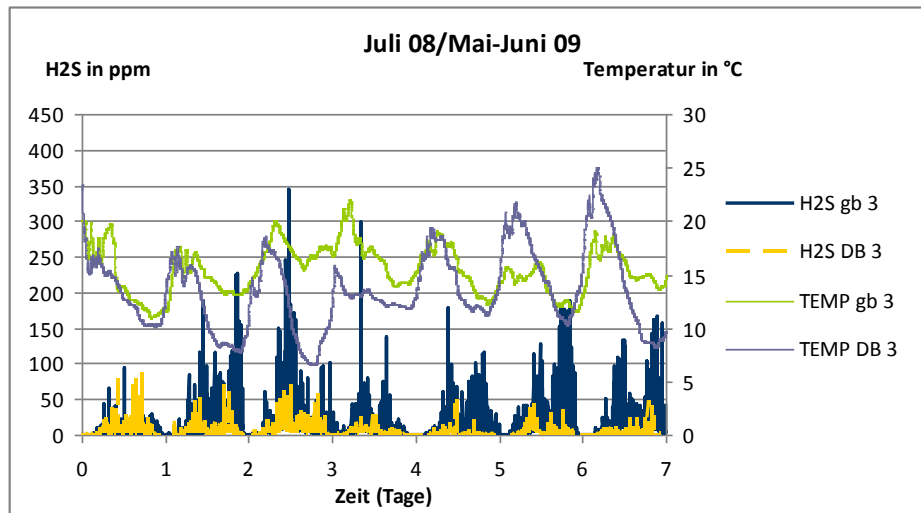


**Abbildung 4:** Gasemissionsmessung am Druckleitungsende, grobblasige Belüftung (rot) gegenüber der unbelüfteten Leitung (blau)

Die Ergebnisse der Stutzenbelüftung (grob.) zeigen keine deutliche Reduzierung der Sulfidemissionen. Dagegen zeigen die weiteren Messungen bei der Belüftung mit einer Düse eine deutliche Reduzierung der Sulfidemissionen. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse mit dem unbelüfteten Zustand verglichen. Abbildung 6 zeigt den Unterschied der grobblasigen und feinblasigen Belüftung.



**Abbildung 5:** Gasemissionsmessung am Druckleitungsende, Vergleich der Behandlungsmethoden (DB: Düsenbelüftung, unbelüftet)



**Abbildung 6:** Gasemissionsmessung am Druckleitungsende, Vergleich der Behandlungsmethoden (DB: Düsenbelüftung, gb: grobblasig über Stutzen belüftet)

## 4 Zusammenfassung

Durch die Belüftung der Leitung kann die Sulfidbildung unterbunden werden. Hier wird deutlich, dass die feinblasige Belüftung (Abbildung 5, 6) hier eine wesentlich stärkere Reduzierung der Sulfidemission erreicht, als dies durch den grobblasigen Stutzeneintrag (Abbildung 4) bewirkt wird.

Die Notwendigkeit von Eintragungssystemen für die Belüftung von Druckleitungen konnte hiermit belegt werden. Dies ist in die Überarbeitung des Merkblattes der DWA M 168, das im Juni 2010 erschienen ist, übernommen worden.

Eine Verstopfungsanfälligkeit der Eintragungssysteme konnte während des Einsatzes in Praxisanlagen über einen Zeitraum von mehr als fünf Jahren nicht festgestellt werden.

<sup>1</sup> Sauerzweig (2009). Untersuchung der Maßnahmen zur Minderung von Geruch und Korrosion in Abwassersystemen im Land Sachsen-Anhalt zur Ableitung von spezifischen Kennzahlen, Bachelorarbeit an der Hochschule Harz

<sup>2</sup> Urban, U. Heilmann, A. (2009) Konstruktive Gestaltungsempfehlungen für Druckleitungen zur Verminderung der Korrosion und Osmogenbildung. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall. 56. Heft 12

<sup>3</sup> UGN Gera Biofiltair, Produktbeschreibung, 2008

<sup>4</sup> Fricke, Harboth (2009) GEKO-Biofiltersystem, Beschreibung zum Exponat auf Biotechnica 2009, TU Braunschweig, Lichtweiß-Inst. Abt. Abfall- und Ressourcenwirtschaft.

<sup>5</sup> Dammann, E.; Benzinger S.(2000): Eisenschlamm- in Abwasseranlagen nutzbar. Aus: gwf Wasser-Abwasser. 141 Nr. 13 S.108 -112

<sup>6</sup> BMBF/AIF-Projekt im FH3-Programm: Ermittlung von Entscheidungs- und Auslegungsgrundlagen für die Geruchsminderung und Korrosion in Kanalnetzen durch lineare Dosierung (FKZ 1758X05; 2006-2009)

<sup>7</sup> Freudenthal, K.; Sekoulov, I.; Kapinos, D. (2003): Reduzierung der Geruchsbildung in der Kanalisation durch biologische Kurzzeitbehandlung. In: KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall 50 Heftnr. 11, S. 1422-1427.

## **Bewertung der bestehenden Fernwärmeversorgung in der Stadt Hettstedt und Beschreibung der Fernwärmeabsatzplanung bis zum Jahr 2030**

M.Eng. Martin Bauer, Phone: ++49.341-3076-4215, E-Mail: martin.bauer@me.htwk-leipzig.de, HTWK Leipzig,  
Koburger Straße 62, 04416 Markkleeberg

Dipl.-Ing. Karsten Franke, Phone: ++493476-8702-13, Fax: ++49.3476-8702-14, E-Mail:  
karsten.franke@stadtwerke-hettstedt.de, Stadtwerke Hettstedt GmbH, Am Mühlgraben 2, 06733 Hettstedt

Prof. Dr.-Ing. Michael Kubessa, Phone: ++49.341-3076-6316, Fax: ++49.341-3076-6259, E-Mail:  
kubessa@me.htwk-leipzig.de, HTWK Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132, 04277 Leipzig

### **Abstract**

Die regionale Entwicklung der Stadt Hettstedt bis 2030 basiert im Wesentlichen auf der demografischen Wandlung. Daneben beeinflussen die Energie- und Haushaltssituation sowie weitere Einflussgrößen die Entwicklung bis zum Jahr 2030.

Der „Status Quo“ der bestehenden Fernwärmeversorgung wurde detailliert erhoben und bewertet. In der Analyse wurden die einzelnen Bestandteile und deren bestehende Strukturen beschrieben.

Mit den erhobenen und ermittelten Werten wird eine detaillierte Fernwärmeabsatzplanung durchgeführt. Dabei wurde die Leistungsbilanzierung auf der Basis der zukünftigen Energieerzeugung und möglichen Netzstruktur vorgenommen. Der Variantenvergleich zeigte mehrere Lösungswege auf. Für die Umsetzung dieser Varianten wurde jeweils der Investitions- und Erneuerungsbedarf erstellt. Diese Werte flossen in die anschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Der aktuelle gesetzliche und politische Rahmen wurde ebenso beschrieben wie die zukünftigen Entwicklungen und Tendenzen bis zum Jahre 2030. Abschließend werden ökologische Aspekte untersucht sowie ein Ausblick auf zukünftige Technologien und Trends gegeben.

### **Keywords:**

## **1 Ist-Stand der Fernwärmeversorgung**

Die Schwerpunkte der Untersuchungen zur Ist-Erfassung liegen im technischen und wirtschaftlichen Bereich. Es sollten erforderliche Erneuerungen oder Instandhaltungen aufgezeigt werden. Unter Berücksichtigung der Restnutzungsdauer und des Erneuerungsbedarfs erfolgte die Bewertung der entsprechenden Anlagenteile.

Bei dem Versorgungsgebiet handelt es sich um drei Wohnkomplexe (WK) mit überwiegend industriell gefertigten Wohngebäuden aus den Jahren 1970 bis 1990.

Die Fernwärmeerzeugungsanlage besteht aus mehreren Großkesseln, die zentral in einem Heizhaus betrieben werden. Als Primärenergieträger kommt hauptsächlich Erdgas, teilweise auch Heizöl zum Einsatz. Die Fernwärmeerzeugungsanlage kann unter jetzigen Voraussetzungen und Nutzungsbedingungen weiterhin ohne Probleme betrieben werden. Das zentrale Heizhaus wäre auch für eine technische Erweiterung geeignet.

Das Versorgungsnetz besteht aus den älteren

- Haubenkanalleitungen (HKL),

- Sockelkanalleitungen (SKL) und
- den neueren Kunststoffmantelrohrleitungen (KMR).

Ausgewählte Trassenabschnitte wurden mithilfe von Rohrleitungsprüfungen untersucht und als weiterhin geeignet eingestuft.

Die bestehenden HASTen (Hausanschlussstationen) zeigten ebenfalls einen guten Ist-Zustand und sind auch zukünftig nutzbar.

Aus technischer Sicht gibt es keine gravierenden Schäden bzw. keinen akuten Erneuerungsbedarf.

## 2 Regionale Entwicklungen

### 2.1 Demografischer Wandel

Der demografische Wandel bis 2030 wird erhebliche Umsetzungen und Veränderungen erfordern. Bereits bis zum Jahr 2025 wird sich der Aufbau der Altersstruktur verändern, besonders der Anteil der über 65-Jährigen wird stark ansteigen. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen für altersgerechtes Wohnen.

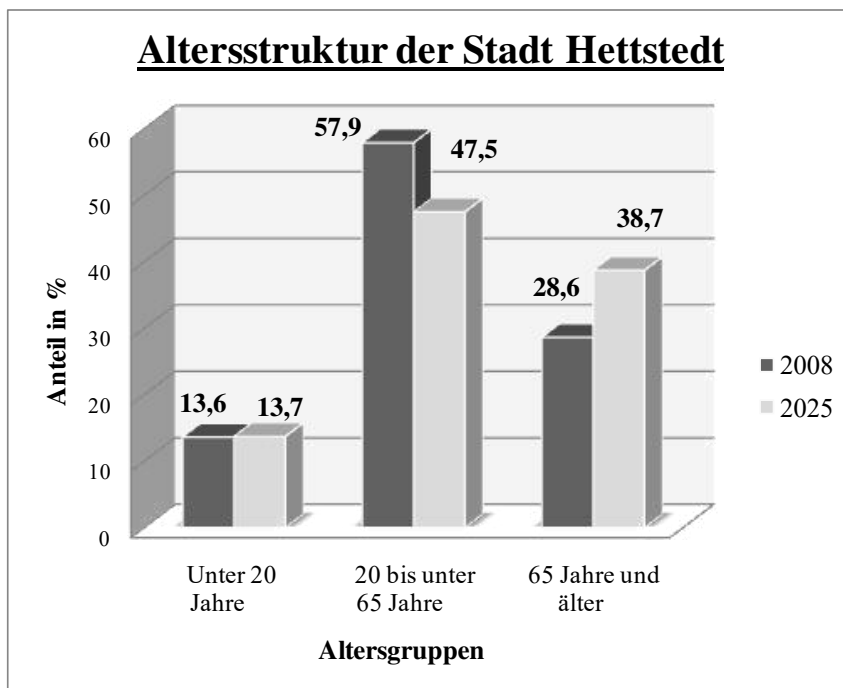


Abbildung 1: Altersstruktur der Stadt Hettstedt

Die Einwohneranzahl (Abbildung 2) dagegen wird auf ca. 9.000-10.000 Einwohner sinken.



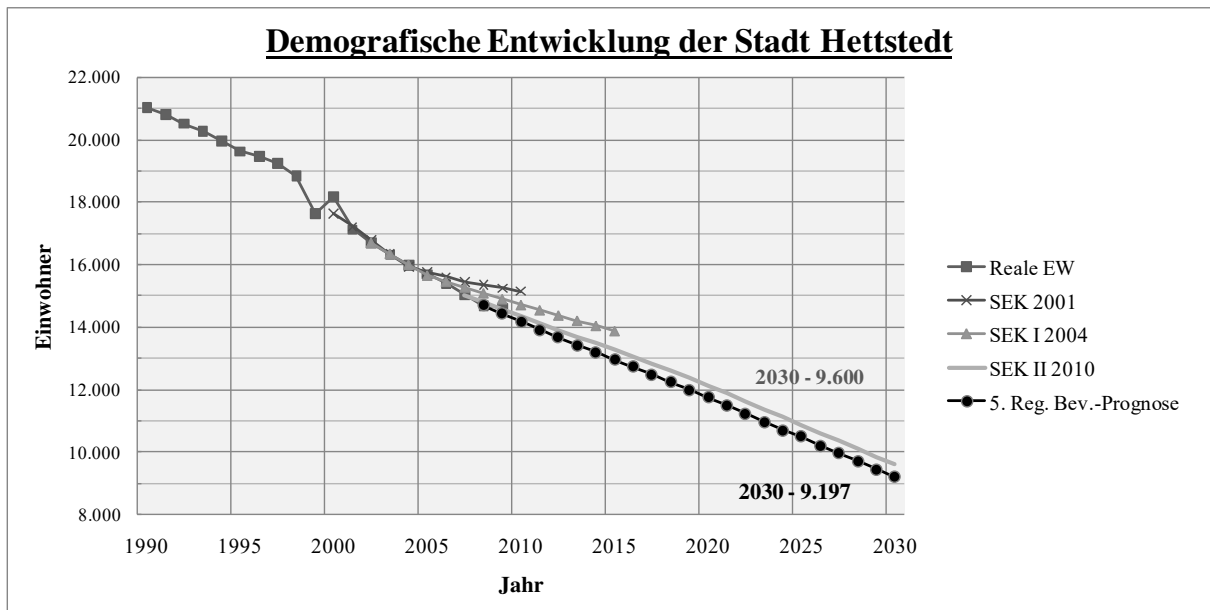


Abbildung 2: Demografische Entwicklung der Stadt Hettstedt

Die Stadt Hettstedt hat erstmals 2001 ein Stadtentwicklungskonzept (SEK) erstellen lassen. Dieses bewertet den Ist-Zustand und gibt Prognosen zu der möglichen Entwicklung der Stadt. 2004 gab es die 1. und im Jahr 2010 die 2. Fortschreibung des SEK.

Aufgrund der unterschiedlichen Aussagen wurden drei Fälle betrachtet:

- der „worst case“, auf Basis der 5. Regionalisierten Bevölkerungsvorausbe-  
rechnung,
- der „Mittelwert“, als Mittel aus „worst case“ und „best case“ und
- der „best case“ anhand des SEK II 2010.

## 2.2 Haushaltssituation

Als weiterer wichtiger Baustein dient die Haushaltsentwicklung. Diese bestimmt maßgeblich die Fernwärmeabsatzplanung aufgrund der Wärmekundenstruktur.

Es wird von folgenden Grundlagen ausgegangen:

- Aussagen der Wohnungsbauunternehmen (evtl. Rückbau),
- Entwicklung der Haushaltsgröße bis 2030 und
- Entwicklung des Wohnungsleerstands.

## 3 Fernwärmeabsatzplanung 2030

Mit diesen Erkenntnissen wurde die Fernwärmeabsatzplanung durchgeführt. Ziel war es, den Anschlusswert für 2030 anhand des demografischen Wandels zu berechnen. Aufgrund des bereits akuten Rückbaus und der weiteren negativen Trends wurde der „worst case“ (Tabelle 1) für die weiteren Untersuchungen genutzt.

Tabelle 1: Leistungsbilanzierung 2030 „worst case“

	2030 "worst case"							
	Einwohner worst case	Deckungs- rate [%]	Einwohner SWH	Haushalts- größe [EW/WE]	WE ohne Leerstand	Leerstand [%]	WE mit Leerstand	Anschluss- wert [kW]
WK II	1.380	29	400	1,84	218	29	306	1.072
WK III	736	77	567	1,84	308	48	592	2.310
WK IV	644	73	470	1,84	256	15	301	1.743
Summe	9.197						1.199	5.126

Mit diesem Anschlusswert von 5.126kW wurden vier mögliche Netzstrukturen entwickelt. Den größten Einfluss darauf hatten mögliche zukünftige Rückbaumaßnahmen.

Die Varianten gingen aus von

- dem Erhalt der jetzigen zentralen Struktur,
- einer Dezentralisierung mit 3 Teilnetzen,
- einer Dezentralisierung mit 2 Teilnetzen und
- der vollständigen Dezentralisierung.

Anhand dieser Netzstrukturen wurden die jeweils benötigten Konstellationen der Energieerzeugung zusammengestellt.

## 4 Ökonomiebetrachtung

Für die Umsetzung der o.g. Varianten wurden jeweils der Investitions- und Erneuerungsbedarf erstellt. Diese ermittelten Werte flossen in die anschließende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Für den ökonomischen Vergleich der einzelnen Varianten untereinander wurden die Investitionen jeder Variante zusammengefasst. Die jährlichen Kosten der einzelnen Varianten im 1.Jahr wurden anhand der verschiedenen Kostenanteile gegenübergestellt.

Es gab keine signifikanten Unterschiede der Varianten. Es wird jedoch empfohlen, Variante 1 umzusetzen. Diese Variante beruht auf der Fortführung der bisherigen Netz- und Erzeugerstruktur wie die jetzige Fernwärmeversorgung und trägt das geringste unternehmerische Risiko.

## 5 BHKW-Einsatz

Auf Grundlage der jetzigen und der zukünftigen Fernwärmeversorgung (Variante 1) wurden Optimierungen erarbeitet. Dabei wurde der BHKW-Einsatz genauer überprüft. Das BHKW soll eine hohe jährliche Laufzeit (Betriebsstunden) erreichen und wärmegeführt betrieben werden (Abbildung 3).

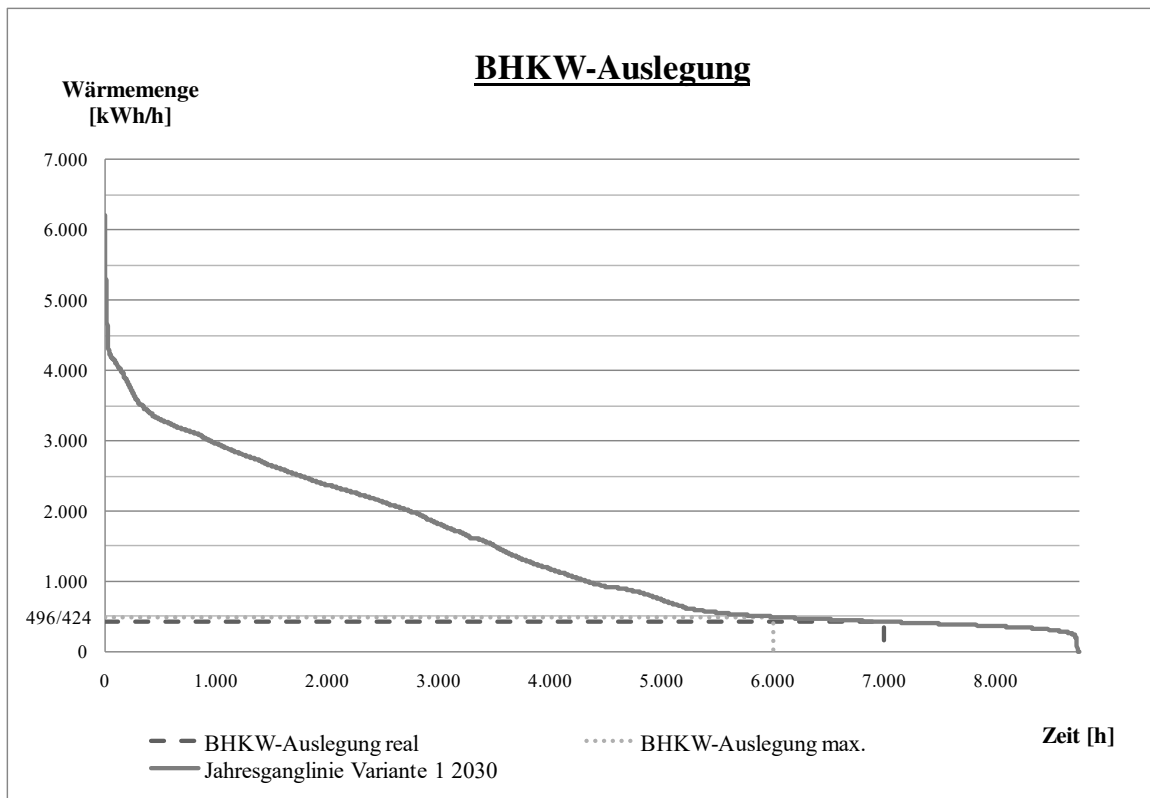


Abbildung 3: BHKW-Auslegung

Es wurden Angebote von Herstellern eingeholt und damit eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Dabei wurde von einer Kaskadierung mit mehreren BHKW-Modulen ausgegangen.

Positive Folgen:

- Die Schalthäufigkeit der bestehenden Kessel verringert sich.
- Der Gesamtwirkungsgrad der Fernwärmeerzeugung verbessert sich.
- Der wärmegeführte Betrieb der BHKWs kompensiert kommende Schwachlastprobleme im Sommer.

Das BHKW ist nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht sehr zu empfehlen. Die Stadtwerke Hettstedt würden damit auch einen Beitrag zur Umsetzung der nationalen und europäischen Klimaziele leisten.



# **Automatisierungstechnik / Informatik**

## **Sitzungsleiter:**

Prof. Dr. A. Fischer (FH Brandenburg)

Dr. K. Meißner (IAI GmbH)

Prof. Dr. W. Honekamp (HS Zittau/Görlitz)



# Erkennung von Instrumenten aus Musikaufnahmen mit Verfahren des maschinellen Lernens

Dipl. Informatiker (FH) Matthias Kahl, Telefon: ++49 151 52515497, E Mail: mat.kahl@gmail.com; Prof. Dr. rer. nat. Martin Golz; Fachhochschule Schmalkalden.

**Abstract:** In dieser Arbeit wird ein System zur Erkennung von Musikinstrumenten in polyphonen und multitimbralen Musikaufnahmen mittels Verfahren des maschinellen Lernens vorgestellt. Bezogen wurde sich dabei auf Soloparteaufnahmen und multitimbrale Aufnahmen, bei denen ein Instrument signifikant vordergründiger zu hören ist als die restlichen, hintergründigen Instrumente. Die Aufnahmen stammen dabei überwiegend aus typischer, kommerzieller Musik. Der Begriff polyphon besagt in diesem Kontext, dass auch Aufnahmen berücksichtigt wurden, bei denen zur gleichen Zeit mehrere Töne (z.B. Akkord) gespielt wurden. Multitimbral besagt in diesem Fall, dass auch Aufnahmen berücksichtigt wurden, bei denen mehrere Klangfarben (Instrumente) gleichzeitig gespielt wurden.

**Keywords:** Instrumenterkennung, Musik, Instrument, machine learning

## 1 Motivation

Die Erkennung von Musikinstrumenten gestaltet sich für einen geübten Hörer als relativ unproblematisch, jedoch auch nicht fehlerfrei, wie eine Untersuchung von [Jor07] zeigt. Hier erreichen Berufs- und Hobbymusiker eine durchschnittliche Erkennungsleistung von 58% bei der Zuordnung eines gehörten Instrumentes zu 12 Instrumentenklassen. Eine automatisierte Erkennung mit einem EDV-System gestaltet sich hingegen sehr komplex und aufwendig und gehört zum Forschungsgegenstand des *Music Information Retrieval (MIR)*. Da ein Musikgenre zu einem großen Teil durch die Instrumentierung bestimmt wird, trägt die automatisierte Erkennung von Musikinstrumenten zudem wesentlich zur automatisierten Genreerkennung bei. Solche Erkennungssysteme können bspw. in tragbaren Mediaplayern eine Suche nach Musikstücken mit einem bestimmten Instrument oder einem bestimmten Genre ermöglichen.

## Erkennungssystem

Das Erkennungssystem arbeitet nach dem klassischen Prinzip des maschinellen Lernens. Hierzu wurde das Erkennungssystem mit bereits existierenden Instrumentenaufnahmen trainiert. Diese Aufnahmen stammen überwiegend aus gewöhnlicher kommerzieller Musik, aber auch Aufnahmen aus der Arbeit von [Loo07] wurden hinzugezogen. Für das Training wurden Aufnahmen aus verschiedenen Genren und Stilen mit einer Erweiterung des Erkennungssystem für Noteneinsätze von [WZ09] segmentiert und die

resultierenden Noten dem entsprechenden Instrument nach gekennzeichnet. Im Anschluss daran wurde mittels der Merkmalsextraktion der Merkmalsraum zusammengestellt. Durch die Merkmalsextraktion wurden den segmentierten Noten (Observationen) sogenannte Merkmalsausprägungen zugeordnet welche die Aufnahme repräsentieren. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 1 nocheinmal grafisch dargestellt.

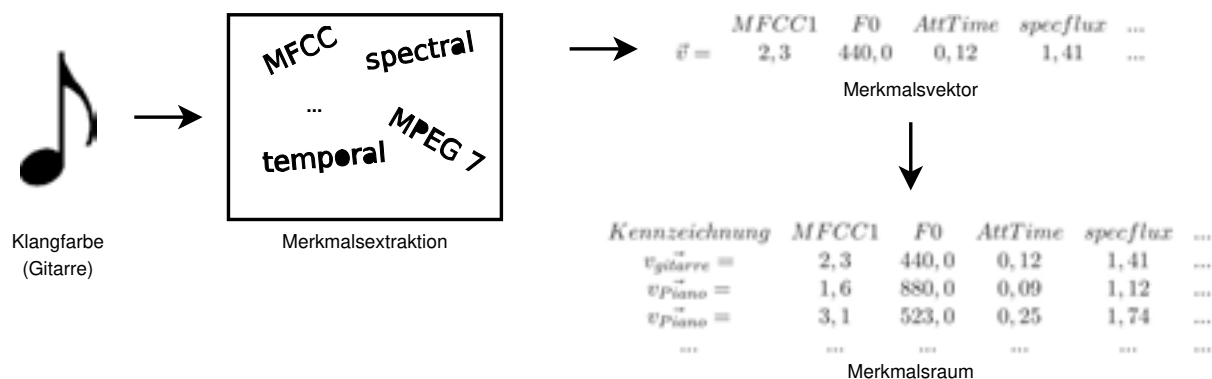


Abbildung 1: Merkmalsextraktion: Die Klangfarbe, in diesem Fall eines Gitarrensamples wird der Merkmalsextraktion unterzogen. Dies ergibt einen Vektor  $\vec{v}$ , dessen Elemente den Merkmalsausprägungen der jeweiligen Merkmale entspricht. Dieser Vektor wird dem Merkmalsraum mit der entsprechenden Klassen-Kennzeichnung hinzugefügt und stellt nun einen Klassenrepräsentanten dar.

Mittels einer Hauptkomponentenanalyse wurde eine Dimensionsreduktion und mit einer linearen Diskrimanzanalyse eine Merkmalsraumtransformation zur besseren Separierbarkeit durchgeführt. Anhand dieses dimensionsreduzierten Merkmalsraumes konnte der eingesetzte Klassifikator, die *Support Vector Machines*, in hinreichend kurzer Zeit trainiert werden. Als Ergebnis des Trainings ergab sich das sogenannte trainierte Modell des Erkennungssystems, anhand dessen der Klassifikator seine Entscheidungen treffen konnte. In Abbildung 2 ist der Versuchsablauf noch einmal schematisch dargestellt.

## Diskriminierende Merkmale

Die verwendeten Audiomerkmale setzen sich aus einer Auswahl der Mpeg7 Audiobeschreibungsmerkmale, weiteren, im *MIR* etablierten temporalen und spektralen Merkmalen sowie den *MFC* Koeffizienten zusammen. Darüber hinaus wurden diverse neue bzw. Variationen bereits existierender, auf den Obertönen basierende Merkmale entworfen, die in [Kah10] näher erläutert sind. Im Folgenden sind auszugsweise zwei dieser Merkmale kurz beschrieben.

**Energiedistanz der Obertöne zur Grundfrequenz** Durch verschiedene Bauweisen, Klangerzeugungsprinzipien und Lage der Formanten prägen sich verschiedene Energieverteilungen auf die Obertöne aus. Diesem Umstand nach lässt sich für jeden Oberton  $h$  mit



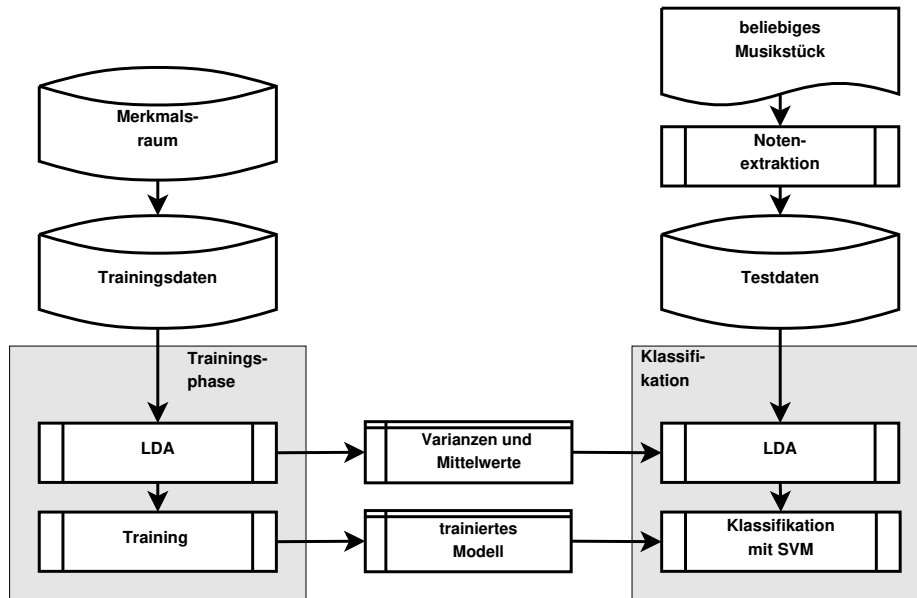


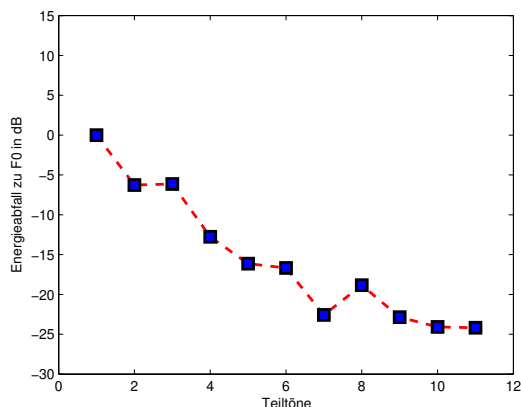
Abbildung 2: Erkennungssystem für Instrumente aus realen Aufnahmen

$$EHF0_h = \frac{e(h)}{e(F_0)}$$

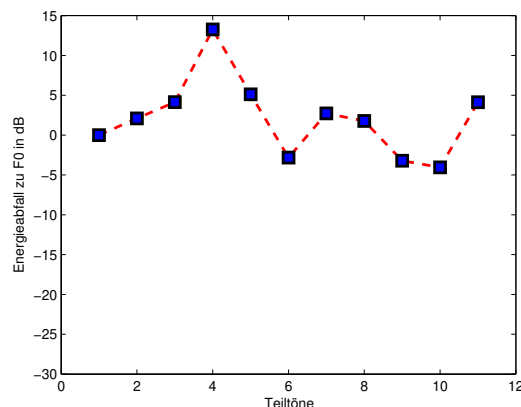
das Energieverhältnis  $EHF0_h$  zur Grundfrequenz errechnen, wenn  $e(h)$  der Energie des Obertons und  $e(F_0)$  der Energie der Grundfrequenz entspricht. In den Abbildungen 3(a) und 3(b) sind die unterschiedlichen Energieausprägungen der Obertöne von Beispielaufnahmen eines Saxophons und einer Trompete gegenübergestellt. Es ist deutlich die Dominanz der ersten Obertöne der Trompete zu erkennen, die im starken Kontrast zum deutlichen Energieabfall der Obertöne beim Saxophon steht.

**Flachheit der Obertöne** Bei der spektralen Untersuchung von Gitarrenaufnahmen konnten obertonunabhängige Amplitudenmodulationen beobachtet werden. Diese Modulationen treten in Form von Wellen über die Energiekurve eines einzelnen Obertons auf. Da dies nur bei der Gitarre und ggf. auch bei weiteren Saiteninstrumenten auftritt, lässt sich dieser Sachverhalt somit als weiteres Unterscheidungsmerkmal verwenden. Um die Ausprägung dieser Wellen auf der Obertonhüllkurve in ein Maß zu fassen, wird eine Flachheitsmessung über jeden dieser Obertöne durchgeführt. Somit ergibt sich für jeden Oberton  $H_n$  und über alle  $N$  Abtastwerte ein sich nach folgender Formel errechnender Flachheitswert:

$$FL_h = \frac{M_{ge}(E_h)}{M_{ar}} = \frac{\sqrt[N]{\prod_{n=1}^N e_h(n)}}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N e_h(n)}$$



(a) Teiltöne eines Saxophons



(b) Teiltöne einer Trompete

Abbildung 3: Energieverteilungen der Obertöne zur Grundfrequenz

wobei  $M_{ge}$  dem geometrischen und  $M_{ar}$  dem arithmetischen Mittel der Energiehüllkurve  $e_h$  des jeweiligen Obertons  $H_n$  entspricht.

## Experimente

Die Klassifikation wurde anhand völlig unbekannter Aufnahmen evaluiert. Unbekannt bedeutet in diesem Fall, dass in der Testmenge keine Aufnahmen aus einem Musikstück, einem Album oder einem Interpreten aus der Trainingsmenge verwendet wurde, was in [Kah10] als hartes Variationskriterium eingeführt wurde. Die Instrumentierung dieser Aufnahmen war jedoch, um die Ergebnisse vergleichen zu können, bekannt. Als Klassifikator kam die *Support Vector Machines* zum Einsatz. Die Validierung fand über sechs verbreitete westliche Instrumente (Flöte, Piano, Gitarre, Saxophon, Trompete und Violine) statt. Dabei ergaben sich unterschiedliche Erkennungsleistungen für die Instrumente, wie anhand Tabelle 1 in einer Konfusionsmatrix erkennbar ist.

<i>Instr.</i> \ <i>Annahme</i>	Flöte	Gitarre	Piano	Saxophon	Trompete	Violine
<i>Flöte</i>	48.59 %	0.93 %	20.56 %	1.86 %	0.93 %	27.10 %
<i>Gitarre</i>	1.19 %	76.04 %	5.98 %	8.38 %	2.39 %	5.98 %
<i>Piano</i>	7.85 %	24.28 %	45.00 %	7.14 %	2.14 %	13.57 %
<i>Saxophon</i>	2.65 %	42.92 %	5.75 %	32.30 %	6.63 %	9.73 %
<i>Trompete</i>	-	18.42 %	5.26 %	24.56 %	47.36 %	4.38 %
<i>Violine</i>	3.77 %	13.20 %	6.79 %	6.79 %	1.50 %	67.92 %

Tabelle 1: Konfusionsmatrix für die Erkennung von Instrumenten aus realer Musik mit hartem Variationskriterium und SVM vgl.[Kah10]

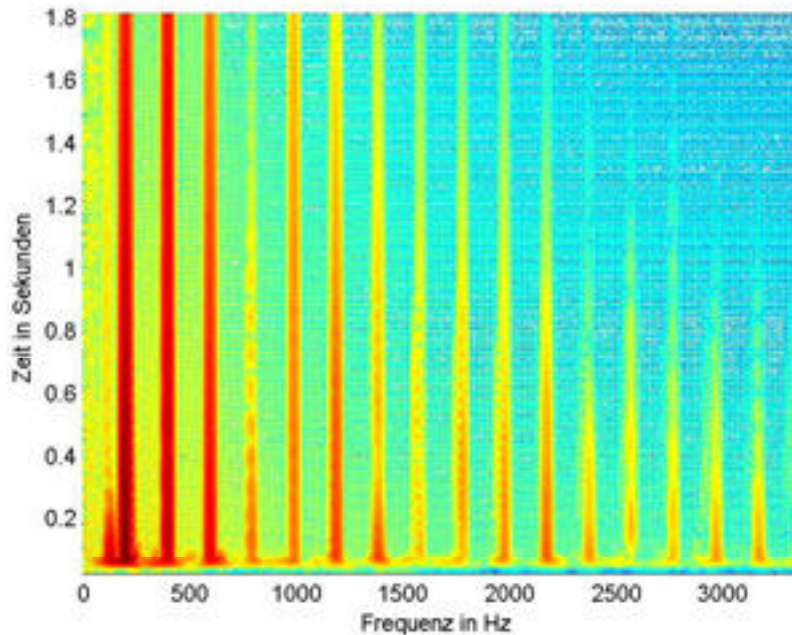


Abbildung 4: verschiedene Amplitudenmodulationen in den Obertönen

Die Konfusionsmatrix zeigt eine hohe Erkennungsleistung für die Gitarre und Violine. Die gute Erkennungsleistung der Gitarre liegt vermutlich in ihrer hohen spektralen Präsenz begründet, welche wohl in dieser Auswahl der Instrumente ein Alleinstellungsmerkmal darstellt. Das Saxophon hingegen lässt sich mit diesem System nicht hinreichend erkennen, da es zu einem größeren Teil als Gitarre identifiziert wurde. Im Durchschnitt ergibt sich eine Erkennungsleistung von 53,87% für eine Notenzeise Erkennung innerhalb eines Soloparts bzw. Abschnitten in einem Musikstück, an denen ein Instrument markant ausgeprägt ist.

Da aber ein Solopart einem einzigen Instrument zugeordnet werden kann, lässt sich ein Mehrheitsentscheid über die in diesem Abschnitt klassifizierten Einzelnoten erheben. Für diese Klassifikation ergab sich eine Gesamt-Trefferquote von etwa 72,40%. Evaluiert wurden diese Ergebnisse mit einer Trainingsmenge von 12654 extrahierten Noten aus etwa 454 Musikausschnitten bzw. Soloparts. Die Testmenge bestand aus 1956 extrahierten Noten welche wiederum aus 59 Musikausschnitten respektive Soloparts extrahiert wurden.

## Schlussfolgerung und Ausblick

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Erkennungssystem für Musikinstrumente war es möglich, in Musikaufnahmen, welche überwiegend aus Soloparts bestehen, eine korrekte notenzeise Erkennung des spielenden Instrumentes mit einer Leistung von etwa 53,87% zu erreichen. Für eine Erkennung mit Mehrheitsentscheid ergibt sich eine Rate von etwa 72,40%, was dem wohl realsten Einsatzszenario entspricht.

Eine stabile bzw. robuste Erkennung lässt sich im Gegenzug zu einer Erkennung anhand vollständig isolierter Noten mit diesem System nicht durchführen[Kah10]. Jedoch stellt sich den Ergebnissen nach eine ähnliche Erkennungsleistung wie bei Berufs- und Hobbymusikern ein. In der Praxis werden jedoch die Ergebnisse sehr stark variieren, da es wie die verwendeten Instrumente viele weitere erknnungsbeeinflussende Faktoren gibt, die eine Pauschalisierung, ob Mensch oder Maschine besser in der Erkennungsleistung sind, nicht ermöglichen.

## Literatur

- [Jor07] JORDAN, ANDREAS: *Akustische Instrumentenerkennung*. Diplomarbeit, Universität für Musik und darstellende Kunst Wien, 2007.
- [Kah10] KAHL, MATTHIAS: *Klassifikation von Hauptinstrumenten aus polyphonen und multitimbralen Musikaufnahmen*. Diplomarbeit, Fachhochschule Schmalkalden, Fraunhofer IDMT, 2010.
- [Loo07] LOOS, ALEXANDER: *Erweiterung von Verfahren zur Instrumentenerkennung in Solo-Parts von Musikstücken*. Technischer Bericht, Fraunhofer Institut für digitale Medientechnik, 2007. Technische Universität Ilmenau.
- [WZ09] WAGNER, DAVID und STEFAN ZIEGLER: *Erweiterung eines Systems zur Detektion von Onsets in Musiksignalen*. Technischer Bericht, Technische Universität Ilmenau, 2009.

# **Semantic Object Recognition in Digital Images**

Falk Schmidsberger and Frieder Stolzenburg  
Hochschule Harz, Friedrichstr. 57–59  
38855 Wernigerode, GERMANY  
{fsmidsberger,fstolzenburg}@hs-harz.de

## **Abstract**

In a digital image, each object is composed of segments with different shapes and colors. In order to recognize an object, e.g. a car or a book, it is necessary to find out, which segments are typical for this object and in which neighborhood of other segments they occur. If a typical segment in a characteristic neighborhood is found, this segment is part of the object to be recognized or the object itself. Typical adjacent segments for a certain object define the whole object in the image.

Following this idea, we introduce a procedure that learns typical segment configurations for a given object class by training with example images of the desired object. A hierarchical composition of segment clusters enables model building, taking into account the spatial relations of the segments in the image. The procedure employs methods from machine learning, namely clustering and decision trees, and from computer vision, e.g. image pyramid segmentation and contour signatures.

## **1 Introduction**

Intelligent autonomous robots shall be able to identify objects in digital images, in order to navigate in their environment. To solve this task, we introduce a novel approach, combining methods from machine learning and computer vision, extending the predecessor paper [13].

To learn a new object class, a set of object images is provided for the recognition model training. Each image is split into its segments by color with image pyramid segmentation, to get suitable information for data mining. For each segment contour, a feature vector is computed that is invariant against rotation, scaling and translation. For this, we adopt three methods: polar distances, contour signatures, and ray distances. In order to reduce the number of feature vectors, a clustering method is used [3, 7] to build a cluster model. Each resulting cluster represents a set of similar feature vectors. In a second step, for all segments in one image, the segment clusters are determined with the cluster model and stored in a sample vector together with the object category of the image. This is done for all provided images. With these sample vectors, a decision tree model is trained [3, 7].

To predict an object class of an image, the image is split into its segments and, for all segments, the feature vectors are computed. With the trained cluster model and the feature vectors, the sample vector of the image is computed, and by means of the decision tree model, the object category of the image is predicted.

**Related Works.** The problem of recognizing and locating objects is very important in applications such as robotics and navigation. Therefore, there are numerous related works. The survey [5] reviews recent literature on both the 3D model building process

and techniques used to match and identify free-form objects from imagery, including recognition from 2D silhouettes. [6] describes shape surfaces by curves and patches, represented by linear primitives, such as points, lines, and planes. Results are presented for data obtained from a laser range finder. Hence, these results cannot be transferred directly to the analysis of video camera images, as done here. [9] presents an object recognition system that uses local image features, which are invariant to image scaling, translation, and rotation, and partially invariant to illumination changes and affine or 3D projection. This proposed model shares properties with the object recognition in primate vision. A nearest-neighbor indexing method is employed that identifies candidate object matches. [12] describes a model-based recognition system of planar objects based on a projectively invariant presentation of shape, using projective transformations. Index functions are used to select models from a model base, exploiting object libraries. However, for general semantic object recognition as considered here, fixed object libraries are certainly not sufficient.

## 2 The Approach

A digital image  $G$  can be represented as a two-dimensional point matrix. To extract a segment in an image each point (pixel) can be labeled. All pixels that make up a segment are given the same label [11]. The image is composed by a set of segments  $X_n$  after labeling [16], where the  $X_n$  are pairwise disjoint, forming a partition of  $G$ . Each object in a digital image is composed of a number of segments with different shapes and colors. In order to recognize an object, it is necessary to find out which segments are typical for which object and in which segment neighborhood they occur. If such a segment in a characteristic neighborhood is found, it is considered as part of the object. Typical adjacent segments for a certain object constitute the whole object in the image and allow its identification. The data mining methods clustering and decision trees are used to implement the approach. To process the segments of an image, a normalized feature vector is computed for each segment.

**Segment Feature Vectors.** The normalized feature vector  $V$  of a segment pixel set  $X$  (Fig. 1) comprises the data of three normalized distance histograms and is computed from the segment contour pixel set  $A$  (cf. Fig. 2) as  $A = \{p \mid p \in X, p \text{ is contour point of } X\}$ . A distance histogram (Fig. 3) consists of a vector, where each element contains the distance between the centroid  $s_X$  of the segment, i.e. the center of gravity, and a pixel in the segment contour or the distance between two pixels in the segment contour. These distance histograms are computed with the following three related methods: polar distance, contour signature and ray distance [1, 2, 8, 14].

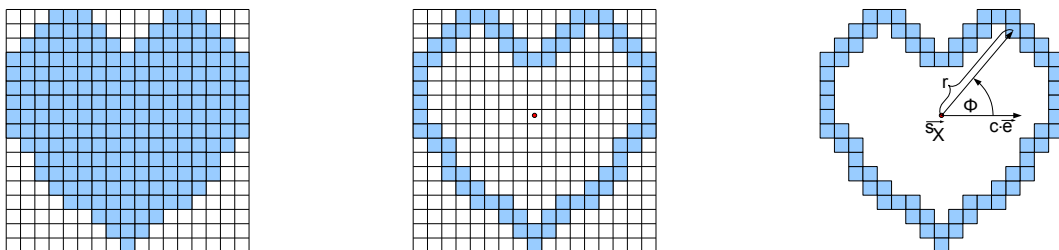


Figure 1: Segment example. Figure 2: Segment contour  $A$ . Figure 3: Polar distance  $r$ .

**Polar Distance.** Fixed angle steps of degree  $\alpha$  with  $0 < \alpha < 2\pi$ ,  $\varphi = \alpha \cdot n$  and  $n = 0, \dots, \lceil 2\pi/\alpha \rceil - 1$  are used to select individual pixels in  $A$  with the maximum distance  $r$  to the centroid  $s_X$  of the segment (see Eq. 1 and Fig. 3). For non-convex segments, if there is no pixel with the actual angle  $\varphi$ , the pixel with the angle  $\varphi + \pi$  and the minimum distance to  $s_X$  is chosen.

$$s_X = \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \end{pmatrix}, \quad x_s = \frac{1}{|X|} \sum_{i=1}^{|X|} x_i, \quad y_s = \frac{1}{|X|} \sum_{i=1}^{|X|} y_i \quad (1)$$

For  $v_p$ , the vector from the centroid to a point  $p$  on the segment contour, it holds  $v_p = s_X - p$ . The angle  $\varphi$  of a contour point  $p$  around  $s_X$  is  $\angle(v_p, e)$  with the unit vector  $e = (1 \ 0)^T$ , and thus it holds  $v_p \cdot e = |v_p| \cdot |e| \cdot \cos(\varphi_p)$ . All selected pixels  $p$  are stored in the pixel set  $B$  (Fig. 4) and the distance  $r$  of each pixel to the centroid  $s_X$  is stored in the polar distance histogram vector  $MPD$  (maximum polar distance) with a constant number of elements for each segment.

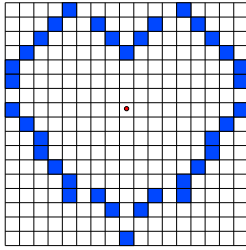


Figure 4:  $B$  with  $\alpha = \frac{\pi}{18}$ .

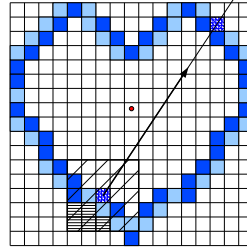


Figure 5: Contour signature.

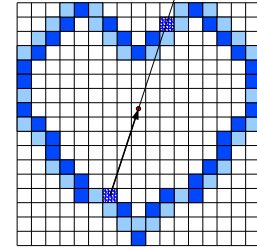


Figure 6: Ray distance.

**Contour Signature.** In the contour signature histogram vector,  $MCD$  (maximum contour distance), the distance  $d_{N_p}$  of each pixel in  $B$  to the corresponding opposite pixel in  $A$  is stored. In this case, the straight line between the two pixels has to have a  $90^\circ$  angle to the tangent through the actual pixel in  $B$  (cf. Fig. 5). The direction vector  $v_{CN}$  to the corresponding opposite pixel is approximated by the 24-neighborhood of the actual pixel  $p$  (Eq. 2, with  $n = 1$  for the 24-neighborhood). This means, we consider a square of  $5 \times 5$  pixels with  $p$  as midpoint. The corresponding opposite pixel  $a \in A$  is the pixel with greatest distance to  $p$  on  $v_{CN}$ .  $MCD$  has the same cardinality as  $MPD$ .

$$v_{CN} = \sum_{x_q=x_p-1-n}^{x_p+1+n} \sum_{y_q=y_p-1-n}^{y_p+1+n} \begin{cases} p - \begin{pmatrix} x_q \\ y_q \end{pmatrix} & \forall n, q : q \notin X, n \in \mathbb{N} \text{ (fix)} \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

**Ray Distance.** In the ray distance histogram, the distance  $d_{C_p}$  of each Pixel in  $B$  to the corresponding pixel in  $A$  is stored as in Fig. 6. Here, the centroid  $s_X$  is on the straight line between the two pixels and the result is a distance histogram vector  $MCCD$  (maximum center contour distance) with the same cardinality as  $MPD$ .

**Feature Vector Normalization.** In most cases, the distance histograms have different values even for the same segment, when this is rotated or resized (Fig. 7). To get a normalized segment feature vector, each distance histogram has to be normalized. At first, the rotation is normalized by smoothing the feature vector with a Gaussian filter and shifting the distance values of the vector, so that the angle with the maximum value and the maximum angle difference to the next angle with the maximum value is the first element in the feature vector (Fig. 8). In a second step, the values itself are normalized to  $[0.0, 1.0]$ , by dividing all distance values by the respective maximum distance value (Fig. 9). After the normalization, all three distance vectors are joined to the new feature vector  $V$  of the segment which is invariant against translation, rotation and resizing.

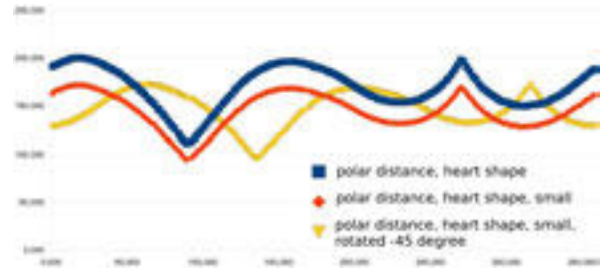


Figure 7: Polar distances of three heart shapes.

**Clustering.** In order to reduce the number of feature vectors, a clustering algorithm is used to build a cluster model [3, 7]. Each resulting cluster represents a set of similar feature vectors, identified by its respective centroid. Fig. 10 (upper half) shows the centroid of one cluster of histograms for the three methods and their polar representations

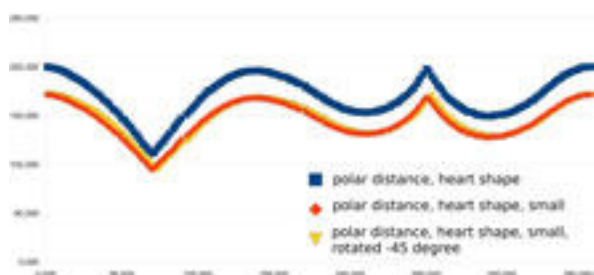


Figure 8: Polar distances with normalized rotation.

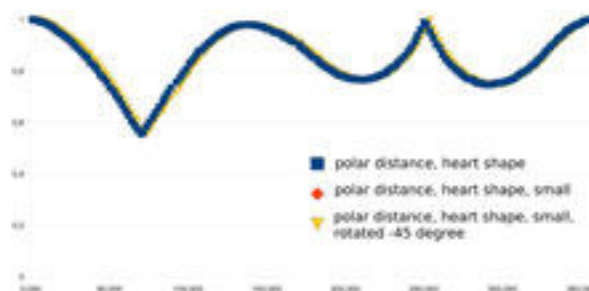


Figure 9: Polar distance, normalized rotation and values.

(lower half) for the running example (cf. Fig. 1), where all distance lines are drawn in polar representation, i.e. around a center point. Fig. 11 shows a trained cluster model. Fig. 10 is one cluster in it, namely the last one. The size of the circle in each sub-diagram gives a measure for the variance of the histograms in the respective cluster. The background color indicates the number of vectors forming this cluster. The cluster model can now be used to decide the cluster affiliation for a new given feature vector.

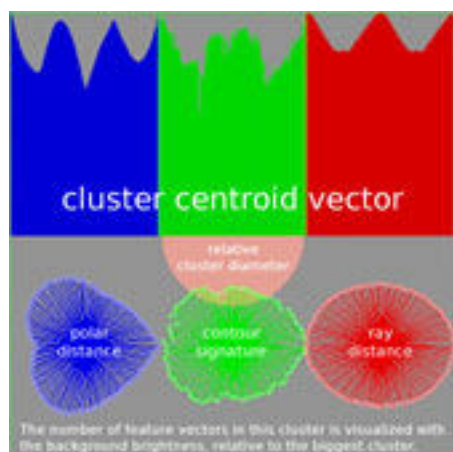


Figure 10: Cluster visualization.

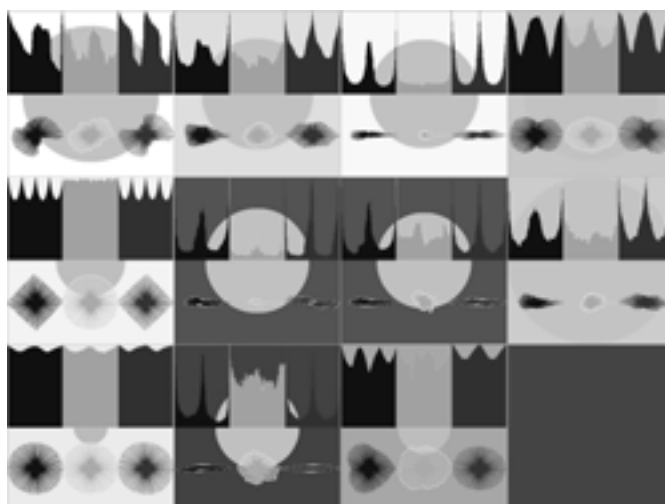


Figure 11: Cluster model visualization (11 clusters).

**Decision Trees.** For all segments in one image, the cluster numbers for each segment are computed and stored in a sample vector together with the object category of the image. This is done for all training images. With this sample vectors, a decision tree model is trained [3, 7]. Finally, the trained decision tree model is used to decide which object is described by the given sample vector.

**Implementation.** The presented algorithms were implemented in the programming language C++ using the OpenCV library [10]. To get the segments of the digital images, an image pyramid segmentation algorithm in OpenCV is employed [4]. The clustering of the feature vectors is done with OpenCV and the cluster model building has been implemented additionally. The OpenCV decision tree model implementation was used to learn the object classification with the sample vectors.

### 3 Application

**The Semantic Robot Vision Challenge.** The implemented algorithms were tested in a challenging field of application. In the Semantic Robot Vision Challenge 2009 [15], a robot had 2 hours to find image examples on the Internet and to learn visual models for 20 objects, given as a text list. After that, the objects have to be identified in the indoor environment within 30 minutes without an Internet connection (45 images



were provided in the software league). During the challenge, one image was classified correctly, 14 images were falsely classified and for the remaining 30 images no category was found. On 9 images was no classifiable object. In detail, the procedure and implementation is described in [13].

**Image Datasets.** To test and improve the implemented algorithms in a controlled environment, they were used to classify images from the butterfly image dataset (Fig. 12) [17]. Compared to the implementation above, the image preprocessing is improved. Smoothed distance histograms and a clustering algorithm with an automatically adapted cluster count for each image category result in cluster models with less but more precise clusters. One decision tree model for each image category is trained with one sample vector for each image structured as follows: The first  $k$  entries contain the number of found segments associated to the respective cluster and the entry  $k + 1$  is the given category identifier of the image.

To evaluate the implementation, the image dataset with two categories is segmented in a training set and a test set of images. The models are only trained with the images from the training set. The trained models are used to predict the right category for a given image, with a success rate of 94.44 % if the image is from the training set and a success rate of 60.00 % if the image is from the test set.



Figure 12: Butterfly image dataset example.



Figure 13: Visualization of a segment tree.

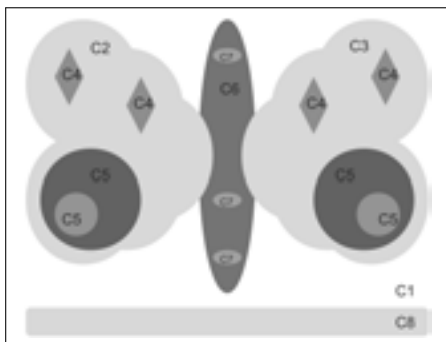


Figure 14: Segment cluster assignments.

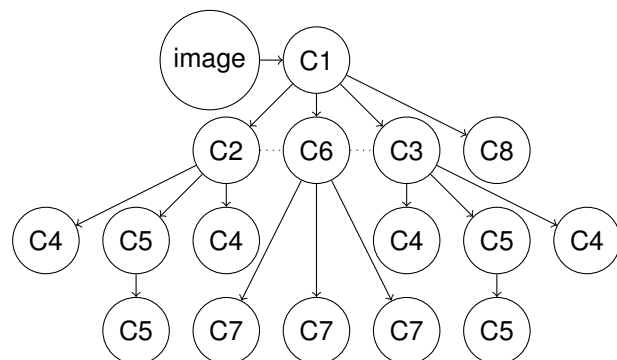


Figure 15: Segment Cluster Tree.

One idea to get better object recognition rates is using spatial relations between segments in the image. For this, we extended our approach using different kinds of views onto the segments by sorting the segment clusters in a hierarchy tree. Each node in the tree represents a specific segment cluster. The root node represents the image itself. A child node represents a segment which is immediate part of the segment of the upper level (cf. Fig. 14 and 15). Nodes on the same level are marked as neighbors by dotted lines, if the corresponding segments in the image are connected. Fig. 13 shows the visualization of the segment tree computed from the original image (Fig. 12). Different colors mean different levels in the segment hierarchy.

We can now extract 4 different types of sample vectors from the data: The first one contains all paths from a leaf node to the root, the second one all child nodes of a node one level above, the third one all nodes marked together as neighbors, and the fourth one all child nodes of all nodes in the tree. These five different sample vector types are used to train five decision tree models, which are combined to predict the right object category. The success rate is 100.00 % if the image is from the training set and 67.50 % if the image is from the test set.

## 4 Future Work

Our first results are encouraging, but in the future, the implementation of our approach will be improved further to become faster with an increased object recognition success rate. For this, a distributed implementation seems to be promising. Using more spatial relations of the segments for a more accurate decision tree model and using another decision tree techniques like AdaBoost is also desirable. The final goal of the project is to implement the approach as a real-time object recognition system feasible for autonomous multi-copters, i.e. flying robots with several propellers.

## References

- [1] E. Alegre, R. Alaiz-Rodríguez, J. Barreiro, and J. Ruiz. Use of contour signatures and classification methods to optimize the tool life in metal machining. *Estonian Journal of Engineering*, 1:3–12, 2009.
- [2] H. Bässmann and J. Kreyss. *Bildverarbeitung Ad Oculos*. Springer, 4th edition, 2004.
- [3] M. J. A. Berry and G. Linoff. *Data Mining: Techniques For Marketing, Sales, and Customer Support*. John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [4] G. Bradski and A. Kaehler. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly Media Inc., 2008.
- [5] R. J. Campbell and P. J. Flynn. A survey of free-form object representation and recognition techniques. *Computer Vision and Image Understanding*, 81(2):166 – 210, 2001.
- [6] O. Faugeras and M. Hebert. The representation, recognition, and locating of 3-D objects. *The International Journal of Robotics Research*, 5(3):27–52, 1986.
- [7] J. Han and M. Kamber. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufman Publishers, 2nd edition, 2006.
- [8] B. Jähne. *Digital Image Processing*. Springer, 6th revised and extended edition, 2005.
- [9] D. G. Lowe. Object recognition from local scale-invariant features. *Computer Vision, IEEE International Conference on*, 2:1150, 1999.
- [10] OpenCV (open source computer vision) library. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>, 2010.
- [11] M. Petrou and P. Bosdogianni. *Image Processing. The Fundamentals*. John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [12] C. A. Rothwell, A. Zisserman, D. A. Forsyth, and J. L. Mundy. Planar object recognition using projective shape representation. *International Journal of Computer Vision*, 16:57–99, 1995.
- [13] F. Schmidsberger and F. Stolzenburg. Semantic object recognition using clustering and decision trees. In J. Filipe and A. Fred, editors, *Proceedings of 3rd International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, volume 1, pages 670–673, Rome, Italy, 2011.
- [14] F. Shuang. Shape representation and retrieval using distance histograms. Technical report, Dept. of Computing Science, University of Alberta, 2001.
- [15] Semantic robot vision challenge. <http://www.semantic-robot-vision-challenge.org>, nov 2009.
- [16] J. Steinmüller. *Bildanalyse. Von der Bildverarbeitung zur räumlichen Interpretation von Bildern*. Springer, 2008.
- [17] C. S. Svetlana Lazebnik and J. Ponce. Semi-local affine parts for object recognition. In *Proceedings of the British Machine Vision Conference*, volume 2, pages 959–968, 2004.

# **Beschleunigung der Musterklassifikation in einem Bildverarbeitungssystem durch Einsatz von Grafikprozessoren**

Dipl. Informatiker (FH) Christian Zöllner, E-Mail: christian.zoellner@zoep.de; Dr.-Ing. David Sommer; Prof. Dr. rer. nat. Martin Golz; Fachhochschule Schmalkalden. Florian Haug; Robert Bosch GmbH.

## **Abstract**

Die vorliegende Arbeit wurde durch das bei der Robert Bosch GmbH ausgeschriebene Abschlussarbeitsthema *Optimierung von (K-) NN-Anfragen auf der GPU* initiiert. Es soll hierbei das Klassifikationsverfahren k-Nearest Neighbors durch hochparallele Algorithmen unter Verwendung mindestens eines Grafikprozessors beschleunigt werden. Diese Lösung soll mit Hilfe der NVIDIA Compute Unified Device Architecture, kurz CUDA, implementiert werden. Ein abschließender Performancevergleich dieser und einer vorhandenen, CPU-basierenden C++ Umsetzung soll die Leistungsfähigkeit beider Ansätze gegenüberstellen.

**Keywords:** Pattern Recognition, Mustererkennung, Maschinensehen, Bildverarbeitung, k-Nearest Neighbors Klassifikation, SIFT, CUDA, Grafikkarte, Streaming Multiprozessor, General-Purpose Computation on Graphics Processing Unit (GPGPU)

## **1 Motivation**

In einem fortgeschrittenen Projekt in einer Forschungsabteilung der Robert Bosch GmbH galt es, zwei Bestandteile einer bestehenden Mustererkennungskette innerhalb des Bereichs Maschinensehen durch den Einsatz von Grafikhardware zu beschleunigen.

Das betrifft zum einen die Merkmalsextraktion so genannter SIFT-Merkmale. Dies sind lokale Bildmerkmale in Abbildungen, die eine hohe Invarianz gegenüber Koordinatentransformationen wie Translation, Skalierung oder Rotation aufweisen und in [Low99] vorgestellt wurden. Durch die darüber hinaus vorhandene hohe Robustheit gegenüber abweichender Beleuchtung, Bildrauschen sowie in geringem Maße Transformationen höherer Ordnung weist dieses Verfahren eine hohe Relevanz bei Anwendungen im Bereich der Bilderkennung auf.

Zum anderen wurde mit der Merkmalsklassifikation ein weiterer zeitaufwändiger Bestandteil der vorhandenen Mustererkennungskette identifiziert. Durch eine Beschleunigung ist eine erhöhte Verarbeitungsgeschwindigkeit der angelagerten Prozesse denkbar oder auch eine gesteigerte Klassifikationsrate durch die Nutzung freiwerdender Hardwareressourcen für rechenintensivere Algorithmen.

Darüber hinaus ist eine Beschleunigung durch kostengünstige Standard-Grafikhardware möglich, deren Eignung untersucht werden soll. Hierbei stellt die Parallelisierung von Teilaufgaben ein übliches Vorgehen zur Beschleunigung dar, die unter bestimmten Rahmenbedingungen eine sehr hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht.

Zur Beschleunigung der benannten zwei Teilschritte der Mustererkennungskette soll die Architektur CUDA des Unternehmens NVIDIA genutzt werden. In einem ersten Schritt soll dabei die vorhandene SIFT-CUDA Lösung in ein C++ Framework des Forschungsprojektes integriert werden.

In dem für diese Arbeit bedeutenderen zweiten Teil soll das k-Nearest Neighbors Verfahren in CUDA innerhalb des Projektframeworks implementiert werden. Hierzu wurden verschiedene Konzepte eines k-Nearest Neighbors Verfahrens entwickelt, auf der Grafikhardware implementiert und mit einer Fremdlösung sowie einer CPU-Referenzlösung gegenüber gestellt.

Ein Leistungsvergleich all dieser Ansätze wurde zur Ermittlung des geeignetsten k-Nearest Neighbors Verfahrens angestrengt. Abschließend wird in einer Untersuchung zur Energieeffizienz aller vorgestellten Lösungen die Energiebilanz in Hinblick auf den Einsatz zusätzlicher Grafikhardware besprochen.

## 2 Hardwarebeschleunigung durch GPGPU – die CUDA Architektur

Die Compute Unified Device Architecture, entwickelt von dem Unternehmen NVIDIA, stellt nach [Nvi09] eine Architektur zur parallelen Berechnung geeigneter Probleme dar. Dies sind für gewöhnlich Daten-parallele Probleme, deren Lösungsalgorithmen eine hohe arithmetische Dichte aufweisen. Hierbei wird eine kompatible GPU durch CUDA als Co-Prozessor verwendet. Die Verwendung von NVIDIA CUDA ist auf Grafikhardware dieses Herstellers limitiert.

Zur hochparallelen Datenverarbeitung folgt CUDA der SIMT-Architektur (Single-Instruction, Multiple-Thread). Eine skalierbare Anzahl an Streaming Multiprozessoren (SM) wendet dabei die identische Funktion auf verschiedene Daten-Teilmengen an. Zur hardwareseitigen Umsetzung dieses Vorgehens sind bedeutend weniger Kontrollstrukturen auf der Prozessorfläche nötig. Neben weiteren Limitierungen beschränken vornehmlich die sehr kleinen lokalen Caches der SMs sowie der begrenzt effiziente Speichertransfer zwischen Grafikhardware und Mainboard die Menge an möglichen Anwendungsfällen dieses Hardwaremodells gegenüber der Verwendung konventioneller CPUs.

Funktionen innerhalb der CUDA-Architektur werden als Kernel bezeichnet, Instanzen eines Kernels als Thread. Jeder einzelne Thread stellt die Ausführung eines Kernels in Hinsicht der Daten-Teilmengen in diesem Daten-parallelen Konstrukt dar. Threads werden in definierter Weise zur effizienten Ausführung zu Blöcken zusammengefasst. Blöcke wiederum in Grids zusammengeführt.

Thread Blöcke kommen auf Streaming Multiprozessoren zur Ausführung. Dabei werden seriell jeweils ein Block von einer SM verarbeitet. Die Threads eines Blocks werden auf der verwendeten Hardware jeweils durch 8 Streamprozessoren pro SM ausgeführt. Hierbei können die Threads eines Blocks verschiedener Ausführungspfade, wie sie bspw. durch if-Statements oder Schleifenkonstrukte auftreten können, aufweisen. Da jedoch nur die Threads *eines* verzweigten Ausführungspfad parallel ausgeführt werden können, müssen alle übrigen Threads eines Thread Blocks anderer Ausführungspfade pausiert werden, bis nach wechselseitigen Ausführungen alle Threads erneut dem gleichen Pfad folgen.

### **3 Testaufbau**

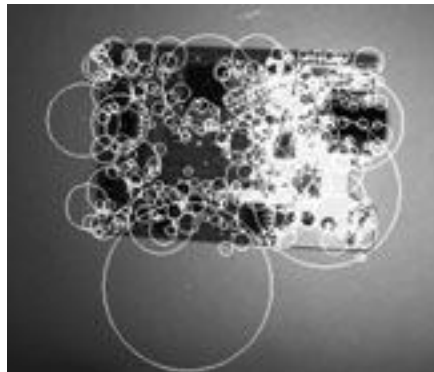
Für alle Messungen wurde ein Hostsystem mit einer Intel Core 2 Quad Q9450 Standard-CPU mit 2,66 GHz eingesetzt. In diesem System wurden 4 GiB DDR2 Arbeitsspeicher installiert. Es wurde Windows XP Professional 32 Bit als Betriebssystem eingesetzt. Dadurch waren effektiv 3584 MiB DDR2 Arbeitsspeicher nutzbar.

Als Grafikkhardware wurde eine NVIDIA GeForce GTX 260 mit 27 Streaming Multiprozessoren mit je 8 Streamprozessoren verwendet. Der GPU-Takt betrug dabei 1242 MHz und wurde nicht modifiziert. Die Grafikkarte verfügte über 896 MiB Grafikkartenspeicher, unverändert getaktet mit 1998 MHz.

## **4 GPGPU Hardwarebeschleunigung der Mustererkennungskette**

### **4.1 SIFT – Merkmalsextraktion**

Die Beschleunigung des eingangs beschriebenen SIFT-Verfahrens wurde mittels der Integration des SiftGPU-Algorithmus von [Wu07] in das bestehende Projektframework umgesetzt. Dieser Algorithmus beschleunigt die SIFT-Merkmalsextraktion durch die Verlagerung wesentlicher Algorithmenschritte auf die GPU.



**Abbildung 1:** *Typisches PAL-Grauwerteingabebild mit SIFT-Merkmalspunkte-Overlay eines Testobjektes.*

Hierbei konnte in [Zoe10] gegenüber der zuvor verwendeten, reinen CPU gestützten SIFT-Merkmalsextraktion ein Geschwindigkeitsgewinn etwa um den Faktor 40 erreicht werden. Die erzielten Ergebnisse beider Lösungen sind qualitativ identisch.

### **4.2 k-Nearest Neighbors – Verfahren**

Dieses Verfahren findet aufgrund der einfachen Implementierung und zugleich zumeist akzeptablen Ergebnisse hohe Relevanz auf dem Gebiet der Musterklassifikation.

Im Kern wird gegenüber einem Anfragepunkt  $x$  durch einen Mehrheitsentscheid über die Label der  $k$  nächsten Punkte zu  $x$  aus einer Trainingsmenge dieser Punkt  $x$  klassifiziert. Als Metrik wird in dem bestehenden Forschungsprojekt ausschließlich die Euklidische Distanz verwendet. Diese besitzt im vorliegenden Fall einen hohen Rechenaufwand, da die SIFT-Merkmalsextraktion Features mit 128 Dimensionen er-

zeugt und zugleich von typischen Trainingsmengen bestehend aus mehreren zehntausend Merkmalsvektoren auszugehen ist. Daneben muss die Distanz jeweils zwischen einem jeden dieser Merkmalsvektoren und denen der Testmenge eines jeden SIFT-verarbeiteten PAL-Grauwertbildes berechnet und verglichen werden. Aufgrund der hohen Dimensionalität dieser Merkmalsvektoren sind durch spärlich besetzte Merkmalsräume raumpartitionierende Verfahren weder trivial anwendbar noch mit vertretbarem Aufwand auf der Grafikhardware implementierbar.

Gegenüber einer bestehenden SSE-optimierten CPU-Referenzimplementierung konnten die erarbeiteten Lösungen, näher erläutert in [Zoe10], die Klassifikation in Abhängigkeit des verwendeten Datenumfanges teils erheblich bis zu einem Faktor neun beschleunigen.

## 5 GPU-Implementierungen des k-Nearest Neighbors – Verfahrens

Es wurden zwei Ansätze entwickelt, um die k-Nearest Neighbors durch eine GPU zu berechnen. Im ersten Ansatz werden die verfahrenstypischen Schritte der Distanzberechnung und der k-nächste-Nachbarn-Ermittlung getrennt nacheinander durch zwei unterschiedliche Kernel realisiert. Für den zweiten Schritt, der k-Nearest Neighbors Ermittlung, werden die GPU-Sortieralgorithmen Bitonic aus [Chr], Radix von [Sa+09], die GPU-Portierung einer Eigenentwicklung aus [Zoe10] sowie die CPU-Sortieralgorithmen Quicksort von [Jau04] und die Referenz der eigenentwickelten Sortierung aus [Zoe10] gegenübergestellt.

In einem zweiten Ansatz wurde ein Kernel entwickelt, der sowohl die Distanzberechnungen eines Merkmalsvektors aus der Testmenge gegenüber allen Merkmalsvektoren der Testmenge ausführt, als auch die k-Nearest Neighbors daraus ermittelt.

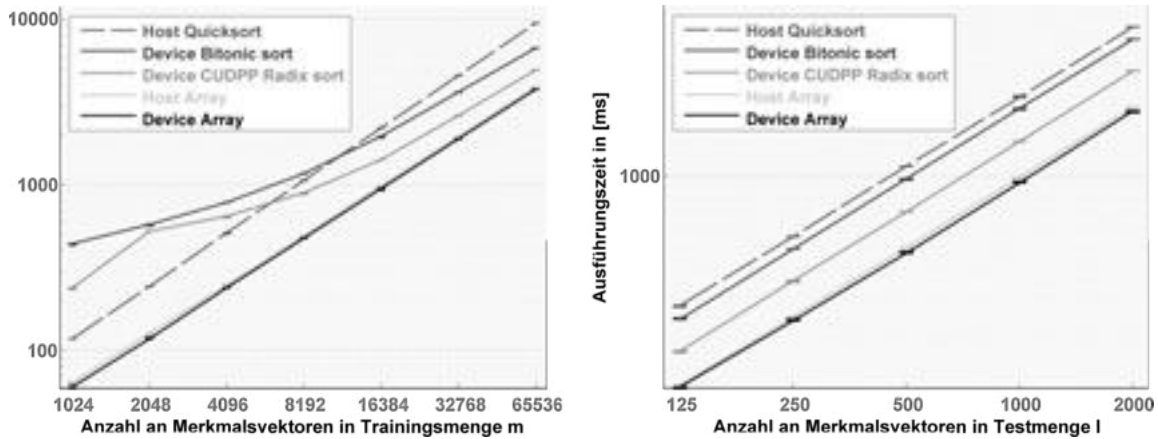
Die eigenen Lösungen wurden mit einer Fremdimplementierung aus [Gar08], [Ga+08] und [Gar10] verglichen, die maßgeblich die mit dem CUDA Entwickler-Toolkit ausgelieferte CUBLAS-Bibliothek nutzt.

## 6 Ergebnisse und Zusammenfassung

Alle nachfolgend visualisierten Messungen der erfolgversprechendsten Ansätze aus [Zoe10] basieren auf Variationen der Größen Trainings- und Testmenge und sind in doppelt logarithmischen Diagrammen dargestellt. Dabei werden jeweils zwei Diagramme abgebildet. Das jeweils linke Diagramm der Abbildungen 2 und 3 zeigt das Algorithmenlaufzeitverhalten bei einer 1000 elementigen Testmenge und zunehmenden Trainingsmengen bestehend aus 1024 bis 65536 Merkmalsvektoren. Das jeweils rechte Diagramm dieser beiden Abbildungen veranschaulicht die Laufzeiten der gegenübergestellten Algorithmen bei einer festen Anzahl von 16384 Merkmalsvektoren in der Trainingsmenge und zunehmenden Testmengen von 125 bis 2000 Elementen.

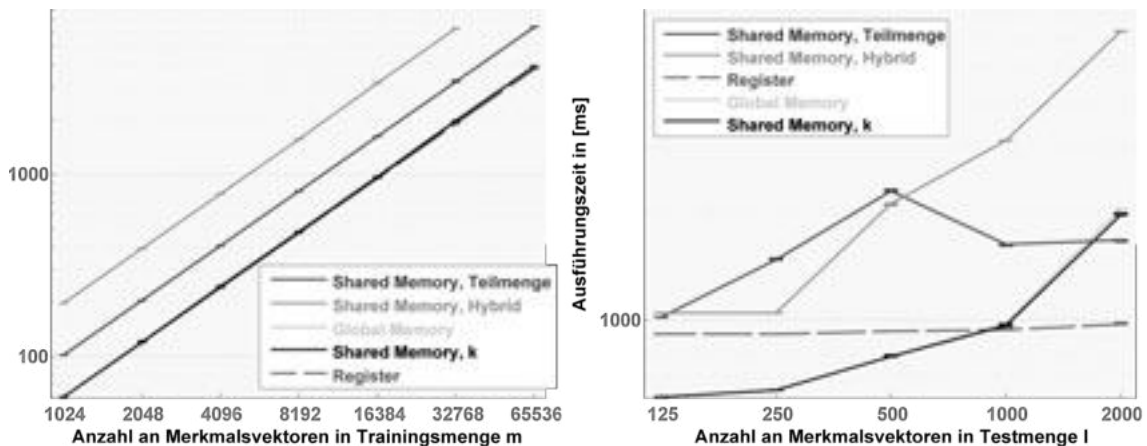
Abbildung 4 veranschaulicht Laufzeiten der geeignetsten Algorithmen pro Ansatz bei jeweils zunehmender Anzahl an Merkmalsvektoren in der Trainingsmenge von 1024 bis 131072 Elementen. Hierbei wird im linken Diagramm eine 125 elementige Testmenge verwendet, im rechten Diagramm eine mit 2000 Elementen, was die größte Anzahl an Distanzberechnungen zur Folge hat. Einige Verfahren sind auf 65536 Elemente pro Menge limitiert.

In Abhängigkeit von den verwendeten Sortieralgorithmen und mit variierenden Test- und Trainingsmengen ergeben sich bei dem ersten Ansatz zur Berechnung des k-Nearest Neighbors verschiedene Laufzeiten, so wie sie in Abbildung 2 veranschaulicht sind. Die eigenentwickelten Sortierlösungen erweisen sich als die mit der geringsten Laufzeit, da sie speziell für dieses Problem entwickelt wurden und kleine  $k < 10$  in dem vorliegenden Bosch-Forschungsprojekt verwendet werden.



**Abbildung 2: Zeitmessungen verschiedener Variationen des 1. k-NN Ansatzes für k=1.**

Die Laufzeiten der Algorithmen des zweiten Ansatzes variieren in Abhängigkeit des verwendeten Speichertyps auf der Grafikhardware. Die Lösungen, die die lokalen und sehr schnellen, da latenzarm direkt auf der SM Prozessorfläche lokalisierten, jedoch sehr kleinen Caches nutzen, weisen die geringsten Laufzeiten auf. Dies veranschaulicht Abbildung 3.



**Abbildung 3: Zeitmessungen verschiedener Variationen des 2. k-NN Ansatzes für k=1.**

Im Vergleich der geeignetsten Variationen pro Ansatz zeigt sich, dass GPU-gestützte Lösungen prinzipiell erst bei größeren Datenmengen geringere Laufzeiten aufweisen, als die CPU-Lösungen. Dies begründet sich vornehmlich in dem unvermeidlichen Overhead, der durch den initialen Datentransfer der Trainingsmenge und, bedeutender, den kontinuierlich transferierten Testmengen aus der SIFT-Merkmalsextraktion eines jeden zu verarbeitenden PAL-Kamerabildes ergeben. Nach dem bestehenden fixen Zeitaufwand für diese Transfers und somit für den Aufbau der Speicherstrukt-

ren im Speicher der Grafikhardware ist hingegen eine gegenüber der CPU beschleunigte Abarbeitung der Klassifikation feststellbar, was Abbildung 4 visualisiert.

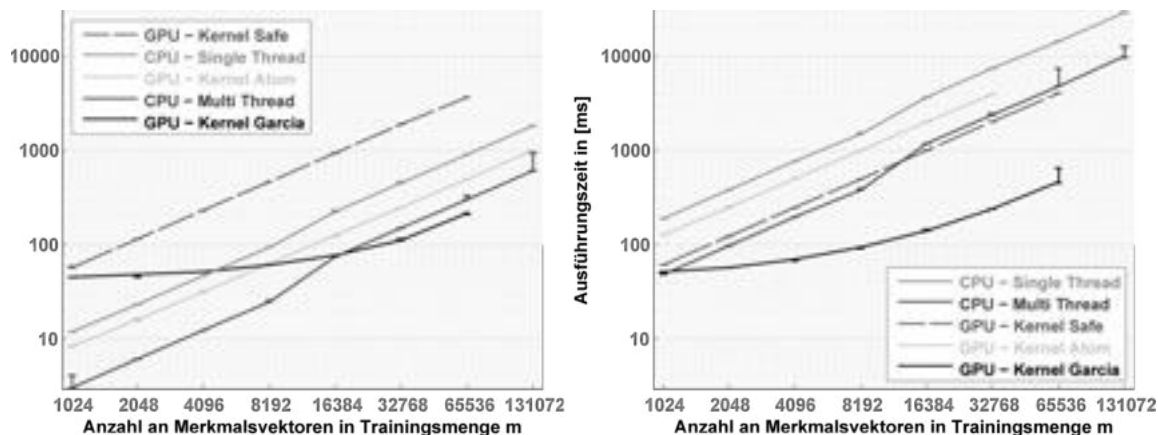


Abbildung 4: Vergleich geeignete Variationen pro Ansatz mit geringsten Laufzeit.

Der resultierende Geschwindigkeitsgewinn einer geeigneten GPU-Lösung steigt somit mit der Datenmenge und unterschreitet die Ausführungsgeschwindigkeit einer vergleichbaren CPU-Lösung ab einer bestimmten Anzahl an zu bewältigenden Distanzberechnungen.

Abschließende Energiemessungen in [Zoe10] zeigen, dass die bei einer großen Anzahl an Distanzberechnungen effiziente CUBLAS-Implementierung bei einer etwa neunmal schnelleren Ausführung lediglich einen etwa 1,26-fach höheren Energieverbrauch gegenüber einer reinen CPU-Lösung im verwendeten Testsystem aufweist.

## Referenzen

- [Chr] CHRISTOPHER, THOMAS W.: *Bitonic Sort Tutorial* (www). [http://www.tools-of-computing.com/tc/CS/Sorts/bitonic\\_sort.htm](http://www.tools-of-computing.com/tc/CS/Sorts/bitonic_sort.htm), Abruf: 3. April 2010
- [Gar08] GARCIA, VINCENT: Ph.D. Thesis: *Suivi d'objets d'intérêt dans une séquence d'images : des points saillants aux mesures statistiques*. Sophia Antipolis, France, Université de Nice – Sophia Antipolis, Diss., Dezember 2008
- [Gar10] GARCIA, VINCENT: *Fast k Nearest Neighbor search using GPU* (www). Version: 27. Januar 2010. <http://www.i3s.unice.fr/~creative/KNN/>, Abruf: 3. April 2010
- [Ga+08] GARCIA, VINCENT; Debreuve, Eric; Barlaud, Michel: *Fast k nearest neighbor search using GPU*. arXiv, April 2008. <http://arxiv.org/abs/0804.1448>
- [Jau04] JAUERNIG, MATTHIAS: *www.Linux-Related.de – Quicksort und Insertion sort – 2.5.1 Behandlung kleiner Teilfelder* (www). Version: 2004. [http://www.linux-related.de/index.html?/coding/sort/sort\\_quick.htm#insertion](http://www.linux-related.de/index.html?/coding/sort/sort_quick.htm#insertion), Abruf: 3. April 2010
- [Low99] LOWE, DAVID G.: *Object Recognition from Local Scale-Invariant Features*. In: ICCV '99: Proceedings of the International Conference on Computer Vision-Volume 2. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1999. – ISBN 0-7695-0164-8, S. 1150-1157
- [Nvi09] NVIDIA CORPORATION: *NVIDIA CUDA - Programming Guide*. Version 2.3. NVIDIA Corporation, 2009
- [Sa+09] SATISH, NADATHUR; HARRIS, MARK; GARLAND, MICHAEL: *Designing efficient sorting algorithms for manycore GPUs*. In: Parallel and Distributed Processing Symposium, International (2009), May, 1-10. – DOI 10.1109/IPDPS.2009.5161005 – ISBN 978-1-4244-3751-1
- [Wu07] WU, CHANGCHANG: *SiftGPU: A GPU Implementation of Scale Invariant Feature Transform (SIFT)*. <http://cs.unc.edu/~ccwu/siftgpu>, 2007. Abruf: 10. Januar 2010
- [Zoe10] ZÖLLNER, CHRISTIAN: *Beschleunigung der Musterklassifikation in einem Bildverarbeitungssystem durch Einsatz von Grafikprozessoren*. Diplomarbeit, Fachhochschule Schmalkalden, Robert Bosch GmbH, 2010.



## Anwendung Computergestützter Intelligenz zur Auswertung eines okulomotorischen Vigilanztests

Dipl. - Inform. (FH) Thomas Schnupp, Telefon: +49.3683-688-4205, Fax: +49.3683-688-4499, E-Mail: t.schnupp@fh-sm.de, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

Prof. Martin Golz, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Am Schwimmbad, 98574 Schmalkalden

### Zusammenfassung

Trotz intensiver Bemühungen ist es bisher noch nicht zufriedenstellend gelungen, einen einfachen, kosten- sowie zeiteffizienten Vigilanztest zu entwickeln. Auf Basis der Auswertung von Endstellungsnystagmen wird ein neuartiger, okulomotorischer Kurzzeit-Vigilanztest vorgestellt und auf Grundlage einer Pilotstudie erste Ergebnisse vorgestellt. An der Studie nahmen 10 junge, gesunde Personen teil, die in zwei Nächten jeweils Vigilanztests absolvierten. Die Anwendung von Methoden der adaptiven Signalanalyse und der Computergestützten Intelligenz ermöglicht es, die Nystagmogramme den beiden Klassen „hohe Vigilanz“, „niedrige Vigilanz“ zuzuordnen. Es konnten mittlere Klassifikationsgenauigkeiten von  $85,5 \pm 3,5$  % erreicht werden.

**Schlagworte:** Computergestützte Intelligenz, Biosignalanalyse, Vigilanz, Elektrookulogramm, Support-Vektor Maschinen

## 1 Einführung

Das Vermögen, in monotonen, reizarmen Situationen fortwährend und über längere Zeitspannen hinweg die Wahrnehmung und das Reaktionsvermögen zu gewährleisten, wird als Vigilanz bezeichnet. Sie wird häufig abgefordert bspw. beim Führen eines Fahrzeugs im Überlandverkehr oder an Überwachungsarbeitsplätzen. Zu Monotonie und Unterforderung kommt als zweiter wichtiger ursächlicher Faktor von Vigilanzkrisen die Schläfrigkeit hinzu. Die Ursachen letzterer sind vielfältig. Zum einen steigt die Schläfrigkeit mit zunehmender Zeitspanne des Wachseins (engl. „time since sleep“, TSS), erreicht aufgrund des Tagesrhythmus‘ (zirkadianer Rhythmus) ein Maximum in den Nachtstunden, kann aber auch aufgrund verschiedener Pathologien dauerhaft hoch sein. Ein Beispiel für letzteres ist die exzessive Tagesschläfrigkeit, die durch Krankheiten wie dem obstruktiven Schlafapnoe oder der Narkolepsie bedingt sein kann. Schläfrigkeit wird auch gesteigert, wenn hohe Beanspruchungen vorliegen (engl. „time on task“, TOT).

Für besonders kritische Arbeitsplätze ist es deshalb wünschenswert, vor Dienstantritt und eventuell auch während des Dienstes einen Tauglichkeitstest durchführen zu können (engl. „fit for duty tests“). Das Ziel, einen einfach durchzuführenden sowie zeit- und kosteneffizienten Vigilanztest zu entwickeln, wurde trotz zahlreicher Forschungsaktivitäten in den letzten zwanzig Jahren jedoch noch nicht zufriedenstellend gelöst [Mackworth 1948, Dinges & Powell 1985].

In diesem Beitrag stellen wir einen neuartigen Ansatz vor, über die Charakterisierung der Augenbewegungen (Okulomotorik) auf die Vigilanz rückzuschließen. Die Endstellung ist die Augenposition, bei dem das Auge einer horizontal oder vertikal bewegten Zielmarke (target) nicht mehr folgen kann. Hierfür müssen Kopfbewegungen unterbunden werden und die Zielmarke immer weiter nach außen geführt werden. Bei anhaltender Fixation der Zielmarke im Bereich des maximalen Auslenkwinkels kann beobachtet werden, dass der Augapfel (Bulbus) langsam zur antero-posterioren Körperachse zurückdriftet. Wird die Differenz zwischen Blickpunkt und Ziel zu groß,



**Abbildung 1. Versuchsaufbau des Endstellungs-Fixation Tests**

*Eine kopfgebundene, schwenkbare Laserdiode (a) projiziert das Fixationsziel auf einen halb-runden Schirm (b) Die Einhaltung der Versuchsinstruktionen wird videoüberwacht (c).*

findet eine korrigierende sakkadische Bewegung in Richtung des Ziels statt. Die Kombination aus langsamer Drift- und schneller Korrekturbewegung des Auges wird als Nystagmus bezeichnet und ist mit bloßem Auge sichtbar sowie mit Elektrookulografie (EOG) oder Blickverfolgungsgeräten (Eyetracking) messbar.

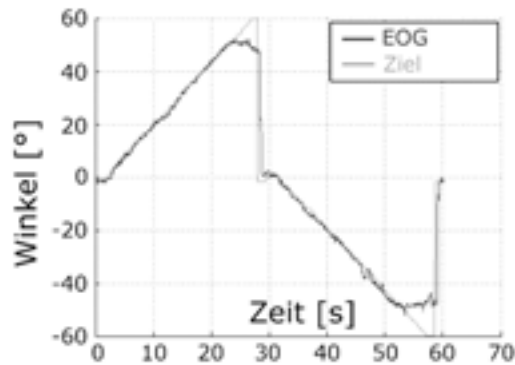
Für die extreme Abduktion ist eine maximale Anspannung des Musculus rectus lateralis erforderlich. Hierfür müssen die entsprechenden Motoneuronen mit maximaler Rate feuern. Es wird davon ausgegangen, dass unter erhöhter Schläfrigkeit die maximale Neuronenfeuerrate reduziert ist und daher die benötigte Spannung des Muskels nicht erzielt bzw. nur für kürzere Zeiträume aufrechterhalten werden kann. Dies würde sich auf die Charakteristik der beobachteten Nystagmen auswirken. Der Rauschanteil und die Irregularität des aufgezeichneten EOG erfordern eine adaptive Signalanalyse und eine nachträgliche Klassifikation mit Methoden der Computergestützten Intelligenz [Golz & Sommer 2008].

## 2 Experimente

### Versuchsaufbau und -ablauf

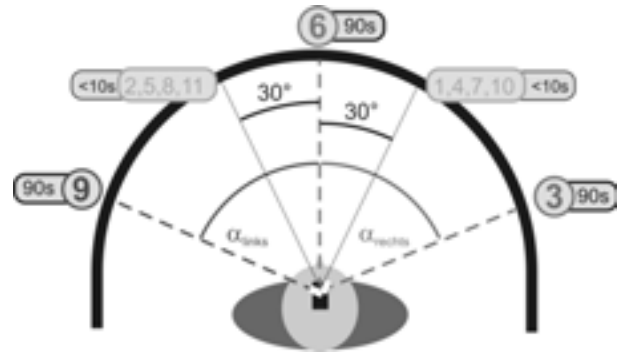
Die Nystagmen können sowohl mittels EOG als auch mittels Eyetracking gemessen werden. Das EOG ist kostengünstiger und erreicht eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung. Hier wurde das horizontale und vertikale EOG mit Abtastraten von 1000 Hz aufgezeichnet. Dies ist erforderlich, um maximale okulomotorische Geschwindigkeiten (bei Sakkaden) zu erfassen. Die Zielmarke wurde über eine kopfgebundene Laserdiode auf einen halbkreisförmigen Schirm projiziert, so dass der Auslenkwinkel trotz Kompensationsbewegungen des Kopfes konstant bleibt.

Der individuelle Endstellungswinkel jedes Probanden wurde ermittelt, indem das Fixationsziel horizontal bis zu einem Winkel von  $60^\circ$  nach außen geführt wurde. Der Endstellungswinkel ist erreicht, wenn die Zielmarke nicht weiter verfolgt werden kann. Der erreichte Winkel ist im kalibrierten EOG ablesbar (Abb. 2).



**Abb. 2. Individueller Endstellungswinkel**

Der Proband kann das Ziel bis zu einem Winkel von max. 48° auf beiden Seiten verfolgen.



**Abbildung 3. Versuchsablauf**

Vor/nach jeder Fixations-Phase (3, 6, 9) werden kurze Kalibrationsmessungen durchgeführt (hellgrau).

Die Datenaufnahme unterteilt sich in drei jeweils 90 Sekunden umfassende Phasen, in denen der Proband die Zielmarke fixieren muss. In der ersten Phase wird das Ziel auf den rechten Endstellungswinkel gesetzt. In der zweiten Phase wird das Fixationsverhalten ohne Auslenkung erfasst (Entspannungsphase). In der abschließenden dritten Phase wird das Ziel auf den linken Endstellungswinkel gesetzt (Abb. 3). Vor, zwischen und nach jeder Phase wurden kurze Kalibrationsmessungen durchgeführt. Hierfür wird das Ziel für ca. 8 Sekunden auf einen festen Winkel von  $\pm 30^\circ$  gesetzt (Abb. 3).

## Probanden

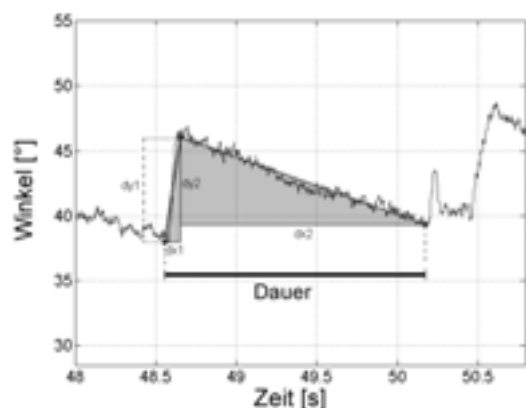
An den Pilotexperimenten nahmen 10 junge, gesunde Freiwillige im Alter von 18 bis 32 Jahren (Mittelwert:  $24,6 \pm 3,7$ ) teil. Während des Anmelde- und Selektionsprozesses wurden die Schlafqualität und der Chronotyp als Einschlusskriterien überprüft. Die Schlafqualität wurde mit dem PSQI-Fragebogen [Buysse et al. 1989] und der Chronotyp mit der deutschen Übersetzung des Morningness-Eveningness Fragebogens [Griefahn 2001] überprüft. Es wurden nur normale Chronotypen mit guter Schlafqualität zugelassen. Unter ihnen wurden zufällig zehn Probanden ausgewählt.

## Studiendesign

Das Studiendesign umfasst einen Einführungstermin, einen Termin für Referenzmessungen („baseline“) sowie zwei Versuchsnächte.

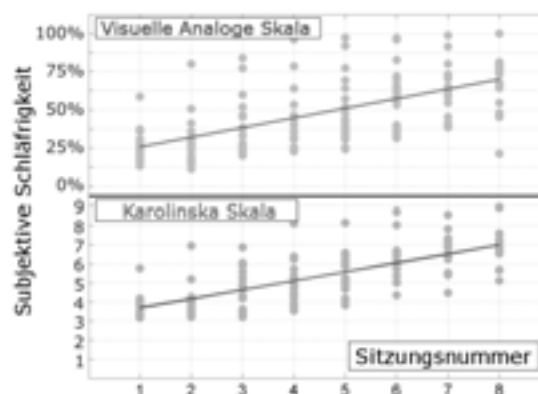
Der Einführungstermin diente der Vorstellung der Versuchsabläufe und dem Training der Probanden. Hierbei wurde auch der individuelle Endstellungswinkel jedes Probanden ermittelt. Die Referenzmessungen wurden an zwei Vormittagen durchgeführt, um eine möglichst geringe Schläfrigkeit zu gewährleisten.

Die eigentlichen Versuche umfassten 8 Sitzungen zu je 60 Minuten zwischen 20:00 Uhr und 04:00 Uhr. In den Sitzungen wurden Vigilanztests absolviert. Vor und nach jedem Test wurden folgende Fragebögen zur subjektiven Selbsteinschätzung erfasst, die Visuelle Analoge Skala (VAS) und die Karolinska Schläfrigkeits-Skala (KSS). Da es noch kein Referenzverfahren gibt, sind subjektive Selbsteinschätzungen zur Kontrolle erforderlich (Abb. 5).



**Abb. 4. Zeitbereichsmaße der Nystagmen**

Es wurden Zeitspannen und Amplituden der beiden Nystagmusphasen berechnet.



**Abbildung 5. Subjektive Schläfrigkeitsskalen**

Spätere Sitzungen zeigen einen deutlichen Anstieg der subjektiv empfundenen Schläfrigkeit.

### 3 Methoden

#### Vorverarbeitung

Anhand der Daten aus den Kalibrationssegmenten vor, zwischen und nach den drei Phasen des Tests wurde das aufgezeichnete EOG kalibriert und mögliche Drifts korrigiert. Für die spätere Diskriminanzanalyse wurden die Daten in zwei Klassen auf Basis der Wachzeit (TSS) eingeteilt. Die Klasse „hohe Vigilanz“ wurde den Referenzmessungen in den Vormittagsstunden (TSS < 5 Stunden) und die Klasse „niedrige Vigilanz“ den letzten zwei Sitzungen (TSS > 16 Stunden) zugeordnet. Diese Klasseneinteilung wird durch die subjektiven Selbsteinschätzungen bestätigt (Abb. 5).

#### Merkmalsextraktion

**Zeitbereichsmerkmale:** Im horizontalen EOG wurden für jeden Nystagmus die vier Merkmale Zeitspanne und Amplitude der langsamen bzw. der schnellen Phase berechnet. Anschließend wurde über alle Nystagmen Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Hinzu kommen die Anzahl der Nystagmen sowie deren mittlerer Abstand. Aus dem vertikalen EOG wurden Merkmale des Lidschlagverhaltens, wie Lidschlagrate, maximale Lidgeschwindigkeit, extrahiert.

**Spektralbereichsmerkmale:** Sowohl im horizontalen als auch im vertikalen EOG wurden die logarithmierten spektralen Leistungsdichten (logPSD) geschätzt. Als Schätzverfahren wurde „Weighted Overlapped Segment Averaging“ (WOSA) verwandt. WOSA schätzt mit einer minimalen Verzerrung auf Kosten der spektralen Auflösung. Die ermittelten logPSDs wurden anschließend innerhalb äquidistanter Bänder gemittelt. Die Parameter dieser Bandmittelung, untere und obere Grenzfrequenz sowie Bandbreite, sind a priori unbekannt und wurden empirisch optimiert, in dem die gesamte Datenanalyse einschließlich Diskriminanzanalyse vielfach durchlaufen wurde, bis eine maximale Klassifikationsgenauigkeit erreicht wurde.

#### Diskriminanzanalyse

Für die Diskriminanzanalyse wurde vergleichend vier Verfahren der computergestützten Intelligenz angewendet. Sie decken das Spektrum von globaler Entscheidungsfindung (Lineare Diskriminanzanalyse, LDA) bis hin zur rein lokalen Entsch-

dungsfindung (k-Nächste-Nachbarn kNN mit k=1: Nächste-Nachbarn 1NN) ab. KNN sowie die künstlichen neuronalen Netze vom Typ Lernende Vektor-Quantisierung (LVQ) und die Support-Vektor Maschine (SVM) können zwischen globaler und lokaler Entscheidungsfindung durch Parameter regularisieren. Hierzu gehören die Parameter k (kNN), die Topologie-Parameter der LVQ sowie die Hyperparameter von SVM und der selektierten Kernfunktion (Gauß).

Die Diskriminanzanalyse wurde mittels random-subsampling validiert. Der Stichprobenumfang für die Adaptationsphase (Trainingsmenge) betrug 80 % und der Abrufphase (Testmenge) 20% vom Gesamtstichprobenumfang. Die zufällige Partitionierung in Trainings- und Testmenge wurde jeweils 50fach wiederholt. Als Gütekriterium diente die mittlere Klassifikationsgenauigkeit (engl. Accuracy) der Testmenge. Anhand dieses Gütekriteriums wurden die Parameter der Merkmalsextraktion ebenso wie die Parameter der eingesetzten Klassifikationsverfahren empirisch optimiert.

## 4 Ergebnisse & Diskussion

Die besten Ergebnisse mit den geringsten Streuungen konnten mittels Support-Vektor Maschinen erzielt werden (Tab. 1). Die leicht besseren Ergebnisse im Zeitbereich sind überraschend, weil Untersuchungen an anderen Biosignalen stets bessere Ergebnisse im Spektralbereich zeigten [Sommer 2009]. Dies dürfte mit dem einfachen Konzept der Quantifizierung der Nystagmen im Zeitbereich zusammenhängen. Die Spektralschätzung unterliegt einem Verzerrungs-Varianz-Dilemma, das umso ungünstiger ist je mehr das wahre Spektrum des beobachteten Prozesses von einem reinen Linienspektrum oder einem reinem Gleichverteilungsspektrum verschieden ist.

Die so gefundenen optimalen Parameter der Bandmittelung sind eine untere und obere Grenzfrequenz von 0,05 bzw. 20,0 Hz sowie eine Bandbreite von 0,55 Hz. Diese Bandbreite entspricht einer Mittelung über 11 benachbarte Frequenzen. Dies zeigt, dass für diesen Einsatzfall eine geringe Varianz der Spektralschätzung wichtiger ist als eine hohe spektrale Auflösung.

Die ebenso optimierten Parameter aller regularisierenden Verfahren tendierten diese zu einer lokalen Entscheidungsfindung. Auch die schlechte Klassifikationsgenauigkeit der globalen Methode (LDA) deutet auf eine komplizierte Verteilungsdichtefunktion hin. Vermutlich sind die Realisierungen der beiden Klassen in relativ vielen lokalen und kompakten Bereichen verteilt. Eine Clusteranalyse könnte hier weitere Aufschlüsse bieten.

**Tabelle 1. Ergebnisse der Diskriminanzanalyse.**

Mittelwert und Standardabweichung der Klassifikationsgenauigkeit von 4 verschiedenen Methoden über zwei verschiedenen Merkmalstypen und sowie die jeweils optimierten Parameter der Verfahren.

	LDA	kNN	LVQ	SVM (Gauß)
<b>Zeitbereich</b>	68,4 ± 16.3%	76,5 ± 8,9% <i>k = 2</i>	82,9 ± 9,5% <i>17 Neurons</i>	85,5 ± 3,6% $\gamma = 1e-0,75, C = 1e3,5$
<b>Spektralbereich</b>	64,4 ± 17.0%	78,7 ± 8,9% <i>k = 2</i>	79,2 ± 10,3% <i>32 Neurons</i>	80,1 ± 4,0% $\gamma = 1e-1,6875, C = 1e1,8125$

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellte Pilotstudie erbrachte für den neuartigen, okulomotorischen Vigilanztest eine Genauigkeit, die höher als die vieler anderer Vigilanztests ist. Wichtig für diesen Erfolg war, dass aufgrund der Messmethodik ausnahmslos bei allen Probanden Nystagmen ausgelöst werden konnten und dass die Auswertung mit Methoden der adaptiven Signalverarbeitung und der computergestützten Intelligenz erfolgte. Dennoch muss betont werden, dass die erzielten Klassifikationsgenauigkeiten für einen breiten Einsatz als Dienstauglichkeitstest nicht hoch genug sind. Hierfür müssen Klassifikationsgenauigkeiten von deutlich über 90% erzielt werden. Um diese weiter zu steigern werden weitere Verfahren der Signalanalyse und der Merkmalsextraktion (z.B. nicht-lineare Signalanalysen im Zustandsraum) angewandt werden. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Fusion unterschiedlicher Merkmalstypen zu einer Steigerung der Klassifikationsgenauigkeiten führte [Golz & Sommer 2008].

Befragungen aller Probanden haben ergeben, dass die Dauer des Tests als zu lang empfunden wird. Um Aversionen zu vermeiden und um die Akzeptanz zu gewähren, scheint eine Verkürzung der Messdauer angeraten. Erste Simulationen an den vorhandenen Daten zeigen, dass eine Verkürzung von 60s auf 30s für jede der drei Messintervalle zu einer Verschlechterung um ca. 5 % führt. Damit ist eine weitere Limitierung für die Steigerung der Genauigkeit gegeben.

Für eine abschließende Beurteilung des Testkonzeptes sind umfangreichere Validierungsstudien notwendig. Wie so oft in der Biomedizintechnik muss von einer hohen inter-individuellen Variabilität ausgegangen werden. Zusätzlich muss auch die intra-individuelle Variabilität eingeschätzt werden. Bevor jedoch dieser enorme Aufwand geleistet wird sollten vorher weitere Ideen zur Verbesserung der Mess- und Signalanalysemethodik gefunden und erfolgreich umgesetzt werden. Dennoch kann konstatiert werden, dass mit dem okulomotorischen Endstellungsnystagmus-Test ein relativ einfacher, schneller und relativ genauer Vigilanztest demonstriert werden konnte.

## Danksagung

Für die Grundidee und eingehende Beratungen danken wir Prof. Galley, Universität Köln. Diese Untersuchungen wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms „Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen“ unter dem Kennzeichen 1769X08 finanziell gefördert.

## Literatur

- BUYSSE DJ et al. (1989) The Pittsburgh Sleep Quality Index. *Psychiatry Res* 28 (2), 193-213.
- DINGES DF & POWELL JW (1985) Microcomputer analysis of performance on a portable, simple visual RT task sustained operations. *BEHAV RES METH INS C* (17), 652-5.
- GOLZ M, & SOMMER D (2008) Automatic knowledge extraction: fusion of human expert ratings and biosignal features for fatigue monitoring. In: MANDIC DP, GOLZ M et al. (eds) *Signal processing techniques for knowledge extraction and information fusion*. Springer, New York, 299-316.
- GRIEFAHN B et al. (2001) Zur Validität der deutschen Übersetzung des Morningness-Eveningness-Questionnaires von Horne und Östberg. *Somnologie*, 5 (2), 71-80.
- MACKWORTH NH (1948). Vigilance during prolonged visual search. *Q J Exp Psychol* 1, 6-21.
- SOMMER, D. (2009) *Charakterisierung des Mikroschlafs mit neuroinformatischen Methoden*. Dissertation. Fachhochschule Schmalkalden & Technische Universität Ilmenau, Shaker Press, Aachen

## SIM-Karten-Forensik

*Silas Luttenberger, B. Sc.*

E-Mail: luttenbe@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien, Magdeburger Straße 50, 14770 Brandenburg

*Prof. Dr. Reiner Creutzburg*

Phone: +49-3381-355 442, Fax: +49-3381-355 499,

E-Mail: creutzburg@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien, Magdeburger Straße 50, 14770 Brandenburg

### Abstract

Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick zur forensischen Untersuchung von SIM-Karten. Er zeigt auf, welche Informationen aus einer SIM-Karte mit Hilfe von Windows-basierten Open-Source-Programmen und anderen Demoverversionen von Software-Programmen für die forensische Untersuchung gelesen werden können.

Programme wie SIMCon, SIM Analyser, SIM Manager 2, UndeleteSMS, SIMspy und Tulp2G wurden für die Versuche verwendet.

*Keywords: Forensik, Mobiltelefon, Handy-Forensik, SIM-Karte, SIM*

## 1 Einleitung

Mobiltelefone sind seit einigen Jahren ein fester Bestandteil unseres täglichen Lebens. Während der letzten Jahre entwickelte sich das Mobiltelefon technisch weiter und mittlerweile bestehen viele Möglichkeiten der Kommunikation. Diese Kommunikationsmöglichkeiten reichen von SMS-Nachrichten, über Anrufe, Bilder, Videos bis hin zu Methoden wie E-Mail, Messaging, Location-based Services, usw. Diese Vielfalt rückt das Mobiltelefon neuerdings oftmals in den Fokus kriminalistische Ermittlungen. Es können viele wichtige und interessante Informationen gefunden werden, wie Beweise oder Intentionen, die vor Gericht die Schuld oder Unschuld einer Person beweisen können. Daher ist es aus forensischer Sicht wichtig Methoden und Programme für die Untersuchung an Mobiltelefonen zu kennen, damit nicht die Beweis kraft vor Gericht verloren geht. Diese forensischen Untersuchungen haben natürlich unter den Aspekt des Datenschutzes und der Beachtung der gesetzlichen Rahmenbedingungen zu erfolgen.

Ein fester Bestandteil des Mobiltelefons ist die SIM-Karte, die für die meisten Geräte benötigt wird um überhaupt eine Kommunikation zuzulassen. Auf dieser können wertvolle Informationen abgespeichert sein.

## 2 SIM-Karten und deren Informationen

SIM steht für Subscriber Identity Module, mit dem sich der Nutzer identifiziert und gegenüber dem Mobilfunknetz authentifiziert. Nach der Identifizierung stehen dem Nutzer Dienste, Telefon- und Datenanschlüsse vom Anbieter zur Verfügung.

Es gibt heute zwei verschiedene Größen von SIM-Karten, zum einen die zurzeit am meisten verwendete Mini-SIM mit einer Größe von 25 mm × 15 mm und zum anderen die neuere Micro-SIM mit einer Größe von 15 mm × 12 mm. Nach dem Kauf einer SIM-Karte muss diese zuvor aus einer Chipkarte ID-1-Format (85,6 mm × 54 mm) herausgebrochen werden.

Die standardmäßige SIM-Karte besteht aus einem Prozessor, RAM für die Programmausführung, ROM für Anwendungen und dem Betriebssystem, sowie einem Datenspeicher (16-128 KB EEPROM) und einem veränderbaren PIN, der das Handy vor fremden Zugriffen sichert [BW08]. Ein PIN kann dreimal falsch eingegeben werden, bevor die SIM-Karte gesperrt wird. Die PIN-Sperre kann mit dem PUK (Personal Unblocking Key) aufgehoben werden. Wenn der PUK-Code 8-10 mal falsch eingegeben wird, wird die SIM-Karte endgültig gesperrt.

Danach ist die SIM-Karte nutzlos und es muss eine neue besorgt werden. Der PUK ist abhängig von der SIM-Karte und kann, falls nicht vorhanden, von einigen Herstellern im Nachhinein ermittelt werden [JA07].

Meistens werden Telefonbucheinträge, gesendete und empfangene SMS, sowie Nachrichtenentwürfe auf der SIM-Karte gespeichert. Dies ist besonders bei älteren Mobilfunkgeräten der Fall, da diese keine Speicherung auf dem Gerät unterstützten. Bei vielen Modellen kann mittlerweile der Nutzer selbst entscheiden, ob auf dem Handy oder der SIM-Karte diese Informationen gespeichert werden sollen. Neuere Geräte wie z.B. das Apple iPhone speichern keine Informationen mehr auf der SIM-Karte.

Der Aufbau der Dateistruktur einer SIM-Karte ist standardisiert. Das Hauptverzeichnis oder Masterfile (MF) enthält so genannte Directory Files (DF) und Elementary Files (EF). Die Directory Files sind Unterverzeichnisse des Hauptverzeichnisses und enthalten zum Beispiel Informationen zur DCS (Digital Cellular System) oder Betriebsinformationen der Telecom. Die für die Forensik wertvollen Informationen befinden sich hauptsächlich in den EF's [BW08] [JA06].

Beim Kauf eines Mobiltelefons wird teilweise eine SIM-Karte mitgeliefert, wobei die SIM-Karten bei Prepaid-Handys größtenteils mit einem SIM-Lock oder einem Netlock versehen sind. Das heißt, dass das Mobiltelefon nur mit dieser SIM-Karte benutzt werden kann (SIM-Lock) oder nur mit SIM-Karten von dem Provider (Netlock).

Diese Sperre lässt sich nach zwei Jahren kostenlos aufheben oder vorher gegen entsprechende Gebühr (ca. 100 Euro). Außerdem gibt es im Internet Anleitungen, wie der Nutzer den SIM-Lock aufheben kann, jedoch ist dies in einigen Ländern verboten.

Verschiedene Informationen aus einer SIM-Karte sind für den Ermittler wichtig. Diese sind abhängig von der Straftat und dem, was zur Rekonstruktion des Tatherganges dient.



Im Folgenden werden einige Informationen aufgelistet, die standardmäßig auf einer SIM-Karte gespeichert werden. Hierzu gehören das Telefonbuch mit Kontakten, sowie eingegangene, gesendete und entworfenen SMS-Nachrichten. Bedingt können gelöschte Nachrichten eingesehen werden, was jedoch vom Programm abhängig ist, das zur Untersuchung gewählt wurde. Gerade bei den SMS-Nachrichten und dem Telefonbuch ist es bei neuen Mobilgeräten nicht mehr üblich diese Informationen auf der SIM-Karte zu speichern, sondern auf dem Speicher des Gerätes. Bei anderen Mobiltelefonen wiederum kann ausgewählt werden, ob die Telefonbucheinträge und die SMS-Nachrichten auf dem Gerät oder der SIM-Karte gespeichert werden sollen. Aus dem Telefonbuch und den SMS lassen sich viele Informationen gewinnen, wie Verbindungen zu anderen Personen, Nachrichtenverkehr, Uhrzeit und Datum, sowie Passwörter, PIN's und E-Mails, die in einer SMS oder in einem Telefonbucheintrag abgespeichert wurden. Des Weiteren werden empfangene, getätigte und verpasste Anrufe als Protokoll gespeichert, die Zeitpunkte und Kommunikationspartner wiedergeben und somit Aufschluss über Kontakte mit anderen involvierten Personen geben können. Ansonsten werden hauptsächlich Informationen zur SIM-Karte, zu Diensten, Netzwerken, dem PIN- und PUK-Code gespeichert.

Weitere interessante Daten sind: IMSI (International Mobile Subscriber Identity), Integrated Service Digital Network Number (ICCID), verbotene und erlaubte Netze, Netze zu den sich verbunden wurde, Location Area Code (LAC), Location Area Identity (LAI), Mobile Country Code (MCC), Mobile Network Code (MNC), Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), die Mobile Subscriber Integrated Service Digital Network Number (MSISDN), ... .

### 3 Untersuchte SIM-Karten - Schlussfolgerung

Viele Programme, die für die Auslesung von Mobiltelefonen verwendet werden, können zwar SMS-Nachrichten und Adressbücher auslesen, gehen jedoch nicht weiter auf Informationen, die sich in der Dateistruktur der Karte befinden, ein.

Es wurden Untersuchungen mit den frei verfügbaren Programmen SIMspy2, Tulp2G und UndeleteSMS durchgeführt, sowie mit den kommerziellen Programmen SIMCon, SIM Manager 2 und CPA SIM Analyzer.

Die Programme SIMspy2 und SIMCon sind in der Lage, die gesamte Dateistruktur der SIM-Karte anzuzeigen, wobei SIMCon wesentlich mehr Einträge anzeigt als SIMspy2, da in SIMspy2 nicht alle Bereiche, die auszulesen sind, vollständig implementiert sind. SIMCon kann wichtige Informationen wie ICCID, IMSI, Provider, Phase und weitere finden und die gefundenen Ergebnisse in einem Report ausdrucken oder abspeichern. Die Funktionen sind jedoch nicht in SIMspy2 enthalten.

CPA SIM Analyzer und Tulp2G sind nahezu ähnlich, da beide einen sehr detaillierten, einfachen und übersichtlichen Bericht erstellen. In der Vorgehensweise bis zum Bericht sind beide Programme ähnlich aufgebaut. Da Tulp2G nicht nur SIM-Karten auslesen kann, muss vor der Untersuchung das entsprechende Template herausgesucht werden. Bei beiden Programmen wird zuerst geprüft, wie viele Versuche für die PIN- und PUK-Eingabe noch zur Verfügung stehen, damit der Ermittler weiß, ob die Untersuchung überhaupt möglich ist.

Werden PIN oder PUK eingegeben, werden diese zuerst überprüft, bevor weitere Schritte ausgeführt werden können. Danach werden weitere Einstellungen vorge-

nommen, die beim CPA SIM Analyzer im Wesentlichen sich schon auf die Berichterstellung beziehen, d.h. es werden Informationen über den Fall in verschiedene Felder ausgefüllt, die dann bei der Erstellung des Reports übernommen werden. Nach einigen Einstellungen und PIN-Eingabe kann der Prozess der Berichterstellung durchlaufen werden. Dieser Bericht enthält dann grundlegende Informationen zur SIM-Karte und später Einträge über SMS-Nachrichten, Telefonbucheinträge, Anrufprotokolle, bis hin zu ICCID, IMSI, Provider, Speicherkapazität und Phase, wobei der CPA SIM Analyzer einige wenige Informationen mehr enthält als Tulp2G, sowie die vom Nutzer zuvor eingetragenen Details. In der Untersuchung wurden die SMS-Nachrichten beim CPA SIM Analyzer nicht alle richtig entschlüsselt, d.h. es fehlten einige Buchstaben, was jedoch mit der verwendeten DEMO-Version zu tun haben kann.

**Tabelle 1.** Freeware zum Auslesen von SIM-Karten

	<b>Tulp2G</b>	<b>SIMspy</b>	<b>UndeleteSMS</b>
<b>Nachrichten</b>	im Bericht SMS mit Status, Text, Datum, Service-station, Absender	SMS mit Status, Text, Absender	nur gelöschte SMS, teilweise mit Text, Absender, Status, Servicestation
<b>Berichterstellung</b>	ja als XML	nein	nein
<b>Adressbuch</b>	im Bericht	ja	nein
<b>Anrufprotokolle</b>	im Bericht	ja	nein
<b>Informationen zum Netzwerk</b>	verbotene und erlaubte Provider, letzte Verbindung, bevorzugt. Provider	verbotene und erlaubte Provider, letzte Verbindung ohne Providername	nein
<b>Anzeige von PIN /PUK Versuche</b>	ja	ja	nein
<b>grundlegende Informationen</b>	ja wie ICCID, IMSI, Provider, Service	ICCID, IMSI, Provider	nein
<b>Verwendung von Hash-Werten</b>	im Bericht	nein	nein

Als weiterer Vertreter von kostenpflichtigen Programmen wurde SIM Manager 2 gewählt. Ein Grund hierfür ist, dass das Programm gelöschte SMS-Nachrichten für einige SIM-Kartentypen anzeigen kann. Im Allgemeinen ist die Software jedoch für den Allgemeinnutzer gedacht um Daten von der SIM-Karte zu kopieren, zu verändern oder zu löschen. Die Software ist einfach und übersichtlich aufgebaut und kann nach erfolgreicher Eingabe des PIN-Codes einige generelle Informationen der SIM-Karte auslesen, wie Provider, Textnachrichten und Telefonbucheinträge.

Als letztes Programm wurde noch UndeleteSMS getestet, welches gelöschte Nachrichten in SIM-Karten anzeigen kann. Dies ist jedoch, genauso wie beim SIM Manager 2, abhängig von dem SIM-Kartentyp, der verwendet wird. Die Resultate bei UndeleteSMS sind leider sehr unterschiedlich: Von keiner Anzeige oder Möglichkeit des Auslesens oder Listenanzeige, dass gelöschte Nachrichten vorhanden sind, bis zum Anzeigen von gelöschten Nachrichten. Wird irgendetwas von dem Programm angezeigt, dann meistens mit Rufnummer und Datum. Die SMS-Texte selbst werden nur teilweise angezeigt.

**Tabelle 2.** Kostenpflichtige Software zum Auslesen von SIM-Karten

	<b>SIM Analyser</b>	<b>SIM Manager 2</b>	<b>SIMCon</b>
<b>Nachrichten</b>	im Bericht SMS mit Status, Text, Servicestation, Absender	SMS mit Status, Text, Absender, Servicestation, Datum, teilweise gelöschte SMS	SMS mit Status, Text, Absender, Servicestation, Datum,
<b>Berichterstellung</b>	ja als RTF-Datei	nein	ja, ohne spez. Dateityp
<b>Adressbuch</b>	im Bericht	ja	ja
<b>Anrufprotokolle</b>	im Bericht	ja	ja
<b>Informationen zum Netzwerk</b>	verbotene und erlaubte Provider, letzte Verbindung, bevorzugt. Provider	verbotene und erlaubte Provider, letzte Verbindung	verbotene und erlaubte Provider, letzte Verbindung, bevorzugt. Provider
<b>Anzeige von PIN /PUK Versuche</b>	ja	ja	ja
<b>grundlegende Informationen</b>	ja wie ICCID, IMSI, Provider, Phase, Speicherkapazität	ICCID, IMSI, Provider, Phase	ICCID, IMSI, Provider, Phase
<b>Verwendung von Hash-Werten</b>	im Bericht	nein	ja zu jedem Eintrag/Datei

Von den verwendeten Programmen für die SIM-Karten-Untersuchung eignen sich für die forensische Untersuchung besonders die Programme SIMCon, CPA SIM Analyser und Tulp2G, da diese Funktionen zur Berichterstellung enthalten, viele Informationen finden und diese übersichtlich für den Ermittler darstellen. In den Tabellen 1 und 2 ist eine Zusammenfassung der verwendeten SIM-Karten-Programme zu finden.

Im Netz und auf dem Markt gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Programmen die zur Untersuchung von Mobiltelefonen und SIM-Karten genutzt werden können. Daher konnten nur stichprobenartig einige Programme getestet werden. Die Programme unterscheiden sich alle ein wenig von den Funktionen, Einstellungen und Resultaten, wobei die kommerziellen Programme wesentlich mehr Geräte unterstützen, Funktionen anbieten und Informationen auslesen können. Es besteht zwar die Möglichkeit der Verwendung von frei verfügbaren Programmen, allerdings werden wesentlich mehr von diesen benötigt, um an eine breite Palette von Beweisen zu gelangen.

Teilweise eignen sich einige der Freeware-Programme nur für Mobilfunknutzer, um an deren Geräten an Details zu gelangen und diese gegebenenfalls zu manipulieren. Aber gerade daher sollten diese Programme und deren Umfang auch bekannt sein, damit ein Ermittler die Möglichkeiten kennt, die zur Veränderung von Beweisen durch den Benutzer führen könnten.

#### 4. Ausblick

In den kommenden Jahren wird es wohl Alternativen zur SIM-Karte geben. Es gibt schon die ersten Überlegungen die SIM-Karte ganz abzuschaffen und den Authentifizierungsprozess mit dem Mobilfunknetz im Mobiltelefon zu integrieren. Damit würde auch das Handy noch eindeutiger einem Nutzer zuzuordnen zu sein. Ansonsten ist damit zu rechnen, dass SIM-Karten mehr Speicher fassen und somit mehr Daten und Informationen abspeichern können.

#### 5. Literaturverzeichnis

[BW08] Bhadsavle, Neil; Wang, Ju A.: Validating Tools for Cell Phone Forensics / Southern Polytechnic State University. 08. – Technical Report CISE-CSE-08-05

[Hil05] Hilton, Kelvin: *An Example of Mobile Forensics*. 2005. – Präsentation

[JA07] Jansen, Wayne; Ayers, Rick: Guidelines on Cell Phone Forensics / National Institute of Standards and Technology. 07. – Special Publication 800-101,. – Sponsored by the Department of Homeland Security

[LC11] Luttenberger, Silas; Creutzburg, Reiner: *Forensic investigation of certain types of mobile devices*. – in: „Multimedia on Mobile Devices“, Proceedings of SPIE, Vol. 7881A, (Jan. 2011), in print

[Lut10] Luttenberger, Silas: *Forensik ausgewählter mobiler Endgeräte*. – Bachelor Thesis, FH Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien 2010

[Pan09] Panigrahi, Prashant: *GSM – Addresses and Identifiers*. <http://www.3glteinfo.com/umts-security-user-identity-confidentiality-imsi-tmsi-p-tmsi>. Version: 2009

# **Modellgestützte Softwareentwicklung zum Steuerelektronikentwurf von verteilt-alternativen Elektroenergieanlagen mit Hilfe von VHDL-AMS**

Dipl.-Ing. (FH) Sven Slawinski, Phone: +49(0)375/536 1405, Fax: +49(0)375/536 1403, E-Mail: Sven.Slawinski@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, 08056 Zwickau

Prof. Dr.-Ing. Lutz Zacharias, Phone: +49(0)375/536 1431, Fax: +49(0)375/536 1403, E-Mail: Lutz.Zacharias@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, 08056 Zwickau

Prof. Dr.-Ing. Mirko Bodach, Phone: +49(0)375/536 1454, Fax: +49(0)375/536 1403, E-Mail: Mirko.Bodach@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, 08056 Zwickau

Dr. Thomas Barucki, Phone: +49(0) 371 5347 670, Fax: +49(0) 371 5347 672, E-Mail: info@adaptet-solutions.com, Adapted Solutions GmbH, Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

## **Abstract:**

**Dieses Paper beschreibt die Erstellung und Anwendung eines Werkzeuges für die modellgestützte Softwareentwicklung zum Steuerelektronikentwurf mit Hilfe von VHDL-AMS. Als Applikationen dienen hierbei verteilt-alternative Elektroenergieanlagen. Es werden die verschiedenen Teile eines solchen Entwurfsprozesses dargestellt. Das Hauptaugenmerk des Beitrags liegt auf der Funktionsweise des Codegenerators, welcher aus der Hardwarebeschreibungssprache VHDL-AMS den entsprechenden C-Code zur Programmierung der Steuerungselektronik generiert.**

**Keywords: Modellgestützt, Softwareentwicklung, VHDL-AMS, C/C++, Compiler, HIL, alternative Elektroenergieanlagen, Supercap, Steuerungselektronik**

## **1 Einleitung**

### **1.1 Ausgangssituation**

Die Steuerung und Regelung von modernen Elektroenergieanlagen wird heutzutage fast ausschließlich mittels Software realisiert. Derzeit ist der hardwarenahe Software-Entwicklungsprozess für elektronische Steuergeräte und zeitdiskrete Regelungen noch häufig von ermüdender Handarbeit geprägt und entsprechende C- oder gar Assembler-routinen müssen manuell erstellt werden. Software-Tests werden in vielen Fällen mit Hilfe von Testwerkzeugen (Emulatoren) und vordefinierten Testmustern realisiert, was auch die möglichen Szenarien einschränkt.

Um ein allgemeines Funktionsverständnis zu erreichen, werden häufig mathematische Funktionsmodelle der enthaltenen Komponenten in Simulationen entwickelt und erprobt. Somit ist der Schritt zur modellbasierten Software-Entwicklung naheliegend.

Ausgangspunkt modellbasierter Softwareentwicklung bilden heute meist Blockdiagrammbeschreibungen (z.B. Matlab<sup>®</sup> & Simulink<sup>®</sup> von MathWorks<sup>®</sup>), welche den abzubildenden technischen Prozess auf einer sehr hohen (oft rein regelungstechnischen) Abstraktionsebene widerspiegeln und damit dessen hier zu betrachtenden elektronischen bzw. mechatronischen Charakter nur ansatzweise reflektieren.

Eine Alternative zu Blockdiagramm-Simulationen bietet VHDL-AMS [2], [4], [10], [15], [18], eine *standardisierte, nicht proprietäre* Hardwarebeschreibungssprache (IEEE 1076.1), mit der digitale, analoge und gemischt analog-digitale Systeme, die aus elektrischen und nichtelektrischen Komponenten aufgebaut sind, modelliert und simuliert werden können. VHDL-AMS erfüllt Anforderungen, wie sie insbesondere vermehrt in der regenerativen Energietechnik, der Automobilindustrie, in Luft- und Raumfahrt, oder auch im Bereich der Medizintechnik auftreten. Ein wesentlicher Vorzug von VHDL-AMS liegt darin, dass sowohl die Steueralgorithmen als auch die anzusteuern Hardware (Regelstrecke) damit komfortabel beschrieben werden können [6], [11], [12].

## 1.2 Ziel

Das Ziel besteht darin, einen Designflow mit entsprechenden Werkzeugen zu entwickeln, welcher es dem Anwender erlaubt, ohne den Code für die Zielhardware selbst (von Hand) programmieren zu müssen, ein komplexes technisches System zu steuern und zu regeln. Nach Aufbau und Test der VHDL-AMS Modelle in einem Simulationssystem sind die Ansteueralgorithmen zu extrahieren und durch einen *Codegenerator automatisiert* in einen, auf der Zielhardware lauffähigen C-Code zu übersetzen, um diesen zur Ansteuerung des Zielsystems zu implementieren. Die vornehmliche Aufgabe im hier behandelten Projekt ist die Umsetzung der oben erläuterten automatischen Code-Generierung für Testapplikationen aus dem Bereich dezentral-regenerativer Energieversorgungssysteme (siehe dazu auch Abbildung 1).

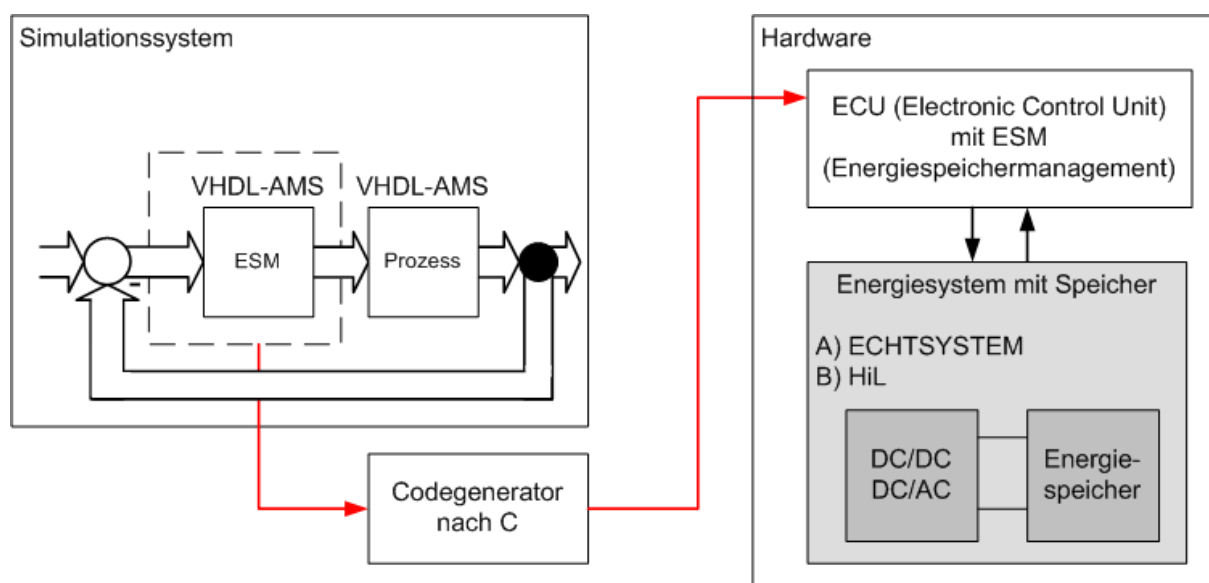


Abbildung 1: Systemkonfiguration

Als geeignete Zielhardware dient im vorliegenden Fall ein duales Speichersystem für die regenerative Energietechnik. Es besteht aus einem Kurzzeitspeicher (Superkondensatorpackage), einem Batteriesystem und leistungselektronischen Komponenten mit einem Speichermanagement, welches durch die direkte Anbindung an die Simulation erprobt werden soll. Dabei ist die Möglichkeit vorgesehen, die Testapplikationen virtuell mit Hardware-in-the-Loop (HiL) abzubilden.

## 2 Umsetzung

### 2.1 Aufbau des Systems aus VHDL-AMS Blöcken

Aufgrund des enormen Entwicklungs- und Testaufwandes für den Code-Generator erfolgt zu Beginn die Entwicklung verschiedenster, einfacher VHDL-AMS-Einzelmodelle. Diese werden innerhalb des verwendeten Systemsimulators Portunus (Hersteller: Adapted Solutions) zur dauerhaften Verwendung als Bibliothek angelegt. Komplexere Simulationsmodelle, welche dann das jeweils gewünschte Verhalten nachbilden, lassen sich aus diesen Einzelmodell-Grundbausteinen einfach und flexibel aggregieren, anordnen und verbinden [1].

### 2.2 Aufbau der automatischen Code-Generierung

Eine nicht zu unterschätzende Tatsache ergibt sich durch den enormen Sprachumfang, den VHDL-AMS bietet und welcher äquivalent in C-Code abgebildet werden muss. Des Weiteren ist es nötig, auf dem Zielsystem eine Realtime-Umgebung zu schaffen, die eine definierte Codeausführung ermöglicht. Aus diesen Gründen wird anfangs ein reduzierter Sprachumfang unterstützt und zunächst mit den unter Gliederungspunkt 2.1 erwähnten, überschaubaren Einzelmodellen getestet.

Gemäß adäquater Prinzipien der Informatik erfolgt die Übersetzung von einer Quellsprache (VHDL-AMS) zu einer Zielsprache (C-Code) mit Hilfe eines sogenannten Compilers [3], [14], [16], dessen prinzipielle Funktionalität Abbildung 2 illustriert. Das sogenannte Frontend, welches die Quelldatei einliest und die Zwischenform erzeugt, besteht im Wesentlichen aus einem LEX & YACC-basierten Parser. LEX realisiert dabei die lexikalische Analyse und logische Zerlegung des Quelltextes in sogenannte Tokens, YACC übernimmt die syntaktische und semantische Analyse des entstandenen Symbolstromes. Die Semantikanalyse basiert auf einer BNF-ähnlichen (Backus-Naur-Form, zur Darstellung kontextfreier Grammatiken) Grammatik der Quellsprache. Unter Verwendung von **Flex** zur Behandlung der LEX-Datei und **Bison** für die YACC-Datei wird in einer Linuxumgebung der Parser erzeugt [5], [9], [17]. Damit geschieht dann in einem nächsten Schritt nach dem Einlesen und der Prüfung auf Korrektheit über einen Syntaxbaum die Erstellung einer allgemeinen Zwischenform.

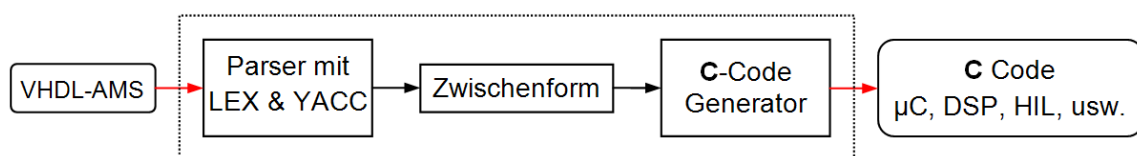


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Codeübersetzung

Daraus wiederum wird durch Ablaufen des Syntaxbaumes anschließend im Backend mittels Codegenerator der dem VHDL-AMS-Modell entsprechende C-Code für die jeweilige Zielhardware generiert.

Da jede Zielhardware (wie z.B. PowerPC, verschiedenste 8-32 Bit  $\mu$ C, DSP, usw.) jeweils andere Hardwarevoraussetzungen sowie Ausstattungen bieten und somit systemspezifische Eigenheiten zur Programmierung erfordern, muss für jedes Zielsystem ein eigenes angepasstes Backend erstellt werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu beachten, dass eine definierte Abarbeitungszeit und deren Überwachung mittels Echtzeitumgebung erforderlich sein kann.

## 2.3 Ergebnis

Erste Ergebnisse liegen in Form eines bereits funktionsfähigen Entwicklungswerkzeug-Prototypen vor, welcher nach Angabe entsprechender Parameter (z.B. Abtastzeit, Dateinamen) ausgeführt wird. Damit ist es möglich, eine VHDL-AMS Quelldatei mit eingeschränktem Sprachumfang in C-Code für ein HIL-System von dSpace [7], [8] zu übersetzen. Der generierte Code enthält das gewünschte Verhalten und nutzt, mit der angegebenen Abtastzeit, die Echtzeitfunktionen des HIL-Systems.

Somit konnte die im Simulationssystem mit Hilfe von VHDL-AMS erstellte Anwendung über den entwickelten automatischen Softwaregenerator – welcher den Steuerungsalgorithmus auf ein HIL-System übersetzt – real nachgebildet werden. Dabei sollte (wie in Abbildung 3 dargestellt) ein Quelle/Last-System durch gezielte Ansteuerung über das HIL-System in der Lage sein, einen Energiespeicher, wie z.B. einen Superkondensator oder wie hier eine Batterie, nachzubilden. Damit kann die Funktion entsprechend nachgeschalteter Hardware getestet werden, ohne dass die Nachteile eines realen Speichersystems beachtet werden müssen (langwierige Ladevorgänge, Tiefentladungen, Überspannung, usw.). Einsatzmöglichkeiten finden sich beispielsweise in der Überprüfung der Funktionsweise von bidirektional wirkenden DC/DC Konvertern für Photovoltaik Anwendungen.

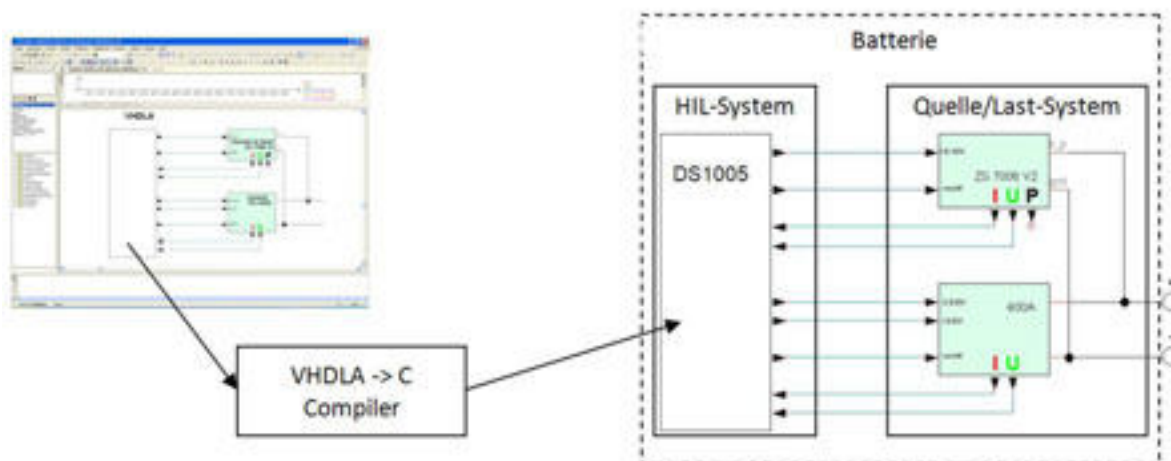


Abbildung 3: Designflow und beispielhafte Anwendung

Im derzeitigen Entwicklungsstand des Softwaregenerators ist es lediglich nötig, im entstandenen C-Code einige Programmzeilen zu ergänzen, um das Ansprechen der speziellen AD/DA-Wandlerkarten – welche für die Ein/Ausgänge erforderlich sind – zu ermöglichen. In Abbildung 4 sind die ermittelten Ergebnisse aus Messung einer realen 12 V 11 Ah Batterie, des Simulationsmodelles und des Quelle/Last-Systems vergleichend dargestellt.



Darin ist zu erkennen, dass sich das Verhalten von VHDL-AMS und C-Code nicht unterscheidet. Die deutliche Stufung der Messwerte des Quelle/Last-Systems entsteht durch die Abbildung der möglichen 120 V auf den mit 12 Bit aufgelösten 5 V Ansteuerungseingang der Quelle.

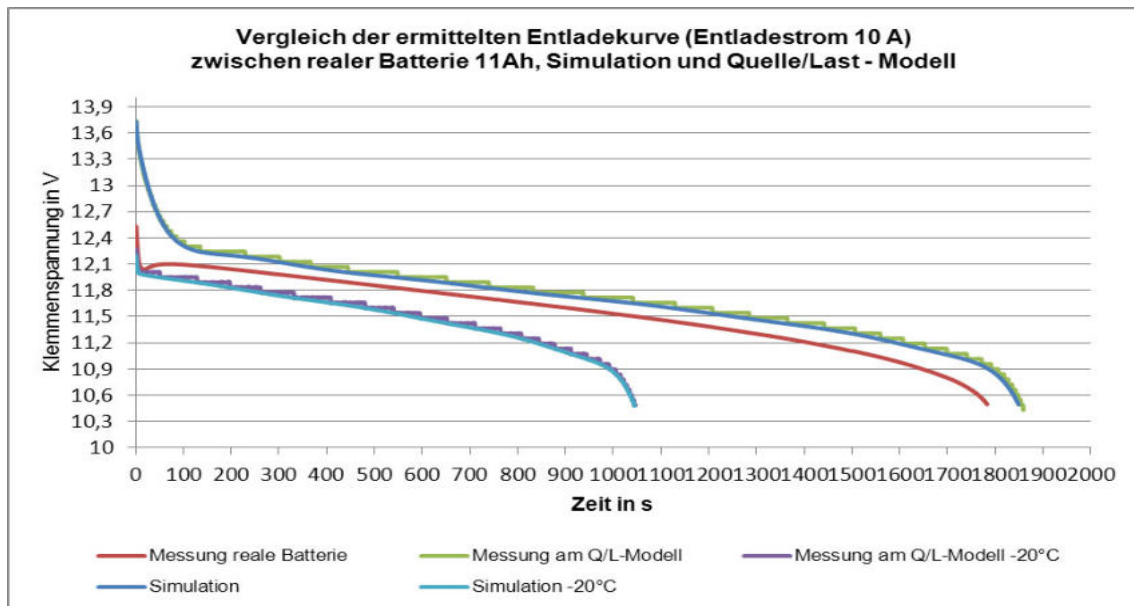


Abbildung 4: Vergleich reale Batterie, Simulation und Quelle/Last-Modell

### 3 Zusammenfassung

Zur Realisierung eines durchgängigen Designflows zum Steuerelektronikentwurf ist es gelungen, einen funktionsfähigen Entwicklungswerkzeug-Prototypen zu erstellen. Dieser Prototyp ermöglicht es, VHDL-AMS – aktuell noch mit eingeschränkter Sprachunterstützung – in C-Code zu übersetzen. Der dabei entstandene Programmcode kann direkt mit dem PowerPC-Compiler [13] des HIL-Systems auf die Hardware übertragen werden. Er ist auf diesem Echtzeitsystem lauffähig und bildet das in VHDL-AMS erstellte Verhalten korrekt nach. Somit ist es also gelungen, aus dem VHDL-AMS-Simulationsmodell heraus automatisch C-Code für eine Zielhardware zu erzeugen, ohne dass hierfür umfassende Programmierkenntnisse nötig sind.

### 4 Ausblick

Im weiteren Fortgang dieser Arbeit ist die Erweiterung des VHDL-AMS Sprachumfangs, welcher in C-Code übersetzt werden kann, eine Hauptaufgabe. Zusätzlich sollen die möglichen unterstützten Zielhardwareplattformen um verschiedenste  $\mu\text{C}$  und DSP Familien ergänzt und erweitert werden. Ebenfalls kann eine Ausgabe von ANSI-C implementiert werden um allgemeingültigen Programmcode zur Weiterverarbeitung zur Verfügung zu stellen. Um eine nutzerfreundliche Verwendung des Werkzeuges zu ermöglichen, kann eine grafische Benutzeroberfläche erstellt werden oder es erfolgt die direkte Integration in ein Simulationssystem.

## 5 Literatur

- [1] Adapted Solutions / Portunus: **Übersicht zu VHDL-AMS**  
Adapted Solutions, Chemnitz, 2009
- [2] Alain Vachoux.: **VHDL-AMS Instant.**  
IEEE, 2006.
- [3] Alfred V. Aho, Monica S. Lam, Ravi, Ravi Sethi, Jeffrey S. Ullman.: **Compiler Prinzipien Techniken und Werkzeuge.**  
PEARSON EDUCATION DEUTSCHLAND GMBH, 2008.
- [4] Andreas Mäder: **VHDL Kompakt.**  
Technical report, Universität Hamburg, 2005.
- [5] Charles Donnelly, Richard Stallman: **Bison The Yacc-compatible Parser Generator**  
November 2009.
- [6] Dr. -Ing. Reinhold Vahrmann: **Hardware Beschreibungssprachen.**  
Technical report, FH Heilbronn, 1998.
- [7] dSPACE: **DS1005 PPC Board RTI Reference Release 6.3**  
dSPACE GmbH, November 2008
- [8] dSPACE: **DS1005 PPC Board RTILib Reference Release 6.3**  
dSPACE GmbH, November 2008
- [9] Helmut Herold: **lex & yacc Die Profitools zur lexikalischen und syntaktischen Textanalyse.**  
ADDISON-WESLEY, 2003.
- [10] IEEE: **IEEE Standard VHDL Analog and Mixed-Signal Extensions.**  
IEEE, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA, 1999.
- [11] Joachim Haase: **Simulation mit VHDL-AMS.**  
Technical report, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen Außenstelle EAS Dresden, 2001.
- [12] Joachim Haase, P. Schwarz, P. Trappe, W. Vermeiren.: **Erfahrungen mit VHDL-AMS bei der Simulation heterogener Systeme.** Technical report, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Außenstelle EAS Dresden, 2000.
- [13] Mentor Graphics®: **Microtec® C/C++ Compiler User's Guide and Reference for the PowerPC Family Software Version 3.3,** Mentor Graphics Corporation, August 2007
- [14] Prof. Dr. Jürgen Scholz: **Compiler**  
Fachhochschule Augsburg, 2008.
- [15] Synplicity, Inc.  
**VHDL handbook.**  
Technical report, Synplicity, Inc., 2007.
- [16] U. Kastens  
**Handbuch der Informatik Übersetzerbau.**  
Oldenbourg Verlag München Wien, 1990.
- [17] Vern Paxon  
**Flex a fast scanner generator.**  
University of California, 1995.
- [18] Y. Herve.  
**VHDL-AMS Anwendung und Industrieller Einsatz.**  
Oldenbourg Verlag München Wien, 2002.

## Entwicklung einer Echtzeit-Steuereinheit für den Einsatz in verschiedenen SoCs

Hannes Heimbach gen. Göthe, M. Eng., Phone: +49.3461-46-2811, ,  
E-Mail: hannes.heimbach@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str. 88, 06217 Merseburg

Oliver Punk, Dipl. Ing. (FH), Phone: +49.3461-46-2810, Fax: +49.3461-46-2192,  
E-Mail: oliver.punk@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str. 88, 06217 Merseburg

Prof. Dr. Uwe Heuert., Phone: +49.3461-46-2189,  
E-Mail: uwe.heuert@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str. 88, 06217 Merseburg

### Abstract

In dieser Arbeit wird der *Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language* (VHDL) - Entwurf einer Echtzeit-Steuereinheit für den Einsatz in FPGA-basierten *System on a Chip* (SoC) vorgestellt. Diese *Real Time Engine* (RTE) kann dem jeweiligen Einsatz und den zur Verfügung stehenden Ressourcen entsprechend während der Einbindung in das SoC angepasst werden. Durch eine Bus-Anbindung kann sie über den Mikrocontroller des *System on a Chip* konfiguriert werden. Im Betrieb können Ereignisse mit 5 ns zeitlich aufgelöst und pro Kanal bis zu 32 Leitungen (paralleles Wort) gesetzt werden.

**Keywords:** Echtzeit, FPGA, SoC, Embedded Devices, VHDL

## 1 Einleitung

Bei vielen messtechnischen Aufgaben gibt es zeitkritische Elemente. Von Ultraschallanwendungen bis zur NMR<sup>1</sup>-Spektroskopie müssen zu exakt definierten Zeitpunkten Aktionen ausgelöst werden. Diese Aktionen können das Schalten einfacher Leitungen, beispielsweise zum Starten der Datenaufnahme, aber auch das Setzen paralleler Steuerwörter beinhalten. Durch die Echtzeitfähigkeit in Verbindung mit einer großen Anzahl an Ein-/Ausgängen bieten sich FPGAs<sup>2</sup> für SoCs<sup>3</sup> für derartige Steueranwendungen an und werden auch schon vielseitig eingesetzt. Aufgrund der Komplexität der Konfigurationsentwicklung (Schaltungsentwicklung) für solche *Programmable Logic Devices* (PLDs) verschiebt sich die Entwurfsebene weg von tieferen RTL<sup>4</sup> hin zu höheren (Systemebene) Abstraktionsstufen[1]. Vor diesem Hintergrund wurde eine wiederverwertbare Einheit für Echtzeitsteueraufgaben entwickelt, die beim Erstellen des Systems auf Modulebene ein möglichst großes Maß an Flexibilität bietet und so an das jeweilige Zielsystem und die entsprechende Zielanwendung mit kleinem Aufwand angepasst werden kann.

---

<sup>1</sup> Nuclear Magnetic Resonance

<sup>2</sup> Field Programmable Gate Array

<sup>3</sup> System On a Chip

<sup>4</sup> Register Transfer Level

## 2 Anforderungen an die Real Time Engine (RTE)

Bei der RTE soll, während das Modul in die Systemebene eingebunden wird, die Anzahl der zur Verfügung stehenden Kanäle, die Anzahl der Eigenschaften der Kanäle sowie der mögliche Umfang der mit dem Zielsystem durchgeführten Experimente/Steueraufgaben variabel sein, ohne dass der VHDL-Quellcode verändert wird. Für experimentell anspruchsvolle Steueraufgaben (z.B. bei NMR-Spektroskopie) soll die zeitliche Auflösung (der minimale Abstand zweier Zustandsänderungen) möglichst klein sein. Dabei müssen aber von der Steuereinheit auch Zeiträume für umfangreichere Experimente abgedeckt werden (Stunden/Tage/Wochen). Für eine einfache Integration in bestehende Systeme soll die RTE zur Konfiguration an den PLB<sup>5</sup> angebunden werden. Somit lassen sich Steuersequenzen über einen eingebetteten Mikrocontroller (PPC/ uB<sup>6</sup>) in der Sprache C (oder C++) programmieren. Durch die Anbindung des Mikrocontrollers über die Schnittstellen USB, PCIe oder Ethernet kann dies grafisch von einer PC-Steuerapplikation aus geschehen [4],[5],[6].

## 3 Umsetzung

Zentrales Element ist ein einfacher 64-Bit Counter. Dieser hat seinen eigenen Takteingang. Dies hat mehrere Vorteile. Zum Beispiel kann so zum Konfigurieren der RTE ein langsamerer BUS-Takt und für den Zähler ein hochfrequenter Takt benutzt werden. So wird über die kurzen Periodenlängen des Zählertaktes eine feine zeitliche Einteilung ermöglicht, ohne dass das gesamte, komplexe System mit den hohen Frequenzen arbeiten können muss. Als zusätzlicher Effekt wird so die Leistungsaufnahme verringert, da diese von der Anzahl der für die Schaltung verwendeten Logikelemente und der Frequenz mit der sie arbeiten, bestimmt wird [1],[2].

Damit hinreichend lange Zeiträume abgedeckt werden können, wird ein 64-Bit Zähler verwendet. Die zum Konfigurieren verwendete Anbindung an den PLB hat eine Datenbreite von 32 Bit. Bei einem Zählertakt von 400 MHz<sup>7</sup> und somit einer zeitlichen Auflösung von 2,5 ns<sup>8</sup> ergäben 32-bittige Zeitwörter aber nur einen Zeitraum von knapp 11 Sekunden. Deshalb werden zwei PLB-Datenwörter zu einem Zeitwort von 64 Bit zusammengesetzt. So kann theoretische ein Zeitraum von 1460 Jahren, in 2,5 ns aufgelöst, abgedeckt werden [7].

Es gibt drei über den PLB beschreibbare Register zum Konfigurieren und Steuern. Zu jedem Kanal gibt es einen FIFO<sup>9</sup>-Speicher für 64 Bit Zeitwerte und einen Speicher für zugehörige Ausgabewerte von bis zu 32 Bit. Um die Daten über den PLB in die

---

<sup>5</sup> Processor Local Bus – Eine von IBM entwickelte und von Xilinx weitestgehend übernommene Bus-Spezifikation zur schnellen Anbindung lokaler Peripherien (System on a Chip) an einen Prozessor [3]

<sup>6</sup> PowerPC und MicroBlaze, letzterer ist ein 32Bit - Softcore Mikrocontroller von Xilinx, der direkt mit dem eigenem Design in den FPGA geladen wird

<sup>7</sup> Gesamtsystem wurde bisher mit bis zu 200 MHz überprüft, Tests einzelner Komponenten deuten aber an, dass 400 MHz durchaus realistisch sind.

<sup>8</sup> Nano Sekunden  $1\text{ ns} \triangleq 10^{-9}\text{ s}$

<sup>9</sup> Speicher nach dem First In First Out Prinzip

Speicher zu schreiben, müssen zuerst Adress- und Steuerregister gesetzt werden. Über Ersteres wird bestimmt, welcher Kanal die nächsten Daten erhält [7].

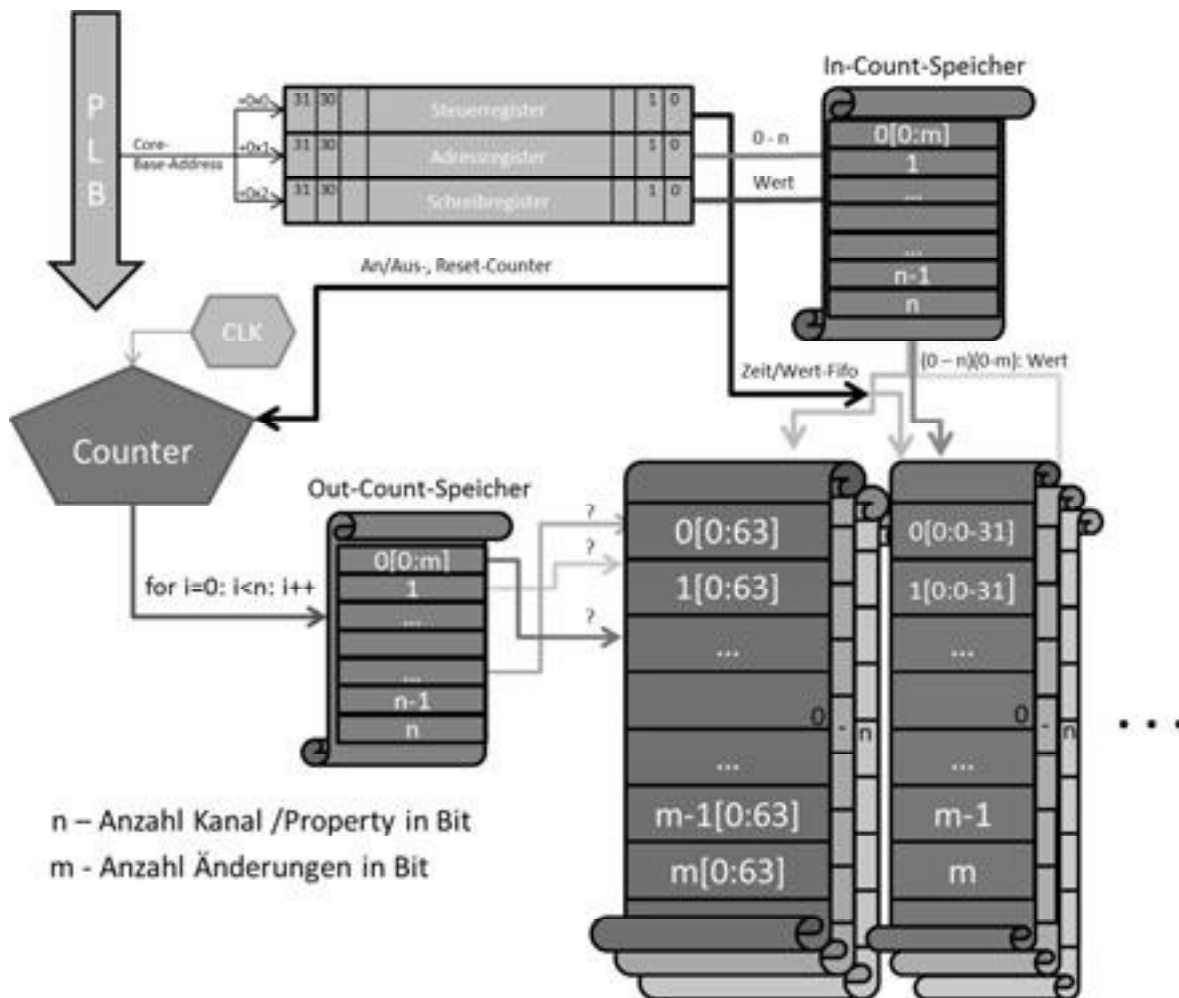


Abbildung 1: Schema Aufbau Real Time Engine

Das Zweitgenannte ermöglicht neben der Steuerung des Counters die Auswahl von Zeit- oder Daten-FIFO. Auf Register 3 wird dann der entsprechende Wert geschrieben (siehe Abbildung 1). Dies geschieht in der Reihenfolge oberes und unteres Zeithalbwort, danach der zugehörige Datenwert. Abschließend wird der Eingangszähler des Kanals inkrementiert.

Beim Einbinden des Cores kann neben Speichertiefe und Wertgröße auch die Anzahl der Kanäle bestimmt werden. Entspricht der aktuelle Wert des Counters dem eines gespeicherten Zeitwertes, so werden die zugehörigen Daten auf die entsprechende Leitungen gelegt. Diese Datenwörter von 1 bis 32 Bit erlauben Anwendungen von einzelnen Leitungen als Gate bis hin zu parallelen Steuersignalen für periphere Geräte.

Die Speichertiefe für derartige Änderungen der Signalleitungen pro Kanal ist auf 10 Bit voreingestellt, kann aber bis auf 32 Bit erhöht werden. Die oberen Grenzen für die Kombinationen aus Kanälen, Speichertiefe und Datengröße werden durch die Möglichkeiten des verwendeten FPGA bestimmt. Für die Eingangs- und Ausgangszähler der Kanäle existieren ebenfalls Speicher mit der Kanalanzahl an

Speicherplätzen und Datenbreiten äquivalent der FIFO-Tiefe (Anzahl der Änderungen). Der Ausgangszähler wird inkrementiert, sobald der Counterwert einem Zeitwert gleicht. Aktiviert wird der Counter, wie sein Reset auch, über das Steuerregister [7].

## 4 Ergebnisse

Die hier vorgestellte RTE ist in einem prototypischen Aufbau für eine Ultraschall-Geräte-Plattform als auch in einer Machbarkeitsstudie eines volldigitalen NMR-Spektrometers erfolgreich eingesetzt worden. Der entstandene RTE-Core konnte in einer Spartan-3e, Spartan-6 als auch einer Virtex-5 FPGA der Firma Xilinx implementiert werden. Dabei wurde die Funktionalität bei Zählertaktfrequenzen von 25 MHz bis 200 MHz überprüft. Zu diesem Zweck wurde die RTE mit Sequenzen programmiert und die Ausgangssignale mit einem Oszilloskop (Tektronix MSO4104) aufgenommen.

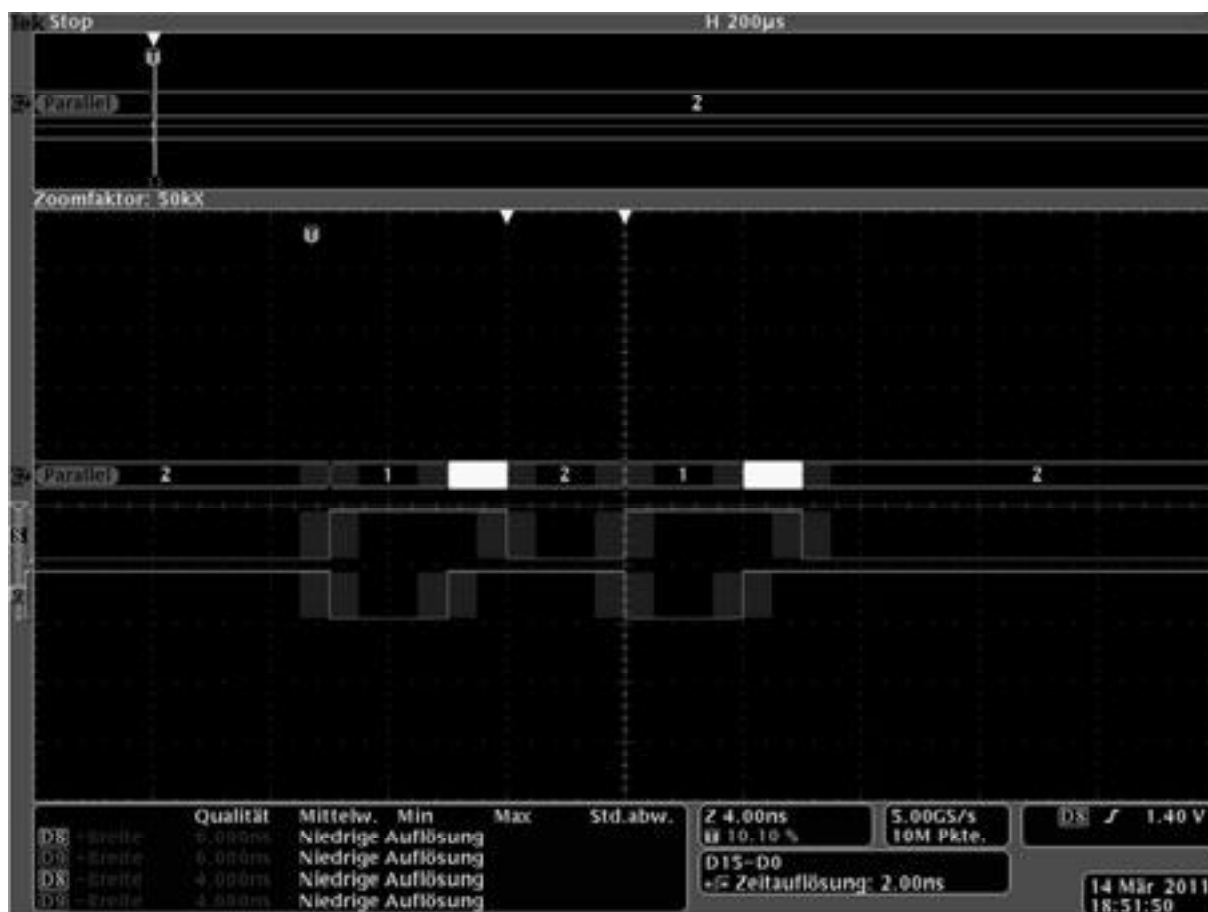


Abbildung 2: MSO Digital – RTE mit 200 MHz Zählertakt - 4 Änderungen mit möglichst kurzem zeitlichen Abstand

Abbildung 2 zeigt zwei digitale Kanäle des Mixed Signal Oszilloskops. Die beiden Signale wurden über einen PowerPC und die RTE auf einer Virtex-5<sup>10</sup> gesetzt. Am

<sup>10</sup> XC5VFX70T mit integriertem PowerPC, Speedgrade -1

Counter-Takteingang lag dabei eine Frequenz von 200 MHz an. Die Zeitauflösung der Digitaleingänge des Oszilloskops ist leider auf 2 ns begrenzt, wodurch die Impulsbreite in der Darstellung auf 4 ns verkürzt oder auf 6 ns verlängert wird. Zum Vergleich erkennt man in Abbildung 3, die das obere der beiden in Abbildung 2 dargestellten Signale über einen Analogeingang abgetastet zeigt, dass die Impulsbreite sehr dicht an den optimalen 5 ns liegt.



Abbildung 3: MSO Analog – RTE mit 200 MHz Zählertakt - 4 Änderungen mit möglichst kurzem zeitlichen Abstand

## 5 Ausblick

Bisher sind Speichertiefe (Anzahl der Zustandsänderungen je Kanal), Kanalanzahl und die gemeinsame Datenbreite der Kanäle beim Instanzieren des Cores einstellbar. Für eine flexible Anzahl an Eigenschaften (*Properties*) pro Kanal sind noch einige Modifikationen nötig. Auch innerhalb des RTE-Cores ist der Aufbau modular. Das bedeutet, dass er sich aus Komponenten für das eigentliche Verhalten und Komponenten für die Kommunikation zusammensetzt. Dies wiederum ermöglicht ein verhältnismäßig leichtes Austauschen der Anbindung an den (Xilinx) PLB durch z.B. eine Verknüpfung zum (Actel) AHB<sup>11</sup>. Somit ist die RTE nicht nur flexibel gegenüber den Ressourcen (Größe und damit Preis) sondern auch in Bezug auf den Hersteller der FPGA.

<sup>11</sup> Advanced High-Performance Bus

## Literaturverzeichnis

**[1] Entwurf von digitalen Schaltungen und Systemen mit HDLs und FPGAa** [Buch] / Verf. Frank Kesel, Ruben Bartholomä. - München : Oldenbourger Wissenschaftsverlag, 2009.

**[2] Hardware-Software-Codedesign: Entwicklung flexibler Mikroprozessor-FPGA-Hochleistungssysteme** [Buch] / Verf. R. Gessler T. Mahr. - Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, 2007.

**[3] LogiCORE IP Processor Local Bus (PLB) v4.6 (v1.05a)** [PDF] / Verf. Xilinx, Inc.. - 21.09.2010.

**[4] FPGA als zentraler Bestandteil einer neuartigen Gerätearchitektur für ein digitales NMR-Spektrometer** /Verf. S. Döhler, O. Punk, U. Heuert, M. Braun, W. Grellmann / 11. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz, Tagungsband Seite 237-244 / Schmalkalden, April 2010

**[5] Modern Device Concepts – Digital Part of a NMR Spectrometer** / Verf. O. Punk, S. Döhler, U. Heuert / 33. *International Spring Seminar on Electronics Technology*, Warschau, Polen, Mai 2010  
[http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=5547327&queryText%3DHuert%26openedRefinements%3D\\*%26searchField%3DSearch+All](http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=5547327&queryText%3DHuert%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All)

**[6] FPGA based Device Concept for non-destructive Material Analyses** / Verf. O. Punk, M. Brutscheck, S. Döhler, U. Heuert / 17. *Electronic Devices and Systems IMAPS CS International Conference*, Brno, Tschechische Republik, September 2010

**[7] Entwurf und Implementierung des zeitkritischen Teils eines volldigitalen FPGA-basierten Eigenbau-NMR- Spektrometers** [Masterarbeit] / Verf. H. Heimbach ,Hochschule Merseburg, 2010.



# Universal Protocol: Cross – Code – Generation

Oliver Punk, Dipl. Ing. (FH), Phone: +49.3461-46-2810, Fax: +49.3461-46-2192,  
E-Mail: oliver.punk@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Straße 88, 06217 Merseburg

Prof. Dr. Uwe Heuert., Phone: +49.3461-46-2189,  
E-Mail: uwe.heuert@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Straße 88, 06217 Merseburg

## Abstract

Messgeräte verfügen in der heutigen Zeit über eine Vielzahl an modernen Kommunikationsschnittstellen. Diese Schnittstellen, als Beispiel sei hier das LAN-Interface über TCP/IP genannt, arbeiten aufgrund ihrer Implementierung in der Regel nicht in einem harten Echtzeitbereich. Die harte Echtzeit ist jedoch Voraussetzung für die Digitalisierung von analogen Messsignalen. Somit entsteht eine Trennung zwischen der Messwertaufnahme bzw. Messwertverarbeitung und den erforderlichen Kommunikationskomponenten im Messgerät hinsichtlich unterschiedlicher Zeitdomänen. Diese Trennung führt weiterhin zum Einsatz unterschiedlicher Programmier-Paradigmen, welche die Hardwarebeschreibung bis hin zur komplexen Framework-basierten Applikationsschnittstelle umfassen. Die nachfolgende Arbeit beschäftigt sich mit dem Entwurf und der Implementierung eines universellen Protokolls, welches ein komplexes Messgerät abbilden und damit instrumentieren kann. Dabei wurde besonders auf die freie Skalierbarkeit und die Reduzierung der zu übertragenden Informationen Wert gelegt. Als Hauptpunkt der Arbeit wird die automatische Code-Generierung für verschiedene Programmiersprachen bzw. Compiler aus einer vorhandenen .NET-Assembly gezeigt, die sich bezüglich der Generierung von derzeitigen Ansätzen über abstrakte Modellierungssprachen unterscheidet. Die dabei erfolgten Arbeitsschritte werden detailliert beschrieben und erklärt. Daraus sich ergebende Vorteile werden bezüglich des heterogenen Ansatzes herausgestellt. Weiterhin wird eine bereits erfolgte Implementierung auf ein bezüglich der zugrunde liegenden Plattformen heterogenes Messsystem, bestehend aus einer Xilinx-FPGA und einem x86-Applikations-Computer, gezeigt und beschrieben. Abschließend werden weitere Implementierungsschritte bzw. Ansätze hinsichtlich einer Erweiterung der Funktionalität besprochen.

**Keywords:** Code-Generierung, Embedded Device, FPGA, C, .NET Framework, C#, SOA , XML

## 1 Einleitung

In der modernen Messtechnik kann in einem Messsystem aufgrund der verschiedenen Anforderungen bezüglich der Messwertaufnahme und Messwertverarbeitung bzw. der Kommunikation eine Trennung in unterschiedliche Zeitdomänen vorgenommen werden. Die eigentlichen Messdaten müssen am Sensor in Echtzeit aufgenommen werden, damit eine Auswertung im Sinne der digitalen Signalverarbeitung erfolgen kann. Echtzeit drückt dabei keine quantitative Bewertung der Messintervalle aus, sondern bezieht sich auf den vollständigen Determinismus eines Systems bezüglich einer oberen zeitlichen Schranke. Verhält sich das System ebenso gegen eine untere absolute Schranke in einem Wahrscheinlichkeitsbereich von 1, so spricht man von einem vollständig Echtzeit-aufgelösten System. Moderne Kommunikationsschnittstellen wie USB, Ethernet oder Bluetooth, die heute Verwendung finden und als gegeben vorausgesetzt werden, erfüllen die Bedingung der Echtzeit aufgrund ihrer Arbeitsweise nicht. Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Zeitdomänen mit den innenliegenden funktionalen Gruppen.

Zum Nicht-Echtzeitbereich gehören demnach die Kommunikations-Konnektoren in Form von User-Interfaces und Input/Output-Bereiche als auch hier nicht dargestellte Kommunikationskomponenten.



Abbildung 1 Übersicht der verschiedenen Arbeits- bzw. Zeitdomänen

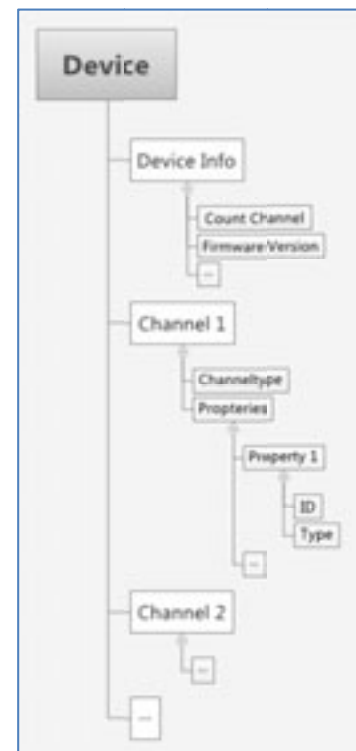
Im Echtzeitbereich werden die Schnittstellen zur Diskretisierung von analogen Signalen gezeigt, die einem Echtzeit-fähigem Verhalten unterworfen sein müssen.

## 2 Universal Protocol

Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit dem in der Arbeitsgruppe um Professor Heuert entwickelten, universellen Protokoll.

### 2.1 Anforderungen

Die Hauptanforderung an ein universelles Protokoll ist die freie Skalierbarkeit bezüglich der zu parametrisierenden Hardware. Mittels einer hierarchischen Struktur werden somit  $n$  Kanäle (*Channel*) unterstützt, wobei unter einem *Channel* eine funktionale Untereinheit eines Messgerätes verstanden werden kann. Mögliche *Channel*-Typen wären z.B. ein Echt-Zeit-Controller, ein Empfänger oder ein Sender. Dabei muss die funktionale Struktur nicht mit der eigentlichen physikalisch vorhandenen Struktur übereinstimmen. Die Eigenschaften jedes *Channel* werden über eindeutige *Properties* bestimmt. Das Protokoll soll von jeglichen Kommunikationsmedien (USB, LAN oder WS<sup>1</sup>) unterstützt werden. Für Low-Speed-Verbindungen bzw. Verbindungen mit gehobenen Ansprüchen an den Datendurchsatz stehen binäre Serialisierer bzw. Deserialisierer zur Verfügung. Weiterhin soll das Protokoll auf unterschiedlichen Hardware-Plattformen eingesetzt werden, was wiederum eine automatische Erkennung der entsprechenden *Byteorder* bedeutet. Mittels des Konzeptes der *Cross-Code-Generation* wird das Protokoll auf allen Plattformen bzw. Programmiersprachen konsistent gehalten.



<sup>1</sup> Webservice

## 2.2 Applikationssoftware

Die ursprüngliche Applikationssoftware zur Verarbeitung der Messdaten wurde unter Microsoft .NET Version 3.5 in der Programmiersprache C# entwickelt. Dabei entstand auch die „Master“-Version des „*UniversalProtocol*“ als Klassenbibliothek. Durch die Verwendung von Cross-Code-Generation existieren nunmehr konsistent gehalten Bibliotheken auch für C/C++, die plattformunabhängig konsumiert werden können.

## 2.3 Echtzeit-Schaltung

Der Echtzeit-Bereich des Messgerätes wurde auf einer FPGA<sup>2</sup> in der Hardware-Beschreibungssprache VHDL<sup>3</sup> implementiert bzw. synthetisiert. Dabei entsprechen verschiedene IP<sup>4</sup>-Cores den zu unterscheidenden Kanälen. Mit diesem Konzept wurde ein prototypisches Ultraschall-A-Bild Gerät mit drei Kanälen (Controller, Sender, Empfänger) realisiert [5].

### 2.3.1 Mikrocontroller Schicht

Bezüglich der Verarbeitung von dynamischen und komplexen Informationen im Sinne moderner Kommunikationsprotokolle eignen sich native VHDL-Implementierungen nur bedingt. Um solche Schnittstellen realisieren zu können, wurde ein Prozessor als IP-Core innerhalb der FPGA-Matrix eingebettet. Abbildung 2 zeigt schematisch die Implementierung innerhalb der FPGA-Matrix.



Abbildung 2 Übersicht Gerätekonzept<sup>5</sup>

Durch die Verwendung von *Cross-Code-Generation* stehen nun mehrere Optionen bezüglich des zu verwendenden Betriebssystems auf diesem *Softcore* [1] [2] zur Verfügung. So existiert eine zu den hier verwendeten Xilinx-Bibliotheken kompatible als auch eine in ANSI C gehaltene Implementierung. Im linken Teil der Abbildung ist schematisch eine standardisierte USB-Schnittstelle abgebildet, auf der rechten Seite sieht man den Echtzeitteil als Finite-State-Maschine [6] zuzüglich diverser Kanäle.

<sup>2</sup> Field Programmable Gate Array

<sup>3</sup> Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language

<sup>4</sup> Intellectual Property

<sup>5</sup> RT FSM (Real-time Finite State Machine), TC (Time Controller)

### 3 Cross Code Generation

Als Basis des „*UniversalProtocol*“ wurde eine .NET-Klassenbibliothek in C# entwickelt. In ihr sind sämtliche Frametypen zuzüglich der Deserialisierer und Serialiser mittels Interfaces implementiert. Die Bibliothek ist ausführlich mittels XML-*Tags* dokumentiert und kann über Dokumentationswerkzeuge wie *Sandcastle* oder *Doxygen* zur Erzeugung von entsprechenden *Help-Files* herangezogen werden. Der eigentliche Code-Generator ist ebenfalls in .NET implementiert. Zur Umwandlung der entsprechenden Basistypen existieren sogenannte *DataContracts*, die jeweils Ziel-spezifisch entsprechende Vorschriften beinhalten. Die vorhandene Assembly wird mittels *Reflection* auf ihre verschiedenen, Protokoll-spezifischen Frametypen untersucht und in einer XML-Datei als *Dataset* abgelegt. Dabei sind für diesen Vorgang die eigentlichen C#-Quellen nicht erforderlich, so dass dieser Prozess nicht nur auf die *UniversalProtocol*-Bibliothek beschränkt ist. Aus den extrahierten Daten und bei Zuhilfenahme der beim Kompilieren entstandenen XML-Dokumentationsdatei kann vollautomatisch ein beliebiges OpenXML kompatibles Dokument generiert werden. Als Beispiel sei in Abbildung 3 ein .docx Worddokument gezeigt.

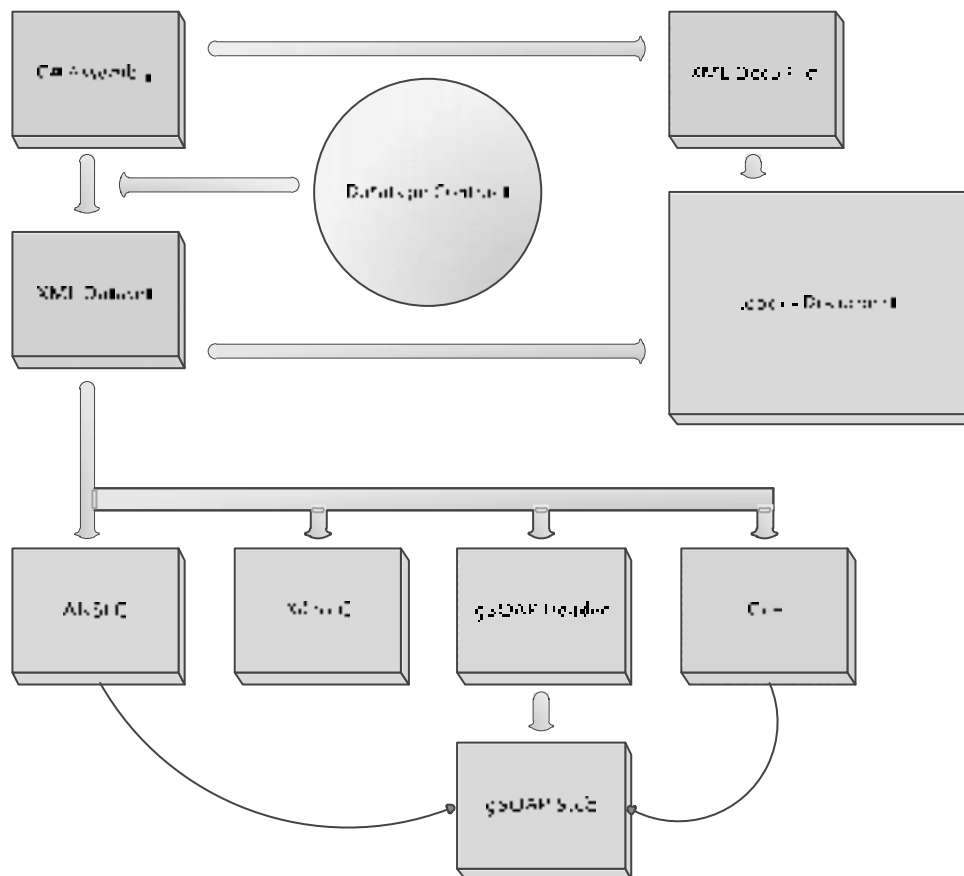


Abbildung 3 Workflow Code-Generation

Weiterhin werden durch das dynamische Laden Programmiersprachen-spezifischer Code-Generatoren Strukturen (C) bzw. Klassen (C++) generiert. In diesem Prozess werden die Deserializer bzw. Serializer für entsprechende Frametypen in Abhängigkeit des gewählten Kommunikationsmediums generiert, wobei in der Regel ein *Stream* zum Schreiben und Lesen der Daten benutzt wird, der entsprechend der

Zielplattform bzw. der Zielschnittstelle transformiert werden muss. Diese Transformations-Methode kann jedoch als Makro implementiert werden und muss demnach nur in einer spezifischen Konfigurationsdatei im Ziel-Code vorhanden sein.

Weiterhin wird aus dem Datensatz des *UniversalProtocols* ein *Header-File* gemäß dem von Robert van Engelen entwickelten gSOAP-Toolkit Syntax erstellt. Aus diesem Header wird von dem im Toolkit verfügbaren Skeleton-Compiler ein C bzw. C++ Stubcode generiert, der eine vollständige SOAP<sup>6</sup> basierte Webservice-Umgebung bereitstellt. In Verbindung mit den nun verfügbaren, typsicheren Webservices oder der Verwendung der nativen C bzw. C++ Funktionalität im Binär-Stream kann eine Verbindung zwischen Device und Applikation im Sinne der Service-orientierten Architekturen (SOA) realisiert werden.

## 4 Ergebnisse

Das im vorherigen Kapitel beschriebene Konzept wurde bereits vollständig umgesetzt. Zur komfortableren Bedienung wurde eine Oberfläche in .NET entwickelt (Abbildung 4), welche die beschriebenen Funktionen beinhaltet. Als Dokumentationsgenerierung wurde das Word docx Format gewählt, wobei aus verschiedenen *Design Templates* ausgewählt werden kann.



Abbildung 4 Bedienoberfläche Code-Generator

Die generierten C/C++ Bibliotheken [4] wurden auf einem Xilinx- $\mu$ Kernel im Xilinx Microblaze™ 32 Bit RISC Prozessor, welcher auf einer Xilinx Spartan® 3E FPGA implementiert wurde, unter Zuhilfenahme eines FTDI-USB 2.0 Chips als UART zu USB Bridge getestet. Weiterhin wurden die gSOAP Funktionalitäten auf einem ebenfalls im Microblaze™ arbeitenden microLinux [3] als Webschnittstelle getestet und diversen Benchmarks unterworfen. Durch die Verwendung des Konzepts der *Cross-Code-Generation* kann sehr flexibel auf Designänderungen bzw. Erweiterungen des *UniversalProtocols* reagiert werden, da nunmehr nur eine Codestelle in der zugrundeliegenden .NET-Klassenbibliothek geändert werden muss. Eine Erweiterung der Code-Generierung auf andere Programmiersprachen erfordert in der Regel nur das Implementieren der entsprechenden Interfaces, da die Generierungsapplikation die verschiedenen Codegeneratoren dynamisch laden kann, so dass auch hier keine redundanten Codeänderungen vorgenommen werden müssen.

<sup>6</sup> Simple Object Access Protocol

Im Zuge verschiedener Masterarbeiten bzw. gegenwärtiger kooperativer Forschungsprojekte wurde das *UniversalProtocol* bereits erfolgreich als Kommunikationsprotokoll eingesetzt. Das Konzept der *Cross-Code-Generation* erwies sich im Hinblick auf die momentane Vielzahl der unterschiedlichen Plattformen und der weiterführenden Evolution der *UniversalProtocol*-Funktionalitäten als die richtige Wahl im Sinne des Embedded-RAD<sup>7</sup>.

## 5 Ausblick

In weiterführenden Arbeiten ist die Implementierung von Protokoll-Translationen des *UniversalProtocol* zu anderen üblichen Standards geplant. Als Beispiel soll hier die vollständige Implementierung des VXI<sup>8</sup> 11 bzw. LXI<sup>9</sup> Standards [7] genannt werden. Weiterhin sind Code-Generatoren bezüglich üblicher Script-Sprachen (z.B. Perl oder LUA) angedacht.

## Literatur

- [1] Platzer, M., Teich, J. & Wehn, N. (2010). *Dynamic Reconfigurable Systems : Architecture, Design Methods and Applications.*, Springer Science + Bussines
- [2] Gessler, R. & Mahr, T. (2007). *Hardware-Software-Dodedesign : Entwicklung flexibler Mikroprozessor-FPGA-Hochleistungssysteme.*, Viehweg und Sohn Verlag.
- [3] Yaghmoure, K., Masters, J., Ben-Yossef, G. & Gerum, P. (2008). *Building Embedded Linux Systems.*, O'Reilly.
- [4] Bollow, F., Homann, M. & Köhn, K. P. (2009). *C und C++ für Embedded Systems*, REDLINE GMBH.
- [5] Höhndorf, T. (2010). Masterarbeit, *Design und Implementierung der Anwendungssoftware für eine moderne Geräteplattform zur Auslegung eines Ultraschall A-Bild Gerätes*, HS Merseburg.
- [6] Heimbach genannt Göthe, H., Punk, O. & Heuert, U. (2010). *Entwicklung einer Echtzeit-Steuereinheit für den Einsatz in verschiedenen SoCs*, 12. NWK Hochschule Harz, Wernigerode
- [7] Punk, O. & Heuert, U. (2011). *Multiple-Interface Design for FPGA-based Measurement Systems*, 34. International Spring Seminar on Electronics Technology, Tatranska Lomica, Slowakei (akzeptiert)

---

<sup>7</sup> Rapid Application Development

<sup>8</sup> VME eXtension for Instrumentation

<sup>9</sup> LAN eXtensions for Instrumentation

# **Design und Implementierung einer Anwendersoftware für eine moderne Geräteplattform zur Auslegung eines Ultraschall-A-Bildgerätes**

Tino Höhndorf M. Eng., Phone: +49.3461-46-2811, Fax: +49.3461-46-2192,  
E-Mail: tino.hoehndorf@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg, Geusaerstr. 88, 06217 Merseburg

Prof. Dr. Uwe Heuert, Phone: +49.3461-46-2189,  
E-Mail: uwe.heuert@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Straße 88, 06217 Merseburg

## **Abstract**

Im Verlauf dieser Arbeit wurde parallel zur Entwicklung eines Prototyps die Anwendungssoftware für ein Ultraschallprüfgerät erstellt. Deren Architektur unterstützt durch ihren modularen Aufbau den Plattformgedanken des Prototyps und ermöglicht die Durchführung von Schweißnahtprüfungen. Dafür wurde die Darstellung von Echogrammen ebenso umgesetzt wie die Möglichkeit, Prüfköpfe zu justieren und Parametern zur Fehlerlokalisierung zu berechnen. Bei der Implementierung der Software wurde die Möglichkeit geschaffen, den Funktionsumfang leicht erweitern zu können, indem ein flexibles Schichtenmodell angewandt wurde. Dieses kapselt die Funktionalität der Anwendung und ermöglicht damit den einfachen Austausch von Modulen, wie zum Beispiel der Benutzeroberfläche. Damit wurde bereits die Vorarbeit geleistet, um eine den Designvorgaben entsprechende Darstellung der Anwenderschnittstelle anzubinden. Zusätzlich wurden Module für die Ansteuerung verschiedener Hardware implementiert, die zur Aufnahme von Echogramme dienen. Ferner wurde ein Modul entwickelt, welches simulierte Daten liefert kann und über dieselbe Schnittstelle angesprochen wird, wie alle anderen Hardwaremodule. Mit der Anwendungssoftware und einem PXI-Labormessgerät konnten verschiedene Ultraschallprüfköpfe justiert und mit deren Hilfe Fehler einer Schweißnaht lokalisiert werden. Die Fehlstellen konnten anhand einer Röntgenaufnahme verifiziert werden.

## **Keywords:**

Ultraschall, Materialprüfung, Softwareentwicklung, Schweißnahtprüfung, A-Bildgerät, Kommunikationsprotokolle, Microsoft .NET Framework

## **1 Einleitung**

Die mobile Messtechnik spielt in der Qualitätskontrolle und der Materialprüfung eine wichtige Rolle. Hier werden vor allem zuverlässige und günstige Methoden benötigt. Im Bereich der Qualitätskontrolle werden dafür Ultraschall-Verfahren ergänzend zu anderen Techniken wie Röntgen- oder Gammadefektoskopie eingesetzt. Die Ultraschall-Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass bestimmte Fehlerarten wie Risse und Bindefehler besser nachweisbar sind. Zudem sind sie kostengünstig und setzen Prüfpersonal keinen gesundheitlichen Risiken aus.

Neben der Qualitätskontrolle wird Ultraschall auch zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung verwendet. Ein bedeutender Vorteil gegenüber Röntgenstrahlung ist die geringe Absorption von Ultraschall in homogenen Materialien wie Metallen. Ein Teilgebiet der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung ist die Untersuchung von Schweißnähten. Eine Neuerung auf diesem Gebiet ist die Entwicklung komplizierter Wandler, deren Schallabstrahlrichtung variiert werden kann. Mit solchen komplexer werdenden Möglichkeiten wird gleichsam der Aufwand größer, solche Prüfgeräte zu entwickeln. Eine besondere Herausforderung für den Produktentwicklungsprozess ist dabei die erfolgreiche Integration der drei Disziplinen Elektronik, Softwaretechnik und Design. Einerseits sollen Elektronik und Software eine Vielzahl von Features bieten, andererseits aber darf der Anwender nicht überfordert werden und erwartet klare Design- und Bedienkonzepte.

Diese Arbeit widmet sich dem Aspekt der Softwareentwicklung für die moderne Plattform eines Ultraschall-Prüfgerätes. Dabei soll eine leistungsfähige, flexible und leicht zu wartende Anwendersoftware entstehen, welche die typische Funktionalität eines A-Bild-Gerätes implementiert. Außerdem soll die Software die Möglichkeit bieten, Ultraschallprüfungen zu simulieren. So können Demonstrationen zum Beispiel für Lehrzwecke unabhängig von vorhandener Hardware durchgeführt werden.

Die Entwicklung der modernen Geräteplattform findet innerhalb eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes statt, welches im Rahmen einer Firmenkooperation innerhalb des ZIM-NEMO<sup>1</sup> Netzwerkes NetUS<sup>2</sup> durchgeführt wird. Kooperationspartner der Hochschule Merseburg sind die SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH und die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH.

## 2 Materialprüfung mit Ultraschall

Die Materialprüfung mittels Ultraschall lässt sich nach [1] als System einzelner Komponenten betrachten: Ultraschall-Sender, Ultraschall-Übertragung und Ultraschall-Empfänger. Diese sind in Abb. 1 dargestellt.



Abb. 1: Systemmodell der Ultraschall-Messtechnik

Im elektrischen Teil des Ultraschall-Senders wird ein Signal erzeugt, welches im Prüfkopf in ein Ultraschall-Signal umgewandelt wird. Dieses wird über ein Koppelmedium in das zu untersuchende Material eingekoppelt. Beim Durchlaufen des Probekörpers wird das Ultraschall-Signal abhängig von den Materialeigenschaften verändert und reflektiert. Trifft das veränderte Signal auf den Empfänger, wird die Ultraschallwelle wieder in ein elektrisches Signal umgewandelt. Dieses kann weiterhin verstärkt und anschließend digitalisiert werden. Das entstehende digitale Signal dient als Ausgangspunkt für weitere Signalverarbeitungen.

## 3 Gerätekonzept

Der in Kapitel 2 vorgestellte prinzipielle Aufbau eines Ultraschallprüfgerätes wurde in ein Gerät umgesetzt, welches als Plattform der entwickelten Software dient. Dazu wurde der in Abb. 2 dargestellte Geräteaufbau des mobilen Messgerätes nach [2] und [3] entwickelt. Das System setzt sich aus Echtzeit- und Nicht-Echtzeitkomponenten zusammen. Der digitale Nicht-Echtzeitteil übernimmt die Steuerung des Messvorgangs, die Anzeige von Echogrammen und Messwerten, die Annahme von Benutzereingaben und die Bereitstellung von I/O-Schnittstellen. Die nach [1]

<sup>1</sup> Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand - Netzwerke

<sup>2</sup> Netzwerk Ultraschall



notwendigen Komponenten, um Ultraschallexperimente durchzuführen, finden sich im analogen Echtzeitteil wieder. Hinzu kommt ein FPGA<sup>3</sup>-Modul zur digitalen Aufbereitung der Messwerte. Als Kommunikationsschnittstelle zwischen beiden Teilen werden Standardschnittstellen wie USB und LAN verwendet werden.

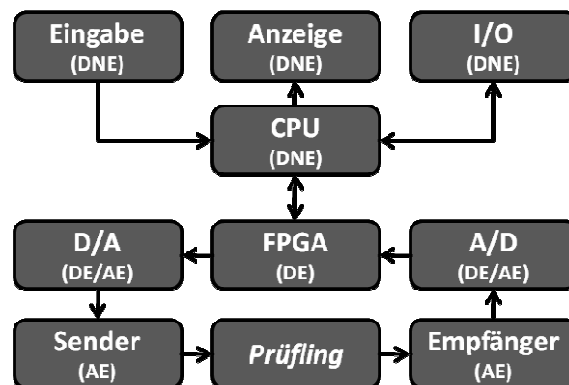


Abb. 2: Gerätekonzept (DNE - Digitaler Nicht-Echtzeitteil, DE - Digitaler Echtzeitteil, AE: Analoges Echtzeitteil) und Prüfling

Die Unterscheidung in Echtzeit- und Nicht-Echtzeitkomponenten wird anhand der Bindungsart von Datenverarbeitung und vergangener Zeit vorgenommen. Durch die feste zeitliche Bindung dieser beiden Faktoren innerhalb der FPGA, wird kein Echtzeitbetriebssystem benötigt, welches die Anwendersoftware ausführt.

Dieser prinzipielle Aufbau kann für eine Vielzahl von Geräten mit unterschiedlichen Eigenschaften Verwendung finden. So ist geplant, weitere Messaufgaben anschließender Projekten auf Basis dieser Plattform umzusetzen. Möglich sind beispielsweise Phased-Array-Geräte, TOFD<sup>4</sup>-Geräte oder automatisierte Prüfsysteme für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Dafür müssen lediglich einzelne Module an die geforderte Leistungsfähigkeit angepasst werden. Die Schnittstellen bleiben dabei dieselben.

## 4 Softwarearchitektur

Grundlage für die Architektur der A-Bild-Anwendersoftware ist ein Schichtenmodell, welches Funktionsgruppen in einzelnen Modulen gruppiert. Gekapselt wird die Funktionalität, um eine leichte Wartung zu ermöglichen und eine hohe Flexibilität zu erreichen. Dargestellt ist die Architektur in Abb. 3. Die einzelnen Ebenen und Module kapseln jeweils bestimmte Aufgaben. Die Ebenen des Schichtenmodells bauen jeweils auf der darunterliegenden Ebene auf.

<sup>3</sup> Field Programmable Gate Array

<sup>4</sup> Time Of Flight diffraction Technique – Ultraschallprüftechnik, bei der die Beugungssignale von Fehlerändern zum Nachweis genutzt werden.

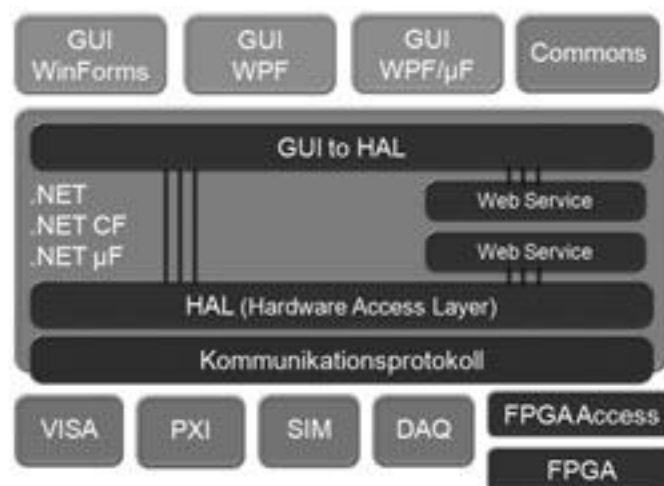


Abb. 3: Softwarearchitektur der Anwendersoftware für den Schweißnahtprototyp

#### 4.1 Hardware Module (VISA, PXI, SIM, DAQ, FPGA)

Die Aufgabe der Hardware-Module ist es, Messwerte zu liefern, aus denen die Echo-gramme erstellt werden. Außerdem müssen Parameter, die zur Aufnahme einer Messung wichtig sind, ausgegeben und ggf. geändert werden können. Zu diesen zählen Abtastrate, Anzahl der aufgenommenen Datenpunkte, Verstärkung und Messbereich.

Hardware-Module wurden für verschiedene Geräte implementiert, welche jeweils über verschiedene Schnittstellen kommunizieren. Jedes kann mit den darüber liegenden Schichten kombiniert werden und so ein funktionierendes Messsystem bilden. Gemeinsam ist allen erstellten Modulen, dass sie mittels des *Universal Protocol* [4] angesprochen werden können. Zusätzlich wurde ein Modul (SIM-Modul) entwickelt, welches statt realer Messwerte vorher festgelegte liefert. Damit lässt sich die Software ohne Messhardware einfach testen.

#### 4.2 Hardwareabstraktionsschicht (HAL)

Die Hardwareabstraktionsschicht HAL trennt die Anwendungslogik von der real angeschlossenen Hardware. Damit ist es möglich, mit derselben Anwendung und ohne Anpassung der Software, verschiedene Hardware zur Datenaufnahme anzusteuern. Kommuniziert wird mit Hardware-Modulen über den synchronen Datenaustausch in Form des *Universal Protocol*. Eine weitere Funktion des HAL ist, die Parameter der aktuellen Hardware vorzuhalten. So ist kein Datenaustausch mit dem Hardwaremodul nötig, sollten nur Werte von der darüber liegenden Schicht abgefragt werden. Außerdem können so in der Hardware nicht unterstützte Parameter, die aber in den höheren Schichten verwendet werden, von der HAL durch Standardwerte simuliert werden. Um zusätzlich eine Automatisierung über Netzwerke zu ermöglichen, ist im Architekturmodell eine Schnittstelle zur Anbindung von Web Services vorgesehen.

#### 4.3 Anwendungsschicht (GUI to HAL)

Die im Architekturmodell als GUItoHAL bezeichnete Schicht stellt die Anwendungsschicht dar. Zur ihren Aufgaben gehört es, die Parameter, die von der grafischen Be-

nutzeroberfläche angezeigt werden sollen, bereitzustellen und diese auf dem aktuellsten Stand zu halten. Die dafür notwendigen Zugriffsfunktionen auf die Hardware liefert die Hardwareabstraktionsschicht.

#### 4.4 Präsentationsschicht (GUI)

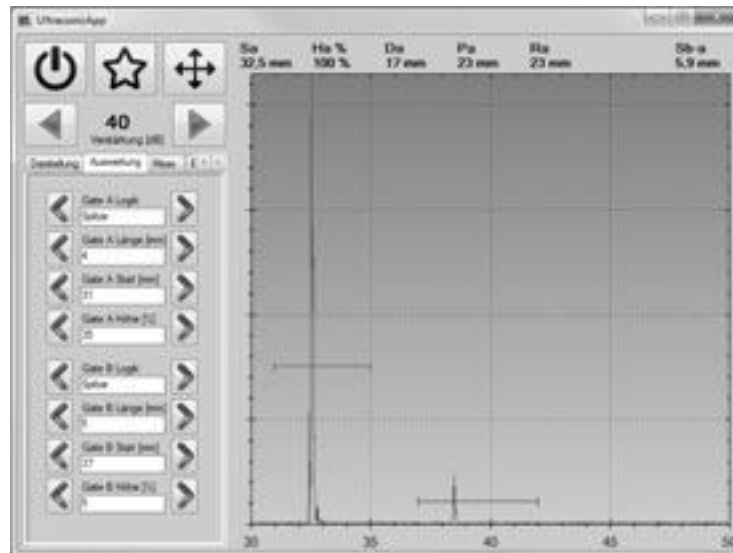


Abb. 4: Grafische Benutzeroberfläche der Anwendersoftware "UltrasonicApp"

Die Schnittstelle des Programmes zum Nutzer ist das grafische Benutzerinterface, die Präsentationsschicht. Die GUI, der auf den Namen UltrasonicApp getauften Anwendung, wurde mit Hilfe der WindowsForms API, ein Teil des Microsoft .NET Frameworks, erstellt. Sie besteht aus zwei Bereichen: links der Bereich für Bedienelemente und rechts der Anzeigebereich. Letzterer beinhaltet einen Graphen vom Typ ZedGraphControl [5] zur Darstellung der gemessenen Echogramme.

## 5 Ergebnisse

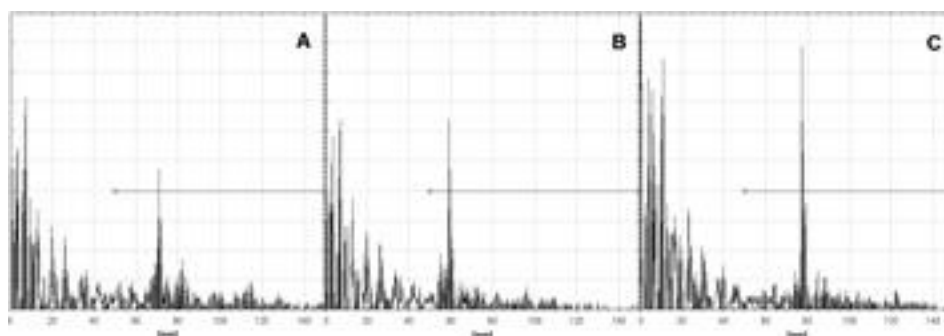


Abb. 5: Echogramme der Fehlstellen A, B und C

Mit der entwickelten Software wurden zur Verifikation der Funktionsweise verschiedene, typische Aufgaben nachvollzogen, die wichtig für die Prüfung einer Schweißnaht sind. So wurde bestätigt, dass es möglich ist, die Anzeige auf verschiedene Prüfköpfe zu justieren und ebenfalls Fehlerlagen zu bestimmen. Abbildung 5 zeigt Echogramme der mit Hilfe des PXI-Labormessgeräts lokalisierten Fehlstellen, die mittels Röntgenaufnahmen (Abbildung 6) bestätigt wurden.



Abb. 6: Montage von Röntgenaufnahmen der Schweißnaht bei 130 kV (zusätzlich zur Schweißnaht wurde ein geeignetes Maßband geröntgt)

## 6 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf wird die Entwicklung der Plattform weiter vorangetrieben. Parallel dazu wird die Anwendersoftware um weitere Features ergänzt, die den Prüf-  
alltag erleichtern sollen. Dazu zählen vielfältige Speichermöglichkeiten für Prüfkopf-  
einstellungen, Echogramme oder Protokolle. Geplant sind außerdem Assistenten, die  
den Umgang mit dem Gerät erleichtern sollen. So kann das Ultraschallprüfgerät auch  
für nicht speziell ausgebildetes Personal interessant werden und bei erfahrenen Prü-  
fern Flüchtigkeitsfehler vermeiden helfen.

Die Benutzeroberfläche des Endgerätes soll sich von denen der Mitbewerber abhe-  
ben und durch ein modernes Design hervorstechen. Dafür soll eine ansprechend  
gestaltete Benutzeroberfläche mit geeigneten Bibliotheken erstellt werden. Eine Mög-  
lichkeit, dies mit modernen Hilfsmitteln umzusetzen, bietet die Microsoft WPF<sup>5</sup>-  
Klassenbibliothek. Des Weiteren müssen die Benutzereingabemöglichkeiten auf die  
eines mobilen Gerätes angepasst werden, da Maus und Tastatur nicht zur Verfügung  
stehen. Die Anwendung muss über Taster und Inkrementalgeber bedienbar sein.

Neben der Anwendung als A-Bildgerät ist geplant, die Plattform für weitere Prüfauf-  
gaben zu nutzen. So ist vorgesehen, Kunststoffprüfungen mit Hilfe der Plattform zu  
instrumentieren.

## Literatur

- [1] Papadakis, E.: *Ultrasonic instruments and devices*. San Diego: Academic Press, 1999.
- [2] Punk, O. / Döhler, S. / Heuert, U.: *Innovative Gerätekonzepte für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung*. KKZ Kunststoff-Kompetenzzentrum Halle-Merseburg, Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften, Hochschule Merseburg (FH): 2009.
- [3] Punk, O. / Brutscheck, M. / Döhler, S. / Heuert, U.: *FPGA based device concept for non-destructive material analyses*. Hochschule Merseburg (FH): 2010.
- [4] Arbeitsgruppe SWS.: *Universal Protocol*. Version 1.15, 2010.
- [5] <http://zedgraph.sourceforge.net>, zugegriffen am 20.02.2011.

---

<sup>5</sup> Windows Presentation Foundation

# **Entwicklung eines Informationssystems für Forschungsleistungen**

Prof. Dr. rer. nat. Arno Fischer, Phone: ++49.3381-355-434, Fax: ++49.3381-355-499, E-Mail: fischer@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg an der Havel

Robert Kullmann, Phone: ++49.3381-355-430, E-Mail: kullmann@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg an der Havel

## **Abstract**

Im Rahmen des Wettbewerbs der Hochschulen wird es immer wichtiger Forschungsleistungen einem breitem Publikum bekannt zu machen. Für die FH Brandenburg wurde ein Informationssystem für diese Daten entwickelt (Forschungsdatenbank). Nachdem die Anforderungen an die die Funktionalität definiert wurden, erfolgte die Implementierung als Webanwendung mittels Ruby on Rails. Schwerpunkte bildeten Rechteverwaltung mit sogenannter Aliasfunktion, die Suche und Auswertung und Verknüpfungen mit anderen Datenbeständen. Die Forschungsdatenbank läuft bereits im Probetrieb und wird derzeit weiterentwickelt.

**Keywords:** Informationstechnologie, Kommunikationstechnologie, Informatik, Automatisierungstechnik

## **1 Motivation**

Forschungsergebnisse einem breitem Publikum bekannt zu machen ist ein wichtiger Aspekt von Hochschulkommunikation. Dies gilt sowohl für die hochschulinterne als auch -externe Präsentation. Externe Kommunikationspartner sind dabei die gesamte Öffentlichkeit, aber auch potentielle neue Studierende und insbesondere neue Forschungspartner. Hochschulintern sollen vergangene und aktuelle Forschungstätigkeiten gut sichtbar dokumentiert und präsentiert werden; hinzu kommen Möglichkeiten wie individuelle Auswertungen und Rankings.

Die Verwaltung und Pflege umfangreicher Forschungsergebnisse ist zeitaufwändig, macht im Falle der Pflege durch Dritte erhöhten Kommunikationsaufwand nötig und birgt Fehlerpotentiale. Daher bietet es sich an, den Forschungsbeteiligten wie Professoren und deren Mitarbeitern einen direkten Zugang zur Verwaltung der eigenen Forschungsergebnisse zu ermöglichen. Unterstützung durch dritte Mitarbeiter sollte dabei, auch im Blick auf den Zeitaufwand, trotzdem angeboten werden können.

## **2 Anforderungen**

Aus der in Kapitel 1 genannten Motivation ergeben sich unterschiedlichste Anforderungen an eine solches Informationssystem; im weiteren Verlauf Forschungsdatenbank genannt. Grob umfasst dies zunächst die Darstellung und Manipulation von möglichst allen relevanten Aspekten von Forschungstätigkeiten.

Die Präsentation nach außen sollte dabei über die Webseiten der Hochschule und auch in gedruckter Form, zum Beispiel als Forschungsbericht, erfolgen können. Intern wird eine einfache Benutzerschnittstelle zum Verwalten der eigenen Datenbestände durch die Forschungsbeteiligten benötigt. Darüber hinaus muss es Such- und Reportmöglichkeiten geben.

Um diese Anforderungen umsetzen zu können, ist es nötig ein Mehrbenutzersystem einzusetzen, für das Systeme zur Authentifizierung und Autorisierung bereit gestellt werden müssen. Dabei ist zu beachten, dass eine Schnittstelle für das Fremdverwalten der gespeicherten Informationen ermöglicht wird.

Die Speicherung und Verwaltung der Forschungsergebnisse und Unterstützungsdaten kann klassisch auf einem zentralen System erfolgen oder es kann auf bereits bestehende Datenbestände zu gegriffen und diese vernetzt werden. Diese Art ist nach Möglichkeit zu bevorzugen, um den Verwaltungsaufwand niedrig zu halten.

Weitere Anforderungen sind Mehrsprachigkeit und Barrierefreiheit.

### 3 Umsetzung

Das bisher umgesetzte System besteht aus einer Ruby on Rails [1] Anwendung im Model-View-Controller Stil, die über Phusion Passenger [9] an einen Apache Webserver angebunden ist. Als Datenbank kommt ein MySQL-Server zum Einsatz, der über die in Ruby on Rails integrierte objekt-relationale Abstraktionsschicht in die Anwendung eingebunden ist.

Die damit umgesetzten Aspekte von Forschungstätigkeiten und darin gespeicherte Informationen sind:

- Persönliches Profil: Titel, Name, Profilbild, Kontaktdaten, Aktuelle Lehr- und Forschungstätigkeiten
- Projekte: Beschreibung, Mitarbeiter, Kooperationspartner, Zeitdauer
- Publikationen: Bücher, Einzelartikel, Konferenzbeiträge, Patente
- Labore: Ort, Mitarbeiter, Beschreibung
- Abschlussarbeiten: Thema, Autor, Betreuer, Volltext

Die Beziehungen zwischen diesen Objekten in der Forschungsdatenbank sind in Abbildung 1 dargestellt. Darüber hinaus können Bilder, Videos und PDF-Dokumente hoch geladen und an alle genannten Objekte (außer Profilen) angehängt werden. Weitere Informationen, die bei der Bearbeitung der oben genannten Objekte benötigt werden, können ebenfalls verwaltet werden. Dazu gehören Gebäude, Hochschulbereiche (Fachbereiche), Mitgliedschaften, Wissenschaftsgebiete, Branchenkompetenzfelder, Kategorien aus dem Strukturentwicklungsplan der Fachhochschule, Projekttypen, Förderungstypen und Publikationstypen.

Bei der Gestaltung der Webseiten, die die Schnittstelle der Anwendung darstellen, wurde darauf geachtet, dass sie in das bestehende Layout der Fachhochschule eingefügt werden können. Zur besseren Präsentation von eingebundenen Bildern und Videos wird die Javascript Bibliothek TopUp [8] verwendet.

Bei der Strukturierung des Quellcodes der Anwendung wird das DRY-Prinzip (Don't Repeat Yourself) [1] von Ruby on Rails angewendet. Dieses besagt dass wichtige Funktionalität stets nur an einem Punkt im Quellcode definiert sein soll, um Dopplungen gleicher Funktionen zu vermeiden. Darüber hinaus wird auch auf die einfache Erweiterbarkeit der Anwendung Wert gelegt und bei der Quellcodeerstellung beachtet.

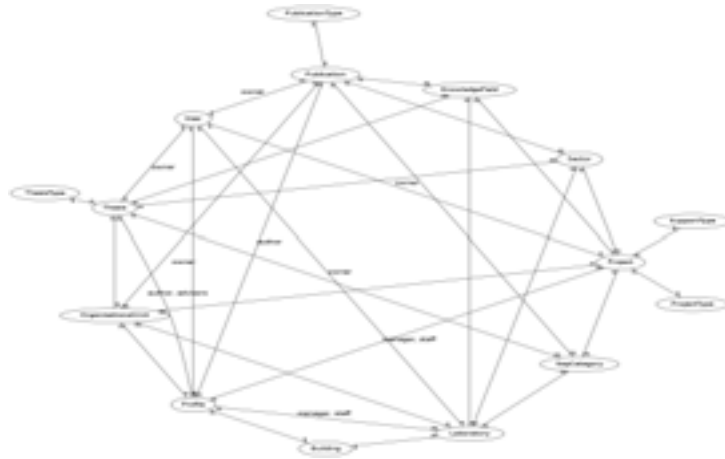


Abbildung 1: Datenbankbeziehungen wichtiger Objekte der Forschungsdatenbank

### 3.1 Rechteverwaltung

Die komplette Anwendung ist in einen öffentlichen, einen internen und einen Administrationsbereich unterteilt. Der öffentliche Bereich ist für alle zugänglich; in den internen Bereich dürfen sich nur registrierte Nutzer einloggen; der Administrationsbereich ist nur Administratoren und Controllern zugänglich.

Diese zwei administrativen Nutzergruppen wurden getrennt erstellt, da neben den Administratoren, die in ihren Rechten nicht eingeschränkt sind, noch eine Nutzergruppe benötigt wird, deren Mitglieder die Fremdverwaltung der gespeicherten Informationen übernehmen können (siehe auch Unterkapitel 3.2). Controller dürfen deshalb zwar neue Informationen anlegen und bestehende ändern, aber keine löschen.

Diese Autorisierung und Rechteverwaltung geschieht mittels der Ruby on Rails Erweiterung Authorization Plugin [2]. Rechte werden dabei anhand von Rollen unterschieden, die den in der Datenbank gespeicherten Benutzerobjekten zugeordnet werden.

Neben den oben genannten Rollen *Controller* und *Administrator* gibt es noch eine Rolle *Veröffentlichungsrecht*, die es gestattet zwischen (nur) registrierten Benutzern und solchen, die auch Informationen veröffentlichen dürfen, zu unterscheiden. Weiter gibt es die Rolle *Besitzer eines bestimmten Objektes*, durch die die Besitzbeziehungen dargestellt werden. Die Überprüfung der Rollen und mit ihnen verbundenen Rechten erfolgt in den Models (der Datenbankabstraktion) beim Anlegen, Ändern und Löschen der Datenbankobjekte.

### 3.2 Aliasfunktion

Die Aliasfunktion erlaubt das Anlegen und Pflegen bestehender Informationen durch Dritte. Controllern und Administratoren wird hierbei die Möglichkeit gegeben vorübergehend die Identität eines anderen Benutzers der Forschungsdatenbank anzunehmen und so in deren Namen zu agieren. Abbildung 2 zeigt eine Ausprägung der Aliasfunktion in der Anwendungsoberfläche. Damit die betroffenen Benutzer trotzdem die volle Kontrolle über die Informationen haben, die in ihrem Namen verwaltet werden, existiert ein Bestätigungsfeld in jedem Objekt, das nur durch den eigentlichen Besitzer des Objekts bedient werden kann. Erst nachdem dieses Feld bestätigt wurde, wird das davon betroffene Objekt und die darin enthaltenen Informationen veröffentlicht.



Abbildung 2: Ausprägung der Aliasfunktion in der Anwendungsoberfläche

Dabei unterscheidet die Anwendung beim Überprüfen der Berechtigung eines Benutzers trotzdem zwischen den Rechten des angemeldeten Benutzers und denen des Alias. So wird beispielsweise verhindert, dass sich ein angemeldeter Controller durch setzen des Alias die Rechte eines Administrators verschafft. Die Aliasfunktion ist transparent für den Benutzer, nicht aber für die Anwendung.

Technisch umgesetzt wird das Setzen des Alias durch Speichern der Alias-Benutzer-ID in einer Session-Variable. Diese wird bei einer Anfrage automatisch in einer *before.filter* Methode [5] der Anwendung zu einem Benutzerobjekt ausgewertet. Damit nur die berechtigten Nutzergruppen - Administratoren und Controller - die Aliasfunktion nutzen können, erfolgt neben der Abfrage, ob ein Alias-Benutzerobjekt gesetzt ist, auch eine Abfrage nach der Rolle des angemeldeten Benutzers. Diese Abfragen geschehen in den *validate* Methoden [6] der Models (der Datenbankabstraktion), die die Berechtigung eines Benutzers überprüfen, das entsprechende Objekt anlegen, ändern bzw. löschen zu dürfen.

### 3.3 Suche und Auswertung

Die Suchfunktion erfolgt mittels dynamisch zusammen gesetzter Datenbankabfragen. Auf einen externen Indizierungsdienst wurde verzichtet. Datenbankabfragen sind unter Umständen zwar nicht so schnell wie ein externer Indizierungsdienst, erfordern aber weniger Administrationsaufwand. Zur Suche wird die Rails-Erweiterung Searchlogic [4] benutzt, da sie eine flexible DSL (Domain Specific Language) für Suchanfragen besitzt und weit verbreitet ist.

Über mehrere Formulare in der Weboberfläche können sowohl die Volltextsuche als auch Suchanfragen an bestimmte Objekttypen ausgeführt werden. Bei diesen ist es möglich nur bestimmte Attribute zur Suche auszuwählen bzw. den Wertebereich einzelner Attribute zu beschränken. Dies ist Beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt. Intern ist die Volltextsuche als verkettete Suchanfrage an alle Objekttypen ohne Einschränkung von Attributen gestaltet.

### 3.4 Verknüpfungen mit anderen Datenbeständen

Bisher an der Fachhochschule identifizierte Systeme zur Vernetzung sind die Authentifizierung (Login), der Publikationsserver [12] und die HIS-Systeme [13].



Abbildung 3: Beispiel eines Suchformulars

Damit Benutzer der Forschungsdatenbank ihr gewohntes Login und Passwort verwenden können, wurde das Loginsystem der Forschungsdatenbank mit dem der Fachhochschule verknüpft. Hierfür wurde ein AuthLogic-Plugin erstellt, das die Anbindung der Forschungsdatenbank an die Radiusserver der Fachhochschule ermöglicht.

AuthLogic [3] ist eine ausgereifte Loginerweiterung für Ruby on Rails und kommt zur Benutzerkontenverwaltung und Authentifikation (Login) zum Einsatz. Außerdem besitzt es ein eigenes Pluginsystem mit dem man es um weitere Authentifizierungsmethoden ergänzen kann. Solche Plugins gibt es bereits für LDAP, OpenID, und weitere; für Radius wurde das LDAP-Plugin angepasst. Hierzu wurden Kontrollvariablen für Radiusserver, Radiusclient und geteiltes Geheimnis (shared secret) angelegt. Weiter wurde die zentrale Überprüfungsmethode angepasst, die die Verbindung zum Radiusserver herstellt und die Überprüfung der Logininformationen durchführt. Für das Herstellen der Verbindung wird Radiustar [7], eine Radiusbibliothek für Ruby, verwendet.

Der Publikationsserver ist bisher mittels einer Verlinkung, die Benutzer in einem Publikationsobjekt setzen können, mit der Forschungsdatenbank verbunden. Die weitere Planung zur Anbindung sieht zunächst einen Nur-Lesezugriff auf die bestehenden Daten vor; die Möglichkeit des Schreibzugriffs wird noch evaluiert.

Die bestehenden HIS-Systeme sollen insoweit mit der Forschungsdatenbank verbunden werden als dass Benutzer ihre bei HIS hinterlegten Kontaktdaten auch in der Forschungsdatenbank nutzen können. Ein Schreibzugriff ist nicht geplant. Die Anbindung soll dabei entweder über die CampusSource Engine [10] oder über einen Datenbankview auf der HIS-Datenbank geschehen. Beide Möglichkeiten werden jedoch zur Zeit noch auf ihre Machbarkeit und die damit verbundenen Möglichkeiten und Aufwendungen geprüft.

## 4 Stand der Nutzung

Der derzeitige Entwicklungsstand der Forschungsdatenbank befindet sich im Probetrieb. Bisher wurden 123 Profile von Mitarbeitern der Hochschule, 744 Publikationen, 195 Projekte, 67 Labore, und 77 Abschlussarbeiten erfasst und sind online recherchierbar (Stand: 13.01.2011).

## 5 Ausblick

Der Bereich der Auswertungen und Reports, die online und auch in Druckschriften der Fachhochschule, wie zum Beispiel dem Forschungsbericht, genutzt werden können, fehlt noch. Außerdem muss die Einbindung der externen Datenquellen HIS und des Publikationsservers noch weiter evaluiert werden. Eine Anbindungen an weitere externe Datenquellen ist geplant. Darunter fällt zum Beispiel die Projektplattform proBASE [11].

Auf technischer Seite wird die Umstellung der Anwendung auf das Ruby on Rails Framework in Version 3 geprüft. Im Bereich der Weboberfläche ist noch geplant eine Möglichkeit der Einbettung der Webseiten im Stil von YouTube-Videos zu schaffen. In diesem Zusammenhang muss auch überlegt werden, die Einbindung von Multimediainhalten nicht nur über den bisherigen Upload-Mechanismus anzubieten, sondern auch die Einbettung externer Quellen, wie zum Beispiel YouTube-Videos, zu zulassen. Auch die Bereiche der Mehrsprachigkeit und Barrierefreiheit müssen noch weiter ausgebaut werden.

## Referenzen

- [1] Ruby on Rails Überblick: [http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/getting\\_started.html#what-is-rails](http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/getting_started.html#what-is-rails) (10.01.2011)
- [2] Ruby on Rails Authorization Plugin: <https://github.com/DocSavage/rails-authorization-plugin#readme> (10.01.2011)
- [3] Ruby on Rails Erweiterung AuthLogic: <https://github.com/binarylogic/authlogic#readme> (10.01.2011)
- [4] Ruby on Rails Erweiterung Searchlogic: <https://github.com/binarylogic/searchlogic#readme> (10.01.2011)
- [5] Ruby on Rails Konzept before\_filter Methoden: [http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/action\\_controller\\_overview.html#filters](http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/action_controller_overview.html#filters) (10.01.2011)
- [6] Ruby on Rails Konzept validate Methoden: [http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/activerecord\\_validations\\_callbacks.html#validations-overview](http://guides.rubyonrails.org/v2.3.8/activerecord_validations_callbacks.html#validations-overview) (10.01.2011)
- [7] Ruby-Bibliothek Radiustar: <https://github.com/pjdavis/radiustar#readme> (10.01.2011)
- [8] Javascript Bibliothek TopUp: <http://www.gettopup.com/> (10.01.2011)
- [9] Phusion Passenger: <http://www.modrails.com/> (10.01.2011)
- [10] CampusSource Engine: <http://cse.campussource.de/> (10.01.2011)
- [11] Projektplattform proBASE: <http://probase.fh-brandenburg.de/> (10.01.2011)
- [12] Publikationsserver FH Brandenburg: [http://opus.kobv.de/fhbrb/browsen\\_uebersicht.php](http://opus.kobv.de/fhbrb/browsen_uebersicht.php) (10.01.2011)
- [13] HIS Hochschul-Informations-System GmbH: <http://www.his.de/> (10.01.2011)

# Durchführung von Modultests durch den Auftraggeber in Softwareentwicklungsprojekten mittels jCUT

Philipp Sprengholz<sup>1</sup>, Ursula Oesing<sup>2</sup>  
Fachhochschule Jena, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen

**Abstract:** Der Erfolg eines Softwareprojektes ist maßgeblich abhängig von der Einbindung des Auftraggebers in den Entwicklungsprozess. Nur unter seiner Mithilfe können sich ändernde Anforderungen zeitnah im Entwicklungsprozess abgebildet und bisherige Teilentwicklungen überprüft werden. Um den Kunden in die Durchführung von Modultests zu integrieren, wurde die Java-Anwendung jCUT (*Customer Unit Testing Application for JUnit Tests*) entwickelt, mit der auf die von einem Entwickler definierten und parametrisierten JUnit-Testfälle zugegriffen werden kann. Mittels jCUT kann der Auftraggeber selbst überprüfen, ob sich eine zu testende Methode bei der Eingabe der aus seiner Sicht wichtigen Testparameterkombinationen wie gewünscht verhält, also das erwartete Testergebnis eintritt. Dabei muss der Auftraggeber den Testfall nicht im Code modifizieren, sondern die Testparameter lediglich in einer nutzerfreundlichen Oberfläche eingeben.

**Keywords:** Testgetriebene Entwicklung, Customer Based Testing, Modultest, JUnit, Lean Software Development, Agile Softwareentwicklung

## 1 Motivation und Anforderungen an die Anwendung

---

In der Praxis ist es bisher üblich, dass der Auftraggeber erst bei Durchführung sogenannter Akzeptanztests die Funktionsfähigkeit eines (Teil-)Programms überprüft. Wünschenswert aber ist eine möglichst frühe Einbindung des Auftraggebers in den Qualitätssicherungsprozess, beispielsweise bei der Durchführung von Modultests. Diese ermöglichen die Identifizierung von Fehlern einzelner Programmteile (z. B. einer Klasse oder Methode) zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung. Weit verbreitet für die Realisierung von Modultests sind Tools, mit denen Testfälle in der Programmiersprache des zu prüfenden Moduls codiert werden. Da der Kunde in der Regel nicht über Programmierkenntnisse verfügt, fallen Modultests bisher ausschließlich in den Aufgabenbereich der Entwicklungsabteilung. Wenn man sich aber vor Augen führt, dass der Auftraggeber die Funktionsweise eines Moduls aufgrund seiner umfassenderen geschäftsspezifischen Kenntnisse besser einschätzen kann als der Auftragnehmer, verspielt man eine wesentliche Chance zur Früherkennung von Programmfehlern und den damit verbundenen erfolgreichen Projektabschluss. Um einem Kunden ohne Programmierkenntnisse die Möglichkeit von Modultests einzuräumen, wurde das Testtool jCUT entwickelt. Dieses sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Mit dem Tool soll der Kunde die Möglichkeit erhalten, JUnit-Testfälle, die vom Entwickler zu einem Modul der zu entwickelnden Java-Anwendung implementiert worden sind, mit modifizierten Eingabeparametern durchzuführen. Hat der Entwickler nur eine einzige Kombination von Parametern bedacht, so kann der Kunde den JUnit-Testfall durch Modifikation der Parameter vervielfältigen, insbesondere die aus fachlicher Sicht relevanten Kombinationen eingeben und damit eine höhere Abdeckung getesteter Fälle erreichen.

---

<sup>1</sup> E-Mail: s7phspre@stud.fh-jena.de

<sup>2</sup> E-Mail: ursula.oesing@fh-jena.de

- Der Kunde hat die Möglichkeit, durchgeführte Tests inklusive der zugehörigen Parameterkombination und dem erwarteten Ergebnis persistent zu speichern und automatisiert zu reproduzieren. Weiterhin kann er Testergebnisse, insbesondere bei fehlgeschlagenen Tests, an die Entwickler versenden.
- Es dürfen keine Programmierkenntnisse oder Kenntnisse in der Bedienung einer IDE beim Kunden vorausgesetzt werden. Der Kunde kommt nicht mit dem Quellcode oder einer IDE in Berührung. Er sieht nur die Oberfläche des Testtools. Durch dessen Bedienung erstellt er die Verbindung zu der zu testenden Java-Anwendung und wählt die Testfälle aus.
- Das Tool soll möglichst wenige Anpassungen der zu testenden Java-Anwendung sowie der Modultests selbst erfordern.

Die Voraussetzungen zur Verwendung von jCUT und die Funktionsweise der Anwendung werden im Folgenden näher betrachtet.

## 2 Vorbereitung von Modultests auf die Verwendung in jCUT

---

Bevor Modultests in jCUT modifiziert und ausgeführt werden können, müssen diese an die Anwendung angepasst werden. Die notwendigen Schritte seien im Folgenden an einem einfachen Beispiel erläutert. Listing 1 zeigt die Testklasse *MathTest*, welche einen Testfall *testMultiplikation* enthält. Dieser überprüft, ob das Produkt der Faktoren 4 und 12 dem Wert 48 entspricht. Ist dies nicht der Fall, so wird durch JUnit bei Ausführung des Tests die in der *assertEquals*-Methode hinterlegte Fehlermeldung ausgegeben.

```
public class MathTest extends TestCase
{
    public void testMultiplikation()
    {
        int zahl1    = 4;
        int zahl2    = 12;
        int expResult = 48;
        int result   = zahl1*zahl2;
        assertEquals("Das Produkt der Faktoren entspricht nicht dem erwarteten Ergebnis",
            result, expResult);
    }
}
```

*Listing 1: Testklasse MathTest mit Testfall testMultiplikation*

Um den Test nun in jCUT verfügbar zu machen, müssen folgende Veränderungen vorgenommen werden. Innerhalb einer Testklasse sind zunächst diejenigen Parameter zu kennzeichnen, welche der Kunde mittels jCUT verändern können soll. Da Testmethoden gemäß der JUnit-Klassifikation keine Parameter entgegen nehmen können<sup>3</sup>, müssen diese in Form öffentlicher Klassenvariablen codiert werden. Wenn im vorliegenden Beispiel die Faktoren und das Produkt der Multiplikation in jCUT veränderbar sein sollen, so müssen für diese drei Parameter also entsprechende Klassenvariablen eingeführt werden (siehe Listing 2).<sup>4</sup> Der Name jedes Parameters beginnt

<sup>3</sup> Diese Aussage ist nur beschränkt richtig. Durch die Einführung spezieller Testannotationen in JUnit 4 ist es durchaus möglich, Parameter zu übergeben. Diese Möglichkeit soll hier allerdings nicht näher betrachtet werden. Um auch Tests älterer JUnit-Versionen zu unterstützen, wird für die Modifikation und Ausführung in jCUT deshalb eine andere Möglichkeit der Parametrisierung gewählt.

<sup>4</sup> Damit die Parameter in jCUT modifiziert werden können, müssen die entsprechenden Klassenvariablen von einem primitiven Datentyp oder dem Datentyp *String* sein. Andere Datentypen werden momentan noch nicht unterstützt.

mit der Bezeichnung der Testmethode, in der er verwendet wird. Es folgt ein Unterstrich und schließlich der eigentliche Parametername. Dieser sollte sich am Vokabular des Auftraggebers orientieren. In der Testmethode werden nun nicht mehr die statischen Werte 4, 12 und 48 verwendet, sondern die Parameter eingesetzt. Damit der Test nach wie vor durch JUnit ausgeführt werden kann, wird jeder Klassenvariable der bisherige Standardwert (4, 12, 48) zugewiesen.

```
public class MathTest extends TestCase
{
    public static int testMultiplikation_Faktor1      = 4;
    public static int testMultiplikation_Faktor2      = 12;
    public static int testMultiplikation_ErwartetesErgebnis = 48;

    public void testMultiplikation()
    {
        int zahl1      = testMultiplikation_Faktor1;
        int zahl2      = testMultiplikation_Faktor2;
        int expResult  = testMultiplikation_ErwartetesErgebnis;
        int result     = zahl1*zahl2;
        assertEquals("Das Produkt der Faktoren entspricht nicht dem erwarteten Ergebnis",
            result, expResult);
    }
}
```

Listing 2: Testklasse MathTest mit Testfall testMultiplikation (parametrisiert)

Um die parametrisierten Testfälle in jCUT öffnen zu können, müssen sie gemeinsam mit verwendetem Produktivcode<sup>5</sup> sowie zusätzlichen Testinformationen in einem Java-Archiv (JAR) zusammengefasst werden (siehe Abbildung 1). Entsprechende Build-Prozesse können in allen bekannten Entwicklungsumgebungen leicht angestoßen werden.

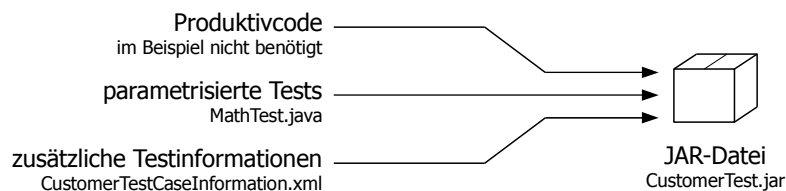


Abbildung 1: Zusammenführung der Testressourcen in einer JAR-Datei

Die bisher nicht näher beschriebenen zusätzlichen Testinformationen werden in Form eines XML-Dokuments verwaltet. Dieses muss den Namen *CustomerTestCaseInformation.xml* tragen und sich im Wurzelverzeichnis der JAR-Datei befinden. Listing 3 zeigt die Inhalte für den Testfall *testMultiplikation*.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<root>
  <date> 2010/11/18 14:03 </date>
  <testcases>
    <testcase>
      <path> MathTest.testMultiplikation </path>
      <version> 1 </version>
    </testcase>
  </testcases>
</root>
```

<sup>5</sup> Gemeint ist an dieser Stelle der eigentliche Anwendungs- bzw. Modulcode. Im vorliegenden Beispiel ist dieser nicht vorhanden, da der Modultest nicht auf andere, produktive Klassen zurückgreift.

```

<desc> Dieser Test überprüft das Produkt zweier Faktoren. </desc>
<parameters>
  <parameter>
    <name> testMultiplikation_Faktor1 </name>
    <desc> Faktor 1 der Multiplikation </desc>
  </parameter>
  <parameter>
    <name> testMultiplikation_Faktor2 </name>
    <desc> Faktor 2 der Multiplikation </desc>
  </parameter>
  <parameter>
    <name> testMultiplikation_ErwartetesErgebnis </name>
    <desc> Erwartetes Produkt der beiden Faktoren </desc>
  </parameter>
</parameters>
</testcase>
...
</testcases>
</root>

```

Listing 3: Aufbau der Datei CustomerTestCaseInformation.xml

Aus dem Listing wird ersichtlich, dass für jeden Testfall ein eigenes Element `<testcase>` angelegt wird. Hierunter werden Beschreibungen des Tests und seiner Parameter zusammengefasst. Diese werden in jCUT später angezeigt und tragen so zur Verständlichkeit des Testfalles bei.

Mit Generierung des Java-Archivs `CustomerTest.jar` sind alle notwendigen Voraussetzungen erfüllt, um den parametrisierten Test des Beispiels an den Kunden verteilen und in jCUT laden zu können.

### 3 Durchführung von Modultests in jCUT

jCUT selbst liegt als ausführbare JAR-Datei vor und kann durch den Kunden leicht gestartet werden. Die Anwendung wird über mehrere Fenster gesteuert, welche in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt sind. Beim Start des Programms erscheint zunächst ein Dialogfenster zur Öffnung von Testressourcen ①. Um bei dem bereits vorgestellten Beispiel zu bleiben, wird die Datei `CustomerTest.jar` ausgewählt. Das Programm überprüft anschließend, ob im gewählten Archiv tatsächlich verwertbare Testinformationen hinterlegt sind. Ist dies wie im Beispiel der Fall, so erscheint eine



Abbildung 2: Grafische Benutzeroberfläche von jCUT – Dialogfenster

entsprechende Meldung im Dialogfenster. Die Datei wird nach Testklassen und Packages durchsucht, sodass der Nutzer unter *Optionen* ② zusätzlich angeben kann, ob alle oder nur bestimmte Testfälle in die Anwendung geladen werden sollen. Da im Beispiel lediglich eine Testklasse *MathTest* angelegt wurde, kann keine weitere Filterung vorgenommen werden. Mit einem Klick auf *OK* ③ wird der Testfall *testMultiplikation* in jCUT geladen. Der Dialog schließt sich und das Hauptanwendungsfenster wird sichtbar. Direkt unter dessen Programmmenü ⑤ befindet sich eine Drop-Down-Komponente ⑥, in der alle geladenen Testfälle enthalten sind. Konkret wird für jeden Testfall der Name der Testmethode (ohne den Präfix *test*), ihr Ort (Package und Klasse) innerhalb der JAR-Datei, sowie eine kurze Information



Abbildung 3: Grafische Benutzeroberfläche von jCUT – Hauptfenster

über den Zweck des Tests angezeigt. Letztere stammt aus der Datei *CustomerTest-CaseInformation.xml*. Wird der einzige, im Beispiel angelegte Testfall *testMultiplikation* ausgewählt, so wird für jeden der drei, der Testmethode zugewiesenen Parameter im darunter liegenden Bereich ⑦ automatisch ein Eingabefeld erzeugt, in welchem der von den Entwicklern vergebene Standardwert angezeigt wird. Dabei kommt das Konzept der Reflection zum Einsatz, durch welches jCUT direkt auf die Testklasse zugreifen kann. Vor jedem Eingabefeld wird der Parametername (ohne den vorangestellten Methodennamen) angegeben. Fährt der Nutzer mit der Maus über ein Eingabefeld, so erscheint die in *CustomerTestCaseInformation.xml* für den entsprechenden Parameter hinterlegte Beschreibung. Er kann die Parameterwerte beliebig ändern. Mit einem Klick auf *Test starten* ⑧ wird die Testmethode *testMultiplikation* mit den eingetragenen Werten ausgeführt (sogenannter Testlauf) und das Ergebnis des Tests im darunter liegenden Bereich ⑨ angezeigt. jCUT greift an dieser Stelle auf Funktionalitäten des JUnit-Frameworks zurück. Ist der Test fehlgeschlagen, so erscheint neben einer allgemeinen Information zusätzlich die im Testfall hinterlegte Fehlermeldung. Auf der rechten Seite des Testergebnisses sind drei Schaltflächen zu finden, deren Funktion wie folgt zusammengefasst werden kann:

- 🔍 Anzeige zusätzlicher Informationen: Der Anzeigebereich des Testergebnisses wird vergrößert, um zusätzliche Informationen (z. B. die Parameterbelegung zum Zeitpunkt des letzten Testlaufes) anzuzeigen.
- 🔄 Erneute Eintragung der Parameterwerte in die Eingabemaske: Die Parameterwerte zum Zeitpunkt des Testlaufes werden erneut in die Eingabemaske eingetragen. Dies bietet sich an, wenn die Werte zwischenzeitlich durch den Nutzer geändert wurden.

- ☑ Persistente Speicherung: Der Testlauf und alle zugehörigen Informationen (z. B. Testergebnis und Parameterbelegungen) werden dauerhaft in einer Datenbank abgelegt.

Entscheidet sich der Nutzer für die Speicherung eines Testlaufs, so wird dieser im unteren Bereich der Anwendung sichtbar <sup>(10)</sup>. Dort werden generell alle in der Datenbank abgelegten und zum ausgewählten Testfall gehörenden Testläufe in einer Liste angezeigt. Ein heute durchgeführter und abgespeicherter Testlauf kann also auch in Zukunft eingesehen und wiederholt werden. Auf der rechten Seite jedes Eintrags befinden sich wiederum vier Schaltflächen, von denen die ersten zwei bereits bekannt sind. Neu hinzugekommen sind dagegen:

- ☑ Versand eines E-Mail-Reports: Es wird ein weiteres Dialogfenster geöffnet. In diesem kann der Testlauf um einen Kommentar erweitert und anschließend per E-Mail an die Entwicklungsabteilung gesendet werden. Der Kunde bekommt so die Möglichkeit, ein festgestelltes Problem schnellstmöglich zu melden.
- ☒ Löschung aus der Datenbank: Der Testlauf wird aus der Datenbank entfernt und ist anschließend auch nicht mehr in der Liste sichtbar.

Um den Versand von E-Mail-Reports und die Anbindung der Datenbank zu konfigurieren, steht ein zusätzlicher Dialog <sup>(4)</sup> zur Verfügung, der über das Programmmenü erreicht werden kann. Alle erforderlichen Verbindungsparameter können hier eingestellt werden.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

---

Wie aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht, bietet jCUT eine verständliche und leicht zu bedienende Oberfläche für die Durchführung beliebiger, nach dem vorgestellten Verfahren parametrisierter Modultests. Das Testtool wird den zu Beginn aufgelisteten Anforderungen gerecht. Um den Nutzen der Anwendung zu erhöhen, sind weitere Schritte geplant:

- Bisher können persistent gespeicherte, vom Kunden eingegebene Parameterkombinationen und erwartete Ergebnisse von JUnit-Testfällen nur einzeln reproduziert werden. Es soll aber auch das Abspielen beliebig vieler Testfälle mit ihren zugehörigen Kombinationen und Ergebnissen innerhalb eines Testlaufs möglich sein. Diese Anforderung ist leicht zu realisieren. Wünschenswert ist aber auch die Eingabe einer Vorauswahl von Testfällen für einen Testlauf durch den Kunden.
- Bisher können nur Parameter von JUnit-Testfällen vom Kunden modifiziert werden, die Grunddatentypen sind oder dem Datentyp *String* entsprechen. Es soll auch die Modifikation von komplexeren Parametern möglich sein. Eine Herausforderung ist der rekursive Charakter dieser Anforderung. Im ersten Schritt wird daher eine begrenzte Tiefe vorausgesetzt. Weiterhin muss bedacht werden, dass der Kunde nicht zu viele Eingaben machen will. Es muss daher mit voreingestellten Werten für die komplexen Parameter gearbeitet werden.
- Bisher muss der Kunde einen konkreten Wert für einen Parameter eingeben. Bei Zahlenwerten sollte aber auch alternativ die Eingabe von Intervallgrenzen möglich sein, so dass das Testtool daraus mehrere Kombinationen erzeugen kann, indem es Algorithmen zum Auffinden von Parameterwerten nach dem Vorbild von Äquivalenzklassentests und Grenzwertbetrachtungen durchläuft. Die berechneten Parameterkombinationen werden dem Kunden angezeigt, der dann das zugehörige erwartete Ergebnis eingibt.



# **Neuromarketing als Mittel zur Unterstützung des Electronic Customer Relationship Management (eCRM)**

Dipl. Wirtschaftsinformatikerin (FH) Manuela Wolf, Phone: ++49.3683-688-4219, E-Mail: m.wolf@fh-sm.de, Fachhochschule Schmalkalden, Blechhammer 7, 98574 Schmalkalden

## **Abstract:**

Zur Verbesserung der Kundenbeziehung und Kundenbindung sowie zur Erhöhung der Marktdurchdringung auf elektronischen Märkten ist eine strategische Verankerung des Electronic Customer Relationship Managements (eCRM) im Unternehmen notwendig. Dazu sind Anpassungen der Geschäftsprozesse im Marketing, Vertrieb, Service und eine Unterstützung durch geeignete IT-Systeme notwendig. Um diese Modifikationen vorzunehmen, müssen Unternehmen die Präferenzen ihrer Kunden kennen. Verschiedene psychologische Studien belegen jedoch, dass Konsumenten selber häufig keine Auskunft über ihre wahren Verhaltenspräferenzen geben können, da sie durch verschiedene, unterbewusst registrierte Signale beeinflusst wurden. Diesen Konflikt greift u. a. das interdisziplinäre Forschungsgebiet des Neuromarketings auf. Durch die Analyse von Gehirnprozessen wird die Effektivität und Effizienz von Marketingaktivitäten verbessert. Ausgehend von einer Einordnung des Neuromarketings in den Kontext von Neurowissenschaft und Neuroökonomie wird basierend auf dem Kundenlebenszyklusmodell erläutert, wie neurowissenschaftliche Methoden zur Kundengewinnung und Bestandskundenerhaltung in der Net Economy beitragen. Weiterhin werden Erkenntnisse und Implikationen für das BtoC-Marketing in der Net Economy diskutiert.

**Keywords:** Neuromarketing, Electronic Customer Relationship Management, Elektrophysiologie

## **1 Neurowissenschaft, Neuroökonomie und Neuromarketing: Eine begriffliche Abgrenzung**

Die *Neurowissenschaft* ist eine komplexe und sehr junge interdisziplinäre Wissenschaftsdisziplin, die alle Untersuchungen über die Struktur und Funktion von Nervensystemen zusammenfasst sowie integrativ interpretiert.<sup>1</sup> Sie kann Konzepte und Techniken liefern, die bei traditionellen, betriebswirtschaftlichen Überlegungen und Entscheidungsfindungsprozessen bisher völlig außer Acht gelassen worden sind. Dies gilt insbesondere für die Rolle der Gefühle und Emotionen.

Im Rahmen der *Neuroökonomie* wird versucht, die geisteswissenschaftliche Perspektive der Ökonomie mit der naturwissenschaftlichen Sicht der Neurowissenschaft in Beziehung zu setzen. Die Neuroökonomie nutzt die Möglichkeiten der Neurowissenschaft, um speziell Antworten auf die Frage zu erhalten: Wie treffen Menschen Entscheidungen? Weiterhin versucht sie, neuronale Prozesse innerhalb des Gehirns, die für die Wahl einer bestimmten Option bzw. für die finale Entscheidung verantwortlich sind, zu identifizieren und zu erklären.<sup>2</sup> Von besonderer Bedeutung für den Erfolg absatzmarktbezogener Maßnahmen ist, laut der Studien von ERK ET AL. (2002), McCLURE ET AL. (2004) und DEPPE ET AL. (2005 a, 2005 b), die Vermittlung positiver Emotionen.<sup>3</sup> Bei einer näheren Betrachtung dieser Studien in Tabelle 1 wird ersichtlich, warum Emotionen als ein zentrales Element für ein erfolgreiches Marketing von Dienstleistungen und Produkten angesehen werden. Aus zahlreichen neurowissenschaftlichen Studien<sup>4</sup> ist ersichtlich, dass der mittlere präfrontale Kortex und

---

<sup>1</sup> Vgl. RAAB/GERNSHEIMER/SCHINDLER (2009), S. 2f.

<sup>2</sup> Vgl. RAAB/GERNSHEIMER/SCHINDLER (2009), S. 3.

<sup>3</sup> Vgl. HAIN/KENNING/LEHMANN-WAFFENSCHMIDT (2007), S. 92.

<sup>4</sup> Vgl. DEPPE ET AL. (2005 a), S.171ff.

hierbei insb. der ventromediale Bereich, eine wichtige Rolle bei der Integration von Emotionen in Entscheidungsprozesse spielt.<sup>5</sup>

Autoren/ Studie	Untersuchungsobjekt	Verfa- hren	Ergebnisse
Erk et al. (2002)	Auswahlentscheidung zwischen unterschiedlichen Produkten	fMRT <sup>6</sup>	Produkte die Wohlstand und Status symbolisieren, führen zu einer erhöhten Aktivität in Arealen, die für Belohnungen zuständig sind.
Deppe et al. (2005 a)	Auswahlentscheidung zwischen unterschiedlichen Markenprodukten	fMRT	Lieblichkeitsmarken entlasten Gehirnbereiche der analytischen Verarbeitungsprozesse und führen zu erhöhter Aktivität in Gehirnbereichen, die Belohnungen in Entscheidung einbinden.
Deppe et al. (2005 b)	Einfluss von Marken auf Glaubwürdigkeitsurteile	fMRT	In Situationen in denen die Glaubwürdigkeit mehrdeutig ist, hat die Markeninformation einen wichtigen Einfluss auf die Entscheidungsfindung. Erhöhte Aktivität in Gehirnbereichen, die Belohnungen in Entscheidungen einbinden.
McClure et al. (2004)	Auswahlentscheidung zwischen unterschiedlichen Markenprodukten und deren geschmackliche Wahrnehmung.	fMRT	Je nachdem, ob und wenn ja welche Markeninformationen dem Probanden gegeben wird, aktiviert der Genuss eines Softdrinks unterschiedliche Areale. Wird dem Konsumenten gesagt, dass seine präferierte Marke verabreicht wird, werden Belohnungsareale aktiviert.

Tabelle 1: *Ausgewählte Forschungsarbeiten im Bereich Neuromarketing*

Quelle: *Eigene Darstellung; Vgl. Möll (2007) S. 96.; HAIN/KENNING/LEHMANN-WAFFENSCHMIDT (2007), S. 93.*

*Neuromarketing* ist die Anwendung neurowissenschaftlicher Methoden, um menschliches Verhalten in Bezug auf Märkte und Marketingeinflüsse zu analysieren. Es verknüpft und integriert Erkenntnisse sowie Verfahren aus den Neurowissenschaften, der Kognitionswissenschaft und der Marktforschung im Rahmen von marketingrelevanten Themen. Das Hauptziel des Neuromarketing besteht in der Erforschung, wie Konsumenten Entscheidungen und Urteile treffen sowie der Identifikation der wahren Beweggründe des individuellen Verhaltens, die sich nicht durch Befragungen ermitteln lassen. Praxisrelevant ist vor allem, wie Kaufentscheidungen im menschlichen Gehirn entstehen und wie Unternehmen diese beeinflussen können.<sup>7</sup>

## 2 Die Charakteristika des Customer Relationship Management (CRM) und ihre Potentiale

Dynamische Veränderungen im klassischen Markt sind verantwortlich für neue Marktregeln. Um Neukunden zu gewinnen sowie die bisherigen Kundenbeziehungen zu verbessern und langfristige Kundenbindung zu erzielen, müssen Unternehmen die Philosophie des CRM strategisch verankern. Die Entwicklung des CRM zum eCRM fokussiert die Kundengewinnungs- und Kundenbindungsmaßnahmen in der Net Economy.

### *Die Net Economy*

Die wachsende Bedeutung der Informationstechnologie und der Ausbau von elektronischen Datennetzen führen zu einer neuen wirtschaftlichen Dimension der Informa-

<sup>5</sup> Vgl. HAIN/KENNING/LEHMANN-WAFFENSCHMIDT (2007), S. 95.

<sup>6</sup> fMRT ist die Abkürzung für funktionelle Magnetresonanztomographie

<sup>7</sup> Vgl. RAAB/GERNSHEIMER/SCHINDLER (2009), S. 4ff.

tionsnutzung und damit zum Informationswettbewerb, der auch als Informationsökonomie bzw. Net Economy bezeichnet wird.<sup>8</sup> Die Entstehung von unterschiedlichen Plattformen in der Net Economy (E-Procurement, E-Shop, E-Marketplace, E-Community und E-Company) verändert die klassischen ökonomischen Marktregeln. Auftretende Netzeffekte sind ursächlich dafür, dass sich neue Marktmechanismen herausbilden. Mit einher geht die Verschiebung von den traditionellen Wirtschaftssektoren Landwirtschaft, Produktion und *reale* Dienstleistung zum Sektor Information. Dieser Sektor ist für die Entwicklung des Kundenbindungsmanagement und damit für die Effektivität und Effizienz von Marketingaktivitäten von entscheidender Bedeutung, da nur durch die Selektion notwendiger Informationen sowie der damit verbundenen Maßnahmen die Effizienz gesteigert und ein Zielerreichungsgrad qualitativ, wie auch auf seine Wirksamkeit hin analysiert werden kann.

Bedingt durch die Veränderung der traditionellen Wirtschaftssektoren ist auch ein Wandel des Kundenverhaltens festzustellen. Die globale Verfügbarkeit von Informationen und der dadurch tendenziell höhere Informationsstand begünstigen die Wechselbereitschaft der heutigen Kunden. Gleichzeitig führt das wachsende Informationsangebot zu einem „Information Overload“ einer Informationsüberlastung des Konsumenten, wodurch es schwierig erscheint, überhaupt die Aufmerksamkeit des Konsumenten auf sich zu ziehen.<sup>9</sup> Diesem Konflikt soll das eCRM entgegenwirken.

### *Vom CRM zum eCRM*

Eine kontinuierliche und umsatzbringende Kundenbeziehung ist ein nachhaltiger Wettbewerbsvorteil eines Unternehmens.<sup>10</sup> In Verbindung mit dem technologischen Potential eines CRM-Systems<sup>11</sup> wird die Strategie der Kundenorientierung mit wissenschaftlichen und technologischen Erkenntnissen umgesetzt.<sup>12</sup> Um zusätzliche Kundengruppen zu erreichen, können Kundeninformationen als Basis für ein erfolgreiches CRM gesammelt werden. Mit der Spezialisierung auf Informationstechnologien wie das Internet, wird dieses Teilgebiet als eCRM bezeichnet. Im Marketing können die Aktivitäten der Kunden im Kundenportal gespeichert und später analysiert werden, wodurch Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Kunden gezogen und darauf aufbauend individuelle Angebote platziert werden können.<sup>13</sup> Die Erfassung und Auswertung des durch die Kundenbeziehungen entstehenden Wissens in einem CRM-System bildet die Entscheidungsgrundlage zur Erreichung der eCRM-Ziele. Auf dieser Basis unterstützen die CRM-Systeme Unternehmen bei der Kundengewinnung, der Kundenbindung, der Erhöhung des Umsatzes und der Ausweitung des Marktanteils.

Durch die Realisierung dieser Effizienz- und Effektivitätsmaßnahmen, welche zum einen eine Erhöhung der Kundenbindung durch die Identifikation werthaltiger Kunden

---

<sup>8</sup> Vgl. KOLLMANN (2009), S. 6f.

<sup>9</sup> Vgl. WISOTZKY (2001), S.13.

<sup>10</sup> Vgl. ASCHMONEIT (2004), S. 1.

<sup>11</sup> Ein CRM-System unterteilt sich in das Analytische CRM und das Operative CRM. Das Analytische CRM führt Analysen aus zusammengeführten Kunden- und Transaktionsdaten aus. Anhand der analytisch gewonnenen Informationen werden durch das Operative CRM die Daten einer Verwendung zugeführt.

<sup>12</sup> Vgl. SCHULZE (2002), S. 9.

<sup>13</sup> Vgl. SCHULZE (2002), S. 53ff.

mittels Analyse (Effizienzmaßnahme) ermöglichen und zum anderen eine Reduzierung der Abwanderungswahrscheinlichkeit durch Rabattgutscheine oder Kundenkarten hervorrufen (Effektivitätsmaßnahme), besteht dennoch die Gefahr kundenseitige Reaktionen auszulösen, die genau entgegen der gewünschten Effekte wirken, wie beispielsweise durch zu starkes Eindringen in die Privatsphäre des Kunden.<sup>14</sup> Dem sollen Neurowissenschaft und Neurowissenschaftliche Untersuchungsmethoden entgegenwirken.

### 3 Neurowissenschaftliche Untersuchungsmethoden

Um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten das Neuromarketing bei potentiellen Nachfragern und Kunden hat, ohne dass die Akzeptanz der Kunden sinkt, werden nachfolgend neurophysiologische Techniken, wie der Elektrodermalen Aktivität und des Elektrokardiogramms erläutert, und ein kurzer Überblick über die angewandten neurowissenschaftlichen Untersuchungsmethoden gegeben.

#### 3.1 ElektroDermale Aktivität (EDA)

Die Messung der elektrodermalen Aktivität stellt die mit Abstand am häufigsten verwendete Methode zur Erfassung physiologischer Begleiterscheinungen psychischer Vorgänge dar.<sup>15</sup> Der russische Forscher IVAN TARCHANOFF zog bereits im Jahr 1890 die Schlussfolgerung, dass nahezu jede Art zentralnervöser Aktivität, wie beispielsweise das Erinnern an emotionale Ereignisse oder die Belastung durch Rechenaufgaben, von einem Aktivitätsanstieg der Hautdrüsen begleitet wird.<sup>16</sup> Weiterhin ist die elektrodermale Reaktion laut BURK ein wertvolles Maß sublimarer Aufmerksamkeitszuwendung.<sup>17</sup> In physiologischer Hinsicht steht das elektrodermale System in enger Verbindung zur Aktivität der formatio reticularis, das die Vigilanz steuert, d. h. die relative „Aufmerksamkeit“ und „Wachheit“ einer Person beeinflusst.<sup>18</sup>

Beim Hautleitwert sind von Bedeutung sowohl die Amplitude der Grundlinie, als auch die Häufigkeit und die Höhe kurzzeitiger Veränderungen. Dieser wird in zwei Anteile aufgespalten, einen sich eher langsam verändernden tonischen Anteil, der als Maß für eine globale Aktiviertheit steht, und einen nur kurz auftretenden phasischen Teil, der als momentane Reaktion auf einen äußeren Reiz zu betrachten ist.<sup>19</sup>

#### 3.2 ElektroKardioGramm (EKG)

Herzfrequenz, Kraft und Dauer der Kontraktion des Herzens werden über die elektrische Aktivität kontrolliert.<sup>20</sup> Das Herz besitzt eine Innervation, die von dem vegetativen Nervensystem stammt. Wie an allen anderen Schaltstellen des Vegetativum wir-

---

<sup>14</sup> Vgl. WISOTZKY (2001), S.21.

<sup>15</sup> Vgl. CACIOPPO/TASSINARY/BERNTSON (2000), S. 200.

<sup>16</sup> Vgl. BURK (2005), S. 6ff.

<sup>17</sup> Vgl. BURK (2005), S. 30.

<sup>18</sup> Vgl. MÖLLER (2010).

<sup>19</sup> Vgl. BOUCSEIN (1988).

<sup>20</sup> Vgl. HOFFMANN/STEINBECK (1999), S. 1.

ken die Nerven auch im Herzen über die Vermittlung von Überträgersubstanzen, dem Acetylcholin und dem Adrenalin. Durch die Einwirkung von Acetylcholin oder Adrenalin treten Veränderungen im Überschusseffekt, im Ruhepotential, in der Länge des Aktionspotentials und in der Steilheit des Generatorpotentials auf. Acetylcholin bewirkt eine Verlangsamung, Adrenalin eine Beschleunigung der Aktionspotentialbildung. Das Acetylcholin erzeugt eine Erhöhung des Ruhepotentials.<sup>21</sup>

### **3.3 Einsatz neurowissenschaftlicher Untersuchungsmethoden**

Zur Beurteilung der Gestaltung und Funktionalität der Benutzerführung sowie Bedienung werden einerseits Messungen zur kognitiven Leistungsfähigkeit der Probanden sowie von elektrophysiologischen Zuständen durchgeführt. Die Auswertung der elektrophysiologischen Messungen erfolgt über die adaptive Biosignalanalyse. Mit Methoden des Eyetracking wird die Interessenverfolgung anhand von Blickverlauf, Fixationsdauer, Tracking des Klickverhaltens und des Navigationsverhaltens evaluiert. Speziell zur Auswertung der Eyetrackingdaten wird eine Software zur Erstellung von Scan-Path, HeadMaps und statistischen Aufbereitung herangezogen. Die subjektive Fremdeinschätzung von Motivation und Aufmerksamkeit sowie die Selbsteinschätzung der Testpersonen erfolgt durch Fragebögen und standardisierte oder geleitete Interviews, welche qualitativ als auch quantitativ zu bewerten sind.

Sollte in den ausgewerteten Daten ein Anstieg des Hautwiderstandes zu beobachten sein, so ist das ein Zeichen für erhöhte Aufmerksamkeit. Häufige Spontanfluktuationen oder ein extremer Anstieg des Hautwiderstandes sind Indikatoren für Anspannung und Unzufriedenheit. Die Beschleunigung des Aktionspotentials bedeutet Aufregung und kann ein Hinweis auf eine interessante Angebotsleistung sein. Im Gegensatz dazu weist die Verlangsamung des Aktionspotentials auf ein zu langweiliges oder uninteressantes Angebot hin.

## **4 Ausblick**

Die Erhöhung der Kundenzufriedenheit ist eine der zentralen Einflussfaktoren für eine loyalitätsbasierte Kundenbindung, welche als einzige Variable auf die fünf Faktoren der Kundenbindung – Wiederkauf, Weiterempfehlung sowie Wiederkauf-, Zusatzkauf- und Weiterempfehlungsabsicht - Wirkung hat. Neurowissenschaftliche Untersuchungsmethoden werden in Zukunft Auskunft über die Erwartungen eines Kunden geben können sowie Präferenzen besser herausarbeiten.

Bei elektronischen Plattformen tritt gegenüber der Real Economy eine weitere Besonderheit auf: Nicht die/der einmalige(r) Nutzung/Kauf ist entscheidend, sondern eine permanenten Bindung und somit auch Nutzung des Angebots. Aus Sicht des Anbieters müssen daher Wechselbarrieren geschaffen werden, die Konsumenten abhalten, auf konkurrierende Angebote zu wechseln. Hier kann bspw. mit neurowissenschaftlichen Instrumenten herausgefunden werden, wie und welcher Content angeboten werden soll.

Durch die Integration von neuen Leistungsangeboten und auf Basis von Kundenwissen mit Hilfe von neurowissenschaftlichen Untersuchungsmethoden sollen Kunden-

---

<sup>21</sup> Vgl. RÜDIGER (1969), S. 290.

bedürfnisse besser befriedigt werden können. Ein höheres Leistungsangebot führt zu einem größeren Bindungspotential und verstärkt gleichzeitig die Wechselkosten. Dem Kunden eröffnen sich dadurch Absatzpotentiale durch Leistungs- und Preisbündelungen.

## Literatur

- ASCHMONEIT, P. (2004): Mobile Services für das Beziehungsmarketing – Grundlagen – Einsatzpotenziale – Design. Dissertation, Difo-Druck GmbH, Bamberg.
- BOUCSEIN, W. (1988): Elektrodermale Aktivität, Springer, Berlin.
- BURK, C. (2005): Phasische elektrodermale Aktivität als Persönlichkeitsindikator, Dissertation, [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=977333620&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=977333620.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=977333620&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=977333620.pdf), Abruf vom 27.05.2010.
- CACIOPPO, J. T./TASSINARY, L. G./BERNTSON, G. G. (2000): Handbook of Psychophysiology. Cambridge University Press, New York.
- DEPPE, M. ET AL. (2005a): Nonlinear responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific implicit information influences economic decision making, Journal of Neuroimaging, Vol. 15, Issue 2, pp. 171 – 183.
- DEPPE, M. ET AL. (2005b): Evidence for a Neural Correlate of a Framing Effect: Bias-Specific Activity in the Ventromedial Prefrontal Cortex during Credibility Judgments. Brain Research Bulletin, Special Issue on Neuro-Economics, 67, 5, S. 413 – 421.
- ERK, S. ET AL. (2002): Cultural objects modulate reward circuitry. Neuroreport 13, pp. 2499 – 2503.
- HAIN, C./KENNING, P./LEHMANN-WAFFENSCHMIDT, M. (2007): Neuroökonomie und Neuromarketing: Neurale Korrelate strategischer Entscheidungen. Dresden Discussion Paper in Economics No. 04/07, Dresden.
- HOFFMANN, E./STEINBECK, G. (1999): Interventionelle kardiale Elektrophysiologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- KLINGE, R. (2002): Das Elektrokardiogramm - Leitfaden für Ausbildung und Praxis. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- KOLLMANN, T. (2009): E-Business. Gabler-Verlag, Wiesbaden.
- MCCLURE, S.M. ET AL. (2004): Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks. Neuron 44: 379 - 387.
- MÖLL, T. (2007): Messung und Wirkung von Markenemotionen: Neuromarketing als neuer verhaltenswissenschaftlicher Ansatz. Deutscher Universitäts-Verlag, Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 1. Auflage.
- MÖLLER, C. (2010): Bericht zum Praxisprojekt Interaktions-Verlauf-Analyse Evaluation der Kommedia-Website – Grundlagen Psychophysiologie: Methodik – Das elektrodermale System. Universität Duisburg, <http://www.kommedias.de/iva/inhalt/methodik/methodik-5.htm>, Abruf vom 28.05.2010.
- PRIDDAT, B. P. (2007): Neuroökonomie: Neue Theorien zu Konsum, Marketing und emotionalem Verhalten in der Ökonomie. Metropolis-Verlag, Marburg.
- RAAB, G./GERNSHEIMER, O./SCHINDLER, M. (2009): Neuromarketing: Grundlagen – Erkenntnisse – Anwendungen (2. Auflage). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- RÜDIGER, W. (1969): Lehrbuch der Physiologie. Verlag Volk und Gesundheit, Berlin.
- SCHEIER, C./HELD, D. (2008): Wie Werbung wirkt: Erkenntnisse des Neuromarketing. Rudolf Haufe Verlag, München.
- SCHULZE, J. (2002): CRM erfolgreich einführen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- WEILBACHER, W. M. (2003): How advertising affects consumers. Journal of Advertising Research, Vol. 43, Issue 2, pp. 230 – 234.
- WISOTZKY, P. A. (2001): Digitale Kundenbindung. Josef Eul Verlag, Lohmar.

# **Biotechnologien / Life Sciences**

## **Sitzungsleiterinnen:**

U. Urban (HS Harz)

Prof. Dr. C. Griehl (HS Anhalt)





## **Verfahren zur störungsarmen Erfassung der Pulsfrequenz unter extremen Bewegungsbedingungen**

*Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Guttke*, Phone: ++49.341 3076 1138, Fax: ++49.341 3076 1137,  
E-Mail:sguttke@fbeit.htwk-leipzig.de, HTWK Leipzig, Wächterstraße 13, 04107 Leipzig ;Promotionsstudent an  
der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik der Universität Rostock

*Prof. Dr.-Ing. M. Laukner*, Phone: ++49.341 3076 1173, E-Mail:laukner@fbeit.htwk-leipzig.de, HTWK Leipzig, Wächterstraße 13, 04107 Leipzig

### **Abstract**

The non invasive measurement of biological signals is failure sensitive or often not possible when the setup is in motion. Especially the continuous monitoring of heart rate at sportive action is interesting but usually only possible with a breast belt like from Polar. The belt is not well accepted because of the application and the friction at the breast while doing sports. All other sensors signals are affected by big artefacts caused by acceleration, moving, temperature drift, sweat, and much more. So there is a need to investigate the coupling of available pulse sensors to the body in order to measure the pulse and the artefacts. With knowledge of the dynamic performance of sensors and the coupling to the body there should be found an algorithm to extract the heart rate from a strong disturbed pulse signal. After detailed signal and system analysis for example the adaptive wiener filter, correlation, pattern recognition, independent component analysis or further known algorithms should be used for this research.

**Keywords:** robust pulse detection; noise suppression, artefact detection

## **1 Motivation**

In der Medizin, insbesondere in der Sportmedizin oder im Freizeitsport sollen oftmals der Gesundheitszustand eines Patienten oder der Grad der Belastbarkeit eines Sportlers untersucht werden. Dazu können mit Hilfe medizintechnischer Messgeräte physiologische Kenngrößen wie die Pulsfrequenz, der Blutdruck, die Sauerstoffsättigung des Blutes, die Sauerstoffaufnahme oder der Atemvolumenstrom nicht invasiv erfasst und dann vom Arzt oder Sportmediziner ausgewertet werden.

Die Pulsfrequenz ist eine sehr wichtige und relativ leicht auswertbare Messgröße, mit deren Hilfe schon Aussagen über den Zustand eines Patienten oder den Grad der Belastung eines Sportlers getroffen werden können. Bei den am Markt erhältlichen Pulsmessgeräten besteht allgemein das Problem, dass die Messung bei Bewegung sehr störungsanfällig oder dass der Tragekomfort nicht zufriedenstellend ist. (siehe Abb. 1)

Zur Zeit werden Produkte entwickelt, die anstelle eines Brustgurtes textile Elektroden verwenden, um den Tragekomfort wesentlich zu verbessern. Weiterhin gibt es Neuentwicklungen wie z.B. einen optischen Sensor [Vogel], der wie ein Hörgerät im Ohr getragen werden kann.

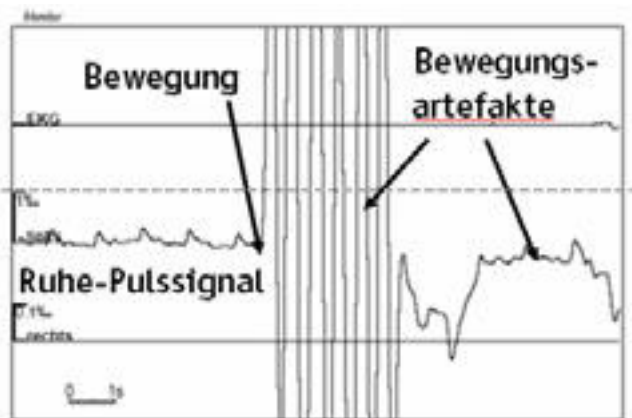
Für kontinuierliche Pulsmessungen im Sport besteht ein Bedarf an Messgeräten, die in der Lage sind, die auftretenden Störungen zu erfassen und aus dem stark gestörten Gesamtsignal mittels Störunterdrückungsalgorithmen sicher das Pulssignal zu berechnen. Großer Forschungsbedarf besteht immer noch im Bereich der störungsminimierten Ankopplung von Sensoren an die Haut und einer intelligenten Unterdrückung von auftretenden Artefakten. Weitere erfolgreiche Entwicklungen laufen im

Bereich der kapazitiven EKG-Messung aber auch hierbei bleibt die Störunterdrückung noch ein zu lösendes Problem.

Zur Entwicklung vom Verfahren zur störungsarmen Erfassung der Pulsfrequenz wird an der HTWK Leipzig ein Messplatz verwendet und weiter optimiert, mit dem simultan mehrere Sensoren zur Puls- und Störungserfassung betrieben werden können. Mit Hilfe des Messplatzes sollen folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- 1.) Berechnung der Signal-Stör-Verhältnisse der verschiedenen Sensoren in Abhängigkeit vom Messort und Ankoppelbedingungen bei verschiedenen Störungen sowie quantitativer Vergleich der Sensoren
- 2.) Untersuchung von möglichen Referenzsensoren deren Signal stark mit der Störung und schwach mit dem Pulssignal korreliert ist.
- 3.) Untersuchung der lokalen Pulswellenlaufzeit als Zusatzinformation für die Störunterdrückungsalgorithmen

Momentan werden zur Pulsmessung ein Piezo-Drucksensor MLT1010/D, ein IR-optischer Pulssensor MLT1020PPG und ein Impedanzsensor (rheoscreen) und als Referenzsensor für die Störungen ein Beschleunigungssensor ADXL 330 untersucht.



Ein einfacher theoretischer Ansatz ist in Abb. 2 dargestellt. Ein geeigneter Ansatz für einen Störunterdrückungsalgorithmus könnte z.B. ein adaptiver Wiener-Filter [Moschytz] sein. Der Algorithmus soll die störanfällige Pulsmessung optimieren und möglichst auch auf andere Fragestellungen anwendbar sein.

Abb. 1 Gestörtes Impedanz-Pulssignal

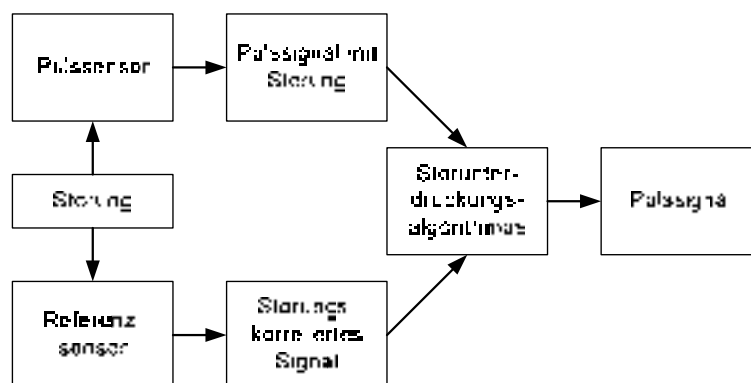


Abb. 2 Einfacher Ansatz zur Störunterdrückung

## 2. Messaufbau

Kernstück des Messaufbaus ist ein 16-kanaliger Biosignalverstärker g.USBamp der Firma g.tec, der eine simultane 16-kanalige Datenerfassung mit 24 bit Auflösung ermöglicht. Die direkte Ansteuerung über Matlab ist optimal geeignet für die weitere Datenverarbeitung. Bei Messungen am Menschen muss der Versuchsaufbau den Anforderungen der DIN EN 60601 entsprechen, weshalb der Messaufbau vollständig galvanisch getrennt betrieben wird. Die Messungen werden hauptsächlich am Unterarm durchgeführt, da das Tragen und Ablesen eines Gerätes wie z.B. einer Uhr am Arm auch während der Bewegung gut funktioniert und etwas Gewohntes für den Menschen ist.

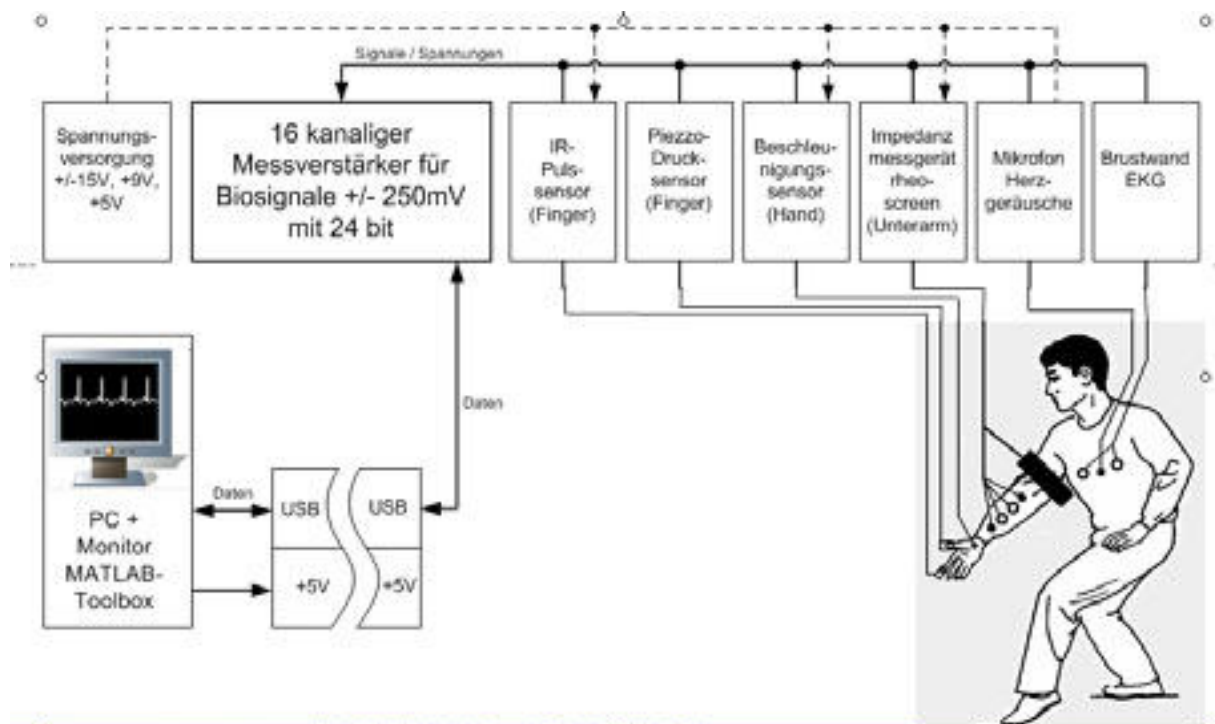


Abb. 3 Messaufbau für Pulsmessung und Störungsuntersuchungen

Der Unterarm ist verglichen mit der Brust, Ohr, Stirn, Finger und weiteren Orten nicht der Messort mit den geringsten Störbeeinflussungen, bietet aber gute Möglichkeiten die dynamischen Ankoppelbedingungen von Sensoren an den menschlichen Körper zu erforschen und dann wirksame Stör- unterdrückungsalgorithmen zu entwickeln und zu testen.

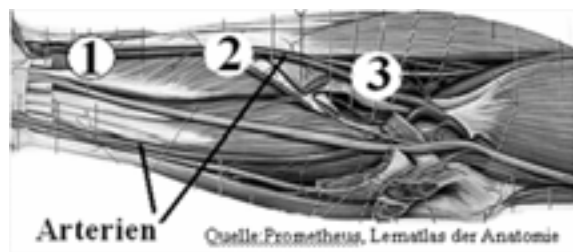
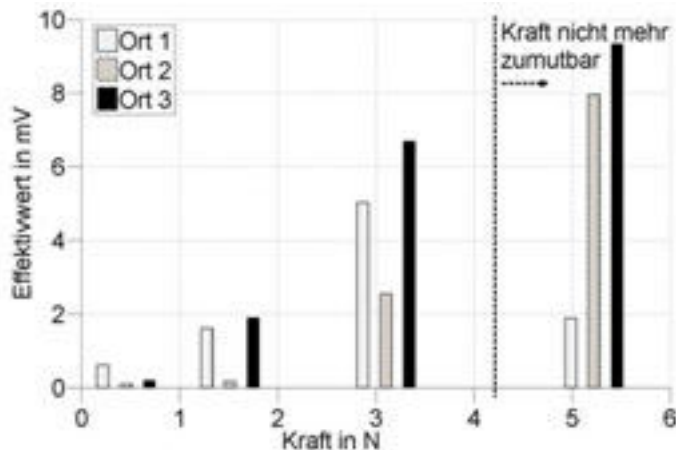


Abb. 4 Gewählte Messorte 1...3 am Unterarm (Quelle: Schünke: PROMETHEUS Lernatlas )

### 3. Erste Ergebnisse

#### 3.1 Pulssignale als Funktion der Andruckkraft und des Messortes in Ruhe

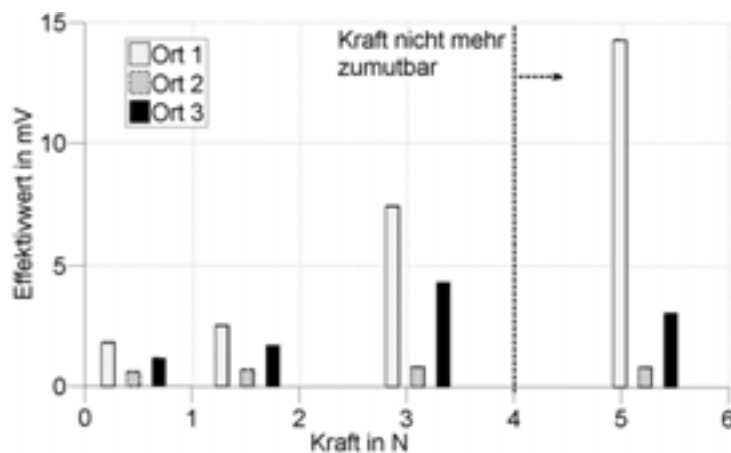
Beim Piezodrucksensor ist zu erkennen, dass das Pulssignal mit steigender Andruckkraft zunimmt. Die besten Werte werden nahe am Handgelenk oder der Armbeuge bei etwa  $F = 3 \text{ N}$  erreicht. Im muskulösen Bereich (Ort 2) ist kaum ein Puls detektierbar. Am Handgelenk (Ort 1) wird bei  $F = 5 \text{ N}$  die Ader abgequetscht und das Pulssignal wird wieder kleiner. Kräfte über  $F = 3 \text{ N}$  sind für eine kontinuierliche Puls-messung nicht zumutbar, bringen aber noch verbesserte Signalqualität.



Beim infrarotoptischen Sensor ist zu erkennen, dass am Handgelenk (Ort 1) die besten Messwerte erreicht werden können.

Abb. 5 Pulssignal des Piezosensors als Funktion der Andruckkraft und des Ortes

Wenn sich viel Muskelgewebe über einer Arterie befindet (Ort 2), sind die Messwerte zwar kleiner aber dafür konstant und unabhängig von der Andruckkraft. Dieser Messort könnte bei dynamischen Messungen mit Störungen trotz der kleinen Pulssignalamplituden vorteilhaft gegenüber den anderen sein.

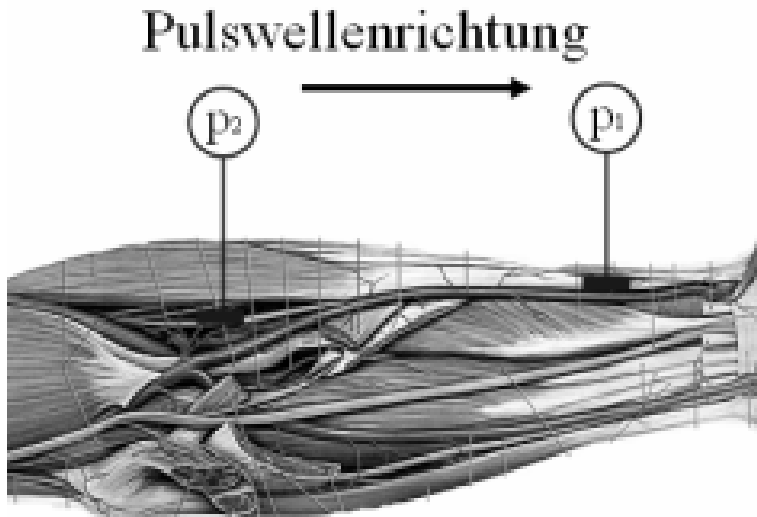


Dieser Messort könnte bei dynamischen Messungen mit Störungen trotz der kleinen Pulssignalamplituden vorteilhaft gegenüber den anderen sein.

Abb. 6 Pulssignal des IR-Sensors als Funktion der Andruckkraft und des Ortes

#### 3.2 Laufzeitmessung der Pulswelle im Unterarm

Die Pulswellenlaufzeit ist sehr interessant, da man hieraus mit Kenntnis der Eigenschaften der darunterliegenden Blutgefäße auf die Flussgeschwindigkeit des Blutes schließen kann. [Elter]. Unter der Voraussetzung, dass eine Störung gleichermaßen auf beide Pulssensoren wirkt, lässt sich auch eine große Störung gut eliminieren.



Quelle: Prometheus, Lematlas der Anatomie

Nach den ersten Messungen lässt sich feststellen, dass die Störungen aber stark ortsabhängig sind und weitere Informationen bekannt sein müssen, um diesen Ansatz weiter verfolgen zu können.

Abb. 7 Messanordnung zur Messung der Pulswellenlaufzeit (Quelle: Schünke: PROMETHEUS)

Die Laufzeit in Ruhe lässt sich bestimmen, indem die Korrelationsfunktion  $r_{xy}[l]$  der zwei zeitdiskreten Pulssignale berechnet wird [Proakis] und die Zeitverschiebung  $l$  beim Maximum von  $r_{xy}$  bestimmt wird. Wahlweise können beide Signale mit einer geeigneten Musterfunktion kreuzkorreliert und dann die Differenz der zwei Zeitverschiebungen  $l_{xy} = l_x - l_y$  ermittelt werden. Die Messwerte liegen am Unterarm im Bereich von  $l_{xy} = 5 \dots 10$  ms je nach Messort und Abstand der Sensoren. Bei dieser Messung ist die Abtastfrequenz mindestens im 10 kHz - Bereich zu wählen, damit die Berechnung der Zeitverschiebung mit guter zeitlicher Auflösung erfolgen kann.

$$r_{xy}[l] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot y[n-l]$$
$$l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

## Referenzen:

- Moschytz, G., Hofbauer, M.: Adaptive Filter. S.10 ff. Springer, Berlin 2000
- S. Vogel, M. Hülsbusch, D. Starke, S. Leonhardt : Herzraten-Monitoring mit einem mikro-optischen In-Ohr Sensor, 41. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE - BMT 2007, 26.-29.09.2007, Aachen
- M. Oehler: Capacitive ECG system with direct access to standard leads and body surface potential mapping, Biomedizinische Technik, Volume 54, page 329–335 - 2009
- M. Oehler: Kontaktloses EKG System für den Einsatz bei Notfällen, [http://www.emg.tu-bs.de/forsch/eeg\\_ekg/ekg/cekg\\_de.htm](http://www.emg.tu-bs.de/forsch/eeg_ekg/ekg/cekg_de.htm)
- Elter P.: Methoden und Systeme zur nichtinvasiven, kontinuierlichen und belastungsfreien Blutdruckmessung. Dissertation Universität Karlsruhe, 2001
- J.G.Proakis: Digital Signal Processing. , S.118 ff., Pearson Education Inc., 2007
- M. Schünke: PROMETHEUS Lematlas der Anatomie. Thieme, Stuttgart 2005



## Vorhofflimmern – Frühzeitige Erkennung von Rezidiven durch Analyse der autonomen Regulation

Andrea Seeck, Phone: ++49.3641-205-834, E-Mail: andrea.seeck@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

Dr. Wilma Rademacher, Phone: ++49.3641-9324-101, E-Mail: Wilma.Rademacher@med.uni-jena.de, Klinik für Innere Medizin I, Universitätsklinikum Jena, Erlanger Allee 101, 07747 Jena

Prof. Dr.-Ing. Andreas Voss, Phone: ++49.3641-205-625, E-Mail: andreas.voss@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

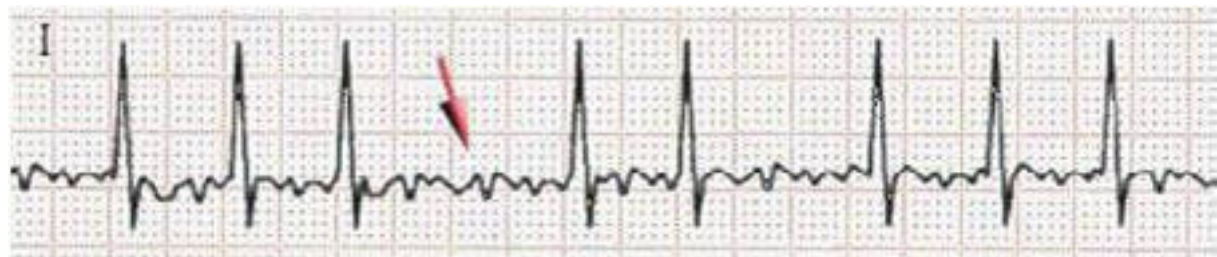
### Abstract

Vorhofflimmern (VHF) ist die häufigste Herzrhythmusstörung einhergehend mit einem stark erhöhten Risiko für einen ischämischen Schlaganfall. Eine oft angewandte Therapie zur Wiederherstellung des normalen Sinusrhythmus ist die elektrische Kardioversion, die jedoch eine sehr hohe Rezidivrate von bis zu 60% aufweist. In dieser Studie wurde untersucht, inwieweit eine multivariate Beurteilung der autonomen Regulation geeignet ist, eine Vorhersage hinsichtlich eines Rezidivs zu treffen. Dazu wurden Langzeit-EKG-Daten von 45 Patienten (25 mit Rezidiv) mit Hilfe der Herzfrequenzvariabilität (HRV), der Heart Rate Turbulence (HRT) sowie der Deceleration Capacity (DC) analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass es mit einer multivariaten Kombination aus Parametern aller Verfahren mit einer korrekten Klassifizierungsrate von 84,4% (Sensitivität 76%, Spezifität 95%) möglich ist, ein Rezidiv frühzeitig zu prognostizieren. Somit kann mit dieser Methode eine verbesserte Kontrolle und Nachsorge des Patienten gewährleistet werden.

**Keywords:** Vorhofflimmern, Heart Rate Variability, Heart Rate Turbulence, Deceleration Capacity

## 1 Einleitung

Als Vorhofflimmern (VHF) bezeichnet man eine vorübergehende oder dauerhafte unkoordinierte Tätigkeit der Herzvorhöfe ausgelöst durch ungerichtete elektrische Erregungen. Diese sind im EKG als undifferenzierbare P-Wellen zu erkennen. (Bild 1). VHF ist die häufigste, behandlungsbedürftige Herzrhythmusstörung mit einer altersabhängigen Prävalenz von 0,4–10% [1]. Diese Störung geht mit einem stark erhöhten Risiko für einen ischämischen Schlaganfall einher und bedarf deshalb einer effektiven Behandlung. Ziel der elektrischen Kardioversion ist es, durch einen kurzen elektrischen Schock, die Reentry-Erregungen im Vorhof, die das Vorhofflimmern auslösen, abrupt zu unterbrechen, um so eine geordnete elektrische Reizleitung wiederherzustellen. Allerdings ist der Erfolg dieser Behandlung meist nur kurzfristig. Man geht davon aus, dass 40% bis 60% der Patienten trotz begleitender medikamentöser Therapie einen Rückfall (Rezidiv) erleiden [2]. Mehr als ein Drittel dieser Rückfälle tritt in den ersten 2 Wochen auf, danach sinkt das Risiko deutlich ab [3].



**Bild 1:** EKG bei Vorhofflimmern

Verschiedene Studien belegen einen Einfluss des Zustands des autonomen Nervensystems auf rezidivierendes VHF. So wurde beispielsweise von Lombardi et al. und Bertaglia et al. nachgewiesen, dass Parameter aus dem Frequenzbereich der Herzfrequenzvariabilität (HRV), speziell der Kurzzeit-HRV, geeignet sind, Patienten mit einem höheren Rezidivrisiko zu identifizieren [4, 5]. Auch einige Parameter aus der HRV-Analyse von 24h-Langzeit-EKG-Daten unmittelbar nach der Kardioversion zeigen signifikante Unterschiede zwischen Patienten mit und ohne Rezidiv innerhalb der ersten 30 Tage [6, 7].

In der hier vorgestellten Studie sollte untersucht werden, ob eine multivariate Kombination von linearen und nichtlinearen HRV-Parametern mit Parametern der Heart Rate Turbulence (HRT) sowie der Deceleration Capacity (DC) zusätzliche prognostische Informationen hinsichtlich eines Rezidivs von Vorhofflimmern liefert.

## 2 Patienten und Methoden

### 2.1 Patienten

In diese Studie wurden 24h-Langzeit-EKG-Daten von 45 Patienten nach einer erfolgreichen Kardioversion (d.h. Sinusrhythmus mindestens innerhalb der ersten 24 h nach Kardioversion) einbezogen. 25 dieser Patienten erlitten ein Rezidiv (REZ) innerhalb eines Monats nach Kardioversion, bei 20 Patienten konnte auch nach diesem Zeitraum ein stabiler Sinusrhythmus (NREZ) festgestellt werden. Die Erfassung der EKG-Daten begann unmittelbar nach der Behandlung.

### 2.2 Methoden

#### 2.2.1 Signalvorverarbeitung

Zunächst wurden aus den Original-EKG-Daten die RR-Intervall-Zeitreihen (Tachogramme) extrahiert. Um Störungen vor allem durch Bewegungsartefakte zu reduzieren, wurde aus der Tagphase jeweils der stationärste 2h-Abschnitt ermittelt. Dabei handelt es sich um den 2h-Abschnitt mit der geringsten Varianz. Diese Phasen wurden manuell editiert.

#### 2.2.2 Parameterextraktion

##### *Lineare HRV-Parameter*

Aus den adaptiv gefilterten RR-Intervall-Zeitreihen wurden die Standard-HRV-Parameter aus dem Zeit- und Frequenzbereich entsprechend den Empfehlungen der *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology* [8] extrahiert.

##### *Nichtlineare HRV-Parameter*

Zur Untersuchung der nichtlinearen Charakteristika der RR-Intervall-Zeitreihen (Komplexität) wurde die Methode der Symbolischen Dynamik (SD) eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird eine Zeitreihe nach bestimmten Transformationsvorschriften in eine Symbolfolge, in diesem Fall mit vier Symbolen aus dem Alphabet 0-3, transformiert. Jeweils 3 aufeinander folgende Symbole werden zu einem Wort zusammengefasst. Anschließend werden die Häufigkeiten für jedes der 64 möglichen Wörter in einem Histogramm aufgetragen, aus welchem dann die verschiedenen Parameter, z.B. Einzelwahrscheinlichkeiten einzelner Worttypen, extrahiert werden [9].



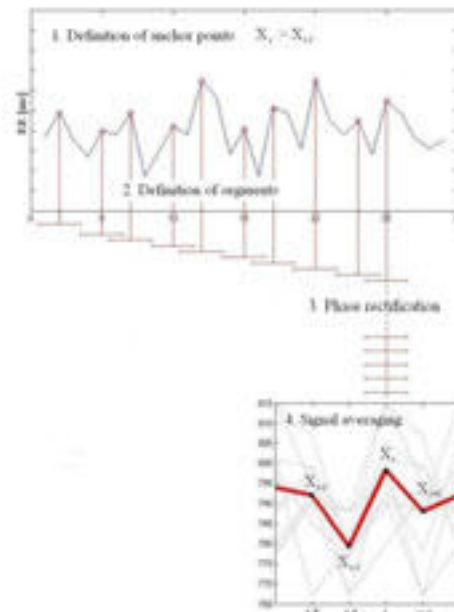
### HRT-Parameter

Die HRT ist charakterisiert durch einen Anstieg der Herzfrequenz gefolgt von deren Abfall. Der Anstieg bzw. Abfall der Herzfrequenz wird durch die Parameter HRT-Onset (HR\_TO in %) und HRT-Slope (HR\_TS in ms/ Schlag) erfasst [10]. HR\_TO entspricht dabei der prozentualen Differenz der Dauer zwischen den letzten zwei RR-Intervallen vor und den ersten zwei RR-Intervallen nach Auftreten eines Extrasystole. HR\_TS ist der maximale Anstieg der linearen Regressionsgeraden durch fünf aufeinander folgende RR-Intervalle innerhalb von 20 Schlägen nach einer Extrasystole.

### DC

Die DC trifft eine Aussage über die Möglichkeit eines Individuums seine Herzrate zu erniedrigen. Die Berechnung erfolgt mittels Phase-Rectified Signal Averaging (PRSA, Bild 2) [11]. Zur Berechnung der DC werden alle RR-Intervalle, die größer als ihr Vorgänger sind, aneinander ausgerichtet und gemittelt. Die DC wird dann nach folgender Formel berechnet:

$$DC = \frac{X_i + X_{i+1} - X_{i-1} - X_{i-2}}{4}$$



**Bild 2: Phase-Rectified-Signal Averaging**

## 3 Ergebnisse

Um in einer multivariaten Analyse Korrelationen zu vermeiden und ein möglichst breites Spektrum an Merkmalen der autonomen Regulation abzudecken wurde aus jeder Parameterdomäne nur der jeweils signifikanteste Parameter ( $p < 0,05$ ) für weitere Betrachtungen ausgewählt. Aus dem Frequenzbereich der linearen HRV-Analyse wies kein Parameter eine Signifikanz  $p < 0,05$  auf. Trotzdem wurde der Parameter VLF/P in die multivariate Analyse eingeschlossen, da er sich in anderen Studien bereits als geeignet herausgestellt hatte [7]. In Tabelle 1 werden die in die multivariate Untersuchung eingeschlossenen Parameter aus jeder Domäne beschrieben.

Aus diesem Parameterpool wurde nun jeweils das optimale Parameterset mit 3 (PS\_3) bzw. 4 (PS\_4) Parametern ermittelt. Die Parametersets mit einer Fläche unter der ROC-Kurve größer als 0,8 sind in Tabelle 2 zu finden.

Das beste Parameterset hinsichtlich der Fläche unter der ROC-Kurve enthält die 4 Parameter DC, HR\_TO, VLF/P und pTH19. Mit diesem Set konnte eine korrekte Klassifizierungsrate von 84,4% mit einer Sensitivität von 76% und einer Spezifität von 95% erreicht werden.

Parameter	Domäne	Beschreibung
pNN200	HRV-ZB	normierte Anzahl der Paare aufeinanderfolgender RR-Intervalle mit einer Differenz von mehr als 200ms
HR_TO(%)	HRT	mittlerer normierter HRT-Onset
pTH19	NLD	Anzahl der Wörter, die eine Einzelwahrscheinlichkeit von 19% überschreiten
DC	DC	deceleration capacity
VLF/P	HRV-FB	normierter Anteil des Frequenzbereichs von 0,003 bis 0,04 Hz

**Tabelle 1: Signifikantester Parameter aus jeder Parameter-Domäne und seine jeweilige Bedeutung**

Parameterset	Parameter	Area ROC
PS3_1	DC, VLF/P, pTH19	0,84
PS3_2	DC, HR_TO, pTH19	0,83
PS4_1	DC, HR_TO, VLF/P, pTH19	0,86
PS4_2	DC, VLF/P, pNN200, pTH19	0,84
PS4_3	DC, HR_TO, pNN200, pTH19	0,84

**Tabelle 2: Parametersets mit einer Fläche unter der ROC-Kurve > 0,8.**

## 4 Diskussion

Bisherige Studien zu rezidivierendem VHF in Zusammenhang mit der autonomen Regulation basieren ausschließlich auf der Analyse der Herzfrequenzvariabilität [4-7]. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass eine multivariate Kombination der Parameter aus der HRV-Analyse mit Parametern aus der HRT-Analyse und der DC zusätzliche prognostische Informationen gegenüber einer alleinigen HRV-Analyse enthält. Das zugehörige Parameterset bestehend nur aus den signifikantesten HRV-Parametern erzielt eine ROC-Fläche von 0,734, wohingegen die multivariate Kombination aus HRV-, HRT- und DC-Parametern einen ROC-Wert von 0,86 erzielt. Es kommt also zu einer wesentlichen Modifikation der autonomen Regulation in der Rezidiv-Gruppe, die zugrundeliegenden Mechanismen können aber noch nicht eindeutig erklärt werden und sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Die Berechnung der HRT-Parameter und der DC erfolgt üblicherweise aus 24h-EKG-Daten. In dieser Studie hingegen wurden nur 2h-Abschnitte aus dem Langzeit-EKG betrachtet, woraus sich möglicherweise eine Beschränkung des Einflusses dieser Parameter ergibt.

Es wurde in dieser Studie bisher nicht berücksichtigt, zu welchem Zeitpunkt das Rezidiv auftrat. Eine weitere Differenzierung in Kurzzeit- und Langzeitrezidive sowie eine erweiterte Analyse mit zusätzlichen nichtlinearen Verfahren (bspw. Detrended Fluctuation Analysis, Poincare Plot Analysis) könnte eine weitere Verbesserung der Klassifizierung bewirken.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass es mit einer multivariaten Kombination aus Parametern der HRV und der HRT sowie der DC mit einer Sensitivität von 76% und einer Spezifität von 95% möglich ist, ein Rezidiv frühzeitig zu prognostizieren. Dafür ist eine 2h-Messung unmittelbar nach Kardioversion unter standardisierten Ruhebedingungen möglicherweise ausreichend. Daraus resultiert,

dass diese Methode gut in die klinische Routine integrierbar wäre. Somit könnte eine verbesserte Kontrolle und Nachsorge des Patienten gewährleistet werden.

## 5 Literatur

- [1] S. Evers, M. G. Hennersdorf, C. Perings et al., "Epidemiologie und Ursachen von Vorhofflimmern," *Herzschr Elektrophys*, vol. 12, pp. 59–67, 2001.
- [2] S. Levy, G. Breithardt, R. W. Campbell et al., "Atrial fibrillation: current knowledge and recommendations for management. Working Group on Arrhythmias of the European Society of Cardiology," *Eur Heart J*, vol. 19, no. 9, pp. 1294-320, Sep, 1998.
- [3] R. G. Tieleman, I. C. Van Gelder, H. J. Crijns et al., "Early recurrences of atrial fibrillation after electrical cardioversion: a result of fibrillation-induced electrical remodeling of the atria?," *J Am Coll Cardiol*, vol. 31, no. 1, pp. 167-73, Jan, 1998.
- [4] F. Lombardi, A. Colombo, B. Basilio et al., "Heart rate variability and early recurrence of atrial fibrillation after electrical cardioversion," *J Am Coll Cardiol*, vol. 37, no. 1, pp. 157-62, Jan, 2001.
- [5] E. Bertaglia, F. Zoppo, C. Bonanno et al., "Autonomic modulation of the sinus node following electrical cardioversion of persistent atrial fibrillation: relation with early recurrence," *Int J Cardiol*, vol. 102, no. 2, pp. 219-23, Jul 10, 2005.
- [6] E. M. Kanoupakis, E. G. Manios, H. E. Mavrakis et al., "Relation of autonomic modulation to recurrence of atrial fibrillation following cardioversion," *Am J Cardiol*, vol. 86, no. 9, pp. 954-8, Nov 1, 2000.
- [7] S. Vikman, T. H. Makikallio, S. Yli-Mayry et al., "Heart rate variability and recurrence of atrial fibrillation after electrical cardioversion," *Ann Med*, vol. 35, no. 1, pp. 36-42, 2003.
- [8] "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology," *Eur Heart J*, vol. 17, no. 3, pp. 354-81, Mar, 1996.
- [9] A. Voss, S. Schulz, R. Schroeder et al., "Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability," *Philos Transact A Math Phys Eng Sci*, vol. 367, no. 1887, pp. 277-96, Jan 28, 2009.
- [10] Bauer A, Malik M, Schmidt G, et al., „Heart rate turbulence: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use: International Society for Holter and Noninvasive Electrophysiology Consensus." *J Am Coll Cardiol*;52, pp. 1353-65, 2008
- [11] Bauer A, Kantelhardt J, Barthel P, et al. Deceleration capacity of heart rate as a predictor of mortality after myocardial infarction: cohort study. *Lancet*;367, pp. 1674-81, 2006



## **Bestimmung von lokalen Geschwindigkeitsvektoren in Infarkttrandzonen**

Stefan Hanitsch B.Eng., E-Mail: stefan.hanitsch@student.emw.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt (FH),  
Bernburger Str. 57, 06366 Köthen

Martin Wittmann B.Eng., E-Mail: martin.wittmann@student.emw.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt (FH),  
Bernburger Str. 57, 06366 Köthen

Prof. Dr. Dietrich Romberg, Phone: +49 (0) 3496 67 2331, E-Mail: d.romberg@emw.hs-anhalt.de, Hochschule  
Anhalt (FH), Bernburger Str. 57, 06366 Köthen

### **Abstract**

Local activation times are commonly used to identify the mechanisms of arrhythmias and to localize conduction disorders. Since electrograms from infarct regions have multiple deflections due to the influences of distant wavefronts, no predominant peaks are exhibited by these potentials. In this study the feasibility of two-dimensional highpass filtering (2D-Laplacian) for the separation of local and distant depolarisations fronts was tested. Resulting local activation times were used for the generating of activation maps and the estimation of local conduction velocities. The results revealed a non-uniform augmentation of the conduction abnormalities in the infarct border zone by transient ischemia.

**Keywords:** Erregungsleitung, Signalverarbeitung, Infarkt, Laplace, Ischämie

## **1 Einleitung**

Ventrikuläre Arrhythmien gehören zu den häufigsten Todesursachen in den modernen Industrienationen. Allein in Deutschland versterben jedes Jahr zwischen 100.000 und 200.000 Menschen an lethalen Rhythmusstörungen [1]. Besonders bedroht sind Patienten nach einem überlebten Herzinfarkt. Verursacht werden diese lebensbedrohlichen Arrhythmien durch eine verzögerte Erregungsleitung in der Infarkttrandzone, d.h. im Übergangsbereich von vitalem zu nekrotischem Gewebe. Adäquate Therapieansätze erfordern die Identifikation und Lokalisierung der verzögerten Erregungsleitung auf Basis von lokalen Aktivierungszeiten. Im vitalen Myokard wird als Bezugspunkt für die Definition der lokalen Aktivierungszeit das Minimum der ersten Ableitung des lokalen Potentials verwendet [2]. Dieses Verfahren ist nicht einsetzbar bei multiphasischen Potentialen, die z.B. in Infarkttrandzonen entstehen [3]. Der multiphasische Charakter dieser Potentiale wird auf entkoppelte Depolarisationen in der Umgebung der Ableitelektroden zurückgeführt [4]. In der Bildverarbeitung haben sich 2D-Hochpass-Filter zur Verstärkung lokaler Signale bewährt. Nachfolgend werden die Ergebnisse einer Studie zum Einsatz eines 2D-Hochpass-Filters zweiter Ordnung (Laplace-Filter) für die Bestimmung der Aktivierungszeit vorgestellt. Auf der Grundlage dieser Aktivierungszeiten werden lokale Geschwindigkeitsvektoren bestimmt, die eine Identifikation von Erregungsleitungsstörungen, ausgelöst durch transiente Ischämien, ermöglichen.

## 2 Methodik

### 2.1 Experimentelle Daten

Zur Auswertung verwendete Datensätze wurden im Rahmen einer experimentellen In-vitro-Studie unter Verwendung des HARRIS-Infarktmodelles gewonnen. Eine transiente Ischämie (10 min) wurde durch folgende Bedingungen simuliert [5]:  $pO_2 < 35 \text{ mmHg}$ ,  $pH = 6,85$ ,  $8 \text{ mM KCl}$ . Die mit einer  $14 \times 8$  Elektroden-Matrix erfassten epikardialen Potentiale (Abtastfrequenz 1 KHz, Auflösung 12 bit) sind entsprechend den histologischen Untersuchungen (Hämatoxylin-Eosin-Färbung) der Infarkt-randzone zuzuordnen

### 2.2 Algorithmen

Zur Charakterisierung der Erregungsleitung wurden die lokalen Aktivierungszeiten und die lokalen Geschwindigkeitsvektoren für alle Ableitungen einer  $14 \times 8$  Elektroden-Matrix bestimmt. Die erforderlichen Algorithmen wurden in der Programmierumgebung MATLAB<sup>®</sup> (The MathWorks, Ver. 2007) entwickelt.

#### 2.2.1 Lokale Aktivierungszeiten

Für die Bestimmung der lokalen Aktivierungszeiten wurden von den erfassten Potentialen  $U(t)$  folgende Parameter ermittelt:

- zeitliche Ableitung von  $dU/dt$
- zweite räumliche Ableitung  $\nabla^2 U(t)$  (Laplace-Filter)
- zeitliche Ableitung des Laplace-gefilterten Potentials  $d(\nabla^2 U/dt)$
- Summenpotential aus den vier unmittelbar benachbarten Ableitungen  $\sum 4N(t)$

#### 2.2.2 Isochronen-Maps

Durch die Verbindung von Ableitpunkten mit gleicher Aktivierungszeit (Isochronen) wurde eine 2D-Darstellung der Erregungsausbreitung unter Anwendung eines bilinearen Interpolationsverfahrens erzeugt (MATLAB-Funktion "interpol")

#### 2.2.3 Geschwindigkeitsvektoren

Aus den Aktivierungszeiten  $T(x,y)$  für jeden Punkt mit den Ortskoordinaten  $x$  und  $y$  lassen sich die lokalen Geschwindigkeitsvektoren  $V(x,y)$  bestimmen. Für die Differenz  $dT$  der Aktivierungszeiten zwischen zwei Punkten mit dem Abstand  $dx$  und  $dy$  gilt unter Berücksichtigung der nicht-uniformen Erregungsausbreitung im Myokard [4]:

$$dT = dx \frac{\partial T}{\partial x} + dy \frac{\partial T}{\partial y} \quad (1)$$

Die Komponenten des lokalen Geschwindigkeitsvektors  $V(x,y)$  ergeben sich mit (1) als

$$V_x = dx/dT = \partial x/\partial T + \partial x/\partial y dy/dT \quad (2)$$

$$V_y = dy/dT = \partial y/\partial T + \partial y/\partial x dx/dT \quad (3).$$

Mit  $T_x = \partial T/\partial x$  und  $T_y = \partial T/\partial y$  lassen sich die Gleichung (2) und (3) vereinfachen:

$$V_x = \frac{T_x}{T_x^2 + T_y^2} \quad (4)$$

$$\text{und } V_y = \frac{T_y}{T_x^2 + T_y^2} \quad (5).$$

Aus  $V_x$  und  $V_y$  wurden Betrag und Richtung der lokalen Geschwindigkeitsvektoren bestimmt und in Isochronen-Maps dargestellt (Abb.2).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Lokale Aktivierungszeiten

Entsprechend der Morphologie der erfassten Potentiale lassen sich grundsätzlich zwei unterschiedliche Formen unterscheiden: 1. mono-/biphasische Potentiale, 2. multiphasische Potentiale (Abb.1).

#### 3.2 Mono-/biphasische Potentiale

In Abhängigkeit von der zellulären Architektur der untersuchten Infarkttrandzonen zeigen eine Vielzahl der abgeleiteten Potentiale einen mono-/biphasischen Verlauf. Wie bei Potentialen, die sich auch von vitalem Myokard ableiten lassen, ergibt sich der Bezugspunkt für die Bestimmung der Aktivierungszeit als  $(-dV/dt)_{\max}$  (Abb 1).

#### 3.3 Multiphasische Potentiale

Multiphasische Potentiale lassen sich in Regionen ableiten, die eine deutliche Separation von Fasern und Faserbündeln aufweisen (Abb.1). Durch einen Vergleich zwischen dem Bezugspotential und dem Mittelwert aus den umgebenden Potentialen können die multiphasischen Anteile den separierten Erregungsfronten zugeordnet werden. Eine lokale Depolarisation ist bei diesen Potentialen nicht eindeutig identifizierbar, da ein dominierender Peak in  $dU/dt$  fehlt. Durch Anwendung des 2D-Laplace Filters können lokale Potentiale verstärkt werden, so dass mit  $d(\nabla^2 U)/dt_{\max}$  ein Bezugspunkt für die lokale Aktivierungszeit entsteht.

### 3.4 Isochronen-Maps

Die annähernd elliptische Form der Linien mit gleichen Aktivierungszeiten (Isochronen) beschreibt die richtungsabhängige Erregungsleitung (Abb.2). Insbesondere in Bereichen mit multiphasischen Potentialen (Abb.1) ist eine nicht-uniforme Leitungsverzögerung zu erkennen. Die Leitungsgeschwindigkeit parallel zur Ausrichtung der Faserbündel ist signifikant größer als die Geschwindigkeit senkrecht zur Zellausrichtung (Mittelwert±Standardabweichung:  $V_x=3,8\pm2,6$  cm/s vs.  $V_y=4,5\pm2,3$  cm/s). Durch die transiente Ischämie kommt es zur Verringerung der Leitungsgeschwindigkeiten in beiden Richtungen ( $\Delta V_x=2,9\pm2,1$  cm/s,  $\Delta V_y=3,3\pm1,9$  cm/s).

### 3.5 Geschwindigkeitsvektoren

Die berechneten Geschwindigkeitsvektoren bestätigen die regionalen Unterschiede in der Erregungsleitung (Abb.2). Im Differenz-Map (Abb.3) sind die lokalen Veränderungen (Vektoren ergeben sich aus den Differenzen für  $V_x$  und  $V_y$ ) in der Erregungsleitung infolge der Ischämie zu erkennen.

## 4 Diskussion

Die Identifikation und Lokalisierung von Arealen mit verzögerter Erregungsleitung verlangt eine exakte Bestimmung von lokalen Aktivierungszeiten. In konventionellen Verfahren wird das Minimum der ersten zeitlichen Ableitung als Bezugspunkt verwendet.

Diese Methode führt bei multiphasischen Potentialen, die durch den elektrotonischen Einfluss von entkoppelten Depolarisationen entstehen, zu keinem eindeutig identifizierbaren Zeitpunkt, dem eine lokale Aktivierung zugeordnet werden kann. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass durch Einsatz eines 2D-Hochpass-Filters auch aus diesen multiphasischen Potentialen lokale Depolarisationen extrahiert werden können.

Im Unterschied zu Hochpass-Filtern 1. Ordnung besteht für den Laplace-Filter ein unmittelbarer biophysikalischer Bezug zur lokalen Aktivierung: Das Laplace-gefilterte Potential reflektiert den lokalen Depolarisationsstrom [6]. Dieser Zusammenhang ermöglicht eine eindeutige Interpretation des verwendeten Parameters  $d(\nabla^2 U/dt)$ -max.

Auf der Basis der lokalen Aktivierungszeiten wurden Isochronen-Maps erstellt und die lokalen Geschwindigkeitsvektoren bestimmt. Diese Informationen ermöglichen eine Lokalisierung und Charakterisierung von Erregungsleitungsstörungen in der Infarkttrandzone: Die nicht-uniform verzögerte Erregungsleitung wird an dem veränderten Isochronenabstand erkennbar, ein Vergleich der lokalen Vektoren belegt die regional unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Die transiente Ischämie führt zu einer weiteren Beeinträchtigung der Erregungsleitung, sowohl in Regionen mit multiphasischen als auch mit mono-/biphasischen Potentialen. Die lokalen Unterschiede, dargestellt durch das Differenz-Map (Abb.3), lassen sich mit den inhomogen ausgeprägten Funktionsstörungen (z.B. Metabolismus,  $Ca^{2+}$ -Handling) in der Infarkttrandzone erklären [7].



Patienten nach einem Herzinfarkt sind vom plötzlichen Herztod bedroht [8]. Da insbesondere akute Ischämien zur Entstehung lebensbedrohlicher Tachyarrhythmien bei diesen Patienten beitragen, wird von der Identifikation und Lokalisation kritischer Areale der Infarkttrandzone eine Verbesserung der Effizienz lokaler Therapieverfahren, wie der Katheter-Ablation oder der Subthreshold-Stimulation, erwartet.

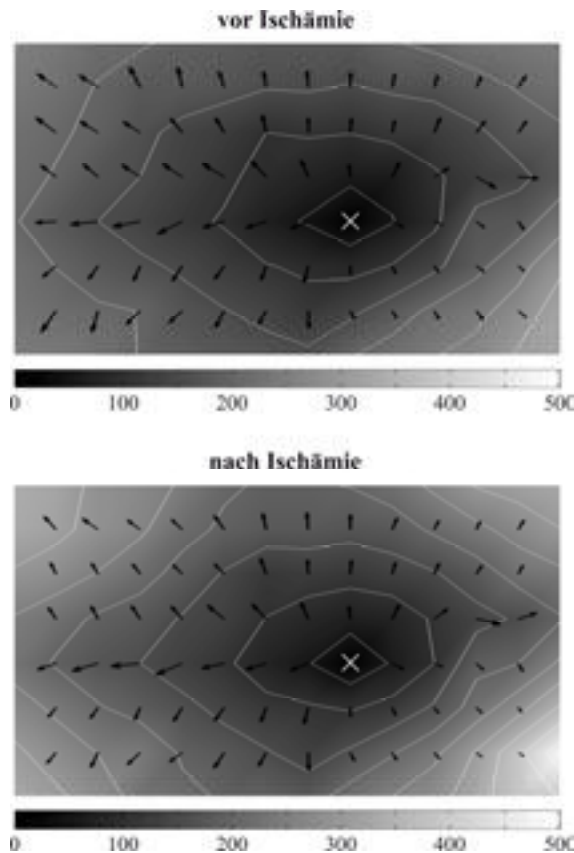
## **5 Danksagung**

Wir danken Prof. E.J. Berbari, Department of Biomedical Engineering, Purdue University Indiana (USA), für die Überlassung der experimentellen Daten.

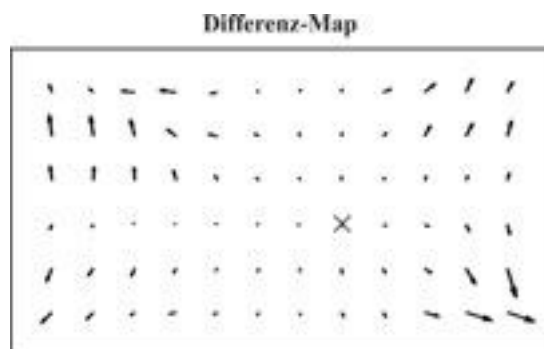
## **6 Literatur**

- [1] HEALTH AT A GLANCE 2009: OECD INDICATORS © OECD 2009
- [2] Henkel DM, Witt BJ, Gerski BJ, Jacobsen SJ, Weston SA, Meverden MA, Roger VL: Ventricular Arrhythmias after Myocardial Infarction: A 20-year community study. *Am Heart J* 151 (2006), 806-812
- [3] Punske BB, Quan N, Lux RL, MacLeod RS, Ershler PR, Dustmann TJ: Spatial methods of epicardial activation time determination in normal hearts. *Annals Biomed Eng* 33 (2003), 781-792
- [4] Ursell PC, Gardener PI, Albaladejo A, et al.: Structural and electrophysiological changes in the epicardial border zone of the canine myocardial infarct during infarct healing. *Circ Res* 56 (1985), 436-452
- [5] Bayly, V., B. H. KenKnight, J. M. Rogers, R. E. Hillsley, R. E. Ideker, W. M. Smith, Estimation of Conduction Velocity Vector Fields from Epicardial Mapping Data, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 45, No. 5, IEEE, May 1998, 563-571
- [6] Berbari, E. J., Lander, P., Geselowitz, D. B., Scherlag, B. J.; and Lazzara, R., *Cardiovasc Electrophysiol* Vol 5, pp. 28-40. January 1994
- [7] Witkowski FX, Kavanagh KM, Penkose PA, Plonsey R: In vivo estimation of cardiac transmembrane current, *Circulation Research*, 72, 424-439, 1993
- [8] Baba S, Dun W, Cabo C, Boyden PA: Remodeling in Cells from Different Regions of the Reentrant Circuit During Ventricular Tachycardia. *Circulation* 112 (2005), 2386-2396
- [9] Bauer, W. R., G. Ertl, Rhythmusstörungen während der Remodelingphase nach Herzinfarkt, *Herz*, 27, Nr8, 740-749, Urban & Vogel, 2002

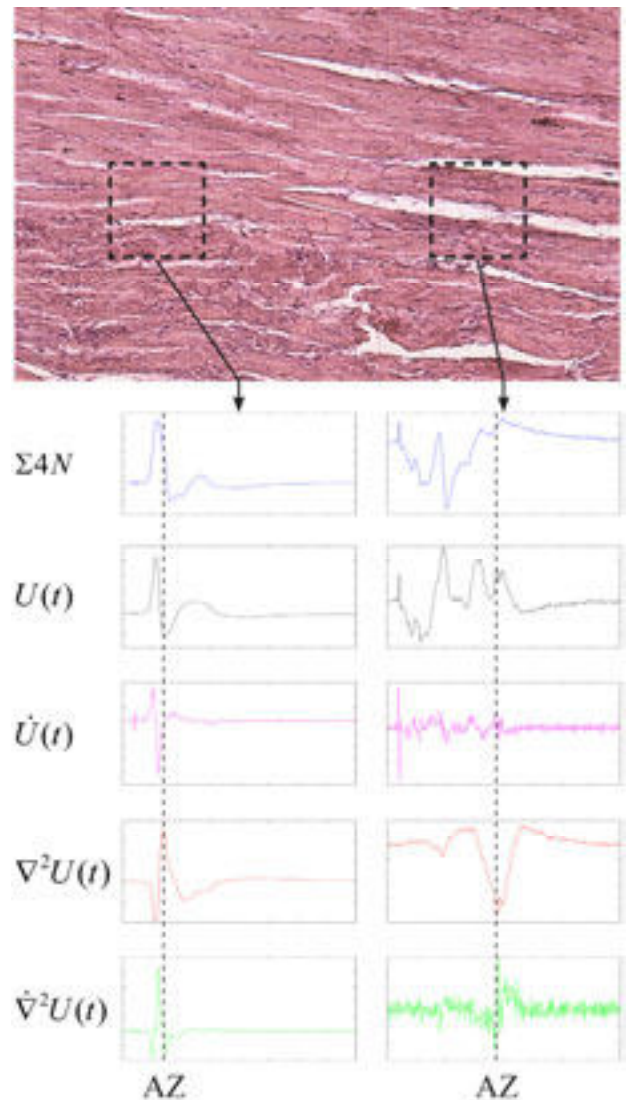
## 4 Abbildungen



**Abbildung 2:** Isochronen-Maps mit Aktivierungszeiten (farbcodiert in ms) und lokalen Geschwindigkeitsvektoren zur Darstellung der Erregungsleitung in der Infarkttrandzone vor und nach Ischämie. Die dargestellten Pfeile zeigen eine relative Geschwindigkeit an.



**Abbildung 3:** Differenz-Map mit relativen, lokalen Geschwindigkeitsdifferenzen in der Erregungsleitung vor und nach Ischämie (Bezug: Abb.2). Der Stimulationspunkt ist mit "X" gekennzeichnet.



**Abbildung 1:** Darstellung der Infarkttrandzone (Hämatoxylin-Eosin-Färbung) sowie Vergleich zwischen den abgeleiteten mono-/ biphasischen (links) Potentialen und multiphasischen (rechts) Potentialen und den zugehörigen Parametern:

- $\Sigma 4N$  – Mittelwert aus den Potentialen der vier direkt umgebenden Ableitungen
- $U(t)$  – Potential des Bezugspunktes
- $\dot{U}(t)$  – zeitliche Ableitung von  $U(t)$
- $\nabla^2 U(t)$  –  $U(t)$  nach Anwendung eines 2D-Laplace-Filters
- $\dot{\nabla}^2 U(t)$  – zeitliche Ableitung von  $\nabla^2 U(t)$ , AZ - Aktivierungszeit

# Methodik zur rhythmobiologischen Bewertung von Schichtarbeitsplänen

Dipl. Informatiker (FH) Christian Heinze, Telefon: ++49 3683 688 4213, E Mail: c.heinze@fh-sm.de; Dipl. Informatiker (FH) Sven Schirmer; B. Sc. Kristin Fehr; Prof. Dr. rer. nat. Martin Golz; Fachhochschule Schmalkalden.

**Abstract:** Viele physiologische Funktionen unterliegen einer tageszeitlichen Schwankung, die als *zirkadianer Rhythmus* bezeichnet wird. Er reagiert empfindlich auf Umwelteinflüsse, insbesondere auf Licht. Die Uhrzeiten, zu denen der tägliche Schlaf begonnen und beendet wird, ergeben sich aus einem Zusammenspiel von „innerer Uhrzeit“ und dem Zeitverhalten vorangegangener Schlaf- und Wachepisoden. Zudem gibt es inter-individuell erheblich unterschiedliche Präferenzen zu den Einschlaf- und Aufwachzeiten; sie werden *Chronotypen* genannt. Zu diesen Faktoren können oftmals die Arbeitszeiten, zu denen stets Wachheit und Aufmerksamkeit gefordert sind, in Konflikt geraten. Besonders problematisch sind ständig wechselnde Arbeitszeiten, wie sie bei *Schichtarbeit* vorkommen: einerseits wird wiederkehrend Arbeit zu Zeiten ausgeübt, an denen die innere Uhr auf Schlaf eingestellt ist; andererseits verhindert die laufende Veränderung der Hell-Dunkel-Zeiten ein stabiles „Einschwingen“ der inneren Uhr. Permanente Belastungen durch Überschneidung von Arbeitszeit, Schlafbedürfnis und Destabilisierung der zirkadianen Rhythmik steigert erheblich das Risiko gesundheitlicher Beschwerden sowie fehlerhafter Arbeitsvorgänge bis hin zu Unfällen. Nicht zufällig häuften sich in den letzten Dekaden große technische Katastrophen und Unfälle zu Nachtzeiten. Ein Ausgleich zwischen ökonomischen Interessen und den psychophysiologischen Beschränkungen der Schichtarbeiter muss angestrebt werden. In diesem Beitrag unterbreiten wir einen Vorschlag, unter Berücksichtigung verschiedener chronotypischer Präferenzen Schichtarbeitspläne objektiv zu bewerten. Hierfür wird ein etabliertes Modell des menschlichen Schlaf-Wach-Zyklus um die Empfindlichkeit des zirkadianen Systems auf Lichteinwirkung erweitert, so dass Schlaf-Wach-Zyklen unter veränderlichen bzw. wechselnden Lichteinflüssen simuliert werden können. Die freien Parameter des so erweiterten Modells werden mit *Evolutionären Strategien* angepasst. Das angepasste Modell wurde unter Einhaltung der Arbeitszeiten verschiedener Schichtpläne simuliert und die auftretenden Konflikte zwischen Schlafdruck und Arbeitszwang quantifiziert.

**Keywords:** Zwei-Prozess-Modell, Phase Response Curve, Schichtarbeit, Vigilanz, Genetische Algorithmen

## 1 Theoretische Grundlagen und Realisierung

### 1.1 Zwei-Prozess-Modell

Im *Zwei-Prozess-Modell* (2PM, siehe oberer Teil Abb. 2) nach Daan et al. 1984 wird der zirkadiane Rhythmus durch Prozess C repräsentiert. Die obere Einschlafschwelle  $C_H$  und untere Aufwachschwelle  $C_L$  gleichen sich in Periodendauer  $\tau$  und Phase  $\phi_C$  und unterscheiden sich in ihren Amplituden  $A_C$  und dem jeweiligen Basisniveau  $|C_H|$  bzw.  $|C_L|$ .

Der Prozess S repräsentiert die homöostatische Komponente des Schlafes, d. h. den Verlauf des Schlafdrucks in Abhängigkeit von der Dauer der Wachheit. Während des Schlafes vermindert sich das Niveau von S, bis schließlich die Aufwachschwelle  $C_L$  erreicht und in den Wachzustand gewechselt wird. Die Abnahme von S wird durch eine exponentiell abfallende Funktion modelliert.

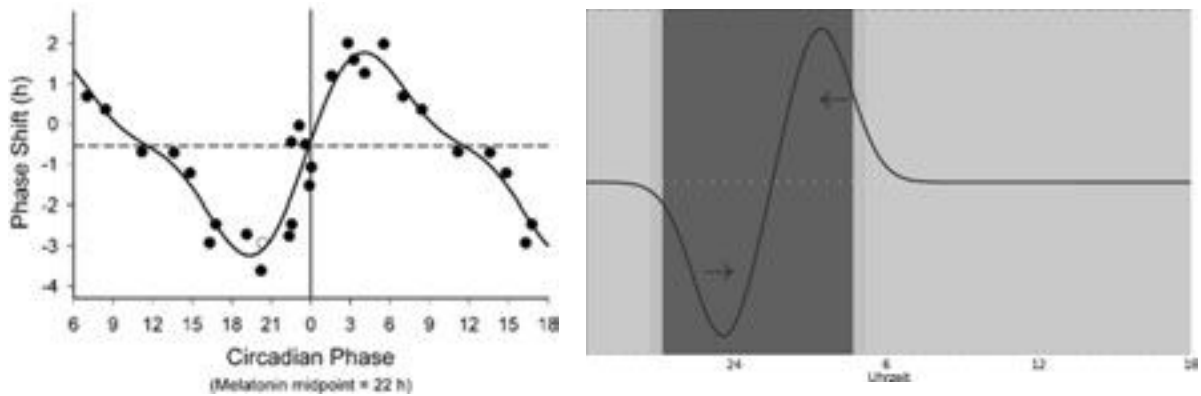


Abbildung 1: Phase Response Curve: die zirkadiane Phase  $\phi_C = 0$  ist definiert als Zeitpunkt des Körperkerntemperaturminimums und repräsentiert den Nulldurchgang zwischen negativem und positivem Teil der PRC. Lichteinfluss im negativen aktiven Teil vor  $PRC_0$  bewirkt eine Verspätung bzw. im positiven aktiven Teil nach  $PRC_0$  eine Verfrüherung von  $\phi_C$ . Links: gemessene PRC nach Khalsa S et al. 2003. Rechts: verwendetes Modell nach eigenem Skript (Kurve: PRC, heller Hintergrund: Tageslicht, dunkler Hintergrund: Dunkelheit).

Umgekehrt erhöht sich Niveau von S im Wachzustand (entsprechend modelliert durch einen exponentiell gesättigten Anstieg), bis schließlich die Einschlafschwelle  $C_H$  erreicht und in den Schlafzustand gewechselt wird.

## 1.2 Phase-Response-Curve

Der zirkadiane Rhythmus wird durch den im Hypothalamus befindlichen *suprachiasmatischen Nucleus* gesteuert und hauptsächlich über die Retina durch den regelmäßigen Wechsel zwischen Hell und Dunkel beeinflusst (Pittendrigh & Minis 1964). Er variiert individuell und hat im Durchschnitt eine Periodendauer von 24,2 h (Khalsa et al. 2003). Die Phasen-Antwort-Kurve für Licht (engl. *phase response curve*, PRC, siehe Abb. 1) nach Pittendrigh (1960) beschreibt die Reaktion der zirkadianen Rhythmusphase und -amplitude auf äußeren Lichteinfluss. Eine Phasenverschiebung  $\Delta\phi_{PRC}$  ergibt sich aus dem Integral der Produkte aus jeweiliger Helligkeit und jeweiligem Wert der PRC-Funktion während des Wachzustandes. Die PRC wird durch folgende Parameter definiert: Periodendauer  $\tau$  (dieselbe wie bei Prozess C), Lage der Nullphase  $\phi_{PRC_0}$ , Amplitude  $A_{PRC}$  sowie Breite des aktiven (d. h. von Null verschiedenen) Teils  $W_{PRC}$ .

Die PRC erklärt u. a. die Anpassung des zirkadianen an den exakt 24-stündigen solaren Rhythmus (siehe Abb. 1 rechts): durch morgendliche Einwirkung des beginnenden Tageslichts auf den positiven aktiven Teil der PRC (bei gleichzeitiger abendlicher Dunkelheit während des aktiven negativen Teils) wird  $\phi_{PRC}$  täglich auf eine etwas frühere Lage korrigiert. Bei regulärem tagaktiven Verhalten wird in der Regel der größte aktive Teil der PRC „verschlafen“.

## 1.3 Kombiniertes Modell

Eine Kombination von 2PM und PRC ermöglicht die Simulation des Schlaf-Wach-Rhythmus bei gleichzeitiger Anpassung an die herrschenden Lichtverhältnisse. Hierzu oszillieren Prozess C und

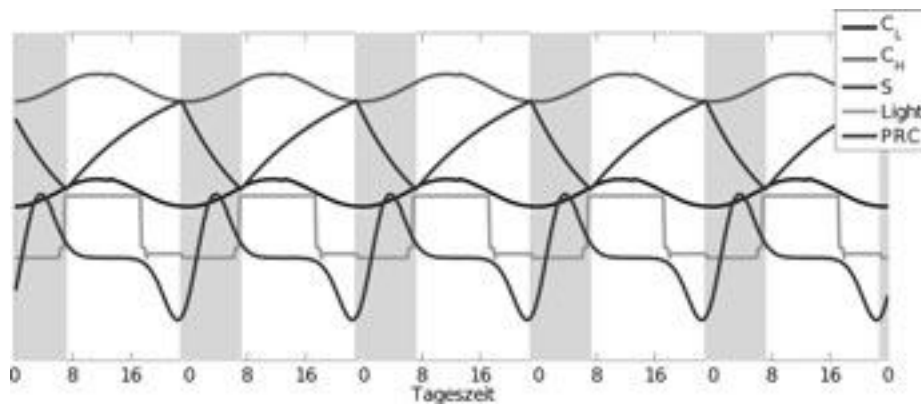


Abbildung 2: Ausschnitt aus Simulationslauf des kombinierten Schlaf-Wach-Modells. Oberer Teil: Zwei-Prozess-Modell (2PM). Prozess S (Schlafdruck) steigt während des Wachzustandes (weißer Hintergrund) und verringert sich während des Schlafes (grauer Hintergrund). S wird durch die Schwellen des Prozesses C (zirkadianer Rhythmus, sinusförmige Kurven) begrenzt. Unterer Teil: Phase Response Curve mit Einwirkung von Tageslicht (graue Kurve). Resultierende zirkadiane Phasenverschiebungen werden sowohl auf PRC als auch auf Prozess C übertragen.

PRC mit der gleichen Periode  $\tau$  und dem Phasenabstand  $\Delta\phi_{C-PRC}$ ; zirkadiane Phasenverschiebungen werden sowohl auf Prozess C als auch auf die PRC übertragen.

Um das natürliche Tageslicht realistisch zu simulieren, berechnet eine Funktion zeit- (Datum und Uhrzeit) und ortsabhängig (Längen- und Breitengrad) den Winkel der Sonne über dem Horizont. Dadurch ist zu jedem Simulationszeitpunkt bekannt, welche Intensität natürlichen Lichts auf die PRC einwirkt.

Neben natürlichem Licht kann helles künstliches Licht einen erheblichen Einfluss auf die PRC ausüben, insbesondere bei Nachtarbeit oder -schichten in hell beleuchteten Räumen. Um derartigen Einflüssen Rechnung zu tragen, können dem Modell angenommene oder gemessene Lichtintensitäten übergeben und während der Simulation berücksichtigt werden.

## 2 Adaption und Simulation

### 2.1 Chronotypen

Um die Verträglichkeit von Schichtarbeitsplänen in bezug auf den zirkadianen bzw. den Schlaf-Wach-Rhythmus zu ermitteln, müssen die individuell unterschiedlichen Schlafmuster-Präferenzen, der sog. *Chronotyp*, berücksichtigt werden. Roenneberg et al. (2003, 2007) haben anhand großer Datenerhebungen eine durchschnittliche Schlafdauer von 8,5 Stunden  $\pm$  1,8 Stunden sowie eine durchschnittliche Aufwachzeit von 8:00 Uhr  $\pm$  90 Minuten ermittelt. Per Zufallsgenerator wurde eine zweidimensionale (Schlafdauer und Aufwachzeit) Verteilung von 800 Chronotypen erzeugt, deren statistische Eigenschaften diesen Beobachtungen entspricht. Mit Hilfe dieser repräsentativen Chronotyp-Population werden die Arbeitszeitvorgaben verschiedener Schichtpläne mittels Modellsimulation bewertet. Bevor dies geschehen kann, muss das Modellverhalten für jeden Chronotyp optimiert werden.

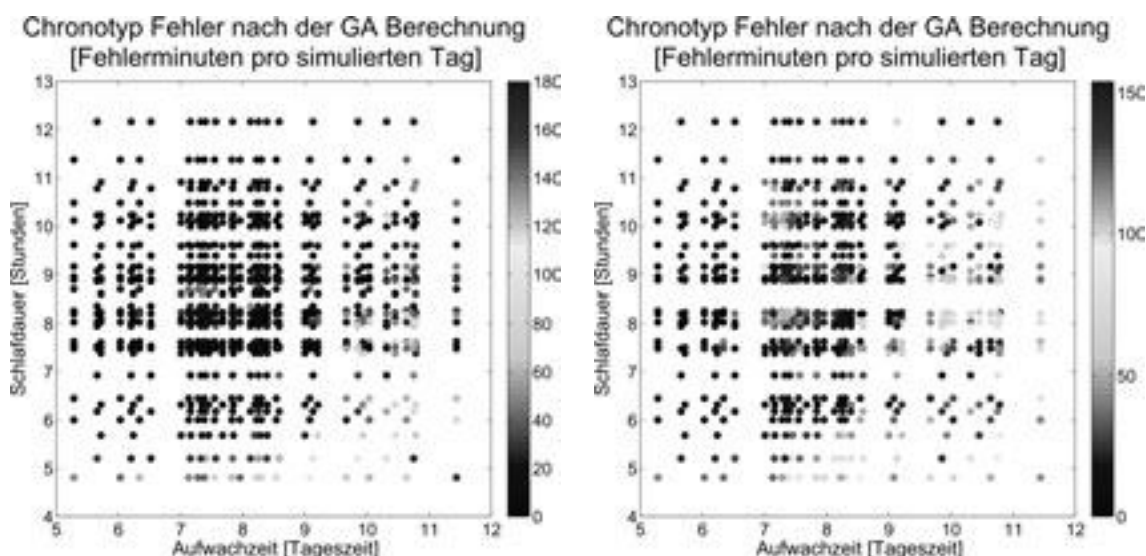


Abbildung 3: Jeder Punkt repräsentiert einen Chronotyp mit einer bestimmten präferierten Aufwachzeit und Schlafdauer. Die Einfärbung des Punktes kodiert den Fehler, der bei der Anpassung des Modells (durch einen Genetischen Algorithmus) an die Chronotyp-Präferenz ermittelt wurde. Links Verwendung eines Genetischen Algorithmus mit einfacher Intervall-Mutations-Strategie, rechts mit multipler nicht-uniformer Mutation.

## 2.2 Genetische Algorithmen

Genetische Algorithmen bezeichnen stochastische Suchverfahren, die geeignet sind, um in kurzer Zeit gute Lösungen für multimodale Such- und Optimierungsprobleme zu ermitteln. Ihre Arbeitsweise ist durch die biologische Evolution inspiriert: der Suchraum wird mit einer Vielzahl möglicher Lösungen (Individuen) popularisiert; die Fehler (Fitness) der Lösungsvorschläge werden berechnet, wobei die schlechtesten ausgesiebt werden (Selektion) und die besten neue Lösungsvorschläge (Nachkommen) durch zufälligen Austausch ihrer einzelnen Variablen (Kreuzung und Mutation) erzeugen. Zusätzlich können Individuen sprunghaft die Werte einzelner Variable ändern (Mutation).

Das beschriebene Modell ist in der Lage, in Abhängigkeit von der Einstellung seiner freien Parameter  $\tau$ ,  $\phi_C$ ,  $A_C$ ,  $|C_H|$ ,  $|C_L|$ ,  $\phi_{PRC_0}$ ,  $A_{PRC}$  und  $W_{PRC}$  die unterschiedlichsten Schlaf-Wach-Verhaltensmuster zu simulieren. Durch Verwendung Genetischer Algorithmen werden Werte für diese Parameter ermittelt, so dass das Modell das Verhalten eines bestimmten Chronotyps optimal nachempfunden. Dazu wird für den jeweiligen Chronotyp ein Schlaf-Wach-Muster beliebiger Dauer (z. B. 50 Tage) erzeugt; das vom Modell simulierte Schlaf-Wach-Muster über den selben Zeitraum wird mit dieser Vorgabe verglichen und die Parameteroptimierung solange fortgeführt, bis sich das Modellverhalten der Vorgabe mit hinreichend kleinem Fehler angenähert hat; ansonsten bricht das Verfahren nach Überschreitung eines bestimmten Zeitlimits ab.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Schichtpläne

	WAZ	F,S,N	Zyklus	E/W	Ø WB	Ø AW	Ø W
Emitec	42	F,S,N: 8	4	5,25	0,62	1,23	1,86
Förstina	40	F,S: 8,5	2	5	0,16	0,93	1,09
Förstina	40	F,S,N: 8	3	5	0,55	1,38	1,92
Garant	40	N: 7 S,F: 8,5	3	5	0,65	1,61	2,26
Garant	40	F,S: 8,5, N: 7	3	5	0,55	1,29	1,84
Gardner Denver	40	8	1	5	0	0,94	0,94
Gardner Denver	40,6	F: 8,25, S: 8	2	5	0,10	0,90	1,00
Opel Eisenach	40	F,S: 8	2	5	0,09	0,90	0,98
Opel Eisenach	40	N: 8	1	5	2,28	2,40	4,68

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Modelladaption an Chronotypen

Die Grafiken in Abb. 3 zeigen jeweils die zugrunde gelegte Chronotypverteilung als Punktwolke. Die Einfärbung jedes Punktes (ein Punkt = ein Chronotyp) gibt an, mit welchem Fehler ein Genetischer Algorithmus das Modellverhalten an die jeweilige chronotyp-spezifische Vorgabe anpassen konnte. Probleme bei der Modellanpassung bereiten Kurzschläfer und Spätaufsteher; Kombinationen dieser beiden Eigenschaften sind besonders fehlerbehaftet.

Ein Vergleich der linken und rechten Grafik in Abb. 3 zeigen, dass der Anpassungsfehler über die gesamte Verteilung auch stark von der Konfiguration des Genetischen Algorithmus abhängt. Im hier gewählten Beispiel sind die Auswirkungen zweier unterschiedlicher Mutationsstrategien zu sehen: in der Standardeinstellung (Abb. 3 links) wird der Wert *einer* zufällig gewählten Variable eines Lösungsvorschlages auf die obere oder untere Grenze deren Definitionsbereiches gesetzt; die sog. multiple nicht-uniforme Mutation (Abb. 3 rechts) hingegen setzt die Werte *aller* Variablen eines Lösungsvorschlages jeweils auf eine Zufallszahl in Abhängigkeit des aktuellen Wertes. Die letztgenannte Strategie erzeugt klar den geringeren Anpassungsfehler über die gesamte Chronotyp-Verteilung.

#### 3.2 Bewertung von Schichtplänen

Jeder Chronotyp durchläuft nun eine Modellsimulation (unter Verwendung seiner eigens angepassten Modellparameter), bei der die Arbeitszeiten verschiedener Schichtarbeitspläne berücksichtigt werden. Dabei werden nur Chronotypen mit einem Anpassungsfehler kleiner 8 Fehlerminuten pro Tag verwendet, wodurch 390 der ursprünglichen 800 Chronotypen einbezogen werden. Ein Schichtarbeitsplan wird durch folgende Kennzahlen beschrieben (Gärtner et al. 2008): Wochenarbeitszeit in Stunden (WAZ); Arbeitszeit (in Stunden) pro Tag in Früh-, Spät- oder Nachschicht (F,S,N); Anzahl Wochen, um einen Schichtplanzyklus zu durchlaufen (Zyklus); Einsätze pro Woche (E/W).

Bei der Simulation eines Arbeitsplans kann es zu Verletzungen des Schlaf-Wach-Rhythmus kommen: da Arbeitszeiten den Wachzustand erfordern bzw. erzwingen, kann der Schlaf verfrüht abgebrochen oder die Wachheit über die Einschlafschwelle hinausgezögert werden. Die Art und Dauer auftretender Verletzungen wird während der Simulation gespeichert, woraus sich anschließend folgende Kennzahlen zur Bewertung des Arbeitsplans berechnen lassen: durchschnittliche Dauer (in Stunden) erzwungenen Aufwachens, Wachbleibens bzw. Wachseins pro Arbeitstag ( $\emptyset AW$ ,  $\emptyset WB$  bzw.  $\emptyset W = \emptyset AW + \emptyset WB$ ).

Mittels dieser Kennzahlen kann für jeden Schichtplan quantifiziert werden, wie stark dessen Arbeitszeiten mit den Schlaf-Wach-Zyklen der Chronotyp-Population in Konflikt geraten. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Schichtplänen und deren Bewertung. Beim Unternehmen Förstina ergibt sich für den Früh-Spät-Nachtschicht- gegenüber dem Früh-Spätschicht-Wechsel eine höhere Belastung (1,92 gegenüber 1,09 Stunden erzwungenen Wachseins). Der Vergleich zweier Arbeitszeitpläne des Unternehmens Gardner Denver (fester 8-Stunden-Arbeitstag gegenüber einem Früh-Spätschicht-Wechsel) zeigt keinen nennenswerten Unterschied; lediglich die Frühschicht des Schichtwechsels induziert etwas verfrühten Schlafabbruch. Die beiden Schichtpläne des Unternehmens Garant sind besonders interessant zu vergleichen, da sie sich lediglich durch ihre Rotationsrichtung (vorwärts: Früh-Spät-Nacht, rückwärts: Nacht-Spät-Früh) unterscheiden; allein dieser Unterschied zieht beim rückwärts rotierenden Schichtplan eine höhere Belastung nach sich. Der deutlichste Unterschied zeigt sich beim Vergleich der Schichtplanvarianten des Opel-Werkes in Eisenach: bei einer Dauernachtschicht werden durchschnittlich fast 4,7 Stunden Wachzustand (pro Tag!) erzwungen, bei einem Früh-Spät-Schichtwechsel dagegen nur ca. eine Stunde.

Diese Ergebnisse stehen unter dem Vorbehalt, dass nur 390 der ursprünglichen 800 Chronotypen in die Bewertung der Schichtpläne einbezogen wurden; in dieser Unterauswahl sind frühe Chronotypen deutlich überrepräsentiert.

## Literatur

- Daan S, Beersma DGM, Borbély AA (1984) The timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. *American Journal of Physiology*, 246, pp. R161–R178.
- Gärtner J, Kundi M, Wahl S (2008) *Handbuch Schichtpläne*, 2. Auflage, vdf Hochschulverlag, Zürich, 2008.
- Khalsa S, Jewett M, Cajochen C, Czeisler C (2003) A phase-response curve to single bright light pulses in human subjects. *Journal of Physiology*.
- Pittendrigh CS (1960) Circadian rhythms and the circadian organization of living things. In: *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. XXV: Biological Clocks* (Hrsg. Chovnick A), pp. 159–184.
- Pittendrigh CS, Minis DH (1964) The Entrainment of Circadian Oscillations by Light and Their Role as Photoperiodic Clocks. *The American Naturalist*, 98 (902), pp. 261–294.
- Roenneberg T, Kuehnelea T, Juda M, Kantermanna T, Gordijnb M, Allebrandt K, Mellow M (2007) Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Medicine Reviews*, 11 (6), pp. 429–438.
- Roenneberg T, Wirz-Justice A, Mellow M (2003) Life between Clocks: Daily Temporal Patterns of Human Chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18 (1), pp. 80–90.



## **Analyse der autonomen Regulation bei Patienten mit Schizophrenie und deren Angehörigen ersten Grades**

Dipl.-Ing. S. Schulz, Phone: ++49.3641-205-658, E Mail: Steffen.Schulz@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, FB Medizintechnik & Biotechnologie, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

Prof. Dr. med. K.J. Bär, Phone: ++49.3641-935282, E Mail: Karl-Juergen.Baer@med.uni-jena.de, Universitätsklinikum Jena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Philosophenweg 3, 07743 Jena

Prof. Dr.-Ing. A. Voss, Phone: ++49.3641-205-625, E Mail: voss@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, FB Medizintechnik & Biotechnologie, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

### **Abstract**

Recent studies reported a reduced vagal and an increased sympathetic modulation in patients suffering from schizophrenia suggesting an autonomic dysregulation. In this study we enrolled thirty-six healthy first-degree relatives of patients with schizophrenia to investigate the genetic influence of autonomic regulation applying linear and nonlinear methods (time- and frequency domain, symbolic dynamics) of autonomic regulation analysis based on heart rate variability. Relatives were compared to healthy controls who were matched with respect to age and gender and to patients suffering from schizophrenia. Healthy relatives significantly differ from healthy controls ( $p < 0,01$ ) and revealed a changed autonomic function of heart rate regulation tending towards patterns of autonomic dysfunction of schizophrenic patients indicated by a reduced heart rate variability. This autonomic dysfunction in relatives and patients might suggest an underlying disease-inherent genetic vulnerability, especially since autonomic parameters of heart rate variability are known to have a genetic background

**Keywords:** schizophrenia, autonomic regulation, heart rate variability, nonlinear

## **1 Einleitung**

Für die Schizophrenie ist heute bekannt, dass Sie eine bis zu dreifach erhöhte kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität im Vergleich zur Normalbevölkerung aufweist [1]. Aktuellste Studien beschreiben für Patienten mit Schizophrenie eine kardielle autonome Dysregulation, welche mit einer erhöhten QT-Variabilität und Herzfrequenz sowie einer reduzierten Baroreflexsensitivität einhergehen [2-4]. Neben der Schizophrenie zeigen auch andere psychiatrische Erkrankungen Muster einer Dysfunktion der autonomen Regulation durch eine verringerte vagale und eine erhöhte sympathische Modulation auf [5-7]. Die Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV) stellt ein etabliertes Verfahren zur Beurteilung der neurovegetativen Aktivität und der autonomen Regulation des Herzens dar [8]. Die Schlag-zu-Schlag Variabilität des Herzrhythmus wird hierbei hauptsächlich durch die Modulationen des Autonomen Nervensystems (ANS) bestimmt, und spiegelt die sympathische und parasympathische Regulation der Herzfrequenz wieder. Bis heute liegen kaum Informationen über die Anwendung von nichtlinearen Methoden der HRV auf Kurzzeitdaten bei Patienten mit Schizophrenie und deren Angehörigen ersten Grades vor. Die beschriebene autonome Dysregulation bei diesen Patienten ist hierbei bisher nicht im Kontext zur Spezifität der Krankheit untersucht wurden. Der Einsatz von nichtlinearer Methoden der HRV hat wesentlich zu einer erhöhten Sensitivität bei der Erkennung einer autonomen Dysregulation and dem Risiko am plötzlichen Herztod zu versterben bei verschiedenen Krankheitsbildern beigetragen [9, 10].

Die Hypothese dieser Studie ist, dass gesunde Angehörige ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie vergleichbare Muster einer gestörten autonomen Regulation aufweisen und diese sich von gesunden Kontrollen durch eine verminderte HRV

deutlich unterscheiden. In dieser Studie wurden 36 gesunde Angehörige ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie mit 36 alters- und geschlechtsangepassten gesunden Kontrollen verglichen. Zusätzlich wurden dieselben HRV Maße von den dazugehörigen verwandten Patienten mit Schizophrenie bestimmt um die zuvor beobachteten Veränderungen innerhalb der Krankheit klar abzugrenzen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patienten, Datenerfassung und -vorverarbeitung

Für diese Studie wurden 36 unbehandelte Patienten mit Schizophrenie (15 Frauen; 21 Männer;  $33,7 \pm 12,6$  Jahre) und deren gesunde Angehörige ersten Grades (10 Frauen; 26 Männer;  $28,2 \pm 9,8$  Jahre) und gesunde Kontrollen (11 Frauen; 25 Männer;  $27,7 \pm 7,8$  Jahre) alters- und geschlechtsangepasst im Bezug zu den Angehörigen eingeschlossen. Alle Teilnehmer waren frei von psychiatrischen oder anderen Erkrankungen und erhielten keine überlagernde Medikation, welche die Studie beeinflussen würde. Die Teilnehmer wurden aufgefordert das Rauchen, das Trinken von Kaffee, schweres Essen oder körperliche Betätigung zwei Stunden vor der Untersuchung zu unterlassen. Schizophrenie wurde bei den Patienten von einem erfahrenen Psychiater diagnostiziert, wenn die Symptome der Patienten die DSM-IV Kriterien erfüllten, welche nach dem Structured Clinical Interview für DSM-IV bewertet wurden (SCID). Psychotische Symptome für akute Schizophrenie wurden mittels Beurteilungsskalen für positive Symptome (SAPS) und negative Symptome (SANS) quantifiziert. Das Structured Clinical Interview SCID II und eine Persönlichkeitsaufnahme (Freiburger-Persönlichkeitsinventar) wurden zusätzlich mit den Angehörigen und den Kontrollen durchgeführt, um Persönlichkeitsmerkmale oder andere Erkrankungen zu erkennen, die den autonomen Tonus beeinflussen könnten.

Für alle Teilnehmer wurde ein 3-kanaliges hochaufgelöstes Kurzzeit-EKG (1000Hz Abtastfrequenz) für 30 Minuten unter Ruhebedingungen (Rückenlage, ruhige Umgebung, gleiche Messzeit und Messort) mit dem Task Force Monitor® (CNSystems, Graz, Österreich) aufgezeichnet. Für jede EKG-Zeitreihe wurde automatisch das Tachogramm (Schlag-zu-Schlag-Intervalle über die Zeit) berechnet und alle Artefakte und Extrasystolen mittels adaptiver Filterung aus den Zeitreihen entfernt und interpoliert. Die erzeugten normalisierten Schlag-zu-Schlag-Intervall-Zeitreihen (NN) wurden den anschließenden linearen und nichtlinearen Analysen unterzogen.

### 2.2 Methoden der Herzfrequenzvariabilität

#### Zeit- und Frequenzbereich

Die Quantifizierung der HRV erfolgte anhand von Standardparametern aus dem Zeit- (ZB) und Frequenzbereich (FB) entsprechend den Task Force Empfehlungen [11]:

- meanNN: Mittelwert aller NN Intervalle [ms];
- sdNN: Standardabweichung aller NN Intervalle [ms];
- rmssd: Wurzel der quadratischen Differenzen aufeinander folgender NN Intervalle [ms];
- LFn: normierte Leistung des Spektrums im „Low Frequency“ Bereich

- HFn: (0.04-0.15Hz) [s<sup>2</sup>]; normierte Leistung des Spektrums im „High Frequency“ Bereich (0.15–0.4Hz) [s<sup>2</sup>];
- LF/HF: Verhältnis aus LF/HF.

Das Leistungsdichtespektrum der Zeitreihen (NN) wurde mittels der Fast Fourier Transformation in Kombination mit einem Blackman Harris Fenster bestimmt.

### **Nichtlineare Dynamik - Symbolische Dynamik**

Zur nichtlinearen Beurteilung der Komplexität der Zeitreihen (NN-Intervalle) wurde die symbolische Dynamik (SD) angewandt [9]. Dabei werden für die Symboltransformation im ersten Schritt die Tachogramme ( $x_i$ ) in eine Symbolfolge ( $s_i$ ) transformiert. Anschließend wird aus je drei aufeinanderfolgenden Symbolen durch ein vorgegebenes Alphabet  $A=\{0,1,2,3\}$  ein Wort gebildet, wodurch eine Wortfolge mit  $k=64$  möglichen Worttypen entsteht. Das daraus resultierende Histogramm enthält die Einzelwahrscheinlichkeit ( $p_i$ ) für das Vorkommen einzelner Wörter innerhalb einer Wortfolge. Folgende Parameter wurden aus dieser Verteilung bestimmt:

- SD\_Shannon: Shannon Entropie der Wortverteilung im Histogramm [bit];
- Forbword: Forbidden words (Anzahl von seltener oder niemals auftretender Worttypen mit einer Wahrscheinlichkeit kleiner 0,001) [a.u.].

Weiterhin wurde zur Beschreibung der kurzfristigen Dynamik ein reduziertes Alphabet  $A=\{0,1\}$  verwendet. Die resultierenden Worttypen setzen sich hierbei aus 6 aufeinanderfolgenden Symbolen zusammen mit denen Phasen von niedriger und hoher Variabilität charakterisiert werden können. Ist die Differenz benachbarter NN-Intervalle kleiner als ein vorgegebener Schwellwert (20ms-plvar) wurde das Symbol „0“, sonst das Symbol „1“ vergeben (20ms-phvar). Auf diese Weise charakterisieren Wörter mit der Symbolfolge „111111“ Phasen mit hoher Variabilität und die Symbolfolge „000000“ Phasen mit niedriger Variabilität.

### **Statistik**

Zur Berechnung aller univariaten Differenzen in den linearen und nichtlinearen HRV Parametern zwischen den Angehörigen ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie (A) und den gesunden Kontrollen (K) sowie zwischen den Angehörigen und den Patienten mit Schizophrenie (P) wurde der Nichtparametrische Mann-Whitney U-Test eingesetzt. Das univariate Signifikanzlevel ( $p$ ) wurde für Werte von  $p<0,05$  als signifikant und für Werte von  $p<0,01$  als hoch signifikant definiert. Deskriptive Statistiken wurden verwendet, um die grundlegenden Eigenschaften der Zeitreihen zu beschreiben, wie z.B. Mittelwerte (mw) und Standardabweichungen (std).

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Zeit- und Frequenzbereich**

Beim Vergleich der Angehörigen mit gesunden Kontrollen zeigten alle Parameter aus dem Zeitbereich univariate hohe signifikante Unterschiede (Tabelle 1). Jedoch zeigten die HRV-Parameter des Frequenzbereiches keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angehörigen und den Kontrollen. Alle Parameter aus dem Frequenz-

bereich und der Parameter meanNN aus dem Zeitbereich konnten signifikant zwischen Angehörigen und Patienten mit Schizophrenie unterscheiden. Beim Berücksichtigen der Mittelwerte der Parameter aus dem ZB und FB der Angehörigen zeigte sich, dass diese zu den Werten von schizophränen Patienten hin tendierten und zwischen den Werten von Kontrollen und Patienten lagen (Abbildung 1).

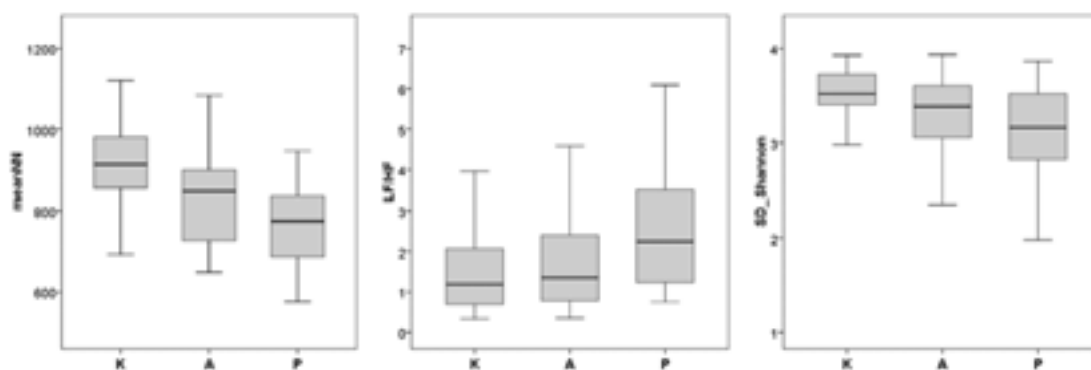
**Tabelle 1:** Univariate Signifikanzen (p) zur Unterscheidung zwischen gesunden Kontrollen (K), Angehörigen (A) und schizophränen Patienten (P). \* p<0,05; \*\* p<0,01; n.s. – nicht signifikant

	parameter	K vs. A	A vs. P	K	A	P
				mw ± std	mw ± std	mw ± std
TD	meanNN	**	*	918.16 ± 99.88	836.89 ± 121.71	776.44 ± 129.04
	sdNN	**	n.s.	65.83 ± 21.41	51.73 ± 19.93	51.71 ± 20.68
	rmssd	**	n.s.	53.71 ± 19.31	38.07 ± 19.23	35.22 ± 22.81
FD	LF/HF	n.s.	*	1.60 ± 1.38	1.95 ± 1.95	2.96 ± 2.34
	LFn	n.s.	*	0.54 ± 0.16	0.57 ± 0.17	0.67 ± 0.15
	HFn	n.s.	*	0.46 ± 0.16	0.43 ± 0.17	0.33 ± 0.15
SD	SD_Shannon	*	n.s.	3.52 ± 0.26	3.25 ± 0.54	3.12 ± 0.49
	Forbword	**	n.s.	11.75 ± 8.15	19.58 ± 11.86	22.50 ± 13.75
	plvar20	**	*	0.01 ± 0.03	0.11 ± 0.23	0.20 ± 0.29
	phvar20	**	n.s.	0.14 ± 0.10	0.07 ± 0.09	0.06 ± 0.10

### 3.2 Nichtlineare Dynamik

Fast alle Parameter der Symbolischen Dynamik zeigten hochsignifikante Unterschiede zwischen den Angehörigen und den gesunden Kontrollen. Beim Vergleich der Angehörigen mit den verwandten schizophränen Patienten war nur der Parameter plvar20 in der Lage beide Gruppen signifikant voneinander zu trennen.

Wie zuvor schon bei den Parametern aus ZB und FB gefunden, tendierten die Mittelwerte der Parameter der nichtlinearen Dynamik in Richtung der schizophränen Patienten und lagen abermals zwischen den Mittelwerten von gesunden Kontrollen und den Patienten mit Schizophrenie (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Boxplots von linearen- und nichtlinearen HRV-Parameter (meanNN, LF/HF, SD\_Shannon) für gesunde Kontrollen (K), Angehörigen (A) und schizophräner Patienten (P).

## **4 Diskussion**

In dieser Studie untersuchten wir gesunde Angehörige ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie, um festzustellen, ob diese ähnlich bzw. vergleichbare Muster einer gestörten autonomen Regulation wie schizophrene Patienten aufweisen und diese sich von gesunden Kontrollen durch verminderte Maße der HRV unterscheiden.

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass bei den gesunden Angehörigen ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie eine verminderte vagale Modulation ( $\downarrow$ rmssd,  $\downarrow$ HF<sub>n</sub>) vorzuliegen scheint. Dies wird durch eine signifikant erhöhte Herzfrequenz sowie durch verminderte lineare und nichtlineare HRV Maße der autonomen Regulation im Vergleich zu gesunden Kontrollen deutlich. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass eine autonome Dysregulation und ein möglicher genetischer Hintergrund bei Patienten mit Schizophrenie und ihren Angehörigen vorzuliegen und vorhanden zu sein scheint. In Übereinstimmung mit unserer Eingangshypothese konnten wir vergleichbare Muster einer veränderten autonomen Regulation bei gesunden Angehörigen ersten Grades nachweisen, wie bereits vorangegangene Studie für Patienten mit Schizophrenie gefunden haben [2-4]. Diese Veränderungen der autonomen Parameter spiegelt eine autonome Dysregulation durch einen erhöhten zentralen sympathischen und einen verminderten parasympathischen Tonus bei gesunden Angehörigen wieder [2]. Die Parameter der Symbolischen Dynamik deckten ein erhöhtes Maß an verringerter Variabilität (plvar20) innerhalb der Zeitreihen der Angehörigen und schizophrenen Patienten auf. Dies deutet auf eine vorherrschende sympathische Aktivierung und eine vagale Unterdrückung hin [12]. Die verminderten nichtlinearen Parameter der Angehörigen und der Patienten weisen auf ein eingeschränktes Anpassungsvermögens der Herzfrequenzregulation an verschiedene Anforderungen hin, welche aus Ruhe und Anstrengung resultieren [3, 4].

Limitierend an dieser Studie ist die Ungewissheit, ob die untersuchten Angehörigen an der Krankheit Schizophrenie zukünftig erkranken werden oder nicht. Jedoch zum Zeitpunkt der Untersuchung litt keiner der Teilnehmer an einer Persönlichkeitsstörung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass gesunde Angehörige ersten Grades von Patienten mit Schizophrenie eine signifikante veränderte autonome Modulation der Herzfrequenzregulation aufweisen, welche vergleichbar mit der von schizophrenen Patienten ist. Demnach ist ein genetischer Hintergrund für diese Veränderung sehr wahrscheinlich und sollte in größeren Studien detaillierter untersucht werden. Unterstützend wirkt hier, dass in verschiedenen Studien wie z.B. in [13] bereits der prinzipielle Nachweis der genetischen Abhängigkeit der HRV nachgewiesen werden konnte, hier allerdings nur bei gesunden Zwillingen.

## **5 Referenzen**

- [1] S. Brown, H. Inskip, and B. Barraclough, "Causes of the excess mortality of schizophrenia," *Br J Psychiatry*, vol. 177, pp. 212-7, Sep, 2000.
- [2] K. J. Bär, M. K. Boettger, S. Berger et al., "Decreased baroreflex sensitivity in acute schizophrenia," *J Appl Physiol*, vol. 102, no. 3, pp. 1051-6, Mar, 2007.

- [3] K. J. Bär, M. K. Boettger, M. Koschke et al., "Non-linear complexity measures of heart rate variability in acute schizophrenia," *Clin Neurophysiol*, vol. 118, no. 9, pp. 2009-15, Sep, 2007.
- [4] K. J. Bär, M. Koschke, M. K. Boettger et al., "Acute psychosis leads to increased QT variability in patients suffering from schizophrenia," *Schizophr Res*, vol. 95, no. 1-3, pp. 115-23, Sep, 2007.
- [5] S. Schulz, M. Koschke, K. J. Bar et al., "The altered complexity of cardiovascular regulation in depressed patients," *Physiol Meas*, vol. 31, no. 3, pp. 303-321, Jan 20, in press.
- [6] V. K. Yeragani, M. Tancer, K. P. Seema et al., "Increased pulse-wave velocity in patients with anxiety: implications for autonomic dysfunction," *J Psychosom Res*, vol. 61, no. 1, pp. 25-31, Jul, 2006.
- [7] K. J. Bär, M. K. Boettger, S. Boettger et al., "Reduced baroreflex sensitivity in acute alcohol withdrawal syndrome and in abstained alcoholics," *Drug Alcohol Depend*, vol. 85, no. 1, pp. 66-74, Oct 15, 2006.
- [8] P. K. Stein, and R. E. Kleiger, "Insights from the study of heart rate variability," *Annu Rev Med*, vol. 50, pp. 249-61, 1999.
- [9] A. Voss, J. Kurths, H. J. Kleiner et al., "The application of methods of non-linear dynamics for the improved and predictive recognition of patients threatened by sudden cardiac death," *Cardiovasc Res*, vol. 31, no. 3, pp. 419-33, Mar, 1996.
- [10] A. Voss, S. Schulz, R. Schroeder et al., "Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability," *Philos Transact A Math Phys Eng Sci*, vol. 367, no. 1887, pp. 277-96, Jan 28, 2009.
- [11] "Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology," *Circulation*, vol. 93, no. 5, pp. 1043-65, Mar 1, 1996.
- [12] J. Kurths, A. Voss, P. Saperin et al., "Quantitative analysis of heart rate variability," *Chaos*, vol. 5, no. 1, pp. 88-94, Mar, 1995.
- [13] A. Busjahn, A. Voss, H. Knoblauch et al., "Angiotensin-converting enzyme and angiotensinogen gene polymorphisms and heart rate variability in twins," *Am J Cardiol*, vol. 81, no. 6, pp. 755-60, Mar 15, 1998.

# Herstellung von Bioethanol mit der Hochleistungs-Sequencing-Batch-Reaktor-Technologie

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan-Henryk Richter-Listewnik, Phone: ++493496-672546, E-Mail: [j.listewnik@bwp.hs-anhalt.de](mailto:j.listewnik@bwp.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Bernburger Str. 55, 06366 Köthen

Prof. Dr. Reinhard Pätz, Phone: ++493496-672580, Fax: ++493496-672599, E-Mail: [r.paetz@bwp.hs-anhalt.de](mailto:r.paetz@bwp.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Bernburger Str. 55, 06366 Köthen

## Abstract

Die Sequencing-Batch-Technologie ist als SBR-Technologie ein in der aeroben und anaeroben Abwasserbehandlung übliches Verfahren, welches sich durch seine hohe Leistungsfähigkeit einer steigenden Akzeptanz erfreut. Kennzeichen ist eine sich wiederholende diskontinuierliche Betriebsweise mit anteiligem Volumenwechsel, wodurch ein semikontinuierliches Verfahren entsteht. Durch die Zugabe einer konzentrierten Feedlösung zu jedem neuen Batch-Zyklus wird eine konstante Ausgangskonzentration an Substrat und Nährsalzen gewährleistet. Ziel der bioprozesstechnischen Umsetzung des Verfahrens zur Ethanolerzeugung soll es sein, eine hohe Konzentration aktiver Biomasse im unsteril betriebenen Bioreaktor zu erhalten, ohne direkt Maßnahmen zur technischen Immobilisierung der Produktionskultur zu ergreifen. Die technologischen Überlegungen sämtlicher Verfahrensteile sind in erster Linie auf das Ziel der Erhöhung der Produktivität ausgerichtet. So wird bereits während der Fermentation Ethanol über die Gasphase ausgetragen und als Produkt in hoher Konzentration gewonnen. Durch diesen kontinuierlichen Produktaustrag wird die Produktinhibierung reduziert und die Produktivität insgesamt erhöht. Ein weiterer Effekt ist die erleichterte Produktgewinnung, z.B. über Destillation oder Membrantrenntechniken. Die Vorteile des Verfahrens sind eine unsterile, quasikontinuierliche Betriebsweise, eine Verkürzung der Fermentationsdauer, ein kontinuierlicher Produktaustrag sowie eine hohe Einsparung von Prozessenergie (z.B. Dampf). Dabei wird bei quasikontinuierlicher Prozessführung eine sehr hohe Produktivität bei gleichzeitig hoher Produktkonzentration erreicht. Das Gesamtkonzept, bestehend aus einem in der Ethanolproduktion neuen Fermentationsprinzip und der effizienten Produktgewinnung ohne Dampfdestillation, stellt durch seine Innovation und Wirtschaftlichkeit eine deutliche Verbesserung gegenüber den derzeitigen eingesetzten Verfahren dar.

**Keywords:** Bioethanol, unsterile Betriebsweise, SBR-Technologie

## 1 Einleitung

Bioethanol wird in Ottokraftstoffen zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz beigemischt. Im Jahr 2009 fand mit 903.000 Tonnen eine erneute Steigerung des deutschen Ethanolabsatzes im Vergleich zum Vorjahr statt (2008: 626.000 t).<sup>1</sup> Bislang galt eine 5-prozentige Beimischung zum Ottokraftstoff (E5) gemäß der DIN EN 228 als möglich, insgesamt wurden somit 73 % des produzierten Bioethanols für die Beimischung zum Kraftstoff genutzt.<sup>2,3</sup> Seit Januar 2011 ermöglicht eine Änderung im Bundes-Immissionschutzgesetz eine Erhöhung des Bioethanol-Anteiles auf 10 Vol.-% (E10).<sup>4</sup> Somit wird der Bedarf an Bioethanol weiter steigen. Verschiedene neuere Studien belegen inzwischen die positiven Auswirkungen bei Verwendung von Bioethanol zur Reduktion von Treibhausgasen durch Treibhausgasbilanzierungen im gesamten Produktlebenszyklus „field to wheel“, d.h. einschließlich Flächennutzung, Produktion und Nutzungsphase.<sup>5</sup> In diesem Sinne sind effizientere Verfahren zur Verwertung

---

<sup>1</sup> FNR e.V. (2010)

<sup>2</sup> Proplanta (2009)

<sup>3</sup> Rottmann-Meyer (2009)

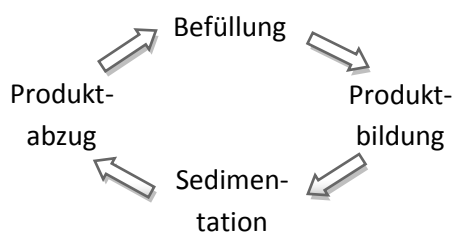
<sup>4</sup> FNR e.V. (2011)

<sup>5</sup> Klenk; Kunzt (2008)

begrenzter Rohstoffe und Erreichung einer höheren betriebswirtschaftlichen Rentabilität gefragt. Produzierende konventionelle Bioethanolanlagen sind aufgrund eingeschränkter Produktivität sehr stark von den Substratkosten (50-70% der Gesamtkosten)<sup>6</sup> abhängig und standen deshalb bei hohen Rohstoffpreisen zeitweise still.<sup>7</sup> Die Hochschule Anhalt entwickelt dahingehend seit 2004 ein Verfahren zur Produktion von Bioethanol unter dem Namen Hochleistungs-Sequencing-Batch-Reaktor-Technologie (HSBR-Verfahren). Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine deutliche Steigerung der Produktivität bei gleichzeitiger Reduktion von Investitionsvolumen und Betriebskosten aus, wodurch die betriebswirtschaftliche Rentabilität von Bioethanolanlagen gestärkt werden soll. Seit Juli 2010 wird diese Entwicklung durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR e.V.) unter dem FKZ 22006208 unterstützt. Projektpartner sind das Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), das Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik (iba) und dem Praxispartner INNOVAS Innovative Energie- und Umwelttechnik.

## 2 Die Hochleistungs-Sequencing-Batch-Reaktor-Technologie

Die Sequencing-Batch-Technologie ist als SBR-Technologie ein in der aeroben und anaeroben Abwasserbehandlung übliches Verfahren, welches sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit auszeichnet. Im Bereich Bioethanol wurden zwar ähnliche Verfahren entwickelt, eine praktische Anwendung ist jedoch nicht bekannt. Kennzeichen des SBR-Verfahrens ist eine sich ständig wiederholende diskontinuierliche Betriebsweise (Zyklus) mit anteiligem Volumenwechsel, wobei jeder Zyklus vier aufeinander folgenden Phasen enthält.



Durch die ständige Wiederholung der Zyklen, wobei am Ende eines jeden Zyklus ein Teil des Fermentationsmediums durch eine konzentrierte Feedlösung ersetzt wird, stellt die Fermentation ein semikontinuierliches Verfahren dar. Bei stabiler Betriebsweise stellt sich somit bei Zyklusende für die zu erreichenden Konzentrationen an Ethanol und Biomasse hinsichtlich der einzelnen Batch-Fermentationen ein stationärer Zustand ein.

Gegenüber dem repeated Fed-Batch Fermentationsprinzip, wie es in der Biotechnologie bei der Gewinnung von Sekundärmetaboliten üblich ist, wird bei der SBR-Technologie die Biomasse durch Sedimentation im Bioreaktor zurückgehalten (Phase 3). Bei dem HSBR-Verfahren wird die Absetzung durch eine gezielte stressbedingte Selbstimmobilisation der Mikroorganismen erreicht. Diese prozessbedingte Selbstimmobilisierung des Produktionsstammes beruht zum einen auf Selektion und zum anderen auf gerichteten Strömungsverhältnissen mit punktuell hoher Scherbelastung. Bei dem HSB-Reaktor werden durch gezielte Scherkrafterzeugung die Mikroorganismen so dicht zusammengelagert, dass eine hohe punktuelle Masse

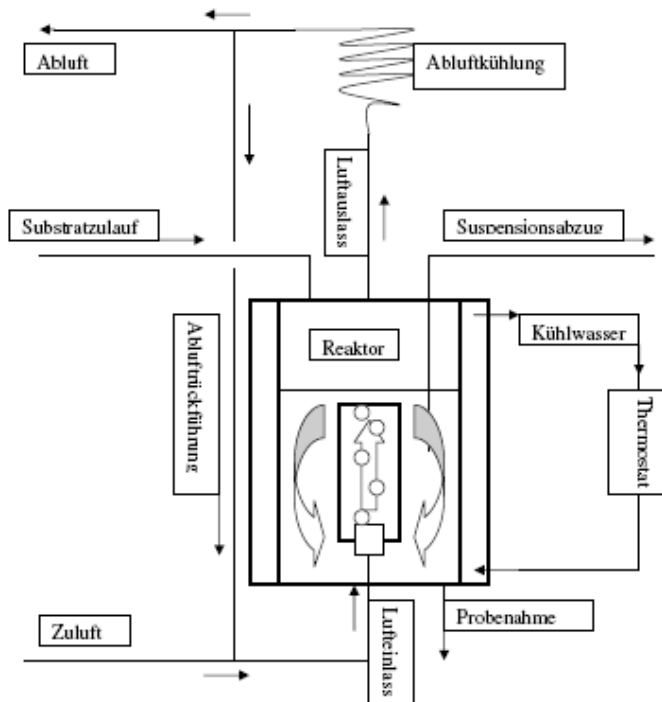
<sup>6</sup> Igelspacher (2003)

<sup>7</sup> Verbio AG (2008)



(Granula) entsteht, die sehr leicht sedimentiert.<sup>8</sup> Dadurch sind eine Biomasserückhaltung im Reaktor und damit eine dauerhaft hohe und aktive Biomassekonzentration gewährleistet.

Wie in der folgenden Abbildung erkennbar ist, ist der HSB-Reaktor ein pneumatisches System. Durch die Umwälzung mit CO<sub>2</sub>-angereicherter Luft arbeitet das Verfahren unter mikroaerophilen Bedingungen. Gleichzeitig erlaubt der kontinuierliche Gasstrom eine Produktentnahme im laufenden Betrieb, da Ethanol mithilfe des Gases aus dem Reaktor ausgetrieben und aufgefangen wird (Gasstripping). Ähnliche Verfahren sind aus den ABE-Fermentationen bekannt. Der Hauptteil des Produktes



wird hier aber weiterhin durch den Substrataustausch entnommen. Durch das Gasstrippen wird eine Reduktion der alkoholischen Inhibierung erreicht. Im Gegensatz zu anderer Literatur und Patenten, wird kein Inertgas eingespeist, sondern das entstandene CO<sub>2</sub> genutzt.

Aufgrund des hohen Selektionsdruckes der Sedimentation sowie der Fermentationsbedingungen (pH-Wert, Glukose- und Ethanolkonzentration) arbeitet das System vollständig unsteril.

Die verfahrenstechnischen Vorteile des HSB-Verfahrens lassen sich somit zusammenfassend beschreiben als eine unsterile,

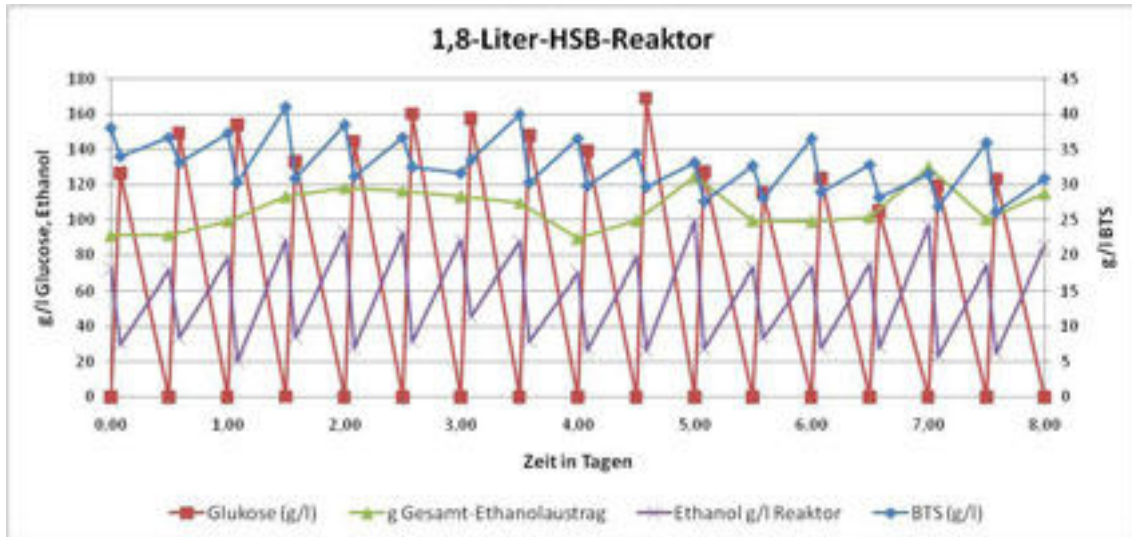
quasikontinuierliche Betriebsweise, mit einer Verkürzung der Fermentationsdauer, einem gleichzeitigen kontinuierlichen Produktaustrag sowie einer Einsparung von Prozessenergie (z.B. Dampf, Pumpenleistung). Durch die quasikontinuierliche Prozessführung wird eine hohe Produktivität bei gleichzeitig hoher Produktkonzentration erreicht.

### 3 Ergebnisse

Das patentbeantragte Verfahren wird seit 2004 kontinuierlich weiter entwickelt. Somit konnte auch über Jahre der stabile Dauerbetrieb des unsterilen Systems belegt werden. Durch umfangreiche Versuche wurden die optimalen Verfahrensbedingungen ermittelt. So zeigte sich, dass ein Austauschverhältnis von 70 % des Reaktorvolumens zu jedem vollendeten Zyklus für die Population und Produktivität ideal ist. Dieses Verhältnis gewährleistet eine hohe Biomasserückhaltung (80-90 %) sowie einen hohen Produktaustrag, um Anreicherungen und damit Inhibierungen zu verhindern.

<sup>8</sup> Lettinga et. al, (1980)

Die Zykluszeit einer Batchphase wird aus der zugeführten Substratkonzentration und der daraus resultierenden Fermentationszeit bestimmt. Für Substratanfangskonzentrationen bis 150 g/l Glukose eignet sich eine Zykluszeit von 12 Stunden, wobei das Substrat in weniger als 10 Stunden verbraucht ist. In den Untersuchungen wurden bereits verschiedene Substrate, z.B. verschiedene Stärkehydrolysate und Zuckerrübenschnitzel erfolgreich eingesetzt. Ein typischer Verlauf der Fermentationen auf Basis von Glukose ist in dem folgenden Diagramm dargestellt.



In der Literatur finden sich viele Daten über verschiedene Verfahren zur Ethanolherstellung. Bei konventionellen kontinuierlichen Prozessen wird in der Literatur teilweise eine sehr hohe Produktivität angegeben, diese ist jedoch nur durch geringe Ethanolkonzentrationen zu erreichen.<sup>9,10</sup> Eine geringe Produktkonzentration erfordert jedoch einen wesentlich höheren Aufbereitungsaufwand in den Downstreamprozessen. Vergleichend spiegeln sich die Vorteile des HSB-Verfahrens insbes. durch die kurze Fermentationszeit auch in den Kennzahlen wieder. Die folgende Tabelle vergleicht einige Herstellungsvarianten von Ethanol.<sup>11,12,13,14</sup>

<sup>9</sup> Oaxaca et al. (1991)

<sup>10</sup> Vicente et al. (1999)

<sup>11</sup> Vasquez et al. (2007)

<sup>12</sup> Hyeon-Beom Seo et al. (2009)

<sup>13</sup> Gi-Wook Choi et al. (2009)

<sup>14</sup> Gi-Wook Choi et al. (2010)

Literaturvergleich	1,8 Liter HSBR	Ethanol Production by Simultaneous Saccharification and Fermentation	High-level Production of Ethanol during Fedbatch	Repeated-batch fermentation using flocculent hybrid	Continuous Ethanol Production
Verfahrenskennzeichen	semikontinuierliche Fermentation	Batch Fermentation	Fedbatch Fermentation	Repeated Batch Fermentation	kontinuierliche Kaskadenfermentation
Substrat	reine Glukose	verzuckerte Cellulose	reine Glukose	verzuckerte Casavastärke	verzuckerte Casavastärke
Zuckerkonzentration S <sub>0</sub> (g/l)	<b>120-170</b>	<b>60</b>	<b>100-200</b>	<b>150-177</b>	<b>175, 195</b>
BTS X (g/l)	35	n.V.	25	41,2	72
Ethanolkonz. Reaktor P (g/l)	<b>82</b>	<b>30</b>	<b>160</b>	<b>84,5</b>	<b>78</b>
Ethanolaustrag Abluft g/Zyklus	5,37	0	0	0	0
Fermentationszeit (h)	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>85</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
Gesamtproduktivität Pr (g/l/h)	<b>5,3</b>	<b>3</b>	<b>1,88</b>	<b>3,34</b>	<b>3,28</b>

## 4 Wirtschaftlichkeit

Die Gesamtinvestitionskosten für errichtete oder geplante konventionelle Bioethanolanlagen im industriellen Maßstab richten sich nach einer Reihe standortabhängiger Faktoren. So spielen die vorhandene Infrastruktur, z.B. der Anlagenbau auf der „grünen Wiese“ oder Einbindung in ein bestehendes Werksgelände, die Einbindung einer Biogasanlage, die Wärmeerzeugung durch Strohfeuerung oder die Art der Schlempeaufbereitung eine wesentliche Rolle. Dadurch lassen sich die Investitionskosten der einzelnen Anlagen ohne Einblick in die detaillierten Planungsunterlagen nicht vergleichen. Durch den Vergleich der verfügbaren Daten von drei industriellen Anlagen (ca. 100.000 m<sup>3</sup>/a) und einer veranschlagten Amortisationszeit von fünf Jahren, konnten durchschnittliche spezifische Kapitalkosten von 106 € pro m<sup>3</sup> reinen Ethanol für konventionelle Bioethanolanlagen ermittelt werden. Für das HSBR-Verfahren können diese Kosten voraussichtlich auf ca. 85 € pro m<sup>3</sup> reinen Ethanol gesenkt werden. Einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit leisten jedoch die Betriebskosten. Durch die genannten Vorteile, z.B. unsterile Betriebsweise, lässt sich hier ebenfalls eine Kostenreduktion erreichen. Gestützt wird dies durch die hohe Produktivität, wodurch die geforderte Jahresproduktion einer industriellen Anlage mit 1/3 kleineren Reaktoren erreicht werden könnte. Dies schlägt sich auch auf die Betriebskosten nieder.

## 5 Zusammenfassung

Als Ziel des Projektes soll ein Verfahren zur fermentativen Herstellung von Bioethanol entwickelt werden, dass eine hohe Konzentration (**PRODUKT**) erreicht, in einer kurzen Fermentation (**ZEIT**), bei gleichzeitig geringeren Investitionen, Betriebskosten und hoher Produktivität (**PROFIT**). Die daraufhin entwickelte Hochleistungs-Sequencing-Batch-Reaktor-Technologie, deren Grundlagen an der Hochschule Anhalt entwickelt wurden, beruht auf einer neuartigen Kombination von:

- prozessintegrierter Heferückhaltung ohne Separator oder Filtertechnik
- zyklischer Abzug des nahezu biomassefreien Produktes
- pneumatischer Antrieb zur mikroaerophilen Sauerstoffversorgung
- kontinuierlicher Produktaustrag durch Strippen sowie
- einer unsterilen Betriebsweise.

## 6 Literatur

- FNR e.V. (2010): Bioethanol. URL: <http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/bioethanol/>, Stand: o. A., Abruf: 20.12.2010
- FNR e.V. (2011): Verbreitung von Bioethanol. URL: <http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/bioethanol/verbreitung-tankstellen/>, Abruf: 13.01.2011
- Gi-Wook Choi et al. (2009): Repeated-batch fermentation using flocculent hybrid, *Saccharomyces cerevisiae* CHFY0321 for efficient production of bioethanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2009, 84, 261–269
- Gi-Wook Choi et al. (2010): Continuous Ethanol Production from Cassava Through Simultaneous Saccharification and Fermentation by Self-Flocculating Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* CHFY0321. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2010, 160, 1517-1527
- Hyeon-Beom Seo et al. (2009): High-level Production of Ethanol during Fedbatch Ethanol Fermentation with a Controlled Aeration Rate and Non-sterile Glucose Powder Feeding of *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol. a. Bioproc. Eng.*, 2009, 14, 591-598
- Igelspacher, R. (2003): Studie: Ganzheitliche Systemanalyse zur Erzeugung und Anwendung von Bioethanol im Verkehrssektor. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik Prof. Dr.-Ing. U. Wagner
- Klenk, I.; Kunz, M. (2008): Europäisches Bioethanol aus Getreide und Zuckerrüben - eine ökologische und ökonomische Analyse. *Zucker Industrie*, 2008, 133, 625-635 und 712-718
- Lettinga G. et.al. (1980): Use of the Upflow Sludge Blanket Process (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnol. Bioeng.*, 22, 699-734
- Oaxaca, V. A. et al. (1991): Formation of Ethanol and Higher Alcohols by Immobilized *Zymomonas mobilis* in Continuous Culture. *Acta Biotechnol.*, 11, 1991, 6, 523-532
- Proplanta (2009): Informationszentrum für Landwirtschaft (2009): Bioethanol weiter auf Wachstumskurs. URL: <http://www.proplanta.de>, Stand: 15.09.2009, Abruf: 16.10.2009
- Rottmann-Meyer, M.-L. (2009): Bioethanol. 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe. URL: [http://www.biomotiontour.eu/media/downloads/brochures/BIOMOTION\\_bioethanol\\_DE\\_DEF.pdf](http://www.biomotiontour.eu/media/downloads/brochures/BIOMOTION_bioethanol_DE_DEF.pdf), Stand: 01.10.2009, Abruf: 16.10.2009
- Vasquez, M. et al. (2007): Enzymatic Hydrolysis Optimization to Ethanol Production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *App. Biochem. and Biotechnol.*, 2007, S. 136-140
- Verbio AG (2008): Pressemitteilung vom 06.07.2008, Märkische Oderzeitung. URL: [http://www.verbio.de/desktopdefault.aspx/tabid-152/195\\_read-1542/](http://www.verbio.de/desktopdefault.aspx/tabid-152/195_read-1542/), Stand: 06.07.2008, Abruf: 23.02.2011
- Vicente, A. A. et al. (1999): Increase of Ethanol Productivity in an Airlift Reactor with a Modified Draught Tube. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1999, 77, 497-502

# Ingenieurwissenschaften

## **Sitzungsleiter:**

Prof. Dr. J. Mugele (HS Magdeburg-Stendal)

Prof. Dr. J. Kirbs (HS Merseburg)





# Potentielle Eignung und Nutzung von hochdichten Strohballen als Baustoff für Lärmschutzwände

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Schöbel, Phone: +49 (0) 341/3076 6639, E-Mail: marcus.schoebel@fb.htwk-leipzig.de, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Bauwesen, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

## Abstract

In the notion of traffic emission are included three factors: sound, dust and exhaust fumes, which affect the wellbeing of people and have to be reduced to a minimum of disturbing influences. Approximately  $\frac{2}{3}$  of the German people feel molested in their everyday life by traffic noise [1].

Nowadays measures regarding active sound protection often fail because of the high costs of construction. This is why new first methods must be analysed in order to use alternative building materials with modifications, which serve the demand of active sound protection systems, while also reducing costs. Straw is a yearly produced leftover material which can be used in different ways. A new product is a bale of straw with a density of above  $200 \text{ kg/m}^3$  which is a qualitatively new brick with defined properties. They can be used as main building material to construct sound protection walls that can lower costs. In a short period of time these bales can be easily constructed onto a sound protection wall with a very highly variable shape.

The University of Applied Sciences in Leipzig/Germany and the AGRO - GbR Aschersleben/Germany want to cooperate on a research project that aims at the development of sound protection walls of high compressed straw fibres. The new developments should act according to all accepted demands of sound protection walls on streets, especially the ZTV – Lsw 06.

**Keywords:** active sound protection, sound protection wall, high density straw bales

## 1 Warum eine Lärmschutzwand aus hochdichten Strohballen?

### 1.1 Einleitung

Vor dem Hintergrund moderner Verkehrs- und Umweltschutzpolitik stellt der Schutz vor Lärm eine wesentliche Aufgabe dar. Gesetzliche Grenzwerte und persönliches Empfinden führen zu verschiedenen Lärmschutzvorstellungen. Lärmschutzkonstruktionen kosten je nach Material und Gestaltung etwa 300-600 Euro/m<sup>2</sup>. Die Kosten der Strohballenwand betragen dagegen etwa 50 Euro/m<sup>2</sup>. Als Hauptbaustoff für die Errichtung der Lärmschutzkonstruktion kommen großformatige, quaderförmige hoch verdichtete Ballen, die ohne viel Zeitaufwand in hochvariabler Form aufgeschichtet werden können, zum Einsatz.

### 1.2 Wesentliche Vor- und Nachteile des Baustoffs

#### Vorteile:

- nachwachsender, lokal verfügbarer und billiger Rohstoff
- geringe Fundamentierungsarbeiten z.B. auf einem Kiespolster
- komplett rückbaubar, recycelbar, kompostierbar, thermisch nutzbar
- erwartet werden eine gute Schalldämmung und Schallabsorption
- Strohballenpressen neuester Generation ermöglichen Dichten von  $>200 \text{ kg/m}^3$  bei einer Masse von ca. 500kg/Ballen (normale Ballen  $90\text{-}120 \text{ kg/m}^3$ ), daher werden Standsicherheit und gute Anpralleigenschaften der Wand erwartet

**Nachteile:**

- das organische Material ist im ungeschützten Zustand witterungsempfindlich und hat daher eine begrenzte Lebensdauer
- geringe Brandsicherheit unbehandelter Strohballen, Optik der Wand

## 2 Anforderungen und Forschungsziel

Für die Ausführung einer Lärmschutzwand an Straßen/Verkehrswegen ist die ZTV-Lsw 06 maßgebend. Aus den bautechnischen und akustischen Anforderungen dieser Richtlinie ergeben sich folgende 5 große Schwerpunkte für die Konstruktion einer Lärmschutzwand aus hochdichten Strohballen.

Schwerpunkte	Zielkriterium
- Brandwiderstand	- Baustoffklasse B2, normal entflammbar - Feuerwiderstandklasse 2, bei Unterholzbrand
- Schalldämmung - Schallabsorption	- Gruppe B3, Luftschalldämmung $DL_R > 24$ dB - Absorptionsgruppe A2 - A4, $DL_a > 4$ dB
- Witterungsschutz - Dauerhaftigkeit	- Verhinderung von Wasserzutritt und folgender Verrottung - Unempfindlichkeit gegen pflanzliche/tierische Schädlinge
- Statik	- Standsicherheit, Steinschlagresistenz, Anprallschutz - Gebrauchstauglichkeit: Begrenzung von Verformungen
- Optik - Wahrnehmung	- geringe Farbänderung während der Nutzungsdauer - Eingliederung in die Umwelt

Tabelle 1: Anforderungen an die Lärmschutzkonstruktion

Aus diesen fünf Schwerpunkten ergibt sich folgendes Forschungsziel:

Erfüllen der Zielkriterien durch Modifizierung des Materials bzw. der Ballen unter ständiger Anpassung und Optimierung der Konstruktion im Hinblick auf einen hohen Schallschutz bei geringen Kosten bis hin zur Anwendungs- und Zulassungsreife.

## 3 Das Material Stroh als Baustoff

### 3.1 Was ist Stroh?

Die trockenen Stängel von gedroschenem Getreide (z.B. Weizen) oder Faserpflanzen (z.B. Flachs) werden als Stroh bezeichnet. Es entsteht durch Fotosynthese aus Sonnenenergie, Wasser sowie Mineralien der Erde und ist damit ein nachwachsender Rohstoff.

Stroh besteht aus Zellulose, Lignin und Kieselerde und weist eine wachsartige, wasserabweisende Außenschicht auf, die den Halm vor Witterungseinflüssen schützt und seine mechanische Beanspruchbarkeit bzw. Festigkeit verbessert [2].

### 3.2 Stroharten und deren Verfügbarkeit in Deutschland

In Deutschland wird eine Fläche von ca. 6-7 Mio. ha zum Anbau für Getreide verwendet. Bei der Nutzung des Getreides als Nahrungsmittel und zur Stärkegewinnung fällt Stroh als Koppelprodukt an.



Getreideart	Anbaufläche [ha]	Menge Korn [t]	Menge Stroh [t]
Weizen	3.200.000	23.000.000	11.000.000
Gerste	2.000.000	11.500.000	6.500.000
Roggen	550.000	2.800.000	2.000.000
Triticale	380.000	2.600.000	1.200.000
Hafer	210.000	1.200.000	1.300.000
<b>Gesamt</b>	<b>6.340.000</b>	<b>41.100.000</b>	<b>22.000.000</b>

Tabelle 2: Getreidearten hinsichtlich ihrer jährlichen Produktionsmengen und deren Anbauflächen

So fallen in Deutschland jährlich etwa 22 Mio. t Getreidestroh an. Um einen Schaden für die Bodenfruchtbarkeit auszuschließen, können davon nur rund 20%-33% (BMU 2004) dem Stoffkreislauf für eine energetische oder stoffliche Nutzung entnommen werden. Andernfalls wird, um eine ausgewogene Humusbilanz sicherzustellen, eine Zufuhr vergleichbarer organischer Substanz auf die Anbauflächen nötig [3, 4].

### 3.3 Bisherige Anwendungen des Baustoffs Stroh

Stroh verrottet wegen seines hohen Silikatgehaltes äußerst langsam, deshalb wird es in der ökologischen Landwirtschaft gerne zur Bodenauflockerung untergepflügt. Weitere Verwendungen findet Stroh als Einstreu, Futterzusatz, Substrat, Brennstoff oder zur Herstellung von Dämmplatten. Im Lehm- und Zieglerbau dient es seit Jahrtausenden als Zuschlagstoff, um die Wärmedämmung zu erhöhen, sowie die Rissbildung beim Trocknen des Materials zu minimieren. Bereits 1884 wurden in Nebraska erste Häuser aus Strohballen errichtet. In europäischen Ländern, wie z.B. Belgien, Deutschland, Dänemark und im asiatischen Raum, erhält der Strohballenbau als alternative und umweltbewusste Bauweise große Aufmerksamkeit [2]. Es wurden im deutschsprachigen Raum bereits Lärmschutzwände aus Strohballen, in unterschiedlichen Konstruktionsausführungen hergestellt.

- Lärmschutzwandsystem Larix – einfach verdichtet mit Holzverkleidung [5]
- Lärmschutzwand in Österreich – 12.000 Euro Lärmschutzwand für 15 Häuser – Gesamtkosten etwa ein Viertel einer „normalen“ Lärmschutzwand [6]
- Landesgartenschau Winsen – 250 m lang und 4 m hoch [7]

## 4 Voruntersuchungen zur Materialeinschätzung

### 4.1 Errichtung einer Testwand

Um einen ersten optischen Eindruck zu gewinnen, wurde eine Testwand in Aschersleben auf einem Kiespolster errichtet. Die Wand (Abb.1) ist 55,20 m lang, 3,40 m hoch und hat eine Breite von 1,20 m. Für die Wand wurden Ballen mit einer Länge von 2,40 m, einer Breite von 1,20 m und einer Höhe von 0,85 m verwendet.

Die Ballen ließen sich effektiv und in kurzer Zeit mit gutem Fugenanschluss aufschichten. Damit wurde die prinzipielle, einfache und schnelle Herstellbarkeit einer solchen Wand bestätigt. Die Oberflächenstruktur sowie der Ballenverbund und die Formstabilität überzeugten auch nach zweijähriger Standzeit. Erste statische Berechnungen zur Standsicherheit bestätigten, dass 4 Ballenlagen ohne Sicherung übereinander geschichtet werden können. Weiterhin waren gute Lärminderungseffekte spürbar.



Abb. 1: Modellwand in Aschersleben, Ermslebener Straße 1

## 4.2 Witterung/Dauerhaftigkeit

Das Wachstum von Pilzen und die damit verbundenen Verrottungsprozesse stellen ein wesentliches Problem für die Strohballenwand dar. Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt im Ballen und eine entsprechend hohe Temperatur wirken begünstigend auf das Pilzwachstum sowie die Verrottung und haben somit erheblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit in Bezug auf Struktur und Statik der Wand. Eine erste Feuchtigkeitsuntersuchung im Sommer bestätigte, dass die obere Ballenlage der Wand im besonderen Maße der Witterung ausgesetzt ist. Dabei ist zu beachten, dass ein Wassergehalt von  $>13\%$  bzw. eine relative Luftfeuchtigkeit im Ballen  $>70\%$  das Pilzwachstum begünstigt [8, 9].

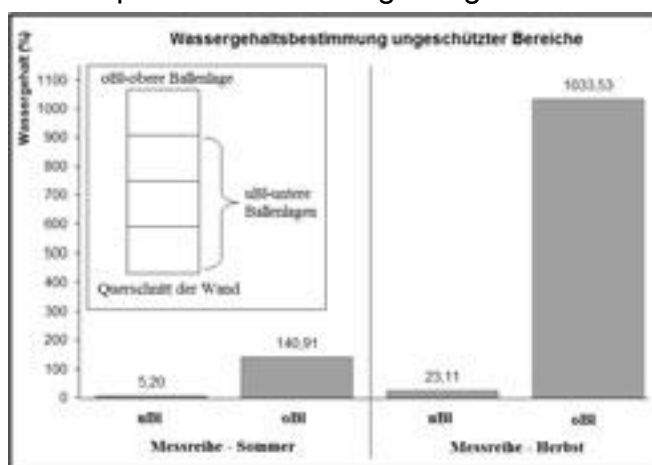


Abb. 2: Wassergehaltsbestimmung

Die Wassergehaltsbestimmung im Herbst des Folgejahres ergab eine extreme Feuchtigkeitszunahme in der oberen Ballenlage. Bei der Probenentnahme war keine Strohstruktur mehr erkennbar. Das Material unterliegt einem fortgeschrittenem Verrottungsprozess (modriger Geruch, dunkle fast schwarze Farbe im Ballen), daher auch der sehr hohe Wassergehalt. Im Vergleich dazu entwickelte sich in den Sommermonaten ein niedrigerer Wassergehalt, aufgrund der Möglichkeit des Austrocknens bedingt durch Sonneneinstrahlung und geringe Niederschlagsintensität. Als erste temporäre Maßnahme für den Witterungsschutz wurden verschiedene Abdeckungen erprobt, wobei sich die Abdeckung mit einer wasser- und lichtundurchlässigen Plane bewährt hat.

## 4.3 Brandschutz

Es existieren einige Brandschutznachweise für Stroh, bei denen reine Strohballen mit normaler Dichte die Baustoffklasse B2 (normal entflammbar), eine unverputzte Strohballenwand die Feuerwiderstandsklasse F30 und eine einfach verputzte Wand

F120 erreicht haben [10]. Daraus resultierte die Vermutung, dass hoch dichte Ballen ebenfalls die notwendigen Zielkriterien erreichen können.

Nach den geltenden Vorschriften DIN 4102-1(Baustoffklasse) und DIN EN 1794-2

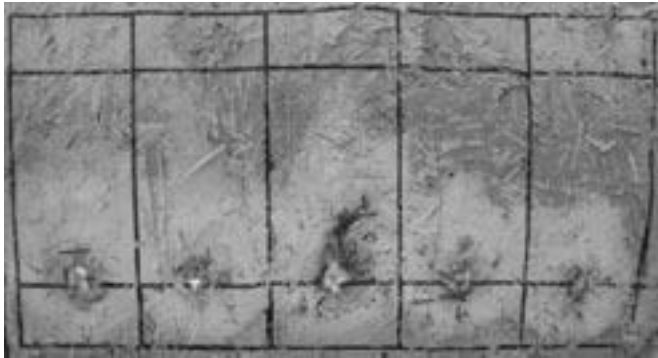


Abb. 3: Prüfschema zur Ermittlung der Baustoffklasse

Anhang A (Feuerwiderstandsklasse) wurden zwei Brandprüfungen (im Freien) mit je vier Teilversuchen entwickelt um eine vorläufige Einstufung des Bausteins „hoch dichter Ballen“ abzugeben. Weiterhin sollte für die späteren Prüfungen unter Laborbedingungen festgelegt werden, welcher Oberflächenschutz geeignet bzw. weniger geeignet ist.

In hoch dichten Ballen befindet sich im Vergleich zu herkömmlichen Strohballen viel weniger Porenraum, der mit Luft gefüllt ist. Die Brennbarkeit wird somit durch den geringen Sauerstoffgehalt gemindert. Das bestätigte ein Versuch mit einem unbehandelten Ballen, der Ballen ging nicht sofort in Flammen auf, sondern glühte langsam und stetig von außen nach innen durch. Die Prüfkriterien wurden nicht erfüllt und daraus entstand die Idee, mit einer Oberflächenbehandlung durch Imprägnierung (umweltschonende Substanz) bzw. Putzauftrag die Ballen zu schützen. Als erste Überlegungen wurden an definierten Teilbereichen der Ballen je eine Boraxlösung, Bentonitsuspension und ein Putz aufgebracht. Beispielhaft sind die beiden Prüfungsbefunde für den Dichtputz in Abb. 3/4 dargestellt.

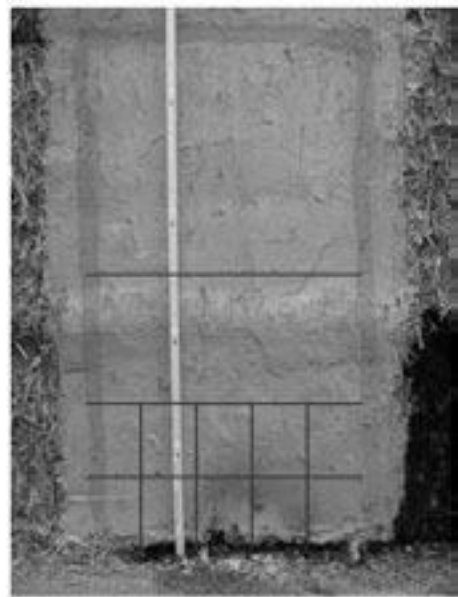


Abb. 4: Schadensbild bei Unterholzbrand

Das Imprägnieren der Ballenoberfläche mit Boraxlösung und Bentonitsuspension hat die Prüfkriterien nicht erfüllt. Außerdem sind diese Imprägnierungsvarianten nicht witterungsbeständig, sodass eine Erneuerung der Imprägnierung in regelmäßigen Abständen fällig wird. Nach den bisherigen Untersuchungen gewährleistet eine verputzte Ballenoberfläche den Brandschutz.

#### 4.4 Schallschutz

Aus bestehenden Studien geht hervor, dass Strohballen gute bis sehr gute Schalldämmeigenschaften besitzen, denn die strukturierte Oberflächengestalt bewirkt eine Schallaufteilung und damit eine Reflexion in verschiedenste Richtungen. Zusätzlich geht ein Teil der Bewegungsenergie des Schalls durch Umwandlung in Wärme (Reibungsverlust in den Poren) verloren. Somit sind die Ballen aufgrund ihrer inneren Struktur gut bis sehr gut für die Schallabsorption geeignet. Die Schalldämmwirkung von z.B. beidseitig verputzten Strohballen ist höher als von gleich schweren einschaligen Bauteilen [11]. Bei einem Musikstudio in Australien mit 45 cm dicken Strohballenwänden wurde im Innern ein Schallpegel von 114 – 117 dB und außen ein Pegel von 62 - 71 dB innerhalb eines Frequenzspektrums von 500 – 10000 Hz gemessen

(John Glassford, Huff n Puff Constructions, Australien) [12]. Das bestätigt die prinzipielle Eignung von Strohballen als Schallschutzmaterial. Eine vereinfachte rechnerische Betrachtung (geometrische Abhängigkeit) der Wand ergab eine Verringerung des Schallpegels um etwa 15 dB (Hindernisdämpfung). Zusätzlich wurde für eine qualitative Abschätzung des Materials in einem ersten Testversuch an einer kleineren 3,40 m hohen Modellwand eine Schallpegelminderung von etwa 20 dB erreicht. Man beachte dabei, dass eine Verringerung des Schallpegels um 10 dB als eine Halbierung der Lautstärke (Lautheit) wahrgenommen wird.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Als Baustoff für Lärmschutzwände zeichnet sich unter bestimmten Voraussetzungen eine Eignung des kostengünstigen, nachwachsenden, recycelbaren und somit ökologischen Wertstoffs Stroh ab. Die Probleme sind dabei zum einen der Witterungsschutz der Wand, speziell die starke Durchfeuchtung der oberen Ballenlage und die damit verbundene Schimmelgefahr/Verrottung. Gegen dieses Problem hat sich als erste sinnvolle Maßnahme das Ummanteln mit einer wasser- und lichtundurchlässigen Plane bewährt. Eine Dachausbildung wird im weiteren Forschungsverlauf angestrebt. Des Weiteren ist der Brandschutz ein entscheidender Punkt, da es sich um ein Bauwerk in der Öffentlichkeit handelt. In ersten Testversuchen hat sich herausgestellt, dass ein unbehandelter Ballen den Brandschutz nur mangelhaft gewährleisten kann. Deshalb wurden verschiedene Imprägnierungen (Boraxlösung, Bentonitsuspension) sowie ein Putz aufgebracht und die Brandhemmung durch zwei, in Anlehnung an die geltenden DIN-Vorschriften veränderten, Prüfungen untersucht. Die Prüfungen hat vorerst nur der Putz erfüllt, der zugleich auch als Spritzwasserschutz am Sockelbereich der Wand angewendet werden könnte. Für den Brandschutz sollen im Verlauf der Forschungstätigkeit noch andere effektivere Brandschutzmöglichkeiten untersucht werden. Das Material hat aufgrund seiner Struktur gute bis sehr gute Schalldämm- und Schallabsorptionseigenschaften. Hier folgt (insbesondere für die Schallabsorption) eine genaue Laboruntersuchung im weiteren Forschungsverlauf. Es gibt neben den genannten Schwerpunkten noch zusätzliche Forschungsteile, die für die Funktionalität der Wand im Projektverlauf der nächsten drei Jahre zu untersuchen sind:

- Fugen, Verbund/Verzahnung der Ballen untereinander, Ballengeometrie/Bindung
- Begrünung der Wand, Formstabilität, Fixierung und Stabilisierung der Wand

## 6 Quellennachweis

- [1] <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2451>  
[2, 11] MINKE, G.; MAHLKE, F.: Der Strohballenbau „Ein Konstruktionshandbuch“, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1. Auflage 2004  
[3] Münch, J.: Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland. ifeu, 2008  
[4] SCHMIDT, M.; MAUL, A.; RICHTER, M.; GRAMM, U.: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2007. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup 2008  
[5] [www.laermschutz-wand.de](http://www.laermschutz-wand.de); [6] [www.hallo-zeitung.at/ausgaben/137/46\\_laermschutz\\_aus\\_stroh/](http://www.hallo-zeitung.at/ausgaben/137/46_laermschutz_aus_stroh/)  
[7] [www.landeshortenschaue-winsen.de](http://www.landeshortenschaue-winsen.de);  
[8] KRICK, B.: Dissertation: Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der Bauweise, university press GmbH, Kassel 2008  
[9] WIELAND, H.: Fachverband Strohballenbau Deutschland, Mikrobielle Empfindlichkeit von Baustrohballen, 2004  
[10] WIMMER, R.; HOHENSINNER, H.; JANISCH, L.: Endbericht: Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie, Wandaufbauten aus Nachwachsenden Rohstoffen, Wien, Januar 2001  
[12] Huff'n Puff Construction: Pre-Compressed Straw Bale Walls (Bericht); Kangaroo Valley, NSW, Australien

## **Energieversorgung einer Pegelsonde durch Energy Harvesting auf der Grundlage eines thermoelektrischen Generators**

B.Polomski, M.Hofmann, K.Meiner, O.Schiepan, S.Schrader

Technische Hochschule Wildau [FH], Technical University of Applied Science, Bahnhofstraße, 15745 Wildau

### **Abstract**

Für Pegel-Messsonden z.B. zur Erfassung von Füllständen, oder des Grundwasserpegels war eine autarke Energieversorgung zu entwickeln. Zur Lösung dieses Problems, wurden verschiedene technisch physikalische Konzepte des Energy-Harvestings untersucht (Photovoltaik, Thermoelektrik, piezoelektrische Energiewandler). Die Wahl fiel auf ein System, bestehend aus einem thermoelektrischen Generator, in Kombination mit einer Ladeschaltung und einem Akkumulator. Die besondere Herausforderung bestand darin, aus einem in der Natur vorkommenden Temperaturgefälle von einigen Kelvin, eine ausreichende Leistung für den autarken Betrieb der Pegelsonde zu generieren. Hierfür wurden zwei Varianten des thermoelektrischen Generators gefertigt und erprobt, ein Dünnschicht-Generator und eine Thermosäule, aus geeignetem Metalldraht. Die gewonnenen Erkenntnisse belegen, dass es prinzipiell mit beiden Varianten möglich ist eine Pegelsonde mit Energie zu versorgen. Allerdings erfordert die Thermosäule einen großen Material- und Kostenaufwand im Vergleich zum Dünnschicht-Thermogenerator. Letzterer benötigt dagegen ein wärmeleitendes Element, z.B. eine Heatpipe, um ein natürliches Temperaturgefälle nutzen zu können. Die Ergebnisse der Untersuchungen beider Generatortypen werden vergleichend vorgestellt und eine Lösung für eine autarke Energieversorgung diskutiert.

**Keywords:** Thermospannung, Energy Harvesting, thermoelektrischer Generator, Thermosäule, autarke Energieversorgung

### **1. Einleitung**

Die Echtzeitüberwachung von verschiedensten Umweltparametern z.B. im Bereich der Wasserversorgung, des Katastrophenschutzes, der Meteorologie oder der Verkehrsüberwachung gewann in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang werden auch die Sensoren und Messsonden zur Überwachung relevanter Parameter immer leistungsfähiger und sollen zukünftig auch an schlecht oder zeitweise nicht erreichbaren Einsatzorten Anwendung finden. Die Messsonden wurden bisher durch Batterien mit Energie versorgt, jedoch haben diese nur eine Lebensdauer von einigen Monaten bis einigen Jahren was eine zeit- und kostenaufwändige Wartung zur Folge hat. Die Energieversorgung durch ein Energy-Harvesting-System ist eine langlebigere Alternative zur Batterie. Das Ziel ist es, eine autarke Energieversorgung für eine Pegelsonde zu entwickeln, die die Grundwasserpegelhöhe messen und Daten an andere Pegelsonden oder Netzknoten sendet und somit ein ad hoc Netzwerk bildet. Die Messsonde soll sich am Grund des Gewässers befinden und die Pegelhöhe über den hydrostatischen Druck bestimmen. Das zyklische Messen und Senden der Daten erfordert eine Spannung von 3,3 V bei einer verbraucherabhängigen Stromstärke von maximal 300 mA, für einige Sekunden am Tag. Diese Energie muss über einen Zeitraum von 10

Jahren zur Verfügung gestellt werden, da in diesem Zeitraum ein wartungsfreier Betrieb der Sonde angestrebt wird. Mit Energy Harvesting (engl. für „Energie Ernte“) wird die Energiegewinnung aus Quellen wie Vibrationen durch Piezo-Wandler, Licht durch Photovoltaik und Temperaturunterschieden durch thermoelektrische Generatoren bezeichnet. Die Art der Energiegewinnung wird an das jeweilige Umfeld des Einsatzortes angepasst. Dies kann soweit nur realisiert werden, wenn die Umweltbedingungen d.h. die Art, Intensität und ggf. die Periodizität der Leistungsabgabe bekannt sind. Im vorliegenden Fall fiel die Entscheidung auf den thermoelektrischen Generator (TEG), der das Temperaturgefälle von der Grundwassertemperatur zur Außentemperatur nutzen soll. Der TEG stellt so eine Spannungsquelle dar, die eine Spannung von einigen mV abgibt. Eine Niederspannungs-Wandlerschaltung transformiert die Spannung auf die geforderten 3,3 V. Da der TEG kontinuierlich geringe Leistungen erzeugt, die Pegelsonde aber kurzzeitig hohe Leistung benötigt, ist ein Lithium-Ionen Akkumulator als Energiespeicher vorgesehen [1].

## 2. Grundlagen der Thermoelektrik

Die freien Elektronen in Metallen, Legierungen und Halbleitern haben eine materialspezifische temperaturabhängige Fermienergie. Werden zwei der oben genannten Stoffe (A, B) welche eine unterschiedliche Fermienergie besitzen wie in Abbildung 1 verbunden, bildet sich an der entstandenen Materialkombination AB ein charakteristisches Kontaktpotential aus. Wird diese Anordnung einem Temperaturgefälle ausgesetzt, bildet sich entlang des Leiters eine Thermodiffusion aus, welche nach vorherrschender Meinung der Fachwelt für die Thermospannung verantwortlich ist. Die Thermospannung  $U_{Th}$  ist durch den Seebeck-Effekt wie folgt formal beschrieben:

$$U_{Th} = \Delta\phi = (\alpha_A - \alpha_B)\Delta T \quad (1)$$

Dabei handelt es sich um eine materialspezifische Spannung, die einen temperaturabhängigen Koeffizienten  $\alpha(T)$  in der Größenordnung von einigen zehn  $\mu\text{V}/\text{K}$  beinhaltet. Diese in jedem Thermopaar hervorgerufene Thermospannung summiert sich bei einer Reihenschaltung in einem TEG zu einer resultierenden Gesamtspannung auf. Der Strom, den ein TEG abgeben kann, steigt proportional zur Querschnittsfläche der Thermoelemente bzw. zur Zahl parallel geschalteter Thermoelemente [2].

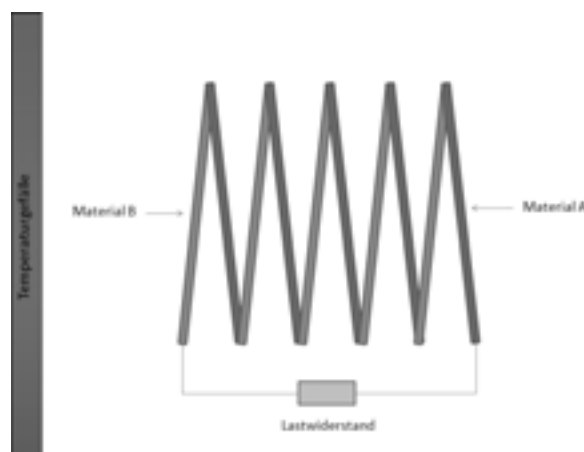


Abbildung 1: Aufbau eines thermoelektrischen Generators, (ähnlich zu [1].)

### 3. Bauformen

#### 3.1 Dünnschicht-TEG

Betrachtet wurden zwei in Abbildung 2 dargestellte Geometrien. Der in Abb. 2a dargestellte Generator in cross-plane Anordnung, hat den Vorteil das die Thermoelemente durch lithographische Verfahren in sehr kleinem Maßstab gefertigt werden können. Dadurch können auch auf kleinen Flächen viele Thermoelemente in Reihe geschaltet werden, was eine Spannungssteigerung hervorruft. Zur Energieerzeugung in natürlichen Temperaturgefällen sind TEGs mit dieser Geometrie allerdings ungeeignet, da sie nur einige Millimeter, von der warmen zur kalten Seite dick sind und ein natürliches Temperaturgefälle über eine solche Strecke weniger als einen Grad ausmacht. Die Wahl fiel auf eine inplane Geometrie, die flächig auf ein Substrat aufgebracht wird. Das Substrat steht dann hochkant in dem Temperaturgefälle, um ein möglichst großes Temperaturgefälle nutzen zu können. Ein weiterer Vorteil dieser Geometrie ist, dass sie in nahezu beliebig großen Stapeln voreinander angeordnet werden kann, wodurch auch größere Flächen ausgenutzt und je nachdem, ob sie parallel oder in Reihe kontaktiert sind, sich Ströme oder Spannungen steigern lassen. Weiterhin ist es nicht nötig, ein drittes Material zum Kontaktieren der beiden Thermoelementmaterialien zu verwenden, da diese direkt miteinander verbunden sind [4][5][6].

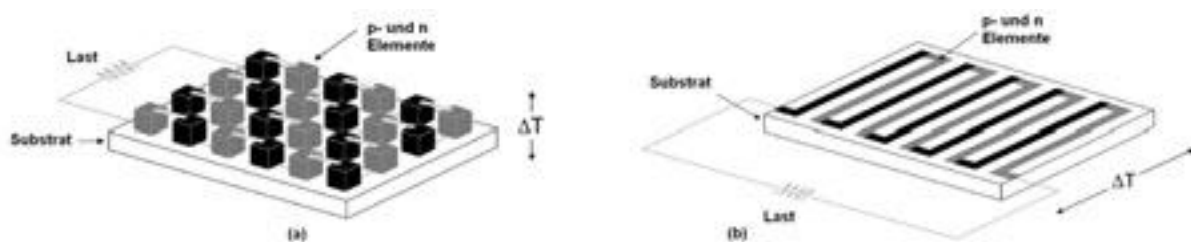


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Dünnschichtthermogenerators in (a) „cross-plane“ Anordnung und eine flächig auf das Substrat aufgebracht Geometrie (b) „in-plane“ wobei die unterschiedlichen Materialien in grau bzw. schwarz dargestellt sind [3].

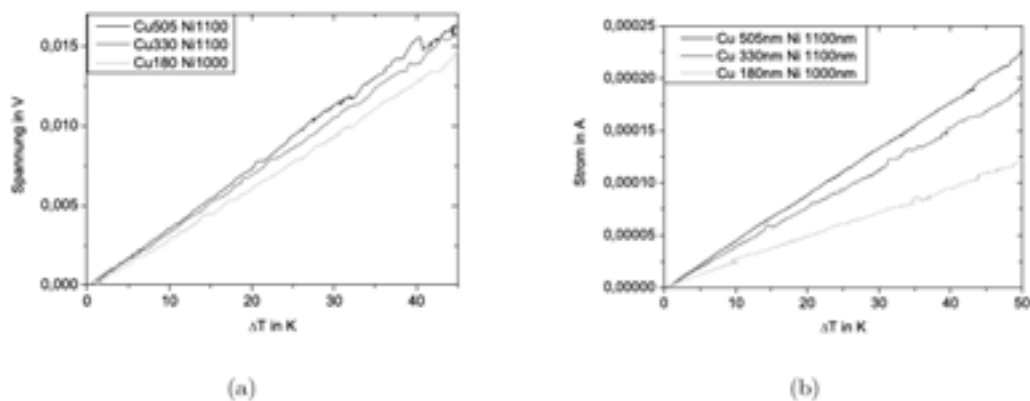
#### 3.2 Thermosäule

Die Alternative zu den Dünnschichtgeneratoren ist die Thermosäule. Diese, aus Drähten aufgebaute Form eines Thermogenerators, hat gegenüber den Dünnschichtgeneratoren den Vorteil, dass sie einen verhältnismäßig großen Querschnitt besitzt und in einer Länge im Bereich von Metern gefertigt werden kann, um weiter auseinanderliegende Temperaturdifferenzen nutzen zu können. Thermosäulen können z.B aus Nickel- und Chrom-Nickel Drähten bestehen, die wie in Abbildung 1 dargestellt, abwechselnd an der Ober- und Unterseite zusammengeschweißt sind. Der Vorteil der Thermosäule gegenüber den Dünnschicht-TEGs ist, dass sie auf kein Substrat aufgebracht werden muss und somit an dieser Stelle parasitäre Wärmeverluste wegfallen. Durch Veränderung der Länge, verändert sich lediglich der Innenwiderstand, der die Stromabgabe bestimmt. Der wesentliche Nachteil ist allerdings die Größe, die bei genanntem Durchmesser die Anzahl der Thermoelemente je Fläche erheblich begrenzt, wodurch die Thermosäule deutlich weniger Elemente je Fläche unterbringen kann, als ein Dünnschicht-TEG.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Dünnschicht-TEG

Für die experimentellen Untersuchungen sind Dünnschicht-TEGs hergestellt worden, die aus 16 seriellen Kupfer-Nickel- Thermoelementen bestehen. Diese wurden an der einen Seite beheizt und an der anderen durch Raumluft gekühlt, um ein Temperaturgefälle zu erzeugen. An den Endkontakten des Generators wurden dann die Spannung bei Leerlauf bzw. der Kurzschlussstrom gemessen. Abbildung 3 stellt die Abhängigkeit (a) der gemessenen Thermospannung und (b) des Kurzschlussstromes von der Temperaturdifferenz für TEGs unterschiedlicher Dicke der Cu-Schicht dar. Aus der Grafik ist zu entnehmen, dass dickere Kupferschichten, welche einen geringeren ohmschen Widerstand aufweisen, tendenziell geringfügig höhere Spannungen bereitstellen können, da über dem Innenwiderstand  $R_i$  ein zum Widerstand proportionaler Teil der Spannung abfällt.



**Abbildung 3:** Die abgebildeten Diagramme, zeigen den Einfluss der Schichtdicke der Kupferschicht bei konstanter Nickelschichtdicke auf die Spannung bei offenem Stromkreis (a) und den Kurzschlussstrom (b). In der Legende sind die Materialien und deren Schichtdicke in nm angegeben.

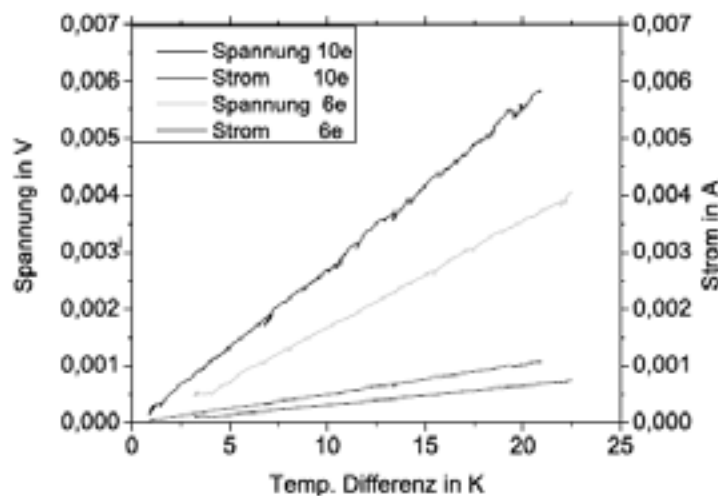
Nach dem Ohmschen Gesetz begrenzt  $R_i$  die Leistung des Generators. Gleichung 2 stellt den Zusammenhang des Innenwiderstandes  $R_i$  und dem Lastwiderstand  $R_L$  zu Strom und Spannung nach dem Ohmschen Gesetz dar:

$$I = \frac{U}{R_i + R_L} \quad (2)$$

Im Fall der Thermogeneratoren sind die Effekte zu beobachten, dass bei größer werdenden Temperaturunterschieden, sowohl die Spannung, als auch in geringem Maße der Innenwiderstand steigen. Der Strom in der Abbildung 2b steigt also an, weil der Anstieg der Spannung größer, als der Anstieg des Widerstandes ist. Im betrachteten Temperaturbereich sind somit die Unterschiede der Stromstärke in der Grafik auf die unterschiedlichen Widerstände der Kupferschicht zurückzuführen, d.h. je kleiner der Widerstand der Kupferschicht ist, desto höher ist der Stromfluss.



## 4.2 Thermosäule



**Abbildung 4:** Die Grafik zeigt das Verhalten des Stroms und der Spannung von Draht-Thermogeneratoren bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen. Hierbei ist in der Legende die Anzahl der Elemente angegeben.

Analog zu den Dünnschicht-Generatoren, wurden die Thermosäulen mit 6 bzw. 10 Elementen vermessen. Der Abbildung 4 können die gemessenen Spannungen und Ströme der Thermosäule entnommen werden. Beim Vergleich der Thermosäule mit Dünnschicht-Generator Cu 505nm Ni 1100 nm fällt auf, dass die Thermosäule wesentlich höhere Ströme bereitstellen kann. So zeigt die Thermosäule je Element bei einer Temperaturdifferenz von 10 K eine Stromstärke von 493  $\mu\text{A}$  und eine Spannung von 268  $\mu\text{V}$ . Der Dünnschicht-Generator hat pro Element bei gleicher Temperaturdifferenz eine Stromstärke von 44  $\mu\text{A}$  und eine Spannung von 222  $\mu\text{V}$ . Somit fiel die Wahl auf die Thermosäule, da diese aufgrund der verwendeten Materialien eine höhere Spannung und aufgrund des größeren Leiterquerschnitts eine höhere Stromstärke bereitstellen kann.

## 5. Diskussion

Die eingangs dargelegte Problemstellung verlangt eine zyklisch verfügbare Spannung von 3,3 V. Das System soll so aufgebaut werden, dass der Thermogenerator eine Spannung erzeugt, die von einem Aufwärtswandler von 0,1 V auf 3,3 V transformiert wird, womit ein entsprechender Lithium-Ionen Akkumulator geladen werden kann. Der für den Zweck des Energy Harvestings hergestellte Wandler, kann Eingangsspannungen ab 40 mV auf Ausgangsspannungen zwischen 3 und 4 V transformieren. Mit den Ergebnissen aus dem vorherigen Abschnitt, würde also bei 8 K Durchschnittstemperaturdifferenz eine Thermosäule mit ca. 350 seriell verbundenen Elementen benötigt, um 75 mV zu erreichen und den Wandler zu speisen. Die Verwendung einer mehrere Meter langen Thermosäule deren Spannung durch die Ladungspumpe hoch transformiert wird, um einen Akkumulator zu laden, ist eine Möglichkeit das Projektziel zu erreichen. Eine andere Methode, wäre die Verwendung der leistungsschwächeren, aber wesentlich kleineren Dünnschicht-Generatoren. Diese müssten dazu mit einer thermischen Leitung zur

Überführung des thermischen Potentials an das TEG, z.B. einer Heatpipe, kombiniert werden.

## 6. Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war es, die Anwendbarkeit der Energieversorgung von Sensoren abseits des Elektrizitätsnetzes durch den Einsatz eines thermoelektrischen Generators zu prüfen. Die Herstellung und die Vermessung der Thermosäule sowie des Dünnschicht-Generators ergaben höhere Leistungen der Thermosäule. Weiterhin stellte sich heraus, dass das größte Problem die Länge des nutzbaren Temperaturgefälles ist, die zwischen 2 bis 10 Meter betragen kann. Zwei mögliche Szenarien zur Lösung dieses Problems sind: zum ersten die Herstellung einer entsprechend langen Thermosäule, die allerdings allein auf Grund des Materialeinsatzes unwirtschaftlich teuer wird. Zum zweiten besteht die Möglichkeit ein Dünnschicht-TEG mit einer Heatpipe zu kombinieren, so dass das Temperaturgefälle auf eine Länge von wenigen Millimetern übertragen wird. Beide Lösungen müssten dann in Verbindung mit einem Aufwärtswandler und einem Akkumulator verwendet werden.

## Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der AIF für die Förderung des IQ-Level Projektes (KF2014105WM9) bedanken.

## Literaturverzeichnis

- [1] S. Priya and D. J. Inman. *Energy Harvesting Technologies*. Springer, New York, 2009.
- [2] J. Jäckle. Über die Ursache der Thermospannung, 1998. Fakultät für Physik, Universität Konstanz, <http://www.uni-konstanz.de/FuF/Physik/Jaeckle/papers/thermospannung/Ursthesp2.html>, 25.09.2010.
- [3] N. Hudak and G. Amatucci. Small-scale energy harvesting through thermoelectric, vibration, and radiofrequency power conversion. *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 103:101301, 2008.
- [4] W. Glatz, S. Muntwyler, and C. Hierold. Optimization and fabrication of thick flexible polymer based micro thermoelectric generator. *Sensors and Actuators*, 132:337, 3 2006.
- [5] H. Glosch. A thermoelectric converter for energy supply. *Sensors and Actuators*, 74:246–250, 1999.
- [6] Q. Wenmin, M. Plötner, and W-J. Fischer. Microfabrication of thermoelectric generators on flexible foil substrates as a power source for autonomous microsystems. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 11:146, 2001.

## **Bestandsmanagement: Die Bewirtschaftung von Erdgasspeichern unter Unsicherheit**

Marc Hanfeld, Phone: ++49.03583 5549919, E-Mail: Mhanfeld@ihi-zittau.de, Hochschule Zittau/Görlitz, Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau; Internationales Hochschulinstitut Zittau, Markt 23, 02763 Zittau

### **Abstract**

Regarding the control and decision process in economic situations several alternative methods are in existence. All of them exhibit advantages and disadvantages in terms of practicability. This paper introduces a stochastic optimization method for scheduling with respect to future uncertainties.

**Keywords:** Operations research, real options, statistical methods

### **1. Einleitung und Problemstellung**

Eine Vielzahl von logistischen Planungsproblemen ist durch Optimierungs- und Entscheidungssituationen gekennzeichnet. Diese Entscheidungssituationen sind meist so komplex, dass die vielseitigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen vom Entscheider kaum noch überblickt werden können. In der betrieblichen Praxis kommen aus diesem Grunde Modelle zur Planungsrechnung und Entscheidungsunterstützung zum Einsatz. Oftmals werden sowohl strategische als auch operative unternehmerische Entscheidungen neben zeitlichen Wechselwirkungen von Irreversibilitäten und unsicheren Eingangsinformationen beeinflusst. Dies trifft infolge der Liberalisierung des Erdgasmarktes insbesondere bei der Bewirtschaftung von Erdgasspeichern zu. Ein Speicher bietet in diesem Fall Handlungsflexibilität in einer durch Nachfrage- und Preisunsicherheit geprägten Umwelt. Die Speicherbewirtschaftung unter Unsicherheit stellt das zentrale Planungsproblem im Rahmen dieses Beitrages dar.

Zu Lösung derartiger Planungsprobleme können verschiedene Ansätze zur Anwendung kommen: Zum einen sind dies deterministische Methoden, die Optimierungs- und Entscheidungsprobleme unter einwertigen Erwartungen bzgl. des Unsicherheitsinflusses lösen. Diese Methoden sind in ihrer Aussagekraft jedoch beschränkt und können bestenfalls als grobe Entscheidungshilfe dienen, da die Unsicherheit mit ihnen nicht adäquat erfasst wird. Die komplexen stochastischen Prozesse der Unsicherheitsfaktoren lassen sich jedoch nicht ohne Weiteres in die deterministischen Optimierungsmethoden integrieren, was die Suche nach anderen geeigneten Lösungsansätzen nötig macht. Eine Alternative stellen finanzmathematische Ansätze dar, mithilfe derer Optimierungs- und Entscheidungsprobleme unter dem Einfluss von Unsicherheit lösbar sind. Die Basisarbeiten hierzu entspringen aus der Optionspreistheorie. Allerdings sind Entscheidungssituationen mit technisch-ökonomischem Hintergrund weitaus komplexer als finanzmathematische, womit die Anwendbarkeit dieser Verfahren zur Lösung der Problemstellung ohne weitere Anpassungen eingeschränkt ist. Es existieren bereits vereinzelte realoptionsbasierte Ansätze bezüglich der Probleme der Speicherbewirtschaftung, von denen einer als Basis für die Entwicklung des Planungsansatzes dient.

Im ersten Teil des Artikels wird auf Lösungsansätze zur Lösung des Planungsproblems eingegangen. Daran anknüpfend wird der Planungsansatz für die Bewirtschaftung von Erdgasspeichern unter Unsicherheit vorgestellt. Schließlich wird aus den wesentlichen Erkenntnissen und Ergebnissen ein Fazit gezogen.

## 2. Existierende Methoden

Die betrachteten finanzmathematischen Ansätze, die zur Bestimmung einer optimalen Bewirtschaftungspolitik und/oder Ausübungspolitik mit dem Zweck der Entscheidungsvorbereitung geeignet sind, können auf analytischen und numerischen Methoden basieren. Für die meisten realen Problemstellungen existieren keine analytischen Lösungsverfahren. Damit ist der Rückgriff auf numerische Methoden notwendig. Unter numerischen Methoden im Kontext der Problemstellung werden Lattice-Methoden (insbesondere der Binomial- oder Trinomialbaum), die Methode der finiten Differenzen sowie die Simulationsmethoden unterschieden, die in nachstehender Abbildung aufgeführt sind.



Abbildung 1: Optionspreisbasierte Methoden zur Entscheidungsunterstützung [1]

- i) Analytische Methoden: Ein Entscheidungs- oder Optimierungsproblem analytisch zu lösen ist erstrebenswert, da so eine garantiert optimale Lösung gefunden wird und der Aufwand zur Lösungsfindung gering ist. Jedoch sind reale Probleme meist so komplex, dass sie nicht analytisch lösbar sind. Black und Scholes [2] präsentieren z.B. ein analytisches Verfahren, um den Wert einer europäischen Option zu bestimmen. Die Ergebnisse analytisch ermittelter Lösungen können als Vergleichsbasis der Lösungen numerischer Verfahren herangezogen werden. Für die Lösung praktischer Probleme spielen die analytischen Verfahren aus den genannten Gründen keine nennenswerte Rolle.
- ii) Lattice-Methoden: Mit Lattice-Methoden lassen sich reale Entscheidungsprobleme lösen. Boyle [3] präsentiert einen Ansatz, bei dem zwei Risikoquellen berücksichtigt werden können. Allerdings besteht ein Problem darin, dass durch das Einbinden weiterer Risikofaktoren (mehr als einem) die Rechenzeit exponentiell steigt. Man spricht in diesem Fall auch vom „Course-of-Dimensionality“ [1]. Jaillet et. al. [4] bewerten damit z.B. die Flexibilität einer „Swing-“ oder „Take-or-Pay“- Option über einen Trinomialbaum.
- iii) Finite-Differenzen- Methode: Hierbei wird das Problem über eine stochastische Differentialgleichung abgebildet, die dann über Gitter- und Differenzenbildung numerisch gelöst wird. Es gelten die gleichen Nachteile wie bei den Lattice-Methoden. Thompson et. al. [5] zeigen z.B. einen solchen Ansatz zur Bewertung eines Erdgasspeichers im Spotmarkt.

- iv) Simulation: Innerhalb derartiger Lösungsansätze zur Lösung stochastischer Optimierungsprobleme im Bereich der Optionspreistheorie ist die Monte-Carlo-Simulation populär. Diese wurde in diesem Kontext zuerst von Boyle [6] verwendet. Dabei sind die möglichen Entwicklungen eines Risikofaktors entsprechend seiner Wahrscheinlichkeitsverteilung zu simulieren und die Pfade über geeignete Verfahren zur Bewirtschaftungsplanung zu verwenden.[7], [8]

Im Rahmen der verschiedenen Ansätze ist es mit Monte-Carlo-Simulationen möglich, mehrere Unsicherheitsfaktoren in der Planung zu berücksichtigen. Longstaff und Schwartz [9] präsentieren einen leistungsfähigen Algorithmus (LSMC-Algorithmus) zur (approximativen) Lösung eines solchen stochastischen Optimierungsproblems. Dieser wurde von Boogert / De Jong [10] für die Bewertung und Bewirtschaftung von Erdgasspeichern bei Preisunsicherheit verwendet. Die Autoren stellen mehr ein mathematisches Framework auf Basis der dynamischen Programmierung vor als einen vollständigen Planungsansatz. Die in diesem Aufsatz vorgestellte Methode berücksichtigt die Preisunsicherheit explizit über Regressionsrechnung durch den LSMC-Algorithmus und ist somit für die weitere Betrachtung besonders interessant, weil sie hinsichtlich der Art der stochastischen Prozesse und der Anzahl der Unsicherheitsfaktoren flexibel ist. Der Ansatz gibt jedoch keine Antwort darauf, wie die Unsicherheitsfaktoren abgebildet werden und wie der Algorithmus bei der expliziten Berücksichtigung stochastischer Endkundennachfrage zu gestalten ist. Damit stellt sich im Rahmen der weiteren Forschung die Aufgabe, diesen Ansatz um den Unsicherheitsfaktor Endkundennachfrage zu erweitern.

### **3. Methodisches Vorgehen**

Das Optimierungsproblem entspricht einem Entscheidungsproblem mit endlichem Zeithorizont. Der Zielfunktionswert entspricht dem Erwartungswert der erzielbaren kumulierten Deckungsbeiträge des Speichers infolge der Handelsaktivitäten am Spotmarkt. Es ist zu jedem Zeitpunkt genau eine Handlungsoption (einlagern, auslagern, keine Handlung) durchzuführen. Die Menge von Handlungsalternativen und möglichen Zuständen ergibt sich aus dem diskreten Zustandsgitter des zu bewirtschaftenden Speichers (vgl. Abbildung 2). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass alle für die Planung relevanten Informationen in den Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Unsicherheitsfaktoren enthalten sind. Für die Lösung des Planungsproblems wird wie in [9] die dynamische Programmierung in Verbindung mit dem LSMC-Algorithmus verwendet. Für die Abbildung der Unsicherheitsfaktoren kommen statistische Methoden zum Einsatz

Das methodische Vorgehen zur Lösung des Planungsproblems gliedert sich in vier Schritte:

1. Analyse der Unsicherheitsfaktoren
2. Modellieren der Unsicherheitsfaktoren durch stochastische Prozesse
3. Stochastische Simulation der Unsicherheitsfaktoren
4. Stochastische Optimierung

Die Unsicherheitsfaktoren sind mit Methoden der deskriptiven Statistik zu analysieren. Mit den Methoden der explorativen Statistik erfolgt die Prognose der Unsicherheitsfaktoren. Es werden aus historischen Preis- und Nachfragedaten Muster identifiziert, die für die Fortschreibung der Zeitreihe verwendet werden. Die abgeleiteten

Nullhypothesen sind mit statistischen Tests zu prüfen. Für die Modellierung der Unsicherheitsfaktoren wird ein Komponentenmodell verwendet. Die Zeitreihe wird so in eine deterministische Komponente, bestehend aus Trend und Saison, sowie eine stochastische Komponente für die verbleibenden Restglieder zerlegt. Die Trendkomponente wird als lineare Funktion modelliert. Die Modellierung der Saisonkomponente erfolgt durch ein trigonometrisches Polynom. Für die nach Trend- und Saisonbereinigung bestehenden Restglieder werden AutoRegressiveMovingAverage-Modelle (ARMA(p,q)-Modelle) verwendet. Für die Modellauswahl werden zusätzliche Bedingungen aufgestellt:

- Für die Summe der Ordnungen des Modells  $p$  und  $q$  soll gelten:  $p+q \leq 3$ .
- Es wird das Modell gewählt, bei dem das AKAIKES-Informations-Kriterium (AIC) am niedrigsten ist. Das AIC ist ein statistisches Informationskriterium.
- Alle Modellparameter müssen signifikant sein.

Die Modellparameter der Modelle werden mit R unter Anwendung der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Die Anpassung dieser Modelle führt für beide Unsicherheitsfaktoren unter Berücksichtigung der Bedingungen zu ARMA(1,0)-Prozessen (auch AR(1)-Prozesse genannt). Diese können nach [11] in Ornstein-Uhlenbeck-Prozesse transformiert werden. Da der Planungsansatz auf einem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß aufsetzt, ist die Überführung der stochastischen Prozesse in einen risikoneutralen Prozess notwendig. (vgl. [12]). Sowohl für die Rendite der Preise als auch für die Differenzen der von der Außentemperatur abhängigen Endkundennachfrage werden am Kapitalmarkt Risikoprämien bezahlt. Für die Berechnung der Risikoprämie zur Anpassung der Driftrate des stochastischen Prozesses bieten sich Kapitalmarktgleichgewichtsmodelle an. (vgl. [12]) Folgend werden unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation je Unsicherheitsfaktor 1.000 unabhängige Pfade als mögliche Preis- und Nachfrageentwicklungen unter Berücksichtigung ihrer Kreuzkorrelationen simuliert.

Anschließend wird – per **Rückwärtsrechnung** – nach dem Prinzip der dynamischen Programmierung (vgl. für eine Einführung [13]) vorgegangen und für jeden der simulierten Pfade der Unsicherheitsfaktoren und für jeden Zustand im Zustandsgitter der Fortführungswert auf Basis einer Parametrisierung von Basisfunktionen über Regressionsrechnungen geschätzt. (vgl. [9]) Der Fortführungswert wird in jedem Zeitintervall und zu jedem Zustand für das jeweils folgende Zeitintervall bestimmt und zu dem resultierenden Zahlungsstrom der zugehörigen Handlungsalternative addiert. Es wird über eine Entscheidungsfunktion (vgl. Abbildung 2) die Handlungsalternativen-Fortführungswert-Kombination gewählt, die den höchsten Wert ergibt. Die ausgewählte Handlungsalternative wird dann zur Berechnung des Stufenzielfunktionswertes über die Bellmansche Funktionalgleichung verwendet. Auf diese Weise wird für jeden Simulationspfad die wertoptimale Ausübungspolitik approximiert. Der Fortführungswert stellt den möglichen zukünftigen Ertrag infolge der verbleibenden Handlungsmöglichkeiten dar und entspricht damit dem Wert der Handlungsflexibilität, der noch verbleibt, nachdem eine Handlungsoption durchgeführt wurde.

Bei der **Vorwärtsrechnung** wird wie folgt vorgegangen: Durch Einsetzen der im Entscheidungszeitpunkt bekannten<sup>1</sup> Preis- und Nachfrageinformationen in die Basisfunktionen wird der Fortführungswert für den aktuell vorhandenen Speicherstand bestimmt und so die unter Unsicherheit optimale Handlungsempfehlung für den aktuellen Entscheidungszeitpunkt ausgegeben. Der detaillierte Ablauf des Optimierungsalgorithmus kann [13] entnommen werden.

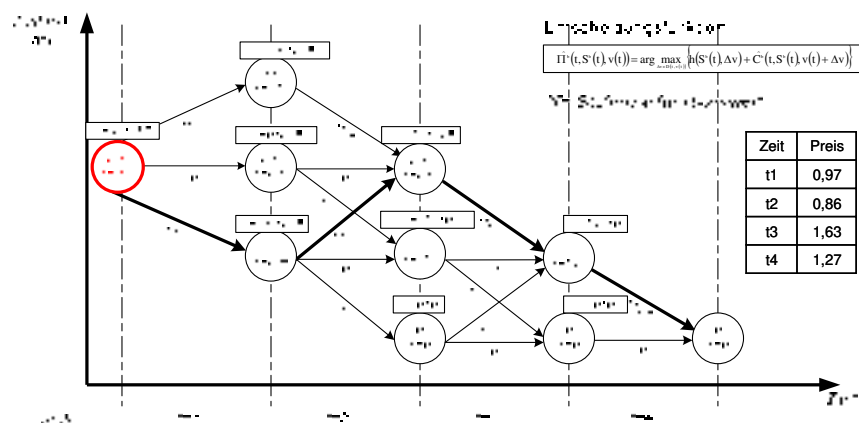


Abbildung 2: Prinzipdarstellung: Entscheidungsfindung im Zustandsraum

Die Güte des Planungsansatzes lässt sich für einfache Modelle mit wenigen (vier) Entscheidungszeitpunkten über Vergleichslösungen nachweisen, die über alternative Lösungsverfahren ermittelt wurden. [13]

#### 4. Fazit

In der Betriebswirtschaftslehre existieren zahlreiche Anwendungsgebiete für die dynamische Programmierung. Immer dann, wenn das zu lösende Problem in Teilprobleme zerlegbar ist und sich die Gesamtlösung aus Teillösungen zusammensetzt, bietet sich die Anwendung dieses Verfahrens an.

Das Lösungsprinzip der dynamischen Programmierung in Verbindung mit simulationsbasierten Methoden wie dem LSMC-Algorithmus bietet eine effiziente Möglichkeit, die Bewirtschaftung von Erdgasspeichern unter Unsicherheit zu planen. Die Analyse, Modellierung und stochastische Simulation der unsicheren Preis- und Nachfrageentwicklungen stellt ein wesentliches Element des Planungsansatzes dar. Neu für das Bestandsmanagement ist die risikoneutrale Betrachtungsweise auf Basis der Realoptionstheorie.

Der Planungsansatz ist so gestaltet, dass damit ähnlich geartete Planungsprobleme gelöst werden können. Somit ist der Planungsansatz für verschiedene Fälle anwendbar, beispielsweise auf die Bewirtschaftung von Rohstofflagern, CO<sub>2</sub>-Speichern, Pumpspeicherkraftwerken oder im Bereich der Maschineneinsatzplanung. Der praktische Nutzen dieses Planungsansatzes ist dadurch gegeben, dass dem Planer im Unternehmen eine Methode zur Entscheidungsunterstützung geben wird, mit der

<sup>1</sup> Oftmals sind die Entscheidungsparameter zum Entscheidungszeitpunkt unbekannt jedoch mit sehr geringem Prognosefehler vorhersagbar.

operative Handlungsentscheidungen in einer unsicheren Unternehmensumwelt auf eine quantitative Basis gestellt werden.

## Literatur

- [1] Meyer, B.H.: *Stochastische Unternehmensbewertung*, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2006.
- [2] Black, M.S. /Scholes, F.: *The Pricing of Option and corporate Liabilities*, The Journal of Politican Economy, Vol. 81, No. 1, 1973.
- [3] Boyle, P.P. *A Lattice-Framework for Option Pricing with Two State Variables*, Journal of Financial an Quantitative Analysis Vol. 23, No. 1., 1988.
- [4] Jaillet P. / Ronn, E. I. / Tompaidis, S.: *Valuation of Commodity-Based Swing Options*, Management Science, Vol. 53, No. 7, 2004.
- [5] Thompson, M. / Davison, M / Rasmussen, H.: *Natural Gas Storage Valuation and Optimization: A Real Options Application*, Naval Research Logistics Vol. 56., No. 1, 2009.
- [3] Boyle, P.P. *A Lattice-Framewort for Option Pricing with Two State Variables*, Journal of Financial an Quantitative Analysis Vol. 23, No. 1., 1988.
- [6] Boyle, P.P.: *Options: A Monte Carlo Approach*, Journal of Financial Economics, Vol. 4, No. 3., 1977.
- [7] Broadi, M /Glassermann, P.: *Pricing American-style securities using simulation*, Journal of Economic Dynamics and Control, 1997.
- [8] Tilley, J.A.: *Valuing American Options in a Path Simulation Model*, Transactions of the Society of Actuaries, 1993.
- [9] Longstaff F.A. / Schwartz E.S.: *Valuing American Options by Simulation: A Simple Least-Squares Approach*, The Society for Financial Studies, Vol. 14, No. 1., 2001.
- [10] Boogert, A / De Jong, C.: *Gas Storage Valuation using a Monte Carlo Method*, Journal of Derivatives, Vol. 15, No. 3, 2008.
- [11] Dixit, A.K. / Pindyck, R.S.: *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, 1994.
- [12] Muche, T.: *Investitionsbewertung in der Elektrizitätswirtschaft mit dem Realoptionsansatz*. Zeitschrift für Energiewirtschaft, Vol. 31, No. 3., 2007.
- [13] Domschke, W. / Drexl, A.: *Einführung in Operations Research*. Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg 2002.
- [14] Hanfeld, M. / Claus, T.: *Ein dynamisches Planungsverfahren für die Bewirtschaftung von Speichern unter Unsicherheit*. 14. ASIM Fachtagung „Simulation und Produktion und Logistik, Proceedings zum 11. Symposium, Zittau / Regensburg 2010.



## **Neue Endbearbeitungsverfahren – präferiert für die Medizintechnik**

Prof. Dr. Harald Goldau, Phone: ++49 391 886 4410, Fax: ++49 391 886 4123, E-Mail: harald.goldau@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

M. A. Carlo Bzdok, Phone: ++49 391 886 4757, E-Mail: carlo.bzdok@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

### **Abstract**

Die Endoprothetik erlebte in den vergangenen Jahren einen enormen Aufschwung. Die Zahlen der jährlich vorgenommenen Erstimplantationen und Revisionen zeigen einen ungebremsten Anstieg. In diesem Beitrag wird ein innovatives Endbearbeitungsverfahren vorgestellt, das dank neuer Bearbeitungstechnologien die Endoprothetik maßgeblich beeinflusst. Eine gezielte Oberflächenbearbeitung verbessert das Verschleißverhalten der Funktionsflächen und sorgt somit für eine verlängerte Standzeit der Endoprothese im Körper. Die daraus resultierende Senkung der medizinischen Eingriffe erhöht die Lebensqualität der Patienten und trägt zu einer deutlichen Kostensenkung im Gesundheitswesen bei.

The endoprosthesis experienced in recent years an enormous upswing. The figures for the first implants performed annually and revisions show an unabated increase. In this article an innovative finish process being presented that significantly influenced due to new processing technologies, the arthroplasty. A selective surface treatment improved the wear behavior of the functional areas, thus ensuring a longer service life of the endoprosthesis in the body. Fewer medical interventions increase the quality of life and contribute to a significant cost reduction in health care.

### **Keywords:**

**Freiformfinishen, Orbitalfinishen, Endoprothetik, Endoprothese, Implantat, Medizintechnik**

## **1 Endoprothetik**

Die Endoprothetik (griech.: endo „innen“) befasst sich mit künstlichen Gelenken, die einem Körper eingesetzt werden, um die Funktionen eines geschädigten Gelenkes zu ersetzen. Die Endoprothese, auch als Implantat bezeichnet, ist ein eingepflanztes künstliches Material, das permanent im Körper verbleibt. Das Implantat übernimmt die natürlichen Funktionen eines Gelenkes und verhilft dem Patienten somit zu schmerzfreien Bewegungen und einer damit verbundenen höheren Lebensqualität.

### **1.1 Gelenkerkrankung**

Arthrosen sind weltweit die am häufigsten auftretenden Gelenkerkrankungen, welche vor allem bei Menschen höheren Alters in Erscheinung treten können. Als Ursachen dieser Krankheit kommen häufig Fehlstellungen, Entzündungen oder diverse Verletzungen infrage, die sich in Form von Gelenkverschleiß äußern können. Vor allem Fehlbeanspruchungen der Beine, hervorgerufen durch schweres Heben oder andauernde kniende Tätigkeiten, können zu Hüft- und Kniegelenksschäden führen. Besonders betroffen sind die großen Last tragenden Gelenke wie Knie, Hüfte und Wirbelsäule. Bei einer Arthrose wird der Knorpel des erkrankten Gelenkes bis zum Knochen abgerieben.

Als Folgeaktion wächst der Knochen um das Gelenk und bildet knöcherne Zacken aus. Daraufhin kommt es zu Verformungen, Fehlstellungen und Verdickungen. Bei Bewegungen lösen sich Knorpel- und Knochenpartikel, die eine Entzündung der umliegenden Gelenkhaut auslösen. Somit können Blockaden entstehen und im Gelenk treten vermehrt Errötungen und überhöhte Temperaturen auf. Man spricht dann von einer aktivierten Arthrose.



Abbildung 1: Kniearthrose

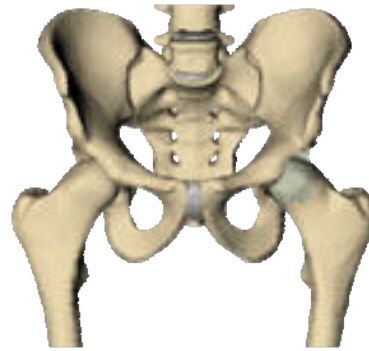


Abbildung 2: Hüftarthrose

## 1.2 Implantat - Standzeit

Als Standzeit wird die Zeit bezeichnet, die ein Implantat im Körper ist, um die Funktion des Gelenkes zu übernehmen. Die Standzeiten von Implantaten großer Gelenke (Hüftgelenke) haben in den letzten Jahrzehnten zugenommen. So ergibt sich in Europa etwa eine 10-15 jährige Standzeit von 90% aller eingesetzten Hüftprothesen. Der operative Eingriff verläuft in folgenden Schritten:



Abbildung 3: Schritt eines Kniegelenkersatzes

Allerdings steigt mit zunehmenden Implantationen auch die Anzahl der Prothesenausfälle. So müssen immer mehr Implantate vorzeitig aus dem Körper entfernt werden, da Lockerungen oder Schmerzentwicklungen eintreten. [Bzdok,C.: Generierung einer neuen Maschinengeneration - präferiert für die Medizintechnik. Magdeburg: Master Thesis, 2010]

## 1.3 Implantat - Ausfälle

Aus ärztlicher Sicht gibt es drei Ursachen, die zu einer Reduktion der Prothesenstandzeit führen können.

**Arthrofibrose** gilt als erste Ursache zur Reduzierung der Prothesenstandzeit. Sie stellt jedoch eine sehr seltene Komplikation in der Orthopädie dar.

Eine durch **Infektionen** hervorgerufene Lockerung, auch septische Lockerung genannt, stellt ein weiteres, wesentliches Problem dar. Sie entsteht, wenn bei einem operativen Eingriff, eine minimale bakterielle Kontamination erfolgt.

Die **Periodische Partikelerkrankung**, auch aseptische Lockerung genannt, ist die letzte und wohl bedeutendste Ursache einer vorzeitigen Explantation. Diese Lockerung wird durch anfallendes Abriebmaterial des künstlichen Gelenkes bedingt. Bei der periodischen Partikelerkrankung gelangen abgetragene Materialpartikel ins Körpergewebe und rufen eine biologische Reaktion hervor, die zur aseptischen Lockerung des Implantates führt.

Künstliche Gelenke bestehen aus jeweils zwei Komponenten, die eine Gleitpaarung bilden. Neu eingesetzte Gleitpaare vollziehen einen sogenannten Einlaufprozess von circa 1-2 Millionen Zyklen. Das entspricht etwa einer dynamischen Laufzeit von 1-2 Jahren. Während des Einlaufprozesses reiben die Berührungspunkte der einzelnen Komponenten aneinander, wodurch sich vereinzelt Partikel der Funktionsflächen lösen. Die Abriebpartikel einer üblichen Gleitpaarung von Metall mit Polyethylen können sehr hohe Anzahlen aufweisen. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass sich schon bei einem einzigen Schritt bis zu 500.000 Partikel lösen können.

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, ergeben sich je nach Gleitpaarung unterschiedli-

Materialkombination	Linearer Abrieb / Jahr [mm]	Abriebvolumen / Jahr [mm]
Metall - UHMWPE	0,2	55,71
Keramik - UHMWPE	0,1	17,91
Metall - Metall	0,01	0,88
Keramik - Keramik	0,005	0,04

Abbildung 4: Abriebvolumina verschiedener Gleitpaarungen // Endoprothetik Leitfäden für Praktiker 2009

che Abtragsvolumina. Durch das Abtragen der Materialpartikel während des Einlaufprozesses verliert die Gleitpaarung zudem an Passgenauigkeit. Dieser minimale Genauigkeitsverlust hat aber zur Folge dass sich das Lagerspiel der Gleitpaare erhöht. Die Funktionsflächen können nicht mehr ideal arbeiten, somit gehen die Gleiteigenschaften der Materialien verloren und die Gleitpaare stoßen aneinander. Der damit verbundene Wärmeanstieg führt zu einer Beschädigung tiefer liegender Materialschichten. Dabei können auch Knochen und Weichteile durch eine erhöhte Temperaturentwicklung geschädigt werden. [Endoprothetik. Berlin: Walter de Gruyter, 2009]

Als erste Ursache steht die mechanische Überbeanspruchung der Endoprothese. Dazu ist es notwendig die Belastungen zu kennen die auf ein Gelenk wirken. Da diese in vivo nur schwer zu ermitteln sind, gab es bisher nur theoretische Annahmen.

Aus diesem Grund entwickelte die Charité Berlin um Prof. Dr.-Ing. Bergmann Implantate mit eingebauter Messsensorik. Die Vorstellung, dass Gelenkkräfte lediglich von Gewichtskräften abhängen, wurde damit revidiert. Der größte Anteil der wirkenden Belastungen entstammt von reaktiven Muskelkräften die bis zu 800% über der Gewichtskraft liegen können.

Gewebe- und Oberflächenuntersuchungen der Hochschule Magdeburg ergaben weitere mögliche Ursachen für den periodischen Partikelabrieb. In Zusammenarbeit mit der Universitätsklinik Magdeburg wurden explantierte Knieimplantate mit neuen Implantaten verglichen. Alle Explantate wiesen dabei einen Bakterienbefall auf, der mittels einer Ultraschallbehandlung entfernt wurde. So konnte man den aufgetretenen Bakterien bzw. der Ultraschallbehandlung eine Zerstörung der Oberflächenlegierung nachweisen. Die Zerstörung zeigte sich flächendeckend auf der gesamten Gelenkoberfläche in Form von vereinzelt tiefen Kratern. Untersucht wurden die Oberflächen mit einem optischen Messsystem der Firma Zygo.

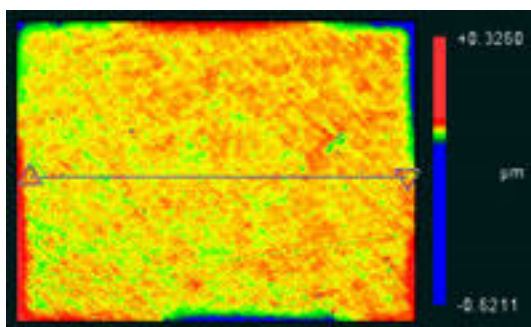


Abbildung 5: Oberfläche neues Knieimplantat

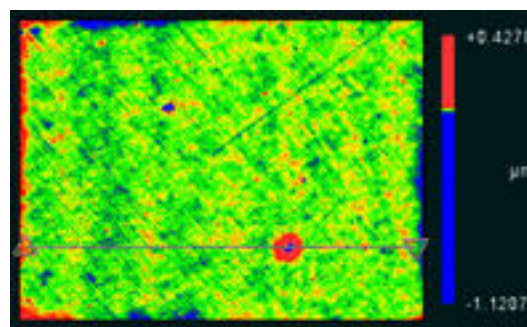


Abbildung 6: Oberfläche behandeltes Knieimplantat

Neben den lockeren Knieimplantaten wurden dem Patienten auch Gewebeproben entnommen. Diese wurden chemisch analysiert um nach zu weisen welche und wie viel Schwermetalle sich im umliegenden Gewebe ansammeln. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der angesammelten Abriebpartikel im umliegenden Bindegewebe.

## 2 Knieimplantat – IST Zustand

Am Beispiel des Knieimplantats wird der gegenwärtige Bearbeitungsprozess und der damit erreichten Qualität dargestellt. Das Kniegelenk ist das größte Gelenk im menschlichen Körper. Es trägt nahezu die ganze Gewichtskraft des Körpers und un-

analysierte Materialien [mg/kg]	Versuch 1 [0,91g]	Versuch 2 [0,70g]	Versuch 3 [1,26g]
Chrom - Cr	488	406	799
Nickel - Ni	11	4	14
Kobalt - Co	53	49	92
Molybdän - Mo	29	25	92

Abbildung 7: Untersuchungsergebnisse der Gewebeproben // Untersuchungen der Hochschule Magdeburg

terliegt somit hohen Belastungen. In Deutschland werden pro Jahr mehr als 80.000 Knieimplantate eingesetzt. Somit ist die Knieprothese neben der Hüftprothese, der zweit häufigste Gelenkersatz und stellt mittlerweile einen Routineeingriff dar.

## 2.1 Bearbeitungsprozess

Die geometrisch komplexe Form des künstlichen Kniegelenks stellt hohe Anforderungen an den technisch-technologischen Bearbeitungsprozess. Die hohen Qualitätsansprüche in Punkto Genauigkeit und Oberflächengüte sind ein Garant für eine möglichst lange Funktionserfüllung in vivo. Der heutige Herstellungsprozess zur Fertigung orthopädischer Implantate erfolgt in vier Bearbeitungsstufen:

- Vor- und Fertigschleifen,
- Fräsen mit Schaft- und Kugelfräsern,
- mehrstufiges Bandschleifen,
- mehrstufiges Polieren.



Abbildung 8: Bearbeitungsstufen der Knieherstellung // Quelle: [www.schütte.de](http://www.schütte.de)

## 2.2 Qualitätskontrolle

Nach einer Bearbeitungszeit von ca.15 min wird das Knieimplantat optisch geprüft und mittels eines Projektors und einer Schablone einer Formprüfung unterzogen. Um geringe Formabweichungen der komplexen Geometrie zu tolerieren besteht der Gegenpart der Gleitpaarung aus einem weichen Polyethylen. So entsteht nach einer kurzen Einlaufzeit ein gutes Gleitverhalten der Komponenten. Weiche Materialien bürgen jedoch Nachteile, wie einen erhöhten Verschleiß und reduzierte Ermüdungs- und Zugfestigkeit. Auch weisen Polyethylene eine beschränkte Lebensdauer von max. 20 Jahren auf.



Abbildung 9: Knieimplantat // Quelle: [www.dubs-ortho.ch](http://www.dubs-ortho.ch)

## 3 Knieimplantat – Innovation

Ein innovatives Endbearbeitungsverfahren wie das Orbitalfinishen soll die Qualitäten in Form- und Oberflächengenauigkeit der Knieimplantate erheblich verbessern. Ziel ist es, durch diese Endbearbeitung die Traganteile der Funktionsflächen dement-

sprechend zu erhöhen, dass keine Abriebpartikel entstehen. Somit ließen sich Implantatlockerungen auf Grund von Abriebpartikeln deutlich reduzieren. Weniger medizinische Eingriffe erhöhen die Lebensqualität der Patienten und tragen zu erheblichen Kostensenkungen in der Orthopädie bei.

### 3.1 Bearbeitungsprozess

Am Ende der Bearbeitungskette ersetzt das Finishen das mehrstufige Polieren. Über die 5-Achsenbewegung eines Schleif-Finish-Zentrums wird das Orbitalfinishen als Endbearbeitung realisiert. Mittels der Werkzeugrotation und einer Linearrotation der gesamten Spindeleinheit über die X- und Y-Achsen entsteht eine Zykloidenbewegung. Eine Zykloide ist die Bahn die ein Kreispunkt beim Abrollen eines Kreises auf einer Leitkurve beschreibt. Aus der Überlagerung der beiden Bewegungen und der Kontaktfläche entsteht der Finishprozess. Das Finishen als Endbearbeitung sorgt für den Abtrag der Materialerhöhungen und somit für eine Verringerung der Oberflächenrauheit. Dabei entstehen hochbelastbare Funktionsflächen in höchster Maß- Form- und Oberflächengenauigkeiten. Bezogen auf die Endoprothetik erhält die endbearbeitete Gleitpaarung höhere Traganteile und eine definierte Schliffstruktur zur Verbesserung der tribologischen Eigenschaften. Das innovative Knieimplantat kann somit höhere Belastungen aufnehmen weist eine höhere Toraxsicherheit auf und ermöglicht eine weitaus längere Lebenserwartung.

Das kraft- weggeregelt System des Orbitalfinishens wurde erfolgreich in der Ebene zur Planbearbeitung umgesetzt. Um in Zukunft auch im Raum das Orbitalfinishen bei der Freiformbearbeitung anzuwenden wird aktive Forschung an modernster Technologie betrieben. Ziel ist es einen intelligenten Prozess zu generieren, der über die Kraftregelung im laufenden Bearbeitungsprozesses immer definierte Prozesskräfte ermöglicht. Das in Verbindung mit dem NC-gesteuertes Abfahren des Werkzeuges sorgt für einen stabilen flächendeckenden Finishprozess für alle Implantatgeometrien



Abbildung 10: Orbitalfinishen von Freiformen



Abbildung 11: Orbitalfinishen von Freiformen

# Experimentelle Untersuchung der Zylinderspaltströmung mit Seitenfluss

Prof. Dr.-Ing. Peter Stücker, Phone: ++49.375-536-3444, E-Mail: peter.stuecke@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

M.Sc. Marcus Schmidt, Phone: ++49.375-536-3893, E-Mail: marcus.schmidt.1@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

M.Sc. Matthias Nobis, Phone: ++49.375-536-3893, E-Mail: matthias.nobis@fh-zwickau.de, Forschungs- und Transferzentrum e.V. an der Westsächsischen Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

## Abstract

Wird ein Vollzylinder im Inneren eines Hohlzylinders in Rotation versetzt, so entsteht aufgrund der Haftbedingung eines Fluids an Festkörpern im Spalt zwischen beiden Zylindern eine Schlepplströmung, die in der Strömungslehre weithin als Couette-Strömung bekannt ist. Strömt zusätzlich durch eine radial in den Außenzylinder eingebrachte Bohrung Flüssigkeit in den Zylinderspalt, entstehen durch die Interaktion des Seitenflusses mit der rotierenden Schlepplströmung komplexe, dreidimensionale Strömungsstrukturen. Diese charakteristische Strömung ist eng mit der technisch relevanten Schmierspaltströmung in einem hydrodynamisch geschmierten Gleitlager verwandt. Bei genauer Kenntnis der Strömungszustände im Schmierspalt können konstruktive Änderungen für Gleitlager, wie z.B. Bohrungslage, -form, und -größe, abgeleitet werden, um die Lebensdauer zu vergrößern oder einen noch effizienteren Einsatz zu realisieren. In dem vorliegenden Beitrag werden der Modellprüfstand und einige beispielhafte Ergebnisse von Untersuchungen im exzentrischen Schmierspalt vorgestellt.

**Keywords:** Taylor, Couette, Gleitlager, Strömung, Laser-Doppler-Anemometer

## 1 Einleitung

Der Taylor-Couette-Apparat ist ein klassischer Experimentieraufbau für die Grundlagenforschung in der technischen Strömungslehre. Es handelt sich dabei um ein System mit feststehendem Außenzylinder und rotierendem Innenzylinder (vgl. Darstellung 1 im Bild 1). Im Spalt zwischen beiden Zylindern befindet sich ein Fluid. In Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit des Innenzylinders stellen sich im Zylinderspalt charakteristische Strömungsformen ein. Die sog. Couette-Strömung ist eng mit der Strömung des Öls im Schmierspalt von hydrodynamisch geschmierten Gleitlagern verwandt. Die wesentlichsten Unterschiede zwischen einem herkömmlichen Taylor-Couette-Apparat und einem realen Gleitlager liegen in der deutlich engeren Spaltweite und einem überlagerten Seitenvolumenstrom beim Gleitlager. Wie die Darstellungen 2 und 3 im Bild 1 zeigen, muss der ursprüngliche Aufbau um eine radial eingebrachte Ölzuführung und mit einem größeren Innenzylinder für die Realisierung einer kleineren Spaltweite erweitert werden. Die sehr kleine relative Spaltweite eines realen Gleitlagers ( $\psi \approx 0,1\%$ ) lässt keine Geschwindigkeitsmessungen im Schmierspalt mit Hilfe eines Laser-Doppler-Anemometers (LDA) zu. Die Spaltweite am hier ausgeführten Modellprüfstand liegt somit noch deutlich über der eines realen Gleitlagers. Dennoch lassen sich, unter Beibehaltung relevanter strömungstechnischer Kenngrößen, Rückschlüsse auf die Strömungsvorgänge im Schmierspalt eines realen Gleitlagers ziehen.

Im Rahmen dieses Beitrages werden Ergebnisse eines Systems mit einer relativen Spaltweite von 10 % vorgestellt. Für weiterführende Untersuchungen ist ein Prüfstands-aufbau nach Darstellung 4 im Bild 1 in Planung. Nähere Erläuterung sind dem Abschnitt Zusammenfassung und Ausblick zu entnehmen.

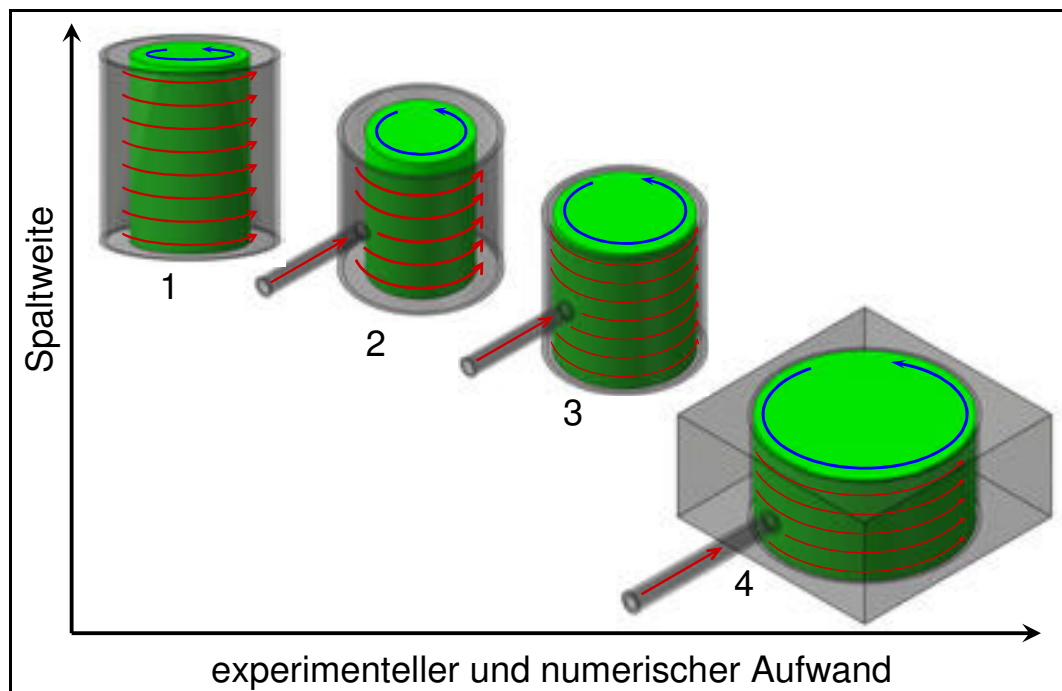


Bild 1: Zylinderspaltexperimente im Überblick

## 2 Geometrische Kenngrößen

Im Bild 2 sind die wichtigsten geometrischen Kenngrößen des Systems dargestellt. In den Gleichungen 1 bis 6 werden charakteristische Parameter definiert.

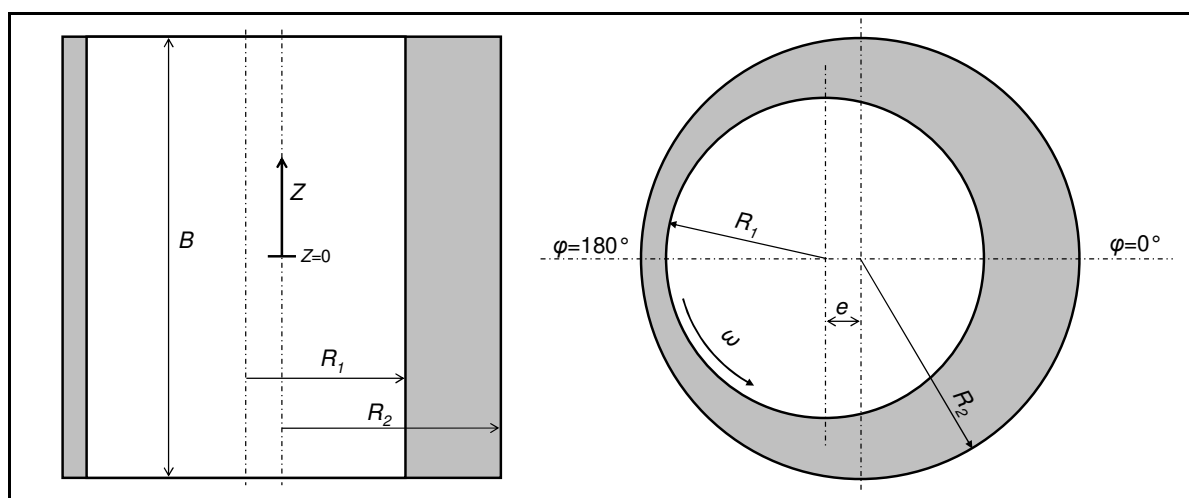


Bild 2: Geometrische Kenngrößen



$$H_0 = R_2 - R_1 \quad (1)$$

$$U_1 = \omega \cdot R_1 \quad (4)$$

$$\Psi = \frac{H_0}{R_1} \quad (2)$$

$$Re = \frac{H_0 \cdot R_1 \cdot \omega}{\nu} \quad (5)$$

$$\Gamma = \frac{B}{H_0} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{e}{H_0} \quad (6)$$

### 3 Experimenteller Aufbau

Der Zylinderspaltapparat ist gekennzeichnet durch einen fest stehenden Außenzylinder, der bei Bedarf gegenüber dem Innenzylinder in exzentrischer Stellung positioniert werden kann. Zum Einstellen der Exzentrizität dienen radial angebrachte Messschrauben. Den zentralen Mittelpunkt des Systems bildet die Antriebswelle, auf die der Innenzylinder (in Bild 3 nicht dargestellt) aufgesteckt werden kann. Um verschiedene Spaltweiten und Streckungsverhältnisse zu realisieren, stehen unterschiedlich große Innenzylinder zum Einbau zur Verfügung.

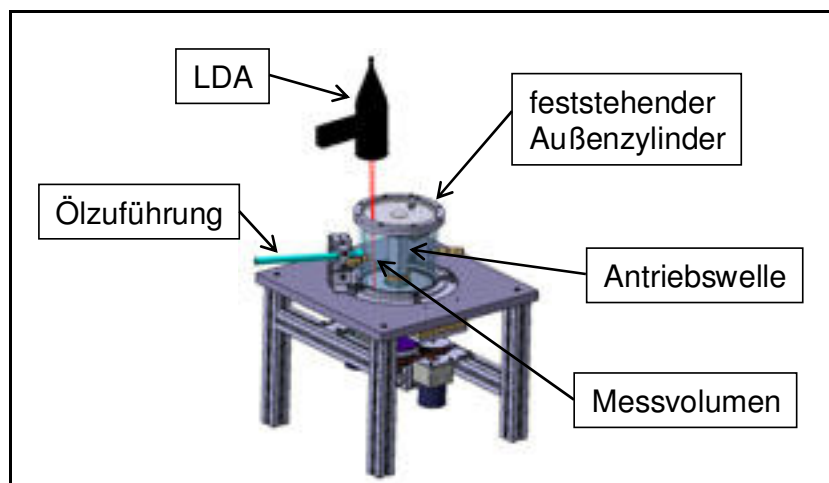


Bild 3: Prüfstands Aufbau

Derzeit kann, abhängig vom eingesetzten Innenzylinder, eine normierte Spaltweite von  $\psi = 2,5\%$  oder  $10\%$  realisiert werden. Bei derartig moderaten normierten Spaltweiten lassen sich im Schmierpalt problemlos Geschwindigkeitsmessungen mittels LDA durchführen. Das LDA ist an einem Traversiersystem befestigt und kann somit sehr genau per Koordinatenvorgabe über dem Spalt positioniert werden.

Für die Aufbringung eines definierten Seitenvolumenstromes über die Ölzuführung, befindet sich am Prüfstand weiterhin eine regelbare Ölpumpe mit einem im Kreislauf integrierten Vorratsbehälter. Zur Sicherstellung eines symmetrischen Abflusses über die beiden axialen Enden des Systems, sowie eines korrekt eingestellten Seitenvolumenstromes, dienen Durchflussmesser nach Schwebekörperprinzip (in Bild 3 nicht dargestellt).

## 4 Untersuchungsergebnisse

In Bild 4 ist schematisch dargestellt, welche Geschwindigkeitskomponente mit dem LDA gemessen wird. In der Nähe der Ölversorgungsbohrung wird über die Spaltweite hinweg ein Geschwindigkeitsprofil mit ca. 20 Stützstellen ermittelt. In diesem Fall wird die Komponente der Geschwindigkeit in Umfangsrichtung gemessen.

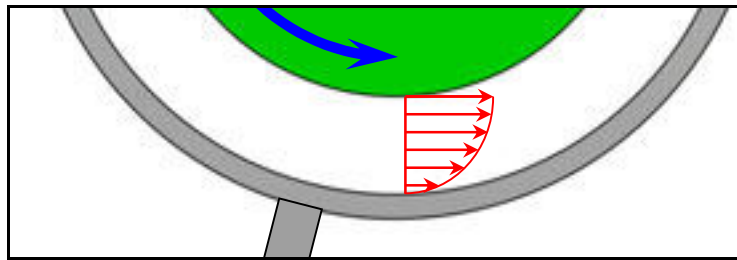


Bild 4: Geschwindigkeitsverteilung im Spalt

Der Verlauf mit dreieckigen Markerpunkten in Bild 5 zeigt ein real gemessenes Geschwindigkeitsprofil bei den angegebenen Randbedingungen. Unter dem oberen bzw. unteren Rand des Diagramms kann die Oberfläche des rotierenden Innenzylinders bzw. die Oberfläche des feststehenden Außenzylinders verstanden werden.

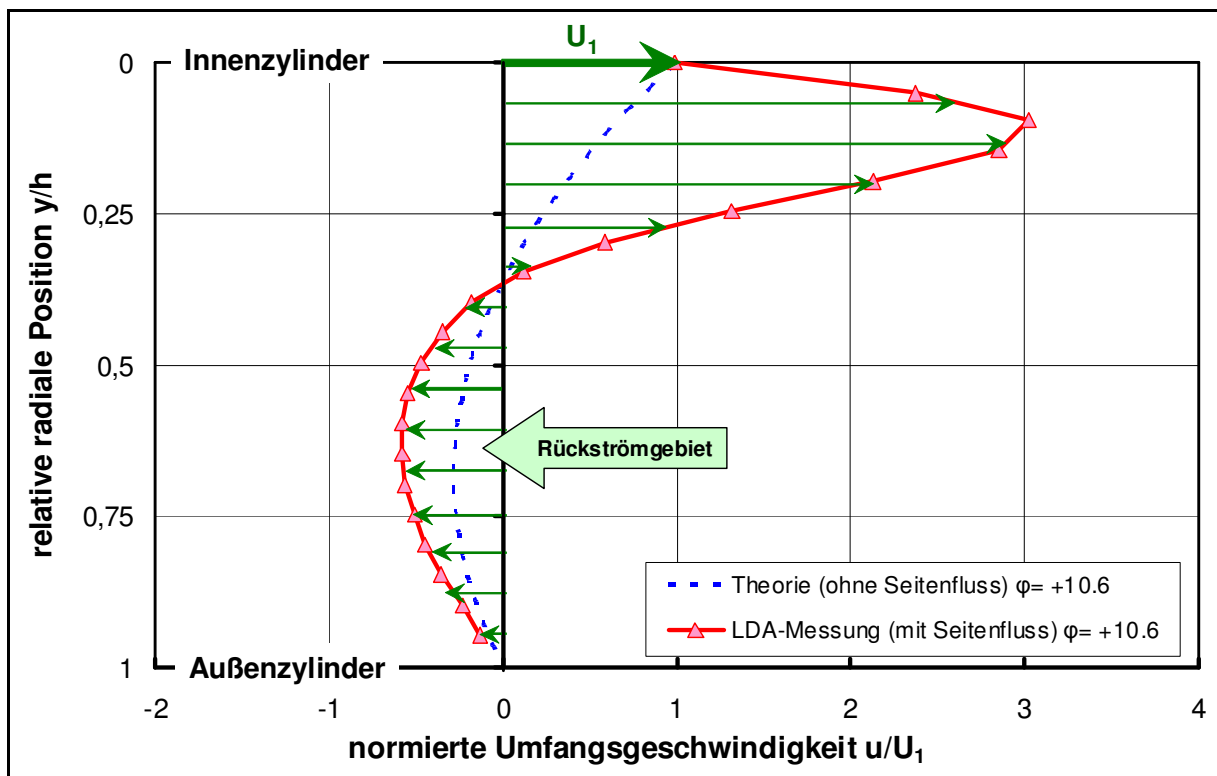


Bild 5: Geschwindigkeitsprofil für  $\psi = 10\%$ ,  $\varphi_B = 0^\circ$ ,  $Re = 20$ ,  $\alpha = 100\%$  und  $\varepsilon = 90^\circ$

Unter Berücksichtigung der Haftbedingung ist es verständlich, dass direkt am Innenzylinder eine Geschwindigkeit  $u$  gemessen wird, die der Oberflächengeschwindigkeit

des Innenzylinders  $U_1$  entspricht. Die normierte Umfangsgeschwindigkeit  $u/U_1$  beträgt somit genau eins. Am feststehenden Außenzylinder ist die Geschwindigkeit null. Interessant ist der Vergleich zwischen dem gepunktet dargestellten, theoretischen Verlauf und dem real gemessenen Profil. Das gepunktet dargestellte Profil kann analytisch berechnet werden. Ausgangspunkt für die Berechnung ist die Navier-Stokes Gleichung. Unter Verwendung einiger vereinfachender Annahmen entsteht eine quadratische Gleichung, die bei Vorgabe der entsprechend normierten Geometriedaten normierte Geschwindigkeiten liefert. Es wird jedoch von einer Strömung ohne jeglichen Seitenfluss ausgegangen. Umso deutlicher ist zu erkennen, wie groß der Einfluss des aufgeprägten Seitenvolumenstromes auf die Couette-Strömung ist. In der Nähe des Innenzylinders kommt es zu einer starken Beschleunigung der Strömung. Es entstehen Geschwindigkeiten, die dreifach so groß sind wie die Oberflächengeschwindigkeit des Innenzylinders. In Richtung des Außenzylinders wird das natürliche Rückströmgebiet beschleunigt. In diesem Gebiet strömt das Fluid entgegen dem Drehsinn des Innenzylinders.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Mit dem vorgestellten Prüfstand und der entsprechenden Messtechnik wird es möglich, Geschwindigkeitsprofile im Zylinderspalt bei moderaten Spaltweiten aufzunehmen. Die gezeigte Vorgehensweise lässt sich nicht auf ein System mit der Spaltweite eines realen Gleitlagers anwenden. Das Ziel besteht darin, mittels eines Prüfstandes mit größeren Gesamtabmessungen die relative Spaltweite von aktuell 2,5% bis auf 1% zu verkleinern. Die mittlere Spaltweite bleibt dabei gegenüber dem vorgestellten System konstant und es kann das LDA weiterhin zum Einsatz kommen. Plane Außenkonturen des Systems (vgl. Darstellung 4 im Bild 1) ermöglichen das Messen aus radialer Richtung mit beherrschbaren Brechungsvorgängen der Laserstrahlen. Die entstehenden Messergebnisse dienen zur Validierung und Optimierung von 3D Simulationsrechnungen, welche später auch in realen Gleitlagern mit einer relativen Spaltweite von 0,1% Anwendung finden werden.

## 6 Verwendete Formelzeichen

$B$	Lagerbreite
$e$	Exzentrizität
$H_0$	mittlere Spaltweite
$h$	lokale Spaltweite
$R_1$	Radius Innenzylinder
$R_2$	Radius Außenzylinder
$Re$	Reynoldszahl
$u$	Umfangsgeschwindigkeit
$U_1$	Umfangsgeschwindigkeit des Innenzylinders
$\Gamma$	Streckungsverhältnis
$\psi$	normierte Spaltweite
$\varepsilon$	relative Exzentrizität
$\nu$	kinematische Viskosität
$\varphi$	Winkel
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit

## 7 Literatur

Taylor, G.I., 1923: „Stability of a viscous liquid contained between two rotating cylinders“ Phil. Trans. Royal Soc. London.

R. C. DiPrima und H. I. Swinney 1985, Instabilities and Transition in Flow Between Two Rotating Cylinders, in Hydrodynamic Instabilities and Transition to Turbulence (Hrsg.: H. I. Swinney und J. P. Gollup), Vol. 45, Springer, New York.

Eagles, P. M., Stuart J. T., DiPrima R. C., 1978: “The Effects of Eccentricity on Torque and Load in Taylor-Vortex Flow” Journal of Fluid Mechanics, Vol. 87, pp. 209-231.

Koschmieder, E. L. 1976: “Taylor vortices between eccentric cylinders” The Physics of Fluids. Vol. 19.

N. Scurtu, P. Stücke, C. Egbers, 2008: “Numerical and experimental study of the flow in an eccentric Couette-Taylor system with small gap” PAMM, Vol. 8, Issue 1, pp 10641 – 10642.

Vaczi, T., 2008: „Konstruktive Überarbeitung eines Zylinderspaltapparates und Untersuchung der exzentrischen Zylinderspaltströmung bei verschiedenen Streckungsverhältnissen“ Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule, Zwickau.

Nobis, M., Schmidt M., 2009: „ Experimentelle und numerische Untersuchung der Schmierpaltströmung“ Masterarbeit, Westsächsische Hochschule, Zwickau

## **Feinschneiden von refraktären Metallfolien mittels CO<sub>2</sub>- und Picosekunden-Laser**

Dipl.-Ing.(FH) Simon Hilber, Phone: +49.3641 / 205-962, Fax: +49.3641 / 205-868,  
E-Mail: [simon.hilber@fh-jena.de](mailto:simon.hilber@fh-jena.de), Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jean Pierre Bergmann, Phone: +49 3677 / 69-2981, Fax: +49 3677 / 69-1660,  
E-Mail: [jeanpierre.bergmann@tu-ilmenau.de](mailto:jeanpierre.bergmann@tu-ilmenau.de), Technische Universität Ilmenau, Neuhaus 1, 98693 Ilmenau

Prof. Dr. Jens Bliedtner, Phone: +49.3641 / 205-444, Fax: +49.3641 / 205-401,  
E Mail: [jens.bliedtner@fh-jena.de](mailto:jens.bliedtner@fh-jena.de), Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

### **Abstract:**

In dieser Arbeit wurde die Schneideignung einer refraktären Metallfolie in Bezug auf zwei unterschiedliche Lasertypen und die damit verbundenen Betriebsarten untersucht. Das verwendete Material besteht zu 80...90% aus Wolfram und hat eine Materialdicke von 100 µm. Auf Grund der unterschiedlichen Laser wurden die Schneidstrategien des Sublimierschneidens und des Schmelzschneidens untersucht. Für die Auswertung wurden die Rauheit der Schnittkanten mittels Tastschnittmessverfahren und die Schnittkanten für Gefügebetrachtungen mittels Rasterelektronen-Mikroskopie aufgenommen.

**Keywords:** Picosekunden-Laser, Präzisionsschneiden, Metallfolie, Wolfram

## **1. Motivation**

Das Laserschneiden von Metallen im Dünnschicht- und Folienbereich findet in der Industrie mit unterschiedlichen Laserquellen ein breites Anwendungsfeld und wird innerhalb validierter Prozesse erfolgreich eingesetzt. Nicht ausreichend erforscht sind hingegen die Möglichkeiten des Laserschneidens von refraktären Metallfolien mit einer Materialstärke von kleiner 200 µm. Bei dickerem Material kommt es durch den hohen Wärmeeintrag zu Rissbildungen im Gefüge der schnittspaltnahen Zone und zur Auswaschung von Bindemittel an der Schnittkantenoberfläche. Die folgenden Versuche und Untersuchungen beziehen sich auf den Test zweier unterschiedlicher Laser mit deren Eigenschaften die im Blechbereich bekannten Schnittkantendefekte und Änderung in der Bindemittelmatrix von refraktären Metallen vermieden werden sollen.

## **2. Versuchsaufbau**

### **2.1. Material**

Der hochschmelzende Werkstoff Wolfram wird im Schlickergußverfahren mit einer Materialstärke von 100 µm hergestellt. Der Wolframanteil kann daher je nach Zusammensetzung zwischen 80...90 % des Gesamtmaterials betragen. Die restlichen Metalle dienen als Bindemittel. Die Folie wird im gesinterten Zustand geschnitten.

## 2.2. Laser

Charakteristisch für das Präzisionsschneiden mittels Picosekunden-Laser sind eine hohe Pulsspitzenleistung und eine kurze Pulsdauer. Das Material wird verdampft, so dass im Schnittpalmbereich keine Wärmeeinflusszone erkennbar ist. Durch mehrfache Überfahrten wird der Werkstoff sublimiert und somit schichtweise abgetragen.

Merkmale		TruMikro 5050	Rofin DC 020 [1]
mittlere Leistung	[W]	0,5...50	200...2000
Wellenlänge	[nm]	1030	10600
Pulsdauer	[s]	$< 10 \times 10^{-12}$	$(17...160) \times 10^{-6}$
max. Pulsenergie	[J]	$250 \times 10^{-6}$	$(0,7...10000) \times 10^{-3}$
Pulsfrequenz	[kHz]	200	0,2...5
Strahlqualität $M^2$		$< 1,3$	$< 1,1$
Brennweite Optik	[mm]	100 Scanner-Optik	127 Meniskuslinse

Als Vergleich zu dem Ultrakurzpuls-Laser wird die Materialbearbeitung mittels CO<sub>2</sub>-Laser betrachtet. Auf Grund der hohen mittleren Leistung im quasi-cw-Betrieb ist es möglich, die Folie in einem Durchgang mit einer hohen Intensität zu trennen und somit refraktäre Elemente aufzuschmelzen und mittels Schneidgas aus dem Schnittpalt auszutreiben. Das sich daraus ergebende Schneidprinzip ist das des Schmelzschneidens.

## 3. Vergleich

### 3.1. Pulsspitzenleistung und Intensität

Die Pulsspitzenleistung ergibt sich aus dem Verhältnis von mittlerer emittierter Leistung und dem Verhältnis von Pulsweite und Periodendauer. Da beim Picosekunden-Laser die Pulsweite ca.  $6 \times 10^{-12}$  s beträgt, können die Pulsspitzenleistungen bis zu 40 MW bei einer mittleren Leistung von 50 W erreichen. Die Frequenz, bei der die Strahlung emittiert wird, liegt bei 200 kHz. Durch das Pulsverhältnis von  $1,2 \times 10^{-6}$  liegt die Einwirkzeit im Bereich der Relaxationszeit des Atomgitters von metallischen Werkstoffen von ca.  $1...10 \times 10^{-12}$  s [2]. Der Durchmesser des fokussierten Strahls beträgt ca. 22 µm, wodurch eine sehr hohe Intensität im Bereich von ca. 7 GW/mm<sup>2</sup> erreicht werden kann.

Für das Schmelzschneiden des CO<sub>2</sub>-Lasers im quasi-cw-Betrieb ergibt sich auf Grund der gepulsten emittierten Strahlung von 5 kHz eine deutlich geringere Pulsspitzenleistung von etwa 4 kW bei einer mittleren Leistung von 2 kW. Das Tastverhältnis von Pulsweite zu Repetitionsrate ist im Vergleich zur Bearbeitung mittels Picosekunden-Laser um acht Zehnerpotenzen vergrößert so dass neben der Pulsspitzenleistung auch die Intensität drastisch auf ca. 0,33 MW/mm<sup>2</sup> absinkt. Trotz der geringeren Intensität und der mittleren Leistung ist die Wärmeeinflusszone größer, da sich das Verhältnis von Pulsdauer und emittierender Frequenz um fünf Zehnerpotenzen vergrößert hat und die Vorschubgeschwindigkeit um das 60fache verringert ist.

Durch das Schmelzschneiden des CO<sub>2</sub>-Lasers im Pulsbetrieb werden die Pulsspitzenleistung und die Intensität durch eine noch geringere Pulsfrequenz und damit durch eine noch längere Pulsdauer weiter minimiert als die im quasi-cw-Betrieb des gleichen

Lasers. Dadurch sinkt die Pulsspitzenleistung auf 600 W und die Intensität auf ca. 50 kW/mm<sup>2</sup> ab.

### 3.2. Streckenenergie

Die Rauheit und das Oberflächengefüge der Schnittkante unterscheiden sich wesentlich von der Art der Frequenz in Korrelation mit der Pulsspitzenleistung und der Streckenenergie.

In den Abbildungen 3.2-1 a) und b) ist sehr gut erkennbar, dass mit steigender Streckenenergie die Rauheit der Schnittkante zunimmt. Diese Erscheinung trifft für die Proben beider Laser zu. Werden die Skalierungen der beiden y-Achsen verglichen, so fällt auf, dass die Rauheit der Proben des CO<sub>2</sub>-Lasers um den Faktor acht größer ist als die Rauheit der Proben des Picosekunden-Lasers. Das bedeutet, dass das Sublimierschneiden mittels Picosekunden-Laser und damit dem schichtweisen Abtragen des Materials eine bessere Oberflächenqualität erzielt, als das Schmelzschneiden der Folie im Pulsbetrieb mittels CO<sub>2</sub>-Laser.

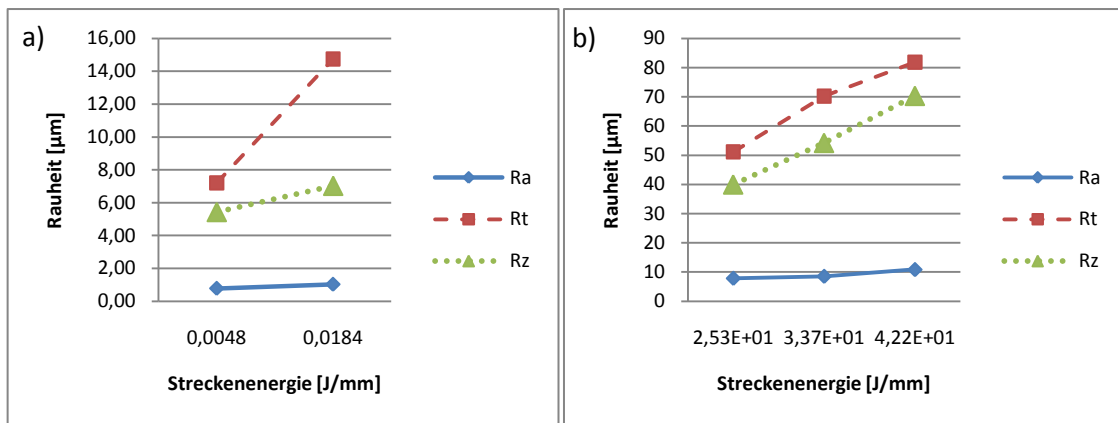


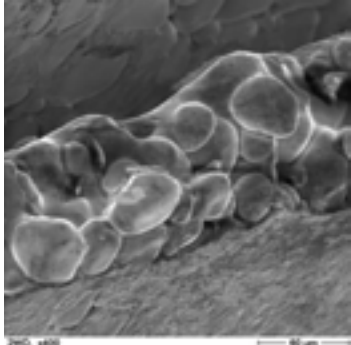
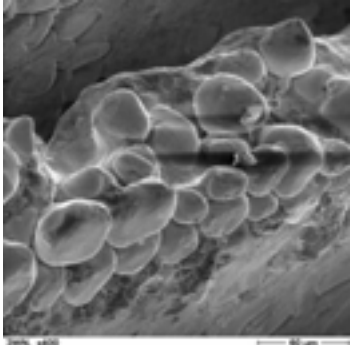
Abb.3.2-1: Rauheit Schnittkante - Streckenenergie a) Picosekunden-Laser; b) CO<sub>2</sub>-Laser

Um die Oberflächengüte der Schnittproben des Picosekunden-Lasers zu erreichen, muss die Streckenenergie weiter verringert werden, was zur Folge hat, dass die Vorschubgeschwindigkeit erhöht werden muss. Da in den Versuchen bereits mit dem größtmöglichen Vorschub geschnitten wurde und bei einem weiteren Verringern der mittleren emittierenden Leistung das Material nicht mehr durchtrennt werden konnte, ist eine höherwertige Schnittkante mit dem CO<sub>2</sub>-Laser im Pulsbetrieb nicht möglich.

Bei den Schneidversuchen im quasi-cw-Betrieb des CO<sub>2</sub>-Lasers folgen die Oberflächenmerkmale denen im Pulsbetrieb. Hierbei war jedoch eine starke Einfärbung des Materials im Schnittspaltbereich festzustellen wie die folgenden REM-Aufnahmen zeigen.

### 3.3. REM-Aufnahmen

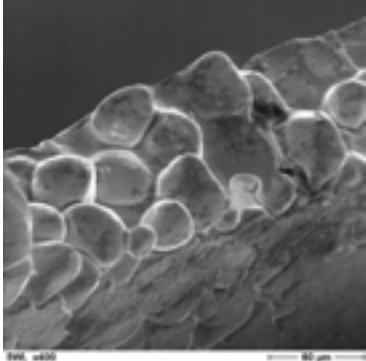
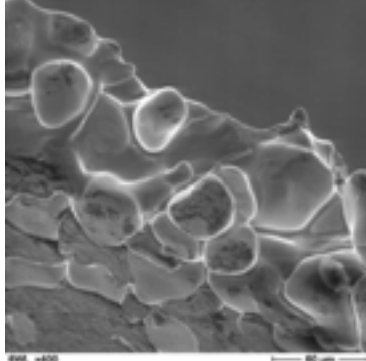
Bei den Schneidversuchen des CO<sub>2</sub>-Lasers im quasi-cw-Betrieb wurde auch der Einfluss des Schneidgases in Bezug auf die eingebrachte Streckenenergie untersucht. In der makroskopischen Betrachtung ist eine stärker ausgeprägte Wärmeeinflusszone der mit O<sub>2</sub>-geschnittenen gegenüber der mit N<sub>2</sub>-geschnittenen Probe zu erkennen. Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich der Schnittkante, welche mit N<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> geschnitten wurde.

	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser: CO<sub>2</sub></li> <li>- Betriebsart: quasi-cw</li> <li>- mittlere Leistung: 2000 W</li> <li>- Streckenenergie (ohne Betrachtung der endothermen Reaktion): 240,96 J / mm</li> <li>- Schneidgas: Stickstoff (N<sub>2</sub>)</li> <li>- Oberflächenkennwerte:             <ul style="list-style-type: none"> <li>R<sub>a</sub> = 10,10 μm</li> <li>R<sub>t</sub> = 74,46 μm</li> <li>R<sub>z</sub> = 63,09 μm</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser: CO<sub>2</sub></li> <li>- Betriebsart: quasi-cw</li> <li>- mittlere Leistung: 2000 W</li> <li>- Streckenenergie (ohne Betrachtung der exothermen Reaktion): 240,96 J / mm</li> <li>- Schneidgas: Sauerstoff (O<sub>2</sub>)</li> <li>- Oberflächenkennwerte:             <ul style="list-style-type: none"> <li>R<sub>a</sub> = 9,44 μm</li> <li>R<sub>t</sub> = 76,08 μm</li> <li>R<sub>z</sub> = 63,68 μm</li> </ul> </li> </ul>

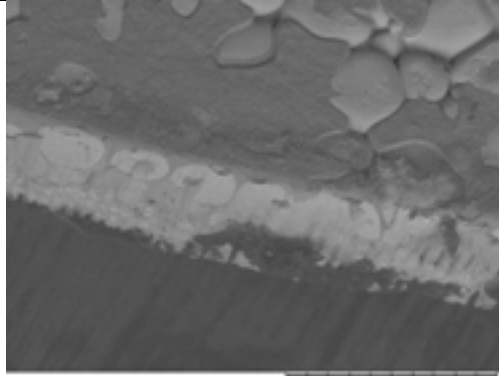
Durch die exotherme Reaktion des Sauerstoffes sollte ein An- bzw. Aufschmelzen der hochschmelzenden Wolframkörner und somit eine höhere Oberflächengüte erzielt werden. Die damit in das Werkstück eingebrachte Energie reichte dennoch nicht aus, um diesen Effekt herbei zu führen. Es wurde im Schnittkantenbereich die verbindenden Legierungselemente stärker aufgeschmolzen wodurch die Wolframkörner in der unmittelbaren Schnittspaltnähe freigelegt wurden. Weiterhin wurde auch keine Verbesserung der Rauheit der Schnittkante erzielt.

Bei den REM-Aufnahmen der im Pulsbetrieb geschnittenen Proben des CO<sub>2</sub>-Lasers spiegeln sich die Ergebnisse der gemessenen Rauheit wider. Die Bindemittelmatrix wird durch eine geringere Streckenenergie nicht so stark erwärmt, was zur Folge hat, dass die Räume zwischen den Wolframkörnern versiegelt und nicht ausgespült werden. Trotz der geringeren Streckenenergie war es auch im Pulsbetrieb nicht möglich, das refraktäre Metall zu durchtrennen.



	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser: CO<sub>2</sub></li> <li>- Betriebsart: Pulsbetrieb</li> <li>- mittlere Leistung: 350 W</li> <li>- Pulsspitzenleistung: 500 W</li> <li>- Streckenenergie: 42,17 J / mm</li> <li>- Schneidgas: Stickstoff (N<sub>2</sub>)</li> <li>- Oberflächenkennwerte:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>R<sub>a</sub> = 10,87 μm</li> <li>R<sub>t</sub> = 81,85 μm</li> <li>R<sub>z</sub> = 70,37 μm</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser: CO<sub>2</sub></li> <li>- Betriebsart: Pulsbetrieb</li> <li>- mittlere Leistung: 210 W</li> <li>- Pulsspitzenleistung: 600 W</li> <li>- Streckenenergie: 25,30 J / mm</li> <li>- Schneidgas: Stickstoff (N<sub>2</sub>)</li> <li>- Oberflächenkennwerte:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>R<sub>a</sub> = 7,87 μm</li> <li>R<sub>t</sub> = 51,16 μm</li> <li>R<sub>z</sub> = 39,99 μm</li> </ul> </li> </ul>

Der Picosekunden-Laser ist durch seine hohe Pulsspitzenleistung im MW-Bereich und durch die hohe Repetitionsrate in der Lage, die Wolframkörner zu durchtrennen und die Bindemittelmatrix in den Zwischenräumen nicht auszuspülen. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Rauheit der Schnittkante wider und belegt mit den Aufnahmen der Rasterelektronenmikroskopie, dass das Laserschneiden mit einer Pulsdauer im Bereich der Relaxationszeit des Atomgitters den schichtweisen Abtrag refraktärer Metalle mit R<sub>a</sub> ≈ 1 μm realisieren kann.


<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laser: Picosekunden-Laser</li> <li>- Betriebsart: Pulsbetrieb</li> <li>- mittlere Leistung: 9,2 W</li> <li>- Pulsspitzenleistung: 7,67 MW</li> <li>- Streckenenergie: 18,4 mJ / mm</li> <li>- Schneidgas: kein</li> <li>- Oberflächenkennwerte:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>R<sub>a</sub> = 1,08 μm</li> <li>R<sub>t</sub> = 17,58 μm</li> <li>R<sub>z</sub> = 10,81 μm</li> </ul> </li> </ul>

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

Die mit dem CO<sub>2</sub>-Laser geschnittenen Proben weisen im Vergleich zu den mit Picosekunden-Laser geschnittenen Proben eine hohe Rauheit der Schnittkante auf. Mit dem durch den CO<sub>2</sub>-Laser verfolgten Schmelzschnitten wurden Wolframkörner nicht aufgeschmolzen. Durch das Verflüssigen der Bindermatrix wird das refraktäre Metall aus dem Materialverbund gelöst und legt neues refraktäres Gefüge frei. Dieser Vorgang ist durch die zu hohe Streckenenergie beim Schmelzschnitten bedingt. Somit wird die Rauheit der Schnittkante im Wesentlichen durch die freiliegenden Wolframkörner dargestellt. Die Schnittproben des Picosekunden-Lasers weisen eine Schnittkante mit hoher Oberflächengüte auf. Alle Elemente des Werkstoffgefüges werden durch die Pulszeiten von ca.  $6 \times 10^{-12}$  s im Schnittspalt verdampft wodurch eine Schnittkante mit hoher Brillanz entsteht.

In Bezug auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit sind jedoch deutliche Unterschiede erkennbar. Das Trennen im Sublimierschneidprozess erfolgt durch ein mehrfaches Überfahren der Kontur. Die notwendige Anzahl an Überfahrten betrug 3000 Stück, so dass bei einer relativen Vorschubgeschwindigkeit von 500 mm/s mit einer realen Geschwindigkeit von 10 mm/min auf dem Werkstück verfahren wurde. Die Fertigungszeit für ein Bauteil mit einer Konturlänge von 100 mm beträgt somit 10 Minuten. Das Trennen im Schmelzschnidprozess mittels CO<sub>2</sub>-Laser erfolgte mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 500 mm/min. Prozessbedingt wurde die Kontur des Werkstücks nur einmal abgefahren. Die Geschwindigkeit auf dem Bauteil entspricht somit der realen Vorschubgeschwindigkeit wodurch der Prozess des Schmelzschnidens im Vergleich zum Sublimierschneiden um das 50fache schneller ist. Die daraus resultierende Fertigungszeit für ein Bauteil mit einer Konturlänge von 100 mm beträgt 12 Sekunden.

In Bezug auf die vergleichsweise hohe Oberflächengüte und die Topographie der Schnittkante ist das Sublimierschneiden mittels Picosekunden-Laser das zu präferierende Verfahren. Im Gegensatz dazu stehen die 50fach schnellere Bearbeitung des CO<sub>2</sub>-Lasers und die damit verbundene Wirtschaftlichkeit des Schmelzschnidprozesses. Auf Grund der starken Divergenz zwischen Bearbeitungszeit und Schnittkantenqualität ist das Forschungspotential noch nicht erschöpft.

#### **5. Danksagung**

Ein besonderer Dank gilt der Firma Trumpf Laser GmbH in Schramberg für die Möglichkeit der Durchführung von Experimenten an einem Picosekunden-Lasersystem und die fachliche Unterstützung durch Frau Simone Russ.

#### **6. Literatur**

- [1] Rofin (2004) Einführung in die industrielle Lasermaterialbearbeitung, Hamburg
- [2] H. Hügel, Th. Graf (2009) Laser in der Fertigung, Vieweg und Teubner, Stuttgart

## **Remote-Schweiß-Strategien zum Fügen ultradünner metallischer Folien**

M. Eng. Dipl.-Ing.(FH) Andreas Patschger, Phone: +49.3641-205963, Fax: +49.3641-205868, E-Mail: [andre-as.patschger@fh-jena.de](mailto:andre-as.patschger@fh-jena.de), Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

B. Eng. Matthias Hild, Phone: ++49.3641-653210, Fax: ++49.3641-652521, E-Mail: [matthias.hild@jenoptik.com](mailto:matthias.hild@jenoptik.com), JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH, Konrad-Zuse-Straße 6, 07745 Jena

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jean Pierre Bergmann, Phone: +49 3677 69 2981, Fax: +49 3677 69 1660, E-Mail: [jeanpierre.bergmann@tu-ilmenau.de](mailto:jeanpierre.bergmann@tu-ilmenau.de), Technische Universität Ilmenau, Neuhaus 1, 98693 Ilmenau

Prof. Dr. Jens Bliedtner, Phone: +49.3641-205444, Fax: +49.3641-205401, E Mail: [jens.bliedtner@fh-jena.de](mailto:jens.bliedtner@fh-jena.de), Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

### **Abstract**

In der vorliegenden Arbeit wurden Laser-Remote-Schweiß-Verfahrensweisen zum Fügen ultradünner metallischer Folien untersucht. Dabei kamen verschiedene Scannerobjektive mit unterschiedlichen Brennweiten in Verbindung mit einem Single-Mode-Faserlaser zum Einsatz. Als Probenmaterialien fanden Edelstahlfolien in Stärken zwischen 100 µm und 15 µm Verwendung. Fügestrategien beim Schweißen im Überlappstoß wurden erprobt, um eine durchgängige, homogene und dichte Schweißnaht zu gewährleisten. Die Auswertung erfolgte über Mikroschliffe und Zugversuche.

**Keywords:** Remote-Schweißen; Metall-Folien; Single-Mode; Faserlaser

## **1 Motivation**

Dünne Folien aus Kunststoff oder Metall sind heutzutage in den unterschiedlichsten industriellen Anwendungen vertreten. Dabei werden Sie z.B. in der Verpackungsindustrie, in der Elektronik und in der Konstruktion eingesetzt und gefügt /1,2/. Im Vergleich zu Kunststofffolien haben Metallfolien jedoch verschiedene Vorteile in Bezug auf ihre Eigenschaften. Z.B. sind Metallfolien bereits ab einer Stärke von 5-10 µm gasdicht. Außerdem ist ihre Alterungs- und Witterungsbeständigkeit wesentlich höher als bei Kunststofffolien. Zusätzlich sind sie elektrisch leitend, nicht ausgasend und widerstandsfähiger bei mechanischer Belastung. Sollen diese Eigenschaften bei der verbreiteten Anwendung von Kunststofffolien ebenfalls gegeben sein, muss ein Verbund aus Metall und Kunststoff eingesetzt werden.

Werden Kunststofffolien oder Verbundmaterialien aus Kunststoff und Metall durch Metallfolien substituiert, können durch eine geringere Stärke sowohl Material und Gewicht gespart als auch Ressourcen geschont und das Recycling vereinfacht werden. Im Vergleich zu dem bei Verbundmaterialien üblicherweise angewandten Verfahren des Heißprägens können bei Einsatz des Remote-Schweißens außerdem hohe Prozessgeschwindigkeiten und eine flexible Fertigung etabliert werden.

Um die Substitution effizient zu ermöglichen, muss jedoch in der Füge-technologie noch Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden. Es sind nur wenige Technologieentwicklungen bekannt, die sich auf das Remote-Schweißen von Metallfolien mit Dicken geringer als 50 µm beziehen. Die Bearbeitungs-geschwindigkeiten liegen dabei in der Regel unterhalb 1 m/s und bleiben dabei hinter den Möglichkeiten einer modernen Scannertechnologie zurück /3,4,5,6/.

Durch die Entwicklung eines neuen scannergestützten Laserschweißverfahrens können alle genannten Vorteile vereint werden. Damit soll ein Beitrag geleistet wer-

den, ultradünne metallische Folien effizient und flexibel zu fügen und den Einsatz für folgende Anwendung zu erschließen.

Eine bekannte Anwendung sind z.B. Vakuumsuperisolationselemente. Diese bestehen aus einem Platzhalter - das kann ein offenporiger Schaum oder ein Abstandsgewirke sein -, der mit einer luftundurchlässigen Verbund-Folie umgeben ist.

Der Einsatz einer Metallfolie an dieser Stelle birgt den Vorteil, dass diese in einstufiger Prozessstufe hergestellt wird, alleinig vakuumdicht und zusätzlich alterungs- und witterungsbeständig ist. Heutige Vakuumisolationselemente sind von ca.  $-20^{\circ}\text{C}$  bis ca.  $80^{\circ}\text{C}$  einsetzbar. Unter Verwendung von Edelstahlfolien ließe sich der Bereich von  $-200^{\circ}\text{C}$  bis  $1200^{\circ}\text{C}$  ausdehnen. Dadurch sind Produkte im Bereich der Cryotechnik bis hin zu Hochtemperaturöfen kostengünstiger als bisher mit vereinheitlichten Elementen herzustellen. /7/

Die Absicht ist hier, die Metallfolie bis an die mechanische Belastungsgrenze hin zu verdünnen. Denn je dünner die umhüllende Metallfolie, desto geringer ist die Wirkung als Wärmebrücke.

Ziel der Untersuchungen ist die Charakterisierung der Schweißeignung und eine grundlegende erste Bewertung zur mechanischen Eigenschaften verschiedener geschweißter metallischer Folienstärken. Darüber hinaus soll eine Aussage zur Effizienz der Schweißung abgeleitet werden.

## 2 Versuchsaufbau

Für die vorliegende Untersuchung kam ein Raylase-Scanner SuperScan LD30 zum Einsatz. Hierfür fanden unterschiedliche Objektive mit den Brennweiten 100 mm, 160 mm und 347 mm Verwendung. Dabei bildete der Laserstrahl Foki von  $20\ \mu\text{m}$ ,  $35\ \mu\text{m}$  und  $76\ \mu\text{m}$  aus. Als Laserquelle wurde ein JENOPTIK Single-Mode Faserlaser im cw-Betrieb ( $M^2=1,15$ ) mit einer Wellenlänge von  $1070\ \text{nm}$  und einer Maximalleistung von  $1\ \text{kW}$  eingesetzt.

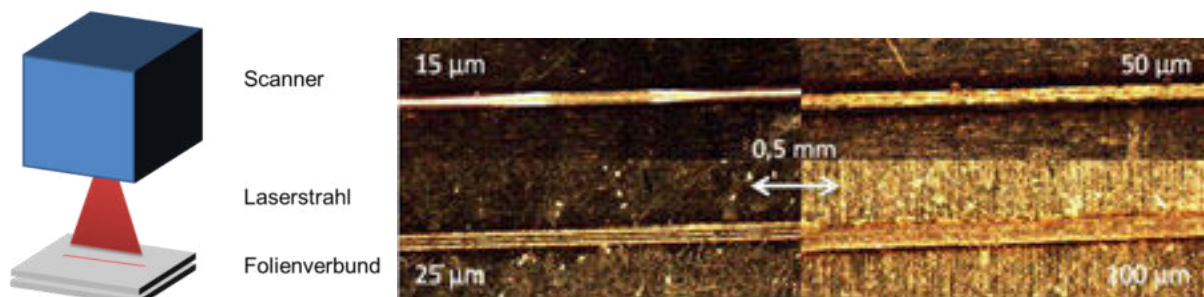


Abb. 1: Schematischer Versuchsaufbau und geschweißte Folien (Draufsicht)

In dieser Konfiguration konnten Edelstahlfolien (1.4310) in den Stärken  $15\ \mu\text{m}$ ,  $25\ \mu\text{m}$  und  $50\ \mu\text{m}$  untersucht werden. Diese wurden mit einer I-Naht im Überlappstoß geschweißt. Als Referenz dienten Folien mit einer Stärke von  $100\ \mu\text{m}$ . Dabei variierten Scangeschwindigkeit und Laserleistung, um das Prozessfenster für eine durchgängige, hermetisch dichte Naht mit einer Wurzelbildung auf der Rückseite der unteren Folie einzugrenzen.

Um die mechanischen Eigenschaften der Proben zu untersuchen, wurden Scherzugversuche durchgeführt. Die Dimension aller Proben und Schweißnähte waren gleich und die Art der Einspannung variierte ebenfalls nicht.

### 3 Versuchsauswertung

#### 3.1 Schweißbeignungsuntersuchungen

Zu Beginn wurde die allgemeine Schweißbarkeit der verschiedenen Folienstärken mit unterschiedlichen Brennfleckdurchmessern untersucht.

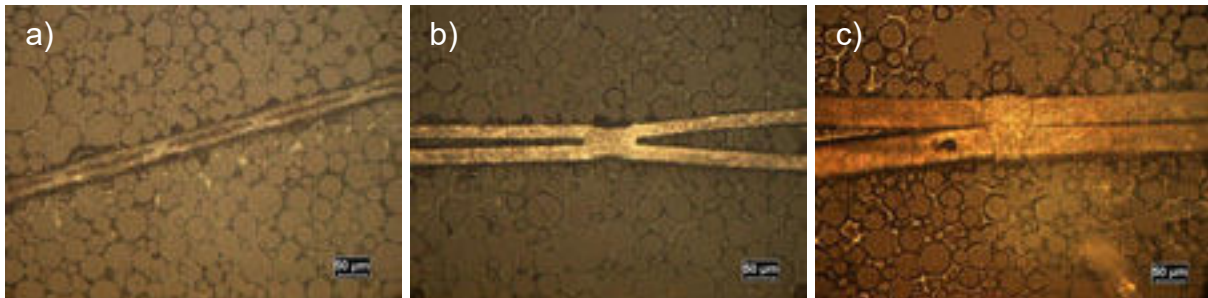


Abb. 2: Schweißungen in a) 15 µm Folie b) 25 µm Folie und c) 50 µm Folie

Nur komplette Durchschweißungen fanden Eingang in die Bewertung. Die Prozessgrößen wurden aufgenommen, hinsichtlich der Maximalgeschwindigkeit optimiert und für die einzelnen Foki aufgetragen:

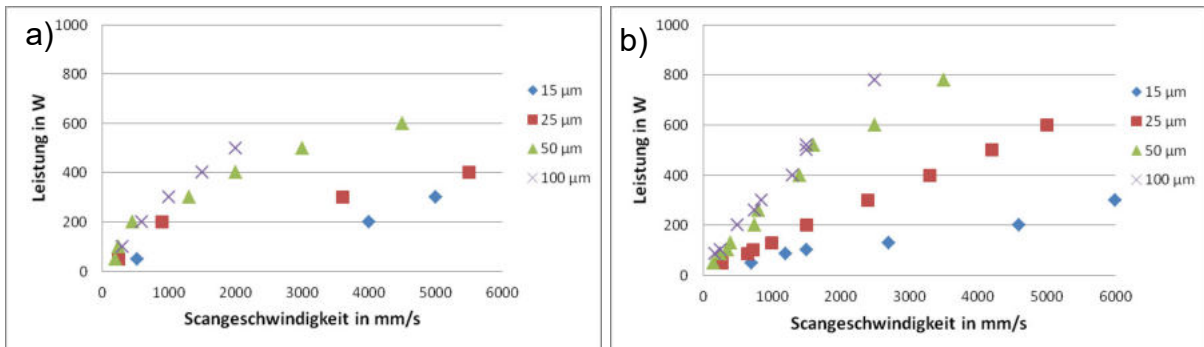


Abb. 3: Leistung vs. Scangeschwindigkeit für Brennflecke a) 20 µm und b) 35 µm

Aus den Abbildungen 3 und 4 wird ersichtlich, dass eine prinzipielle Schweißbarkeit für alle Kombinationen gegeben ist. Jedoch ist deutlich zu beobachten, dass das Schweißen für die 15 µm Folien nur in einem begrenzten Umfang durchführbar ist. Für eine Durchschweißung ohne die Folien zu trennen eigneten sich deutlich weniger Parameterkombinationen im Vergleich zu den anderen Folienstärken.

Bei stärkerer Fokussierung (20 µm Brennfleck) und konstanter Leistung steigt die Intensität. Dies führt bei Anwendung auf 15 µm und teilweise auch bei 25 µm starker Folie dazu, dass durch das geringere zur Verfügung stehende Schmelzvolumen dieses leichter durch den entstehenden Dampfdruck ausgetrieben werden kann und der Prozess an der Grenze zu einem Schneidregime stattfindet.

In dem Versuchsaufbau mit 35  $\mu\text{m}$  Brennfleckdurchmesser (Abb. 3 b)) konnten kontinuierliche Schweißungen aller eingesetzten Folien über das gesamte Geschwindigkeitsspektrum des Scanners erfolgen.

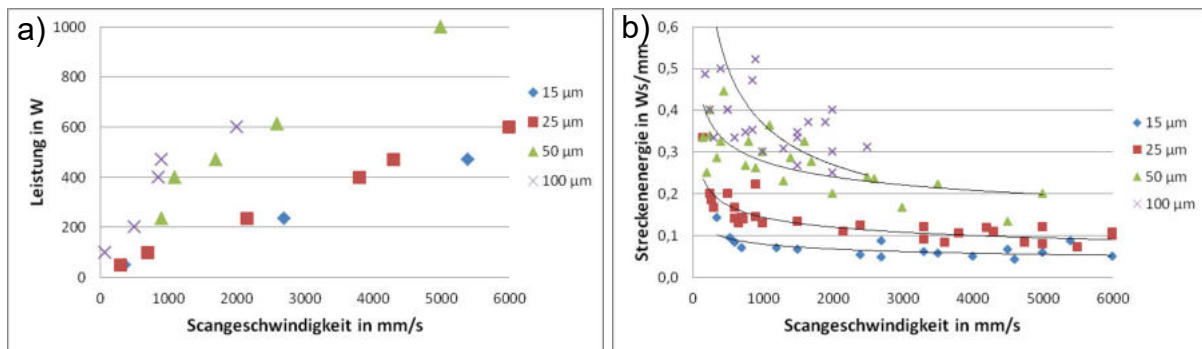


Abb. 4: a) Leistung vs. Scangeschwindigkeit für Brennfleck 76  $\mu\text{m}$  sowie  
b) Streckenenergien der Schweißungen

Unter Einsatz des 76  $\mu\text{m}$  großen Brennflecks (Abb. 4 a)) auf 15  $\mu\text{m}$  starker Folie ist das Verhältnis von Einschweißtiefe zu Schweißnahtbreite der generierten Schweißnaht kleiner eins. Damit besteht die Gefahr des Durchsackens der Schmelze. Das ist auch der Grund der diskontinuierlichen Ausbildung der Schweißkurven in dieser Konfiguration.

Die Folien in den Stärken 50  $\mu\text{m}$  sowie 100  $\mu\text{m}$  lassen sich in allen Brennfleckkonfigurationen problemlos bearbeiten und weisen kontinuierliche Schweißkurven auf.

Die Streckenenergie ist ein Indikator für die thermische Belastung eines Werkstückes /8/. In Abb. 4 b) sind die eingestrahlteten Streckenenergien im Vergleich zur Scangeschwindigkeit und zur Folienstärke dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass mit steigender Scangeschwindigkeit die Streckenenergie sinkt, d.h. dass hier der Prozesswirkungsgrad steigt /9/.

### 3.2 Zugversuche

Um die Anbindungsfähigkeit sowie die Eignung hinsichtlich der mechanischen Festigkeit der Schweißverbindung vergleichend zu bewerten, wurden diese im Zugprüfstand in Anlehnung an die DIN /10/ untersucht.

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, bilden die Schweißnähte eine kontinuierlich ansteigende Kraft mit größer werdender Streckenenergie aus. Dabei überschneiden sich die Bereiche der verschiedenen Folienstärken. Dies ist in der Verwendung der unterschiedlichen Fokussdurchmesser und den damit zusammenhängenden Anbindungsquerschnitten begründet. Die untersuchten Schweißverbindungen zeigten für die Folien von 15  $\mu\text{m}$  eine maximal aufgenommene Kraft von 180 N, für 25  $\mu\text{m}$  630 N, für 50  $\mu\text{m}$  1220 N und für 100  $\mu\text{m}$  2030 N.

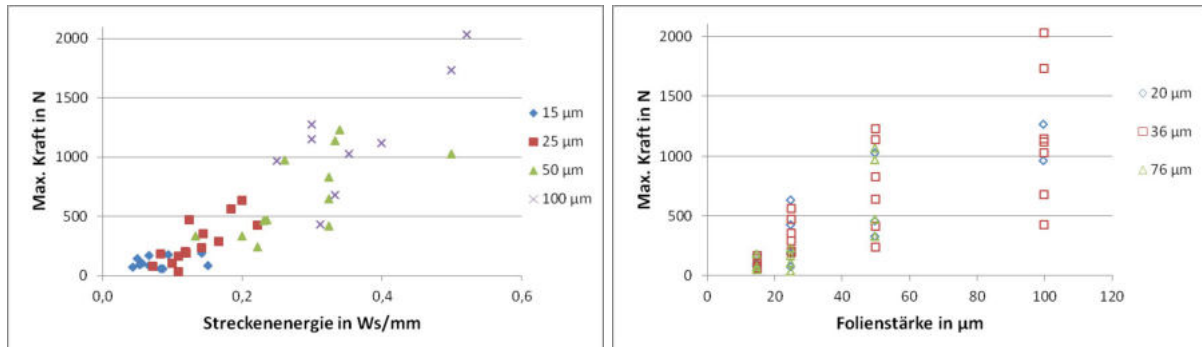


Abb. 5: Maximal aufgenommene Kraft der Schweißverbindungen

Für den Grundwerkstoff konnten maximale Kräfte von 830 N für 15 µm, 1040 N für 25 µm, 1980 N für 50 µm und 4020 N für 100 µm gemessen werden. Das bedeutet, dass sowohl für die Schweißnähte an 25 µm als auch an 50 µm Zugfestigkeiten von ca. 60 % des Grundwerkstoffes erzielt wurden.

### 3.3 Prozesswirkungsgrad

Das Verhältnis von bearbeitbarem Volumen zu Laserleistung ist ein Maß für den Prozesswirkungsgrad /8/.

$$\frac{\dot{V}}{P} \propto \eta_p \quad \text{bzw.} \quad \frac{A \cdot v}{P} \propto \eta_p \quad [1]$$

Ebenso kann der Prozesswirkungsgrad über den Zusammenhang von Nahtquerschnitt zu Streckenenergie quantifiziert werden.

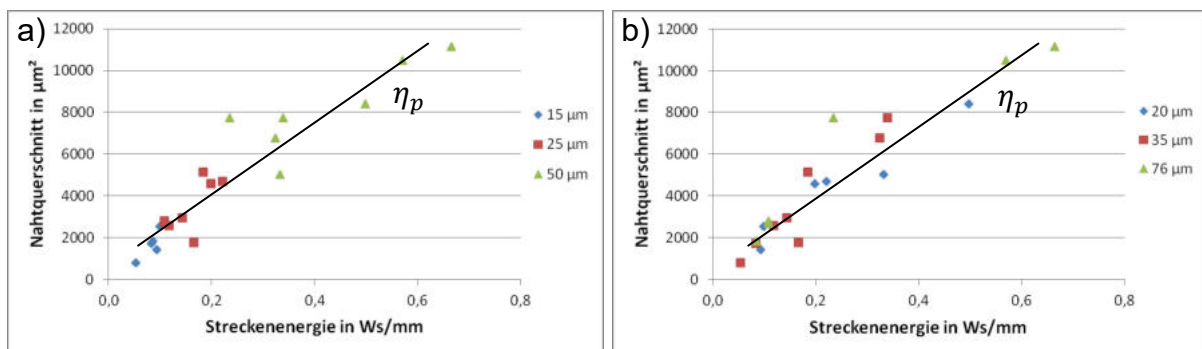


Abb. 6: Prozesswirkungsgrad in Abhängigkeit von Nahtquerschnitt und Streckenenergie für a) Folienstärke und b) Brennfleckdurchmesser

Der Prozesswirkungsgrad ist sowohl für die Brennfleckdurchmesser (Abb. 6 a)) als auch für die unterschiedlichen Foliendicken (Abb. 6 b)) tendenziell gleich. Die Ursache ist darin begründet, dass für alle Foliendicken die gleiche, zweidimensionale Wärmeleitung vorliegt und dass die Energieeinkoppeleffizienz aufgrund derselben Wellenlänge und derselben Werkstoffeigenschaften gleich ist. Weiterhin erfolgten alle Schweißungen trotz variierender Brennfleckdurchmesser und Leistungen oberhalb der Intensitätsschwelle im Tiefschweißregime. /8/

Daraus folgt, dass hinsichtlich der Prozesseffizienz keine Paarung zu bevorzugen ist.

## 4 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass prinzipiell alle verwendeten Konfigurationen zum Schweißen ultradünner Folien geeignet sind. Dabei konnten jedoch bevorzugte Paarungen zwischen Folienstärke und Brennfleckdurchmesser beobachtet werden. Mit anwachsender Scangeschwindigkeit sinken die Streckenenergie und damit auch die thermische Belastung. Das bedeutet, dass der Fügeprozess hinsichtlich größer werdender Scangeschwindigkeiten zu optimieren ist.

In den Zugversuchen konnte gezeigt werden, dass die Verbindungen bis zu 60 % der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes erreichen. Die Zugfestigkeit ist nicht nur abhängig von der Folienstärke, sondern auch vom eingesetzten Brennfleckdurchmesser und der daraus resultierenden Anbindungsbreite.

Der Prozesswirkungsgrad ist für die Bearbeitung in den unterschiedlichen Konfigurationen tendenziell gleich.

Mit den erworbenen Daten können Prozesse anwendungsspezifisch ausgelegt und sowohl auf die erforderliche Beanspruchung als auch auf die bearbeitungstechnischen Besonderheiten hin designt werden.

## 5 Schrifttum

- /1/ A. Gillner, K. Klages, F. Sari, „Mikrofügen mit Laserstrahlung“, Laser Technik Journal, (2006), No. 3, S.39.
- /2/ A. Olowinsky, A. Boglea, J. Gedicke, „Innovative Laser Welding Processes“, Laser Technik Journal, (2008), No. 3, S. 48.
- /3/ Y. Okamoto et al, “Fine micro-welding of thin stainless steel sheet by high speed laser scanning”, Journal of Laser Micro/Nanoengineering, Vol. 3, (2008), No. 2, S. 95.
- /4/ S.-J. Park, T. Ooie, I. Miyamoto, “Precision micro-welding using single-mode fiber laser welding of metal foil and threshold power density for bead transition”, Journal of High Temperature Society, Vol. 30, (2004), No. 1, S. 55.
- /5/ J.C. Pernicka, D.K. Benson, C.E. Tracy, US patent Nr. 5500503 “Simultaneous laser cutting and welding of metal foils to edge of a plate”, 1996.
- /6/ J.C. Pernicka, D.K. Benson, C.E. Tracy, US patent Nr. 5502292 “Method for laser welding ultra-thin metal foils”, 1996.
- /7/ H.-D. Bürger, O<sub>3</sub>innovation, Strategiepapier, 06/2010.
- /8/ H. Hügel, T. Graf, „Laser in der Fertigung – Strahlquellen, Systeme, Fertigungsverfahren“, 2. Auflage, GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2009.
- /9/ A. Bastick, J.P. Bergmann, A. Patschger, „High Brilliancy – Which Effects Do Small Foci Have On Secure And Efficient Welding?“, Laser Assisted Net Shape Engineering 6, Proceedings of the 6<sup>th</sup> LANE, (2010), S. 147.
- /10/ Norm DIN EN 10002 Zugversuch für metallische Werkstoffe



## **Reibschweißen mit kontrollierter Wärmeführung**

Prof. Dr.-Ing. Harald Goldau, Phone: ++49.391-886-4410, Fax: ++49.391-886-4123, E-Mail: harald.goldau@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

Hagen Schmidt B. Eng., Phone: ++49.391-886-4952, E-Mail: hagen.schmidt@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

### **Abstract**

In Zeiten wirtschaftlicher Veränderungen und immer komplexer werdender Wirtschaftsprozesse ist jedes Unternehmen bestrebt jene Veränderungen durch eigene Innovationen und Entwicklungen voran zu treiben. So haben sich Fügeverfahren bedingt durch Beanspruchungen, Kosten und Prozesssicherheit in zahlreichen Industriezweigen außerordentlich gewandelt und unterscheiden sich vielfach völlig von traditionellen Verfahren. Das erfordert einen ständigen Wissenstransfer aktueller Technologien. Durch den Einsatz einer zusätzlichen Wärmequelle im Reibschweißprozess wurden an Endprodukten versteckte Potentiale (Gewicht, Herstellungskosten, Lebensdauer) aufgedeckt und genutzt. Insbesondere den lokalen belastungsspezifischen Einsatz der Werkstoffe gilt es dabei stetig zu optimieren. Metallische Werkstoffe sind dabei oft noch konkurrenzlos. Durch die Vielzahl möglicher physikalischer Eigenschaften und die im Vergleich kostengünstige Herstellung, bleiben metallische Werkstoffe in vielen Bereichen der bevorzugte Werkstoff. Doch der Materialmix aus neuen hochfesten Werkstoffen und Leichtmetallen wird größer, da die Vielfalt der Metalle und auch Kunststoffe zunimmt. Die Zukunft gehört deshalb dem intelligenten Werkstoffmix. Vom Stahl werden je nach Einsatzgebiet hoch-, höher- oder höchstfeste Varianten eingesetzt, die vielfach im Verbund mit Sinter- oder Nickelbasislegierungen zum Einsatz kommen. Hybridstrukturen lassen sich jedoch durch konventionelle Schweißverfahren kaum oder nur bedingt fügen. Das liegt daran, dass die metallurgischen Vorgänge der Mischverbindung auf unterschiedlichen physikalischen Mechanismen beruhen. So führen ungleiche Wärmeleitkoeffizienten der Werkstoffe zu inhomogenen Erwärmungs- und Abkühlverhalten in der Wärmeeinflusszone. Eigenspannungen und Verzüge sind die Folge und beeinflussen die Maßhaltigkeit und Funktionalität. Durch eine gezielte Temperaturführung unter Ausnutzung des elektrischen Widerstands, werden bisher nicht oder nur sehr schwer zu fügende Werkstoffe untereinander und in Kombination reibgeschweißt. Der benötigte Strom zur Erwärmung wird dabei über austauschbare Elektroden in das Bauteil geleitet. Über die Parameter Stromstärke und Zeit wird die Erwärmung genau definiert. Das Entwicklungspotential ist damit noch nicht erschöpft. Eine zukünftige rotorseitige Stromeinleitung ermöglicht zusätzlich eine In-Prozesserwärmung und stellt einen weiteren wichtigen Punkt zur Gewährleistung der Prozesssicherheit dar.

**Keywords:** Reibschweißen, Fügen, Erwärmung, Konduktion, hochwarmfeste Stähle, Hartmetall, Nickelbasislegierung, Wärmeführung

# 1 Reibschweißen allgemein

Das Reibschweißen ist ein hochproduktives Verfahren zum Fügen von Werkstücken gleicher und unterschiedlicher Materialien. Es ist unter technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten die erste Wahl bei vielen industriellen Anwendungen. Die Verbindungsbildung beim Reibschweißen findet im Wesentlichen durch Diffusionsprozesse in den Grenzflächen zwischen den beiden Reibpartnern statt. Die Schweißwärme wird über Reibung an den Fügeflächen erzeugt. Durch den intensiven Kontakt der Fügeteile während des Schweißprozesses ist das Verbinden von Werkstoffen mit sehr unterschiedlichen Schmelzpunkten und Gitterstrukturen möglich. In der Reibphase werden störende Oberflächenschichten entfernt und die mechanische Energie wird in Wärme umgewandelt. Die elastoplastische Verformung wird in der Stauchphase mit der Stauchkraft zur Verbindungsbildung genutzt. Der Energieeintrag im Prozess führt zu Platzwechselfvorgängen der Atome an den Fügeflächen, es bilden sich Diffusionszonen, die Temperaturen die hierbei auftreten liegen unterhalb der Schmelztemperatur der Materialien. Durch diese Vorgänge wird eine sehr hohe Festigkeit bei geringerem Wärmeeintrag gegenüber anderen Schweißverfahren erreicht.

## 1.1 Reibschweißen – Verfahrensvarianten

Das Reibschweißen unterteilt sich in mehrere Gruppen, die sich durch die Relativbewegung, mit der sich die Werkstücke zueinander bewegen, um Reibung zu erzeugen, unterscheiden.

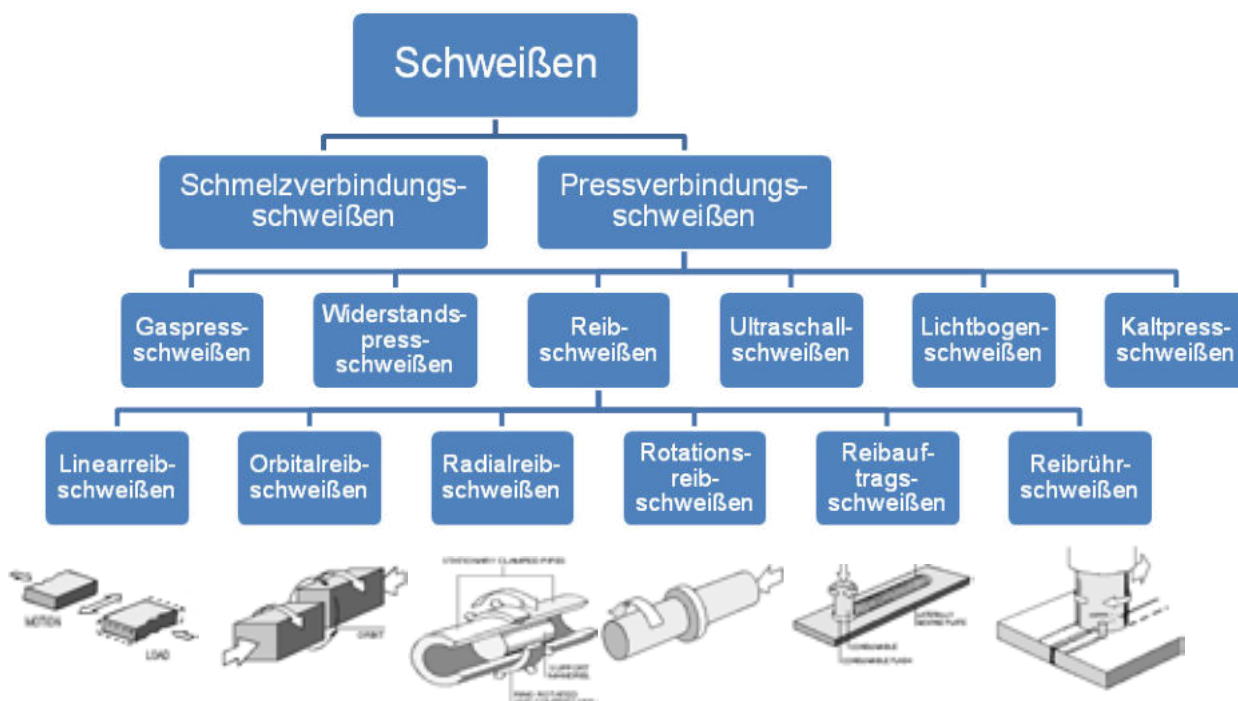


Abbildung 1: Einordnung des Rotationsreibschweißens in die Schweißverfahren

## 1.2 Prozessstufen

Fünf verschiedene Prozessphasen werden beim Reibschweißen unterschieden:

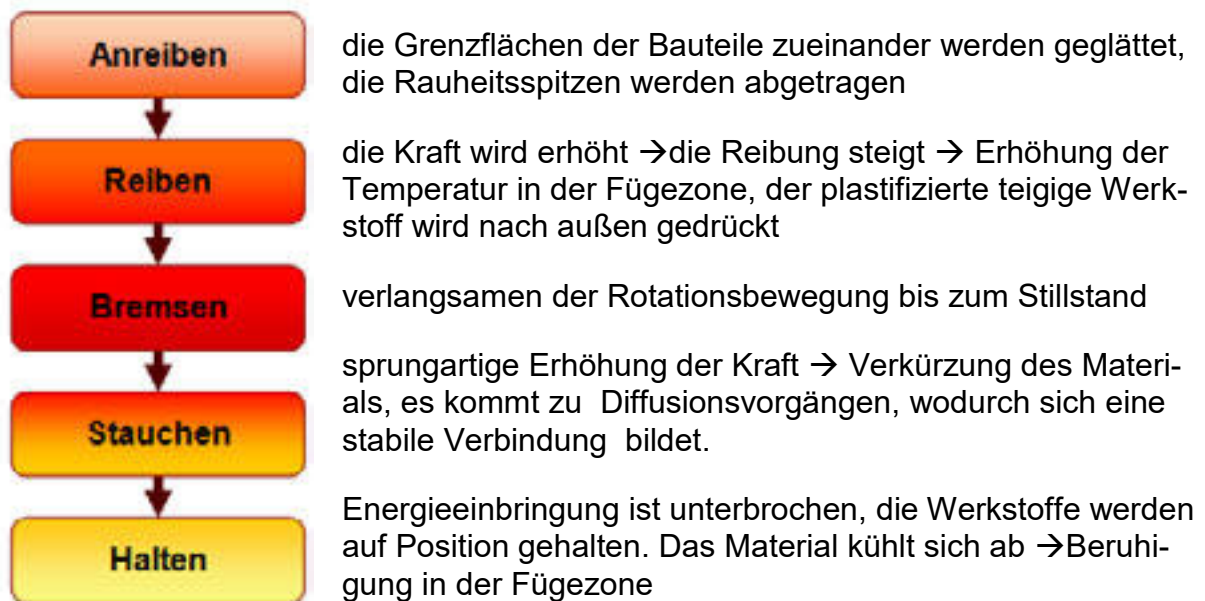


Abbildung 2: Prozessstufen

## 1.3 Vor- und Nachteile

Reibschweißen besitzt gegenüber den schmelzmetallurgischen Fügeverfahren eine Reihe von Vorteilen, die sich im Wesentlichen auf folgende Punkte beziehen:

- + sehr kurze Fertigungszeiten,
- + Verzugsarmut,
- + Hohe Festigkeit der Verbindung,
- + hohe Reproduzierbarkeit,
- + hohe Produktivität,
- + geringer Energieeintrag,
- + vielfältige Werkstoffkombinationsmöglichkeiten,
- + hoher Automatisierungsgrad,
- + keine Zusatz- oder Hilfsstoffe notwendig (nur in Ausnahmefällen),
- + kein Anfallen von Schlacke und Gasen.

Diesen Vorteilen stehen jedoch einige Nachteile gegenüber, wie:

- hohe Investitionskosten auf Grund spezieller Maschinenlösungen,
- unerwünschte Bildung einer Reibwulst

## 2 Neue Verfahrensgrenzen

Durch konventionelles Reibschweißen lassen sich zwar unterschiedlichste Metalle miteinander verbinden. Aber bei Anwendungen mit Hartmetallen, Titanaluminiden und Nickelbasislegierungen stößt das Verfahren an seine Grenzen, da diese Verbindungen nur mit unbefriedigender Festigkeit gefügt werden. Der Grund sind überwiegend Spannungsrisse, diese entstehen durch einen unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten und eine voneinander abweichende Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe. Diese Mikrorisse schwächen oder zerstören die Struktur der Verbindung. Um diese kritischen Werkstoffe dennoch prozesssicher mit einander zu verbinden, musste das Verfahren erweitert bzw. verbessert werden. Erreicht wurde das durch die Integration einer zusätzlichen Erwärmung in den etablierten Prozess. So erfolgt jetzt beim Schweißen von kritischen Materialien eine Vorwärmung und/oder definierte Abkühlung des gefügten Bauteils. Dabei wird der warmfestere Werkstoff vor dem eigentlichen Reibschweißen auf ein bestimmtes Temperaturniveau gehoben. Auch können jetzt Bauteile die sich in ihren Volumina stark unterscheiden gefügt werden. Hierbei wird durch die hohe Wärmekapazität des massiveren Bauteils die Wärme aus der Fügezone abgeleitet, wodurch Diffusionsvorgänge, insbesondere des massiveren Partners verhindert werden. Zur Erzeugung der benötigten Wärme eignet sich die konduktive Erwärmung am besten.

Die Vorteile des neuen Verfahrens:

- verbessertes Fügen von Bauteilen mit variablen Querschnittssprüngen
- Minimierung von Wärmeverzügen
- Abbau von Spannungen während der Abkühlphase

### 2.1 Versuchsmaschine MVR 200



Abbildung 3: MVR 200

Die MVR 200 ist eine vertikale Reibschweißmaschine mit einer servo-elektrischen, kraftgerelten und weg-zeit gesteuerten Vorschubeinheit. Zusätzlich ist sie mit einem Drehsupport ausgestattet, welcher eine spanende Vor- und/oder Nachbearbeitung der Werkstücke erlaubt. Eine weitere Besonderheit der Maschine ist das drehwinkelgenaue Positionieren der Rotationsachse.

Die MVR 200 wurde mit einem Einphasen-Transformator erweitert. Am Drehsupport zusätzlich eine Kupferschiene mit austauschbaren Elektroden zur Stromeinleitung angebracht.

## 2.2 Konduktion

Das zu erwärmende Objekt ist Teil des elektrischen Stromkreises. Die Erwärmung erfolgt durch Widerstandserwärmung direkt im Bauteil über den gesamten Querschnitt. Den benötigten Strom liefert ein Transformator (bis 7200A). Die Erwärmung wird definiert durch die Stromstärke, die Zeit sowie indirekt über das Elektrodenmaterial, die Elektrodengeometrie und den Anpressdruck.

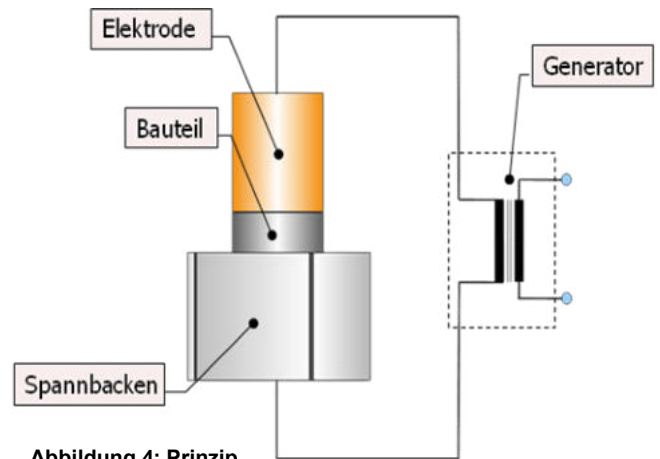


Abbildung 4: Prinzip

Die konduktive Erwärmung bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Verfahren: hoher Wirkungsgrad bei minimaler Raumerwärmung, reproduzierbare gleichmäßige Erwärmung über den gesamten Querschnitt, steuerbare Heizprofile und eine sehr gute Automatisierbarkeit.

## 2.3 Versuche

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedene Versuche bei denen die verschiedenen Parameter variiert wurden. In Abb. 5 ist die Abhängigkeit der erreichten Temperatur vom Anpressdruck dargestellt. Je geringer der Anpressdruck der Elektrode auf die Probe umso höher die Temperaturen. Dies lässt sich durch den größeren Übergangswiderstand begründen. Die Abb. 6 bis 8 verdeutlichen wie die erzielten Temperaturen von dem verwendeten Elektrodenmaterial und der eingestellten Stromstärke abhängen.

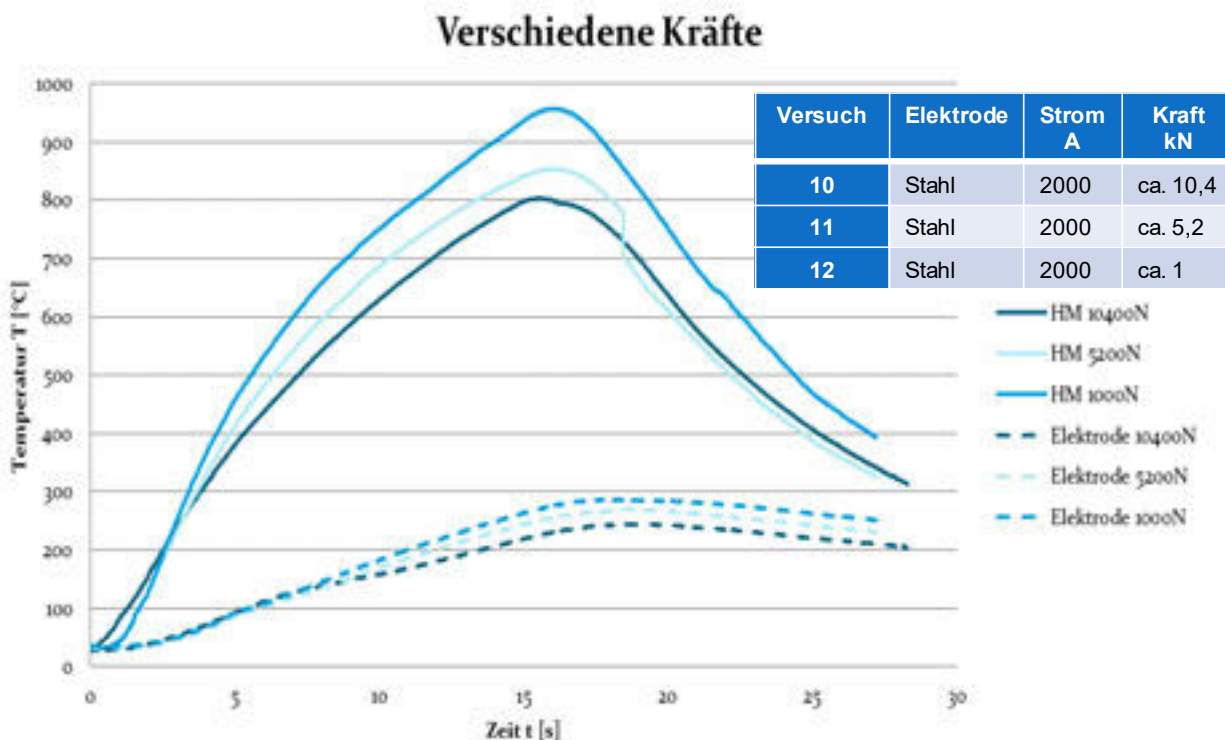


Abbildung 5: Anpresskraft-Temperaturverhältnis

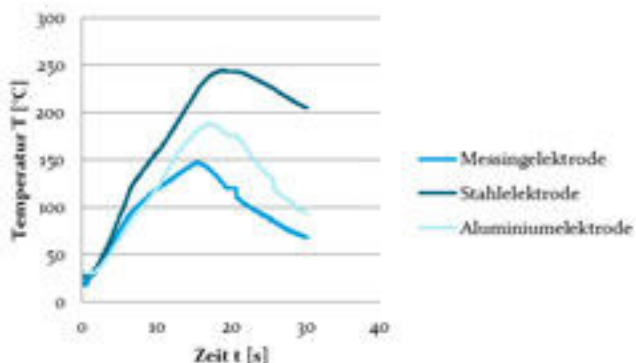


Abbildung 6: Elektrodentemp. 2000A

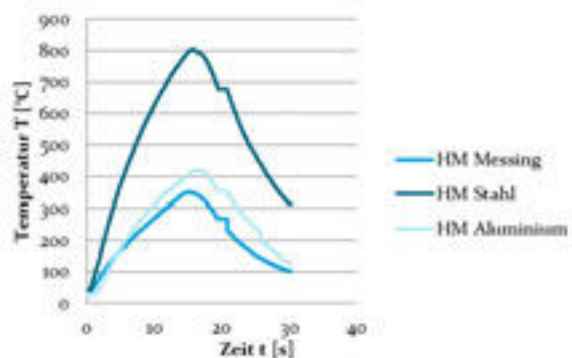


Abbildung 7: Hartmetalltemp. 2000A

Versuch	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elektrode	Messing	Messing	Messing	Stahl	Stahl	Stahl	Aluminium	Aluminium	Aluminium
Strom A	1000	1500	2000	2000	1500	1000	1000	1500	2000
Kraft kN	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10	ca. 10

Abbildung 8: Parameter

Durch die konduktive Erwärmung war es erstmalig möglich Hartmetall mit Silberstahl zu verbinden. Aus diesen Proben wurden die ersten Hybrid-Spiralbohrer gefertigt und getestet. Die Tests der Bohrer waren vielversprechend, natürlich ist weiteres Optimierungspotential vorhanden.



Abbildung 9: Hybrid-Spiralbohrer

### 3 Ausblick

Das Entwicklungspotential dieser Technik ist noch nicht erschöpft. Durch kontinuierliche Temperaturmessung kann eine In-Prozess Temperaturregelung mittels entsprechender Anpassung der Stromstärke erfolgen. Zukünftig ist eine kombinierte Wärmeleitung mit Hilfe einer Regelung der Reibkraft und Stromstärke zu entwickeln. Das Ziel ist die perfekte, energetisch optimierte Schweißung zu generieren.

An dem Verbundprojekt sind die:

- ENA – Elektrotechnologien und Anlagenbau GmbH, Atzendorf
- H&B Omega Europa GmbH, Osterweddingen
- InKRAFT mbH, Ingenieurgesellschaft für kraftgeregelte adaptive Fertigungstechnik Magdeburg
- Hochschule Magdeburg-Stendal

beteiligt.



# **Kultur- und Medienwissenschaften**

**Sitzungsleiter:**

Prof. Dr. R. Lückmann (HS Anhalt)





## **„Die Einseitigkeit ist Programm.“ – Rahmenbedingungen einer internationalen Hochschulkooperation**

Gwendolin Lauterbach, Phone: ++49.375-536-1370, Fax: ++49.375-536-1527, E-Mail: gwendolin.lauterbach@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr. Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

### **Abstract**

Kooperationen mit Hochschulen werden in Bezug auf den Wissenstransfer, den kulturellen Austausch und für Verbesserungen in Bildung und Forschung als besonders förderungswürdig erachtet und gelten in der Regel als leistungsfähiger als wirtschaftliche Kooperationen (vgl. BMBF 2008, Weidemann 2007). Viele Rahmenbedingungen beeinflussen jedoch Projekt und Projekterfolg. Im vorliegenden Fall einer deutsch-kirgisischen Hochschulkooperation, die bereits mehrere Jahre besteht, arbeiten Deutsche und Kirgisen in mehreren Projekten zusammen und haben unterschiedliche Positionen inne. Hierarchiefragen sind dabei von besonderer Bedeutung und werden von den Beteiligten wiederholt zur Sprache gebracht. Im Rahmen eines Dissertationsprojektes wurde mit Hilfe problemzentrierter Interviews untersucht, wie sich Hierarchie im konkreten Projekt darstellt und welche Einflussfaktoren bestehen. In diesem Beitrag sollen diese überblicksartig dargestellt und kritisch betrachtet werden. Es wird erkennbar, dass einerseits insbesondere übergeordnete Institutionen wie Förderorganisation und Hochschule und andererseits kulturspezifische Bedeutungen von Alter und Geschlecht die Kooperation sehr stark prägen. ‚Gleichberechtigung‘ und ‚Entwicklung‘ ergeben sich dabei in vielerlei Hinsicht als entgegengesetzte Parameter.

**Keywords:** Hochschulkooperation, interkulturell, institutionell, Entwicklung, Hierarchie, Asymmetrie, qualitative Forschung, Interviews

## **1 Hochschulkooperationen mit Entwicklungsländern**

Die verstärkte Zusammenarbeit mit Hochschulen in Entwicklungsländern wird von deutscher Seite als besonders förderungswürdig erachtet, damit soll den dort ansässigen Hochschulen v. a. ein Zugang zur ‚globalen Wissensvernetzung‘ ermöglicht werden. Für die deutsche Seite bietet sich in erster Linie der Vorteil international erfahrener Fachkräfte und eine Erhöhung der Attraktivität des Hochschulstandortes (vgl. DAAD 2006). Dabei wird laut DAAD eine gleichberechtigte Partnerschaft als Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit angesehen (ebd., 1). Inwiefern wird es und kann dies in der Realität erfüllt werden? Laut Kokemohr und Gabriel (2007) sollten sich Asymmetrien in Kooperationen mit Entwicklungsländern relativieren, da in verschiedenen Phasen der Projektarbeit unterschiedliche Ressourcen eingebracht werden müssen, bei denen jeweils einer der beiden Partner über einen Vorteil verfügt. Dies trifft z. B. auf die Einbringung von Wissen zu: Oft steuern zwar die entwickelten Länder das wesentliche Know-how bei, Entwicklungsländer verfügen aber über notwendiges lokales Wissen, das sich aus besseren wirtschaftlichen, politischen und kulturellen Landeskenntnissen ergibt (ebd., 630). Verschiedene Faktoren führen jedoch dazu, dass einem der Partnerländer eine höhere Bedeutung zugeschrieben wird: Assoziationen zum Begriff ‚Entwicklung‘, v. a. mit geschichtlichem Rückblick, machen eine Zusammenarbeit auf Augenhöhe oft problematisch, da mit diesem eine Abhängigkeit, Vormacht des entwickelten Staates und passive Rolle des Entwicklungslandes in Verbindung gebracht wird. Zudem schaffen Staat und Trägerorganisationen in Hochschulkooperationen, besonders in solchen mit einer finanzschwachen Partnerseite, i. d. R. die notwendigen finanziellen Grundlagen und sind für die Gestaltung der Rahmenbedingungen verantwortlich. Die Projektförderung stammt meist aus dem entwickelteren Staat und wird zwar projektbezogen vergeben – Mittelempfang und -verteilung fallen jedoch in der Regel dem Partner im Land der Förderorganisation zu. Dies zieht zudem nach sich, dass Evaluationen, die von Trä-

gerorganisationen vorgenommen werden, die Standards des entwickelten Landes, hier Deutschland, und damit ein entsprechendes Wissenschaftsverständnis ansetzen, das nicht immer mit dem Wissenschaftsverständnis im Partnerland übereinstimmt. Die Verwendung der Projektsprache ist ein weiterer Aspekt, der auf die Kooperation einwirkt und je nach Verwendung von Mutter- oder Fremdsprache bzw. aufgrund unterschiedlicher Beherrschungsgrade einem der Partner sprachliche Vorteile bietet (vgl. Weidemann 2007). Zudem gehören kulturelle Hintergründe zu den wichtigen Einflussfaktoren auf eine interkulturelle Kooperation und werden nachfolgend für das Zielland Kirgisistan expliziert.

## 2 Kirgisistan

In Kirgisistan sind tiefe Hierarchien vorherrschend. Rangordnungen, Namentabus und der respektvolle Umgang mit älteren Menschen gehören zu wichtigen kulturellen Werten. Unbekannte und ältere Menschen werden gesiezt, in der Regel auch die eigenen Eltern. Besonders deutlich treten auch Unterschiede zwischen Männern und Frauen hervor: Der Mann nimmt eine höhere Position in der Familie und im Berufsleben ein – die Frau kümmert sich in erster Linie um das Wohlergehen ihrer Familie, danach um die eigenen Interessen. Neben diesen hierarchielevanten Einflüssen zeichnet sich der zentralasiatische Kulturraum durch eine eher kollektivistische Orientierung und indirekte Kommunikation aus. Damit geht auch eine häufige Konfliktvermeidung und ‚Gesicht wahren‘ einher. Den Kirgisen wird weiterhin hohe Gastfreundlichkeit und Hilfsbereitschaft nachgesagt: Nachbarschaftshilfe, Unterstützung innerhalb des Clans oder der näheren Umgebung sind selbstverständlich, (ausländische) Gäste werden aufgeschlossen und herzlich empfangen, Einladungen zum Essen sind meist an der Tagesordnung (vgl. Albrecht 2009, Pander o. J.). Solche kulturellen Werte beeinflussen die Zusammenarbeit: unterschiedliche Bewertungen von Macht und Status können zu Konflikten führen. Individualistisch orientierte Kulturen haben außerdem andere Auffassungen davon, wie Leistung erbracht werden soll und wer Verantwortung trägt als kollektivistische Länder. Insgesamt ergeben sich in solch einer interkulturellen Zusammenarbeit zwar viele Potentiale (durch Kreativität und Innovationen), es besteht aber auch die Gefahr von Problemen und Prozessverlusten.

## 3 Forschungsprozess und Ergebnisse

Im Rahmen meines Dissertationsprojektes wurden im Zeitraum von April bis September 2010 zehn qualitative, problemzentrierte Interviews mit Projektbeteiligten einer deutsch-kirgisischen Hochschulkooperation zum Thema ‚Hierarchie‘ durchgeführt.<sup>1</sup> Dabei kam ein Leitfaden zum Einsatz, der die Punkte Wahrnehmung von Hierarchie, Einflüsse auf die Projektbeziehungen und -zusammenarbeit sowie Bewertung dieser in den Mittelpunkt stellte. Die hier betrachtete Kooperation besteht bereits seit 2003 und erstreckt sich bis heute über drei verschiedene Projekte: Im bedeu-

---

1 Dieses setzt sich aus einer Interview- sowie einer ethnografischen Gesprächsanalyse zum Thema „Hierarchie in internationalen Hochschulkooperationen“ zusammen, um sowohl Makro- als auch Mikro-Ebene zu beleuchten. In diesem Beitrag werden Erkenntnisse aus den Interviews über (kritische) Rahmenbedingungen einer solchen Kooperation gezogen.

tendsten Feld der Zusammenarbeit wird der an der deutschen Hochschule angesiedelte Informatik-Studiengang an die kirgisische Hochschule exportiert. Nachfolgend sind aus inhaltsanalytischer Perspektive die Ergebnisse dieser Befragung deutscher und kirgisischer Projektinvolvierter dargestellt, die einen Einblick in die Einflussfaktoren einer internationalen Hochschulkooperation geben. Zu Anfang findet sich stets ein charakteristisches Zitat eines Interviewpartners zum jeweiligen Thema.

### **3.1 Wissen**

Ja, also natürlich von der deutsche Seite gibts ganz viel Know-how. Hier die Uni kann nich so viel anbieten. (.) Könnte nie so viel anbieten wie die deutsche Seite, ne. (.) Die deutsche Seite is natürlich da ganz (.) weiter entwickelt als unsere, ne. (KPK 421:423)

Dieses Zitat der kirgisischen Projektkoordinatorin (KPK) weist auf eine deutliche Asymmetrie in Bezug auf Wissen und Wissenschaftsverständnis hin. Die kirgisische Seite sieht es als selbstverständlich an, dass die deutsche Seite hier über einen wesentlichen Vorteil verfügt.

Insgesamt wird dem fachlichen Wissen sowohl vom deutschen als auch kirgisischen Partner die höchste Wertigkeit im gesamten Wissensrepertoire zugesprochen. Vor allem die kirgisische Seite bringt damit den Begriff ‚Entwicklung‘ in Zusammenhang und bewertet diese Asymmetrie nicht als negativ, sondern als momentan notwendig. Sie macht aber an anderer Stelle auch deutlich, dass sie diesen Zustand nur unter den aktuell bestehenden Rahmenbedingungen akzeptiert und sich in Zukunft, nach Verbesserung der Qualitätsstandards in Kirgisistan, sehr viel stärker einbringen möchte. In Bezug auf lokales Wissen (z. B. über die politische Lage und Sicherheit in Kirgisistan) wird aber auch der kirgisische Partner konsultiert.

### **3.2 Staat und Hochschule**

Bei uns nimmt man von oben nach unten, (.) in Deutschland von unten nach oben. (KDH 92:93)

Der Direktor der kirgisischen Fakultät (KDH), an welcher der exportierte Studiengang angesiedelt ist, äußert sich hier zum allgemeinen Hierarchieverständnis in Kirgisistan und schließt damit auch die Instanzen ‚Staat‘ und ‚Hochschule‘ ein. (Rangniedrigere haben geringes Mitspracherecht / Kompetenz ist weniger entscheidend; obere Hierarchieebenen haben zentrale Machtbefugnisse.) In beiden Fällen bedeutet dies, dass sich Regierung und Hochschulleitung stärker an (täglichen) Projektentscheidungen beteiligen als auf deutscher Seite.

Alles in allem führt dies häufig zu langwierigen und nicht immer adäquaten Entscheidungsprozessen, die auch von deutscher Seite kritisch angemerkt werden. Andererseits dienen Staat und Hochschule v. a. dem kirgisischen Partner als Rückhalt: Verantwortung kann von den Projektinvolvierten entweder abgegeben werden oder Entscheidungen können leichter durch den Rückverweis auf staatliche und hochschulinterne Vorgaben gerechtfertigt werden.

### 3.3 Finanzen

Also is sag, ich denke - Kooperation (.) bei uns die Kooperation hat n sehr, sehr deutliches Hierarchiegefälle. [...] Man (..) also wir sind ja letztendlich die, die die finanziellen Mittel haben, die die Mittelplanung gemacht haben. (DPK 871:874)

An dieser Stelle bringt die deutsche Projektkoordinatorin (DPK) ein deutliches „Hierarchiegefälle“ aufgrund der Mittelzuweisung und -verteilung zur Sprache. Darauf hat v. a. die (deutsche) Förderorganisation Einfluss: Die deutsche Partnerseite war für die Projektantragstellung verantwortlich und erhält in erster Instanz die Projektmittel und verwaltet sie. Obwohl die Mittel projektbezogen vergeben werden und beide Partner Mitspracherecht besitzen, ergibt sich für die deutsche Seite jedoch ein Wissens- und Entscheidungsvorteil, der aus der Vergabemacht entsteht.

Im Großen und Ganzen wird dieser Umstand von beiden Seiten akzeptiert und als beste administrative Möglichkeit toleriert, trotzdem besteht bei dem kirgisischen Partner der Eindruck, das Geld stamme von deutscher Seite. Dem Faktor ‚Finanzen‘ zugehörig sind weiterhin die bestehenden Ressourcen beider Länder, die sich auch auf die materielle Ausstattung auswirken, und die Bezahlung der Projektmitarbeiter: In beiden Fällen ist die deutsche Seite besser aufgestellt. Da einige Projektmitarbeiter von Universitätsseite bezahlt werden, andere von Seiten der Förderorganisation, ergeben sich v. a. in Kirgisistan Gehaltsunterschiede und Einstufungen, die nicht zwingend den Projektpositionen entsprechen und damit Probleme verursachen können.

### 3.4 Sprache

Also es is schon, schon klar (6s) - gut, vieles wird natürlich sowieso durch die Übersetzung abgefangen. Dadurch, dass die Übersetzung gleich nochn kulturellen Kontextswitch mit einbaut. (DPL 238:240)

In der vorliegenden Kooperation wird zwischen deutschen und kirgisischen Projektbeteiligten in deutscher Sprache kommuniziert; ein Teil der Kirgisen ist des Deutschen mächtig. Besonders für Besprechungen mit der kirgisischen Hochschulleitung steht aber eine kirgisische Dolmetscherin zur Verfügung. Für den deutschen Projektleiter (DPL) ist diese Sprachwahl v. a. deswegen ansprechend, da sie die Funktion eines interkulturellen Puffers erfüllt. Die Dolmetscherin ist gleichzeitig langjährige Mitarbeiterin der Kooperation, zu ihr wurde also eine entsprechende Bindung aufgebaut, sie besitzt ausreichend Projektkenntnis. Dies wirkt sich positiv auf die Kooperation aus: Übersetzungen erfolgen routiniert und werden von den Erstsprechern so gut wie nicht kritisiert oder korrigiert, auch wenn die Translation offensichtlich Änderungen der Originalaussage aufweist. Da die Dolmetscherin auch längere Zeit in Deutschland verbracht hat, können die Aussagen beider Seiten an die jeweiligen kulturellen Erwartungen angepasst werden.

Insgesamt erscheint die Sprachwahl eine selbstverständliche zu sein und die kirgisische Seite erhebt in keiner Weise den Anspruch auf Russisch- oder Kirgisischkenntnisse. Neben den Vorteilen, welche die Dolmetschertätigkeit für beide Seiten bieten kann, benennt insbesondere der kirgisische Partner aber auch das Machtpotential eines Übersetzers und die Hilflosigkeit der auf Sprachmittlung angewiesenen Beteiligten. Zudem berichten beide Seiten von Situationen, in denen sie sich durch den Wechsel anwesender Personen in eine fremde Sprache (Russisch,

Kirgisisch oder Deutsch) ausgeschlossen fühlten und/oder trotz ihrer themenbezogenen Kenntnisse ihre Kompetenzen nicht entsprechend einbringen konnten.

### **3.5 Alter und Geschlecht**

Und grade eben, dass die jungen Frauen da im - (.) also, wie in in so vielen Entwicklungsländern setzt ich da eigentlich auch auf die Frauen. (I: Ja) Ah ja, das is n Punkt - also ganz bewusst (.) hab ich in die Projektbeschäftigten immer (.) Männer eingebaut. Nich, erst Samat, dann Tologon und Azamat. Die zehn Prozent von dem tun, was Katja tut - aber hundert Prozent der Bezahlung kriegen. (DPL 447:451)

Nach Meinung der deutschen Projektpartner bestehen auf kirgisischer Seite Unterschiede in der Behandlung von Männern und Frauen und eine stark altersbezogene Hierarchie. Der deutsche Projektleiter (DPL) berücksichtigt diese kulturellen Besonderheiten sogar in der Projektplanung und setzt auf kirgisischer Seite Männer als hierarchischen Rückhalt der kirgisischen Projektmitarbeiterinnen ein, die seiner Ansicht nach jedoch kompetenter sind. Auch bei anderen Projektbeteiligten besteht die Auffassung, dass Frauen in Kirgisistan mehr leisten, da sie es müssen, um bessere Karrierechancen zu erhalten.

Auf kirgisischer Seite (v. a. von höheren Instanzen) wird der Einfluss von Alter und Geschlecht als wenig wichtig dargestellt, es werden (wahrscheinlich da sozial erwünscht) die Qualifikationen der Mitarbeiter hervorgehoben. Tatsächlich ist auch erkennbar, dass sich Frauen und jüngere Projektmitarbeiter im Laufe der Zusammenarbeit einen entsprechenden Ruf erarbeiten können und ernster genommen werden. Dass aber auch deutsche Projektmitarbeiterinnen Bedenken zu ihrem Mitspracherecht gegenüber kirgisischen Partnern äußern zeigt, dass mit einer Gleichberechtigung nach wie vor Anstrengung verbunden sind.

## **4 Fazit**

Eine Vielzahl von Rahmenbedingungen beeinflusst eine internationale Hochschulkooperation; dazu kann an dieser Stelle nur ein kurzer Einblick gegeben werden. Neben der Einflussnahme anderer Instanzen (Hochschule, Staat, Förderorganisation), der Bedingungen in den Partnerländern (Finanzen, Technik, Know-how) gehören kulturelle Werte zu den entscheidenden Faktoren. In der hier betrachteten Hochschulkooperation ist der Entwicklungsstandard (bewusst und unbewusst) zentral und beeinflusst die Hierarchieverhältnisse in den Projekten. In Verbindung damit sind die programmatischen Rahmenbedingungen der Förderorganisation zu nennen, welche sich auf den Entwicklungsaspekt beziehen: Da es sich z. B. um den Export eines Studienganges handelt, so die deutsche Projektkoordinatorin - ‚ist die Einseitigkeit Programm‘ (DPK 1008:1009). Im Vergleich mit der gesprächsanalytischen Studie von Martini (2008) über eine deutsch-kubanische Hochschulkooperation zeigen sich Gemeinsamkeiten: Es besteht z. B. ein „Lehr-Lern-Verhältnis“ zwischen der deutschen und der kubanischen Seite; auf kubanischer ist die Hierarchietiefe größer. Die hier herausgefilterten Faktoren beeinflussen in ihrer Gesamtheit die Positionen der Projektbeteiligten, ihre Verantwortlichkeiten und Beziehungen zueinander. Wie sich gezeigt hat, können viele Faktoren zu Problemen durch Unzufriedenheit und Ungleichbehandlung auf beiden Partnerseiten (besonders aber auf der kirgisischen Partnerseite als Entwicklungsland) führen. Andererseits wird aber auch deutlich,

dass in dieser Kooperation Negatives selten expliziert wird bzw. die Umstände als gegeben angenommen werden. Darauf hat die (lange) Dauer der Kooperation Einfluss, die ein ständig steigendes Maß an Vertrauen mit sich bringt und (persönliches) Interesse von Projektbeteiligten aufzeigt. Dies signalisiert gleichzeitig eine gewisse Unabhängigkeit des Projektinteresses von finanziellen Rahmenbedingungen und schwächt damit Hierarchien, die sich aus den finanziellen Ressourcen ergeben, ab. Eine gleichberechtigtere Zusammenarbeit kann erreicht werden, indem die Projektpartner sich nicht als aufgeteilt in eine kirgisische und eine deutsche Seite verstehen, sondern als ein Team, das sich einem Projektproblem gemeinsam widmet. Dieser häufig formulierte Erfolgsfaktor gewinnt an praktischer Bedeutung, wenn man sich die kritischen Punkte der Rahmenbedingungen (Finanzen, Wissen) vor Augen hält. Wie sich im Theorieteil bereits andeutete, könnten aber v. a. die Trägerorganisationen dazu beitragen, Asymmetrien abzubauen.

## Literatur

- Albrecht, K. (2009): Interkulturelle Trainings für kirgisische Studenten als Vorbereitung für einen Auslandsaufenthalt an der Westsächsischen Hochschule Zwickau. Diplomarbeit. Zwickau.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2008): Bundesbericht Forschung und Innovation 2008. Bonn, Berlin.
- DAAD (2006a): Fachbezogene Partnerschaften mit Hochschulen in Entwicklungsländern.\*. Verfahren und Richtlinien für die Förderung. Online verfügbar unter [http://www.daad.de/de/download/entwicklung/hochschulpartnerschaften/hsp-merkblatt2006\\_dt.pdf](http://www.daad.de/de/download/entwicklung/hochschulpartnerschaften/hsp-merkblatt2006_dt.pdf), zuletzt geprüft am 11.01.2010.
- Kokemohr, R.; Gabriel, K. H. (2007): Entwicklungszusammenarbeit. In: Straub, J.; Weidemann, A.; Weidemann, D. (Hg.): Handbuch interkulturelle Kommunikation und Kompetenz. Grundbegriffe - Theorien - Anwendungsfelder. Stuttgart: Metzler, S. 627–636.
- Martini, M. (2008): Deutsch-kubanische Arbeitsbesprechungen. Eine gesprächsanalytische Studie zu gedolmetschter Kommunikation in internationalen Hochschulkooperationen. Tübingen: Stauffenburg Verlag.
- Pander, K. (o.J.): Zentralasien. Usbekistan, Kirgistan, Tadschikistan, Turkmenistan, Kasachstan: Dumont Kunst Reiseführer.
- Weidemann, D. (2007): Wissenschaft und Forschung. In: Straub, J.; Weidemann, A.; Weidemann, D. (Hg.): Handbuch interkulturelle Kommunikation und Kompetenz. Grundbegriffe - Theorien - Anwendungsfelder. Stuttgart: Metzler, S. 667–678.

## **Mashup als Geschäftsmodell - Kommerzielle Mashup-Strategien unter Verwendung von Affiliate-Programmen**

Dipl. Wi.-Inform. (FH) Andreas Witt, Phone: ++49.3381-355-245, E-Mail: witt@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Magdeburger Str. 50 14770 Brandenburg

### **Abstract:**

**Mashups sind Web-basierte Anwendungen die Inhalte und Funktionen von verschiedenen Onlinequellen unter Verwendung öffentlich zugänglicher Schnittstellen (z.B. RSS, API) miteinander kombinieren. Der Großteil der entwickelten ca. 5400<sup>1</sup> Mashups befasst sich mit Mapping-Anwendungen auf Basis von Geo-Informationen (z.B. Google Maps). Dadurch schaffen sie zwar einen bestimmbareren Nutzen, bieten aber keine und nur unzureichende Revenue-Modelle. Der vorliegende Beitrag wird anhand einer prototypischen Untersuchung zeigen, dass Mashups auf Basis von Affiliate-Programmen dem Nutzer nicht nur einen Mehrwert, sondern direkte und indirekte Möglichkeiten zur (Re-) Finanzierung bieten. Dabei werden verschiedene Erfolgsfaktoren benannt und auf ihre Anwendbarkeit geprüft.**

**Keywords:** mashup, web 2.0, mapping, affiliate marketing, portale

## **1 Kommerzielle Erfolgsfaktoren von Mashups**

Mashups sind Web-basierte Anwendungen, die mindestens zwei verschiedene Datenquellen und/oder Anwendungen unter Verwendung von öffentlich verfügbarer (Programmier-) Schnittstellen (z.B. API, RSS, etc.) miteinander kombinieren und dabei eine neue Anwendung mit zusätzlichem Nutzen entstehen lassen [vgl. s. 4, Carl et al., 2008].

Die Idee Mashups als eigenes Geschäftsmodell zu betrachten ist nicht neu. Bereits Carl, Clausen, Hassler und Zund haben die Idee aufgegriffen und mögliche Revenue Modelle und Gefahren skizziert [vgl. S. 67 ff, Carl et al., 2008]. Die größten Risiken, die Carl, Clausen, Hassler und Zund im Zusammenhang mit Mashups sehen, sind Abhängigkeiten zur API des Content-Providers und zur Abgrenzung von anderen Mashup-Lösungen. Als Beispiel führen sie die Reintegration von interessanten Mashup-Anwendungen an. Durch die Nutzung der vom Content-Provider angebotenen API werden neue, auch für den Content-Provider so interessante Anwendungen geschaffen, dass er diese in seine eigene Webseite/Anwendung direkt integriert. Eine solche Reintegration erschwert die Abgrenzung zwischen Mashup-Anbieter und Content-Provider und kann sich somit negativ auf den Erfolg der Mashup-Anwendung auswirken.

Etwas anders sieht dies bei Affiliate-Programmen aus, deren primäres Ziel die Umsatzsteigerung auf Provisionsbasis ist. Ein solches Ziel ist nur erreichbar, wenn entsprechende Daten vom Content-Provider zur Verfügung gestellt werden. Durch die Vielzahl an Affiliate-Netzwerken<sup>2</sup>, wie z.B. Zanox, Tradedoubler, Affilinet, etc. hat

---

<sup>1</sup> <http://www.programmableweb.com> Stand 12/2010

<sup>2</sup> Affiliate-Netzwerke (<http://www.affiliatenetzwerk.de>) bilden die Schnittstelle zwischen Werbetreibenden (Merchant) und Webseitenbetreiber (Publisher). Das Affiliate-Netzwerk bietet Infrastrukturu-

sich die von Carl, Clausen, Hassler und Zund angesprochene Abhängigkeit zur API des Content-Providers inzwischen jedoch wesentlich verringert.

Um die von Carl et al. als Problem benannte Abgrenzung zu anderen Mashups zu erreichen, lassen sich bereits bekannte Lösungsmöglichkeiten nutzen. So empfiehlt es sich nicht nur bestehende Datenquellen neu miteinander zu kombinieren, sondern zusätzlichen, einzigartigen Content anzubieten bzw. zu schaffen. Dies zeigte eine explorative Studie von Novak und Voigt [vgl. Novak et al.,2006], bei der zwar nur ein geringer Teil der untersuchten Mashups (14,3%) eine Informationsanreicherung, z.B. durch den Nutzer (User Generated Content) ermöglichen, diese jedoch erfolgreicher scheinen als der Großteil der Mashups (85,7%) die (nur) darauf abzielen, Zugang auf bereits vorhandene Daten zu geben. Als Ergebnis der explorativen Studie ermittelten Novak und Voigt u.a. folgende Erfolgsfaktoren für Mashups [vgl. S. 6, Novak et al.,2006]:

- Nischendesign<sup>3</sup> des Mashups
- Manuelle Community-basierte Inhaltsgenerierung bzw. –anreicherung
- Soziale Informationsanreicherung (z.B. Profile und Geotagging)

Ein weiterer entscheidender Erfolgsfaktor ist nach Novak und Voigt eine hohe Spezifität der Informationen, die sich an den Bedürfnissen der Nutzer und deren geografischem Umfeld orientieren.

Nach Ansicht von Ebersbach, Glaser und Heigl ist die Voraussetzung für erfolgreiche Mashups die optimale technische Verknüpfung der drei nachfolgenden Komponenten [vgl. S. 139, Ebersbach et al., 2008]:

1. Browser des Nutzers (technische Voraussetzung)
2. Mashup-Webseite (Usability, Funktionsumfang, Mehrwert)
3. Datenquellen (Datenbasis und Zugriffsmöglichkeiten auf die Daten)

Um eine optimale Verknüpfung der genannten Komponenten zu erreichen, sollte der Zugriff auf die Datenquellen des Content-Providers über RSS-Feeds, Widgets und APIs erfolgen.

Die von Ebersbach et al. genannten Faktoren sollten unseres Erachtens als Grundvoraussetzungen betrachtet werden, die in jedem Falle erfüllt sein müssen, um ein (erfolgreiches) Mashup zu entwickeln. Die von Novak et al. genannten Kriterien könnten entscheidende Faktoren für einen kommerziellen Erfolg sein.

Neben den bereits genannten Faktoren sind auf der Basis unserer Erkenntnisse jedoch noch die Folgenden für kommerziell erfolgreiche Mashups umzusetzen:

- Kontextabhängige Darstellung der Mashup-Daten
- Grafische Gestaltung der Mashup-Daten
- Variation<sup>4</sup> der Mashup-Daten

---

ren zur Messung von Klicks, Leads und Sales, die zur Abrechnung der Vergütungen benötigt werden.

<sup>3</sup> Entwurf einer Mashup-Anwendung (Software-Lösung) unter Berücksichtigung einer Marktnische zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen durch Spezialisierung und Individualisierung [vgl. S.61ff Nickel, 2011]



Welche der genannten Faktoren jedoch nachweislich zu einem kommerziellen Erfolg eines Mashups beitragen, soll ein prototypisches Mashup auf Basis von Affiliate-Programmen zeigen.

## **2 Kommerzielle Mashup-Strategien am Beispiel eines Software-Portals**

Um eine gemeingültige Anwendbarkeit von Erfolgskriterien zu untersuchen, wurden die genannten Grundvoraussetzungen von Ebersbach et al., das Nischendesign von Novak et al. und die 3 letztgenannten Faktoren bei der Entwicklung des hier vorgestellten Mashup berücksichtigt. Die von Novak und Voigt erwähnte Orientierung am geografischen Umfeld wurde außer Acht gelassen, da sie sich auf Mapping-Anwendungen<sup>5</sup> bezieht. Gleiches gilt für die auf soziale Netzwerke orientierten Informationsanreicherungen.

Als Basis für eine Untersuchung von kommerziellen Erfolgsfaktoren bei Mashups dient das Software-Portal „Free Mac Software“<sup>6</sup>. Dort wird in deutscher Sprache freie Mac OS X Software kategorisiert vorgestellt. Dabei liegt der Fokus auf einer textlichen Kurzbeschreibung, zusammen mit Systemvoraussetzungen, Screenshots und Videos. Auf dem Portal werden nur freie und kostenlose Programme vorgestellt. Mit dieser Ausrichtung erfüllt das Mashup das von Novak und Voigt benannte Nischendesign. Die (einzigartige) Datenbasis soll nun durch weitere externe Datenbestände ergänzt werden, um einen realen Mehrwert für die Nutzer und gleichzeitig Umsatz für die Betreiber zu generieren.

Im Vordergrund von Mashups steht immer der Mehrwert für den Nutzer. Daher wurde überlegt, wie sich die Softwarebeschreibungen der Webseite mit solchen Systemen sinnvoll ergänzen lassen. Die aufgelisteten Ideen wurden in der Folge umgesetzt:

- Bücher zur Software,
- zur Software passende iPhone und iPad Apps,
- Hardware und
- kommerzielle Software-Alternativen.

Als Content-Provider für die zusätzlichen Inhalte wurden das Amazon Affiliate-Programm<sup>7</sup> und das Affiliate-Netzwerk TradeDoubler<sup>8</sup> ausgewählt. Beide Provider bieten unter anderem eine API, die einen dokumentierten Zugriff auf den Content auf Datenebene erlaubt und die für verschiedene Programmiersprachen vorliegt. Dadurch lassen sich die von Ebersbach et al. genannten Grundvoraussetzungen technisch realisieren. Durch den Zugriff auf den angebotenen Datenbestand von Amazon (Bücher) und TradeDoubler (iPhone & iPad Apps und Apple Hardware) über

---

4 Darstellung (grafisch, Anzahl, Reihenfolge, etc.) der Mashup-Daten in Abhängigkeit vom Besucher und/oder Besucherverhalten

5 Mapping-Anwendungen sind eine spezielle Klasse von Mashups, die Geo-Informationen (z.B. mit Google Maps) mit anderen Daten verknüpfen [vgl. Merill, 2006]

6 <http://www.free-mac-software.com>

7 <https://partnernet.amazon.de>

8 <http://www.tradedoubler.com>

eine dokumentierte API kann zudem individuell Einfluss auf die grafische Gestaltung und auf die Variation der Darstellung der Mashup-Daten genommen werden.

Zunächst wurde versucht Bücher, iPhone bzw. iPad-Apps und Hardwareangebote auf der Webseite als Mashup zu integrieren. Die Bücher wurden auf Basis der Amazon API in die Webseite eingebunden. Diese erlaubt es, alle Basisdaten eines Buches auszulesen und weiter zu verwenden – unter anderem Buchcover, ISBN, Preisinformationen, Autor, Titel, Bindung, Kategorien, etc. Die Einbindung der iPhone und iPad Apps erfolgt über das iTunes-Partner-Programm bei TradeDoubler. Ähnlich wie bei Amazon können hier Basisinformationen zu einer iPhone bzw. iPad App über eine API ausgelesen werden. Dazu gehören unter anderem Bezeichnung, Icon, Screenshots, Beschreibungen, etc. Um eine weitere Differenzierung in der Darstellungsform der eingebundenen Mashup-Daten untersuchen zu können, erfolgte die Einbindung der Angebote zu Hardware in Form von klassischen (grafischen) Werbebannern über das Apple Store Partner-Programm bei TradeDoubler. Hier wurden keine API sondern vorgefertigte Grafiken genutzt.

Die Integration der Mashup-Daten (Bücher, iPhone & iPad Apps und Hardware) erfolgte so, dass ein Nutzer per Klick auf den Link sofort in den Amazon, iTunes oder Apple Store weitergeleitet wird. Dies hat den Nachteil, dass der Nutzer die Webseite verlässt, andererseits den Vorteil, dass sich der Kunde im jeweiligen Shop bewegt und neben den für ihn interessanten Bücher/Apps/Hardware weitere Produkte entdecken (und natürlich kaufen) kann.

Da die Wahrnehmung von Informationen auf einer Webseite nicht nur von der grafischen Gestaltung<sup>9</sup> sondern auch von der Positionierung<sup>10</sup> abhängig ist, wurden die genannten Mashup-Daten zufallsgesteuert immer an derselben Stelle auf der Webseite angezeigt. Dadurch ist eine identische Ausgangslage für die Integration und spätere Interpretationen gegeben.

### 3 Analyse und Auswertung

Basis für die Analyse und Auswertung der integrierten Mashup-Daten sind die Reports der Affiliate-Programme und die Besucherstatistiken<sup>11</sup> der Webseite. Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf der generierten Umsätze durch den „Verkauf“ von Produkten bei Amazon, iTunes und Apple.

Die Implementierung der Bannerwerbung (grafisches Werbemittel) für Hardware von Apple (graue Linie) führte zu Beginn zu einer starken Umsatzperformance, ließ jedoch schnell nach. Lediglich von Apple in der Presse durchgeführte Produktvorstellungen die als „Special Events“ angekündigt wurden, führten zu erhöhten Umsätzen. Ein dauerhafter Anstieg der Besucherzahlen war nach den Special Events nicht zu verzeichnen.

Die Integration der iPhone und iPad Apps erfolgte dagegen über eine API und wurde grafisch an die Webseite angepasst. Hier zeigt der Graph (strich-gepunktete Linie)

---

<sup>9</sup> <http://adsense-de.blogspot.com/2008/11/optimierungsgrundlagen-teil-2.html>

<sup>10</sup> <http://adsense-de.blogspot.com/2008/11/optimierungsgrundlagen-teil-3-wohin-mit.html>

<sup>11</sup> Die Webseite Free Mac Software setzt die Web-Analyse-Software Google Analytics ein.

eine stetige positive Entwicklung. Auf einer Softwarebeschreibungsseite werden zwischen ein bis fünf verschiedene iPhone und iPad Apps angezeigt. Je nach Anzahl der Apps variiert die Darstellung und die Sortierung der Apps, so dass beim mehrfachen Aufruf der Seite unterschiedliche Apps bzw. eine unterschiedliche Reihenfolge zu sehen sind.

Die Einbindung der Bücher von Amazon (ebenfalls über eine API) sah kurz nach dem Start ebenfalls sehr erfolgreich aus. Leider stagnierte (gepunktete Linie) der Umsatz auf relativ niedrigem Niveau.

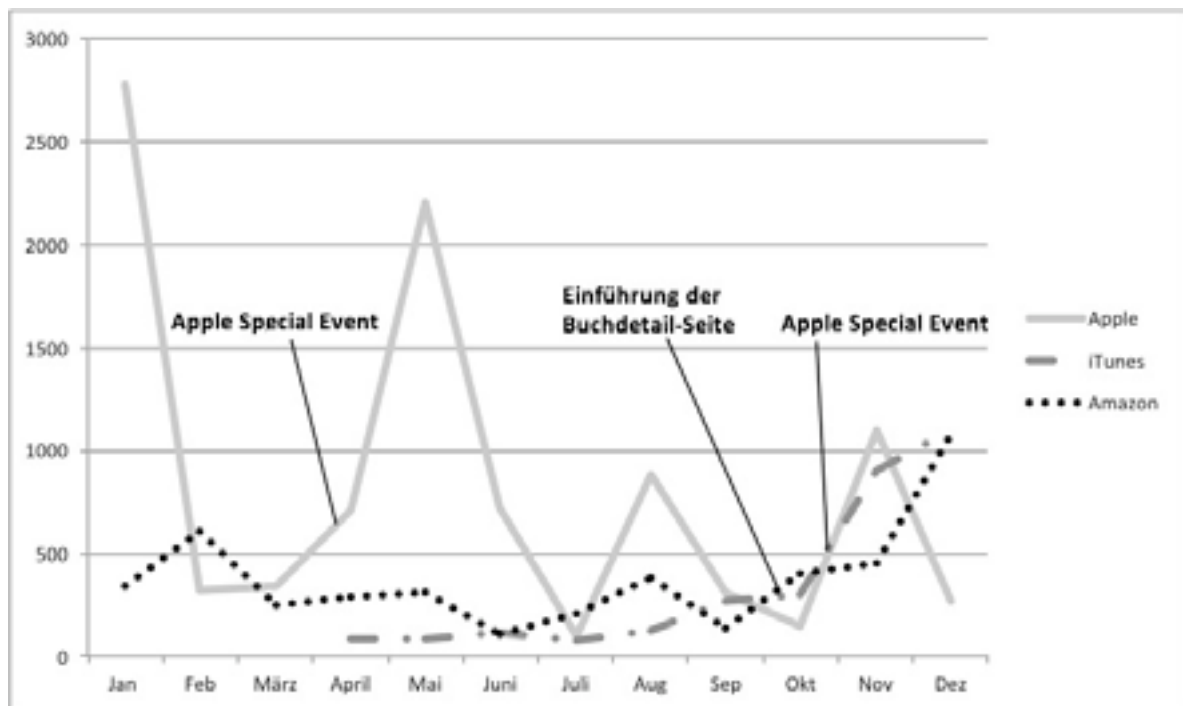


Abbildung 1: Generierte Umsätze bei Amazon und TradeDoubler (iTunes & Apple)

Um die Umsatzentwicklung bei Amazon zu verbessern wurde nachträglich eine Buchdetailseite implementiert. Diese führt dazu, dass der Nutzer nicht sofort zu Amazon weitergeleitet wird, sondern auf der Webseite verbleibt und detaillierte Informationen zum Buch erhält. Dazu gehören auch weitere themenrelevante Bücher und freie Mac OS X Software die thematisch zum Buch passen. Die zusätzliche Seite wurde ebenfalls exakt an das Design der Webseite angepasst. Kurz nach der Einführung entwickelte sich der Umsatz positiv.

Im Dezember 2010 gab es laut Google Analytics 855.867 Seitenaufrufe auf der Webseite Free Mac Software. Davon entfielen zwar nur 400 Seitenaufrufe auf die neuen Buchdetailseiten, was jedoch zu etwas mehr als einer Verdoppelung des Umsatzes führte.

Insgesamt konnten im Jahr 2010 mit dem Apple Store-Partnerprogramm fünfstellige Umsätze, mit dem iTunes-Partnerprogramm ca. ein Drittel und mit dem Amazon-Partnerprogramm rund die Hälfte dieses Betrags generiert werden.

## 4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Implementierung der genannten Mashups auf Basis von Affiliate-Programmen unter der Berücksichtigung der o.g. Erfolgsfaktoren zeigt, dass beträchtliche Umsätze generiert werden können. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Mashup-Daten für die Nutzer einen realen Mehrwert bieten. Über die Auswertungen der Bestellungen lassen sich nun zusätzliche Mashups, wie "Meist gekaufte iPhone-Apps" oder "Beliebteste Bücher" erstellen. Hierdurch würden neue Variationsmöglichkeiten (alternative Navigationseinstiege) erreicht, die über eine zufällig Anzeige von Werbemitteln (Apple Hardware) und iPhone und iPad Apps hinausgehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Nischendesign der Webseite Free Mac Software für das benötigte Besucheraufkommen sorgt. Durch die API-basierende Datenintegration kann zielgenau gesteuert werden, welche Daten (kontextabhängig) in welcher Form (grafische Gestaltung) dargestellt werden. Zusätzlich wird sichergestellt, dass sich die Mashup-Daten in die Mashup-Webseite optimal integrieren (wie von Ebersbach et al. gefordert) im Gegensatz zu vorgegebenen grafischen Werbemitteln. Was bisher noch nicht ausreichend geprüft werden konnte, ist der Einfluss der Variation der Mashup-Daten auf den Nutzer. Gleiches gilt auch für die von Voigt und Novak erwähnte nutzerbasierte Inhaltsanreicherung (z.B. durch Bewertungen und Kommentare), die in einer nächsten Ausbaustufe zu untersuchen wäre.

Unter Berücksichtigung der optimalen Kombination der von Ebersbach et al. genannten Grundvoraussetzungen lassen sich die Kriterien kontextabhängige Darstellung der Mashup-Daten, grafische Gestaltung der Mashup-Daten und Erfüllung des Nischendesigns als Erfolgsfaktoren für kommerzielle Mashups festhalten. Zusätzlich sollte eine Abhängigkeit zu einem Content-Provider soweit wie möglich vermieden werden, was sich durch die Kombination mehrerer Affiliate-Programme realisieren ließe. Andere hier genannte Faktoren, wie Variation der Mashup-Daten, soziale Informationsanreicherung und Community-basierte Inhaltsgenerierung könnten den Erfolg eines Mashups positiv beeinflussen, sind jedoch nicht zwingend erforderlich.

## Literatur

Carl, D., Clausen, J., Hassler, M., & Zund, A. (2008). Mashups programmieren (1st ed., p. 280). Köln: O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG.

Ebersbach, A., Glaser, M., & Heigl, R. (2008). Social Web. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.

Merill, D. (2006). Mashups: The new breed of Web app. IBM Web Architecture Technical Library, Retrieved from <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/x-mashups.html>.

Nickel, S. (2011). Klein ist das neue Gross. In: t3n Nr. 23. Hannover: yeebase media GbR

Novak, D.-I. J., & Voigt, B. J. J. (2006). Mashups : Strukturelle Eigenschaften und Herausforderungen von End-User Development im Web 2.0

# **Sozialwissenschaften / Gesundheitswesen**

## **Sitzungsleiter/innen:**

Prof. Dr. G. Felser (HS Harz)

Prof. Dr. G. H. Franke (HS Magdeburg-Stendal)



## **Stellen internetgestützte Interventionsangebote eine Möglichkeit dar, die Versorgungssituation psychisch Kranker in Deutschland zu verbessern?**

Juliane Hoffmann<sup>1</sup>, Prof. Dr. Claudia Wendel<sup>1</sup>

1 = HS Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

### **Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Die Weiterentwicklung internetbasierter Kommunikation bietet neue Interventionsmöglichkeiten im Bereich der psychologischen Unterstützung. Das Medium Internet ist aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken und so werden auch Hoffnungen geweckt, psychosoziale Probleme und deren unzureichende Versorgung verbessern zu können. So könnten u.a. Chats, Internetforen, E-Mail und Videokonferenzen einen Beitrag zur besseren Versorgung in verschiedenen Versorgungsgebieten der Prävention, Diagnostik, Beratung, Therapie und Nachsorge von psychischen Störungen und psychosozialen Problemen darstellen.

**Fragestellung:** Aufgrund der problematischen Versorgungslage von psychisch Erkrankten oder von Erkrankung bedrohten Menschen stellt sich die Frage nach Chancen und Risiken der Nutzung des Internets durch diese Zielgruppe im Rahmen von psychosozialen Versorgungsangeboten.

**Methoden:** Unter Berücksichtigung aktueller Bedingungen – z.B. die derzeitige Versorgungslage, das Inanspruchnahmeverhalten sowie ausgewählte Prävalenzraten psychischer Erkrankungen – wird eine differenzierte Betrachtung der Möglichkeiten der Internetnutzung für die Verbesserung des derzeitigen Versorgungsangebots durchgeführt. Chancen und Grenzen der internetbasierten Angebote sollen an zwei Beispielen dargelegt werden: zum einen das Beratungsangebot „Quit the shit“ der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) für cannabiskonsumierende Jugendliche und junge Erwachsene sowie das Nachsorgeprojekt des Children's Hospital Medical Center in Cincinnati/USA „Teen Online Problem Solving Intervention“ (TOPS) für hirngeschädigte Jugendliche und deren Familien. Darüber hinaus werden persönliche Erfahrungen aus dem Anwendungsbereich eines Online-Nachsorge-Chat berichtet, in dem Erwachsene nach einem stationären Klinikaufenthalt in der Fachklinik für psychosomatische Medizin und Psychotherapie Heiligenfeld begleitet wurden.

**Ergebnisse:** Die vorgestellten Projekte erwiesen sich im Ergebnis der durchgeführten Studien als hilfreich. Es ließen sich messbare Verbesserungen der Lebensqualität bzw. ein Rückgang des Substanzmissbrauchs bei den TeilnehmerInnen feststellen. Nachweisbar können internetgestützte Interventionsangebote eine geeignete Hilfe bei der Integration von therapeutischen Erfahrungen in den Lebensalltag darstellen und so die Versorgungslage der Bevölkerung mit psychosozialen Angeboten verbessern.

**Diskussion:** Offen bleibt jedoch, wie Online-Interventionen konzipiert sein müssen, um für Klienten hilfreich zu sein. Die notwendigen Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile eines internetbasierten Versorgungsangebots müssen darüber hinaus umfassend wissenschaftlich untersucht werden. Ebenso sind weitere Forschungen zum Langzeiterfolg maßgeblich, um langfristige Ergebnisse und Entwicklungen zu beobachten und Weiterentwicklungen anstreben zu können.

**Schlüsselwörter:** Online-Intervention; Nachsorgeangebote; Inanspruchnahme; Prävention; psychosozial, Chat

## 1 Hintergrund:

Neue Kommunikationsformen und hierbei speziell das Medium Internet sind aus dem alltäglichen Leben in den Industrienationen nicht mehr wegzudenken. E-Mail und Online-Konferenzen bieten jedem Menschen die Möglichkeit, sich unabhängig von Ort und Zeit unterhalten zu können. Dabei rückt das Sprechen immer mehr in den Hintergrund, schriftbasierte Kommunikation gewinnt hingegen an Bedeutung. So wird der grundlegende Prozess der Kommunikation verändert, es ergeben sich neue Bedingungen, die von den Gesprächspartnern beachtet werden müssen, z.B. die zeitversetzte Kommunikation, das Fehlen von Mimik und Gestik oder die Anonymität (Leibert, Archer, Munson & York, 2006). Die Weiterentwicklung internetbasierter Kommunikation bietet zugleich auch neue Interventionsmöglichkeiten im Bereich der psychologischen Unterstützung. Es werden Hoffnungen geweckt, psychosoziale Probleme und die unzureichende Versorgung davon Betroffener verbessern zu können. So können u.a. Chats, Internetforen, E-Mail und Videokonferenzen einen Beitrag zur besseren Versorgung in verschiedenen Interventionsbereichen darstellen (Hoffmann, 2009). Dazu zählen Versorgungsbereiche der Prävention, Diagnostik, Beratung, Therapie und Nachsorge. Das Angebot der Online-Therapie und -Beratung beispielsweise hat in den letzten Jahren enorm zugenommen: 2003 erzielte man laut Laszig und Eichenberg mit den Suchworten „Psychotherapeutische Onlineberatung“ bei der Suchmaschine „Google“ 335 Treffer – 2010 waren es bereits 17.400 Ergebnisse (Eigene Anfrage durchgeführt am 06.12.10, 16.45 Uhr). Laut einer Erhebung des Statistischen Bundesamtes nutzten im 1. Quartal 2009 92% der Personen ab 10 Jahren aus 12.000 befragten Haushalten das Internet mindestens einmal wöchentlich, davon sogar 70% täglich (Statistisches Bundesamt, S. 32). Im Jahre 2006 waren 86% mindestens einmal wöchentlich online aktiv, davon aber lediglich 57% täglich (Statistisches Bundesamt, S. 66). Das bedeutet, dass der Anteil der internetnutzenden deutschen Bevölkerung zunimmt und das Internet gleichzeitig immer häufiger verwendet wird. Dementsprechend nimmt auch die Zahl der hilfeschuchenden Nutzer zu: Immer mehr Menschen verweilen im Internet, um sich professionelle Hilfe und Beratung in belastenden Lebenssituationen zu holen.

Psychische Erkrankungen zählen in Deutschland zu den Hauptursachen für Krankschreibungen und stellen damit eine enorme Belastung für das deutsche Gesundheitssystem dar. Der im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheitliche Aufklärung (BMGS) erhobene Bundes-Gesundheitssurvey zeigte, dass die 12-Monats-Prävalenz psychischer Erkrankungen, d.h. Personen, die eine ICD-10-Diagnose im Laufe von 12 Monaten aufweisen, 31% betrug. Dabei standen Angsterkrankungen, Depressionen und somatoforme Störungen im Vordergrund (Berger, 2005).

Die derzeitigen Versorgungsangebote können das Aufkommen an psychischen Erkrankungen nicht bewältigen. Erhebungen der Deutschen Angestellten-Krankenversicherung (DAK) zeigen, dass von 1997 bis 2001 die Arbeitsunfähigkeitstage aufgrund psychischer Erkrankungen mit 51% den deutlichsten Zuwachs über diesen Zeitraum erbrachten. Der Bundesgesundheitsurvey wies entsprechend nach, dass inzwischen über 40% der Krankschreibungen im Zusammenhang mit psychischen Störungen steht (ebd.).



## **2 Fragestellung:**

Aufgrund einer problematischen Versorgungslage (vgl. Pawils, 2006, Plöttner, 2004) von psychisch Erkrankten oder von Erkrankung bedrohten Menschen stellt sich die Frage nach Chancen und Risiken der Nutzung des Internets durch diese Zielgruppe im Rahmen von psychosozialen Versorgungsangeboten. Zum anderen fragen sich auch Fachkräfte im Gesundheitswesen, welche Bedeutung die Entwicklung der Kommunikation und die breite Nutzung der Technologie für ihre psychosoziale Arbeit mit Menschen gegenwärtig hat und in Zukunft haben könnte.

## **3 Methoden:**

Derzeit bestehende Möglichkeiten der Internetnutzung zur Verbesserung der derzeitigen Versorgungsangebote wurden in einschlägigen Datenbanken recherchiert. Genutzt wurden pubmed, springerlink, Thieme eJournals und google scholar.

Zur Verbesserung der Prävention, Therapie und Nachsorge könnte man das Internet verstärkt nutzen. Eine differenzierte Betrachtung der Chancen und Grenzen der internetbasierten Angebote soll an zwei Beispielen geschehen. Zunächst erfolgt die Darstellung des Beratungsangebotes „Quit the shit“ der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) für cannabiskonsumierende Jugendliche und junge Erwachsene. „Quit the shit“ stellt ein Teilprojekt des webbasierten Präventionsangebotes [www.drugcom.de](http://www.drugcom.de) dar, einem 2001 ins Leben gerufenen Programm zur Suchtprävention bzw. Intervention bei Jugendlichen mit einem auffälligen Konsumverhalten oder bereits Symptomen einer bestehenden Sucht. Bei „Quit the shit“ handelt es sich um eine individuelle Beratung zur Reduzierung bis hin zur Einstellung des Cannabiskonsums. Zentraler Bestandteil des seit 2004 bestehenden Angebots ist ein Internettagebuch, das vom Konsumenten 50 Tage lang geführt und von qualifizierten Therapeuten begleitet wird. Das Tagebuch dient der Selbstreflexion des eigenen Cannabiskonsums und aller damit zusammenhängender Aspekte (Menge, Frequenz, sozialer Kontakt, Motive etc.) Neben diesem narrativen und reflektierenden Interventionskonzept gibt es jeweils wöchentlich eine Online-Rückmeldung eines/ r ausgebildeten Beraters/ Beraterin. Daneben gibt es auch die Möglichkeit der Chat- und E-Mail-Beratung, an die sich Betroffene, deren Angehörige oder Freunde wenden können (BZgA, 2007).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren im deutschsprachigen oder europäischen Raum keine internetbasierten Interventionsangebote für hirngeschädigte Jugendliche. Aus diesem Grunde wird das Nachsorgeprojekt des Children's Hospital Medical Center in Cincinnati/ USA „Teen Online Problem Solving Intervention (TOPS)“ für hirngeschädigte Jugendliche und deren Familien näher betrachtet. TOPS Intervention ist ein verhaltenstherapeutisches internetgestütztes Nachsorgeangebot für Jugendliche nach einer Hirnschädigung und gleichzeitig ein Präventionsprogramm im Hinblick auf die Phase der Pubertät. Es soll helfen, längerfristige Behinderungen und soziale Isolation zu verhindern. Zu Beginn der Intervention wird ein Interview mit den teilnehmenden Familien durchgeführt. Der/die TherapeutIn exploriert anhand eines strukturierten Interviews, wie die Kopfverletzung

das Leben des Jugendlichen und der Eltern beeinflusst hat und erfragt aktuelle Bedenken und Ziele. Alle weiteren Sitzungseinheiten, jeweils gepaart mit der Bearbeitung von webbasierten Materialien, werden alle ein bis zwei Wochen via Videokonferenz abgehalten. Das *TOPS* Website-Programm besteht aus 16 Einheiten. Die zehn Haupteinheiten beschäftigen sich mit Problemlösen, Kommunikation und Training sozialer Kompetenzen für alle Familien, wohingegen sich die übrigen sechs Einheiten auf die individuellen Stressoren und Belastungen der Familien beziehen. Die Bedürfnisse der Jugendlichen spiegeln sich in den Aufgaben, die die Familien erhalten, sowie in allen anderen Sitzungen wider. (Wade, Chertkoff Walz, Carey & Williams, 2008).

Zudem werden persönlich wahrgenommene Chancen und Risiken aus dem Anwendungsbereich eines Online-Nachsorge-Chat kurz angeführt, in dem Erwachsene nach einem stationären Aufenthalt in der Fachklinik für psychosomatische Medizin und Psychotherapie Heiligenfeld begleitet werden.

#### 4 Ergebnisse:

**„Quit the shit“:** Nach dem subjektiven Nutzen des Tagebuchs befragt (Rückmeldung nach Beendigung, Größe der Stichprobe: 199), gaben 78% der befragten Teilnehmer an, es habe „ziemlich bzw. sehr geholfen“, 16% fanden, es habe „mittelmäßig geholfen“ und nur 6% waren der Meinung es habe „gar nicht bzw. wenig geholfen“. Interessant ist auch die Betrachtung des Cannabiskonsums: der monatliche Konsum ging von 18,2 g (bei Beginn des Programms) auf 7,5 g (3 Monate nach Beenden) zurück [Konsummenge (t-Test für gepaarte Stichproben):  $T=5,00$ ;  $df=80$ ;  $p<.001$ ]. Auch die Häufigkeit des Konsums nahm ab: zuvor wurde an 22,2 Tage, nach 3 Monaten nur noch an 12,8 Tagen pro Monat konsumiert. [Konsumfrequenz (t-Test für gepaarte Stichproben):  $T=6,81$ ;  $df=80$ ;  $p<.001$ ] Nachteilig daran ist, dass man von einer Positivselektion der Teilnehmer auszugehen hat, da die Jugendlichen, die das Programm beendeten, bessere Bewertungen aussprachen, als solche, die vorzeitig abbrachen (BZgA, 2007) und nicht in die Auswertung einbezogen wurden.

**„Teenage Online Problem Solving“:** Untersucht wurden bisher neun Familien, wobei die Eltern nach der *TOPS*-Intervention signifikant weniger internalisierte Symptome (z.B. Depressive Symptomatik) zeigten. Auf die Darstellung der verwendeten psychodiagnostischen Testverfahren wird an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet. Es konnte ebenfalls ein geringeres Ausmaß der Depression bei den Jugendlichen festgestellt werden, allerdings waren die Depressionswerte zum Ausgangszeitpunkt nur leicht erhöht. Die Depressionsquote der Eltern nahm signifikant ab. Die Eltern berichteten von einem signifikanten Rückgang der Eltern-Kind-Konflikte, sowie der Anzahl der Problematiken. Sie bewerteten ihre familiären Probleme als weniger schwerwiegend (Wade et al., 2008). Negativ zu bewerten ist, dass die erwartete Verbesserung des externalisierten Verhaltens (z.B. Aggressionen) der teilnehmenden Jugendlichen nicht eintrat, obwohl dieses Ziel von den TeilnehmerInnen am häufigsten genannt worden war. Die teilnehmenden Familien

*Stellen internetgestützte Interventionsangebote eine Möglichkeit dar, die Versorgungssituation psychisch Kranker in Deutschland zu verbessern?*

berichteten signifikante Abnahmen der allgemeinen Konflikte, der Anzahl konfliktbesetzter Themen und der Schwere von familienzusammenhängenden Themen, was zu einer Verbesserung der Beziehungen beigetragen hat, da sowohl Eltern als auch Jugendliche gemeinschaftlich Probleme bzw. Konflikte gelöst haben und dadurch eine Abnahme autoritärer Erziehungsstile eintrat (ebd.).

„**Nachsorge-Chat**“: Die subjektiv wahrgenommenen Vor- und Nachteile dieses Versorgungsangebotes werden im Folgenden (siehe Tab. 1) zusammengefasst:

**Tabelle: Kurzüberblick: Vor- und Nachteile von „Nachsorge-Chats“**

Aspekt	Vorteil	Nachteil
<b>Schreiben</b>	Zeit zum Überlegen der Antwort, Dokumentation des Geschriebenen möglich	gleichzeitig mehrere Gespräche, langsames Schreiben bedeutet Nachteil für Teilnehmer
<b>Anonymität</b>	Teilnehmern fällt es leichter, unvoreingenommen & ehrlich zu sein	kein wirkliches „Gegenüber“ → Problem für Aufbau therapeutischer Beziehungen
<b>Computer</b>	Leichter Zugang, keine Anreise, keine extra anfallenden Kosten, → unabhängig vom Ort	Abhängig von Technik → oft technische Schwierigkeiten!

## 5 Diskussion:

Methodisch verbesserungswürdig bei beiden vorgestellten Projekten ist der fehlende Kontrollgruppenvergleich, sodass Aussagen zur Wirksamkeit nur eingeschränkt möglich sind. Problematisch ist ebenfalls eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse, dies hängt mit der geringen Stichprobengrößen (TOPS-intervention) bzw. Selektionseffekten („quit the shit“) zusammen. Positiv am „Quit the shit“ Projekt kann die vergleichsweise leichte Zugänglichkeit der Informationen und Angebote bewertet werden, sowie deren nachgewiesener Nutzen. Ein weiterer Vorteil ist die Niedrigschwelligkeit des Angebots, der die KlientInnen eher dazu motiviert, am Programm teilzunehmen. Allerdings wirkt sich die Unverbindlichkeit auch nachteilig aus, da TeilnehmerInnen die Interventionen als weniger ernsthaft empfinden könnten. Fraglich bleibt, wie man verstärkt die bildungsfernen Cannabiskonsumanten erreichen kann. Mit einem niedrigen Bildungsniveau oder einem niedrigen Sozialstatus der Familie des Jugendlichen sinkt gleichzeitig die Chance internetgestützte Beratungsangebote wahrnehmen zu können. Daher *müssen neue* Wege gefunden werden, besonders diese Gruppe junger Menschen erreichen zu können.

Zu hinterfragen bleibt, ob die gewählten Indikatoren zur Messung der Wirksamkeit hinreichend sind. Sinnvoll wären möglicherweise eine Unterscheidung von Wirksamkeit, Abstinenz, sowie die Weiterempfehlungsabsicht und -rate.

Abschließend bewertet kann „Quit the shit“ nach ersten Untersuchungen als effektives internetbasiertes Programm für Jugendliche mit problematischem Cannabiskonsum bezeichnet werden.

Einen Vorteil webbasierter Angebote macht sich das US-amerikanische Projekt TOPS zu Nutze: Die Möglichkeit, Informationen über verschiedene Wege übermitteln zu können, z.B. auditiv und/ oder visuell. Es ist wichtig, gerade Menschen mit einer Hirnschädigung die Informationen möglichst auch *audio-visuell* zu präsentieren, da so eventuell bestehende Aufmerksamkeitsprobleme oder Lernschwierigkeiten weniger zum Tragen kommen. Allerdings müsste dies an einer großen Stichprobe weiter untersucht werden, um zuverlässige Aussagen treffen zu können. Die teilnehmenden Familien waren in der Lage, eine stabile Beziehung zum Therapeuten aufzubauen, auch wenn es nur *einen* persönlichen realen Kontakt gab. Auch hier sind weitere Studien unumgänglich. Die Wichtigkeit der Beziehung zum Therapeuten stellt einen existenziellen Bestandteil der Online-Intervention dar. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Kosteneffizienz im Vergleich zu traditionellen Ansätzen. Es wird davon ausgegangen, dass die Internetvariante erheblich kostengünstiger ist, allerdings kann dies noch nicht in gleichem Maße im Hinblick auf die Effektstärke gesagt werden.

Beim Online-Chat bleibt die Frage offen, inwiefern der Effekt der gegebenen Unterstützung anhält und eine Wiederaufnahme der stationären Behandlung verzögert oder verhindert werden kann.

Schlussendlich ist eine weitere Evaluation und Qualitätssicherung von internetbasierten Interventionsangeboten maßgeblich. Wichtig anzuerkennen sind auch die Grenzen der online geschaffenen Plattformen: eine persönlich hergestellte Vertrauensbasis zwischen Therapeut und Patient ist im Online-Setting nur schwer zu erreichen bzw. weitaus störanfälliger als „Live“-Interventionen. Jedoch werden für gehandicappte oder auf dem Land lebende Menschen Alternativen ermöglicht, die die psychosoziale Versorgung verbessern können.

#### Literatur:

- Berger M. (2004). Versorgung psychisch Erkrankter in Deutschland – unter besonderer Berücksichtigung des Faches „Psychiatrie und Psychotherapie“. *Nervenarzt*, 75: 195–204.
- Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) (Hrsg.) (2007). Band 31: Neue Wege in der Prävention des Drogenkonsums: Onlineberatung am Beispiel von drugcom.de. *Forschung und Praxis der Gesundheitsförderung*, (31). Köln: Eigendruck.
- Hoffmann, J. (2009). *Internetbasierte psychosoziale Interventionsangebote für Jugendliche - eine Chance zum Schließen der Versorgungslücke?* Stendal: Bachelorthesis im Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften.
- Laszig, P. & Eichenberg, C. (2003). Onlineberatung und internetbasierte Psychotherapie. *Psychotherapeut*, 48(3), 193–198.
- Leibert, T., Archer, J. Jr., Munson, J. & York, G. (2006). An Exploratory Study of Client Perceptions of Internet Counseling and the Therapeutic Alliance. *Journal of Mental Health Counseling*, 28(1), 69–83.
- Pawils, S. (Hrsg.) (2006). *Psychosoziale Versorgung in der Medizin: Entwicklungstendenzen und Ergebnisse der Versorgungsforschung*. Stuttgart: Schattauer.
- Plöttner, G. (Hrsg.) (2004). *Psychotherapie - psychosomatische Medizin. Psychotherapeutische Versorgung und Versorgungsforschung*. Leipzig: Leipziger Universitätsverlag.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2009). Private Haushalte in der Informationsgesellschaft: Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. *Wirtschaftsrechnungen*, (4). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Wade, S. L., Chertkoff Walz, N., Carey, J. C., & Williams, K. M. (2008, November). Preliminary Efficacy of a Web-Based Family Problem-Solving Treatment Program for Adolescents with Traumatic Brain Injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 23 (6), 369-377.

Kontakt: Juliane2208@gmx.de

## Achtung Tyrannen! – Eine kritische Kindbildanalyse

Cordelia Junge, E-Mail: Cordelia.Junge@gmx.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

### Abstract

In der in diesem Beitrag vorgestellten empirischen Untersuchung wird die Forschungsfrage: *Welches Bild von Kindern vertritt und vermittelt Dr. med. Michael Winterhoff in seinem Erziehungsratgeber „Warum unsere Kinder Tyrannen werden Oder: Die Abschaffung der Kindheit“?* analysiert. Ziel der kindheitssoziologisch verorteten Untersuchung ist es, Winterhoffs Bild von Kindern aufzuzeigen, da das in einem aktuellen Erziehungsratgeber vermittelte Kindbild Aufschluss über ein in der Gegenwart vertretenes Bild von Kindern gibt sowie dieses beeinflusst. Außerdem wird Winterhoffs Kindbild, welches durch tiefenpsychologische und entwicklungsorientierte Ansätze geprägt ist, unter kindheitssoziologischen Gesichtspunkten kritisch reflektiert und hinterfragt. Die Kindbildanalyse erfolgt mit Hilfe des Zirkulären Dekonstruierens. Die zentralen Ergebnisse der Untersuchung, die Winterhoffs Kindbild beschreiben, werden in sechs Kategorien dargestellt. Wobei eine der Kategorien zusätzlich in vier Unterkategorien untergliedert ist. Winterhoffs Bild von Kindern ist geprägt von generationaler Hierarchie sowie von der Vorstellung des defizitären Kindes, welches erst durch Erwachsene gesellschaftsfähig gemacht werden muss und dem kein Handlungsvermögen (agency) in die Gesellschaft zusteht. Von diesem Kindbild distanziert sich die Autorin des Beitrages. Es wird ein durch die neue Kindheitssoziologie geprägtes Kindbild vertreten, in welchem Kindheit als sozial konstruiert verstanden und das generationale Verhältnis als Hierarchieverhältnis problematisiert wird. Kinder werden als Seiende und aktiv handelnde Gesellschaftsmitglieder gesehen, welche ihr Leben mitgestalten und Kindheit mit konstruieren.

**Keywords:** Erziehungsratgeber, Kindbild, Bild von Kindern, Generationenverhältnis, neue Kindheitssoziologie, Kindheitswissenschaften

### Einleitung

Welche in einer Demokratie lebenden Menschen müssen verstehen, dass andere Menschen „größer, stärker und mächtiger“ (Winterhoff 2009, S. 37) sind als sie selbst und diese als „natürliche Autorität“ (ebd., S. 42) anerkennen? Welchen Menschen ist es nicht gestattet, sich am „Gros der wichtigen Entscheidungen“ (ebd., S. 88) zu beteiligen? Welche Menschen sind nicht „ebenbürtig“ (ebd., S. 19) und die anderen Menschen sollen ihnen „gegenüber abgegrenzt auftreten“ (ebd., S. 31)? Von welchen Menschen würde in einer Demokratie behauptet, sie „werden aus der untergeordneten Rolle zwangsbefreit [im Original hervorgehoben]“ (ebd., S. 93)? Die Rede ist hier von Kindern im Erziehungsratgeber von Dr. med. Michael Winterhoff. Dieser wird in der hier vorgestellten empirischen Untersuchung, unter der Forschungsfrage: *Welches Bild von Kindern vertritt und vermittelt Dr. med. Michael Winterhoff in seinem Erziehungsratgeber „Warum unsere Kinder Tyrannen werden Oder: Die Abschaffung der Kindheit“?* analysiert.

Ziel der kindheitssoziologisch verorteten Untersuchung ist es, Winterhoffs Bild von Kindern aufzuzeigen, da das in einem aktuellen, viel verkauften und rezipierten Erziehungsratgeber vermittelte Kindbild Aufschluss über ein in der Gegenwart vertretenes Bild von Kindern gibt. Darüber hinaus beeinflusst der Erziehungsratgeber gesellschaftliche Kindbilder in der Praxis, denn die im öffentlichen Diskurs erörterten Kindbilder bestimmen die Wahrnehmung von Kindern in der Gesellschaft mit (vgl. Lange 1996, S. 76). In diesem Zusammenhang wird darauf eingegangen, welche gesellschaftliche Position Winterhoff Kindern im Generationenverhältnis durch sein vertretenes Kindbild, das durch seine Arbeit als Kinder- und Jugendpsychiater geprägt ist, zuweist. Weiterhin wird Winterhoffs Kindbild aus kindheitssoziologischer Perspektive

kritisch beleuchtet und reflektiert. Zunächst wird der Untersuchungsgegenstand Kindbild sowie das Kindbild in der neuen Kindheitssoziologie erläutert.

## **Untersuchungsgegenstand Kindbild und das Kindbild in der neuen Kindheitssoziologie**

Die Untersuchung ist durch die Grundannahmen der neuen Kindheitssoziologie geprägt. Der Begriff „Kinder“ umfasst im Kontext der vorliegenden Untersuchung die Menschen, die Winterhoff als Kinder und Jugendliche beschreibt. Der Begriff wird hier nicht für ein spezielles Individuum angenommen und auch nicht für die Beschreibung eines Entwicklungszustandes, sondern als generationale Kategorie. Die Kategorie Generation lässt sich in Bezug zur Kategorie Geschlecht denken.<sup>1</sup> Für die Anerkennung der Kategorie Geschlecht musste gekämpft werden. Heute hat sie ihren festen Platz in der Wissenschaft als auch in der Politik (vgl. Qvortrup 2005, S. 36). Die Eigenschaften, die Frauen zugeschrieben wurden, galten als ‚naturegegeben‘. Eine „argumentative Verknüpfung sozialer Rechte, Pflichten und Wertigkeiten mit Natur und Körper“ (Bühler-Niederberger 2005, S. 12) ist bei der Kategorie Geschlecht wiederzufinden, die aber inzwischen vielfach hinterfragt und widerlegt ist.

Die Verbindung von Natur und Körper lässt sich auch auf die Kategorie Generation übertragen. So werden Kindern aufgrund ihres biologischen Alters und den damit verbundenen körperlichen Merkmalen, etwas worauf sie keinen Einfluss haben, Rechte aberkannt oder zugesprochen. Außerdem werden ihnen bezugnehmend auf die biologische Alterskategorie bestimmte Eigenschaften, Fähigkeiten und Bedürfnisse unterstellt (vgl. ebd., S. 12). Somit ist die gesellschaftliche Position die Kinder im generationalen Verhältnis zugeschrieben wird, nicht ohne Bezug auf Erwachsene zu verstehen. Genau wie die gesellschaftliche Position von Frauen nicht ohne Bezug auf Männer gesehen werden kann (vgl. Hengst und Zeiher 2005, S. 18).

Kinder und Kindheit werden nicht als ‚natürliches Phänomen‘ verstanden, sondern als sozial konstruiert und somit veränderbar. Dabei ist der Prozess wichtig, durch den Menschen zu Kindern und andere zu Erwachsenen gemacht werden, welchen Alanen (2005) als „generationing“ bezeichnet (S. 79). Wichtig ist es, Kinder im Generationenverhältnis und Kindheit als soziale Struktur der Gesellschaft zu begreifen. Wenn Kindheit unter dieser Perspektive betrachtet wird, stellt sie einen Teil in der Gesellschaft dar, „der durch bestehende Strukturen und Verhältnisse geformt wird und der in einem spezifischen Verhältnis zu anderen Teilen der Gesellschaft steht.“ (Hungerland 2002, S. 16). Somit ist die Position, die Kindern in der Gesellschaft zugeteilt wird, nichts Statisches, Unveränderbares oder Natürliches. Sondern Kindheit unterliegt einem Wandel und ist veränderbar (vgl. Hungerland 2008, S. 81ff; Alanen 2005, S. 65ff).

Kindbilder sind demzufolge ebenfalls nicht starr und unveränderlich. Zum Wandel von Kindbildern in der Gesellschaft trägt unter anderem die Wissenschaft bei und deren Rede über Kinder. Ebenso sind Kindbilder nicht homogen. In einer Gesellschaft existieren immer mehrere Kindbilder gleichzeitig (vgl. Zeiher 2005, S. 23f).

---

<sup>1</sup> Siehe dazu auch Hungerland 2008, S. 82f sowie Alanen 2005, S. 66, 74ff.

Kinder werden in der neuen Kindheitssoziologie als Seiende, als aktive Handelnde, selbstbestimmte Menschen und als vollwertige, eigenständige und aktive Mitglieder der Gesellschaft gesehen<sup>2</sup>. Das heißt, sie müssen „als solche in ihrem Leben im Hier und Jetzt wahrgenommen und akzeptiert“ (Zeihner 2005, S. 26) werden. Kinder stehen mit anderen Gesellschaftsmitgliedern in Beziehung und interagieren mit ihnen. Durch diese sozialen Interaktionen und Beziehungen entwickeln sich Menschen, egal ob Kinder oder Erwachsene, ihr ganzes Leben lang weiter (vgl. Hungerland 2008, S. 85f; Hungerland 2002, S. 23f) und nehmen am Leben der Gesellschaft als eigenständig handelnde Personen teil.

Winterhoffs Kindbild hingegen ist geprägt durch seine Arbeit als Kinder- und Jugendpsychiater sowie durch tiefenpsychologische und entwicklungsorientierte Ansätze, welche Kinder in Hinblick auf ihr zu erreichendes Ziel des Erwachsen-Werdens und die damit angenommene Unvollständigkeit betrachten. Daraus wird die Unterschiedlichkeit der beiden theoretischen Ansätze sichtbar und die verschiedenen daraus resultierenden Bilder von Kindern. Das Kindbild des Erziehungsratgebers wird mit der Methode des Zirkulären Dekonstruierens, welches nachfolgend erläutert wird, analysiert.

## **Auswertungsmethode – Das Zirkuläre Dekonstruieren**

Um Winterhoffs Erziehungsratgeber hinsichtlich des darin vertretenen und vermittelten Kindbildes zu untersuchen, wird die Auswertungsmethode des Zirkulären Dekonstruierens verwendet. Das Zirkuläre Dekonstruieren stellt bei kleineren Forschungsarbeiten eine Alternative zur umfangreichen Grounded Theory dar, da es eine schnellere und leichtere Auswertung des Datenmaterials zulässt, gleichwohl aber nach derselben Forschungslogik arbeitet (vgl. Jaeggi et al. 1998, S. 4).

Die Arbeitsschritte des Zirkulären Dekonstruierens werden auf die Buchanalyse übertragen und verändert. Die erste Auswertungsphase des Zirkulären Dekonstruierens, deren Ziel die Kategorienbildung ist, wird vollständig durchgeführt. Die zweite Auswertungsphase wird durch eine Literaturanalyse zum Thema der Untersuchung ersetzt, da für das Forschungsziel die Kategorisierung des Winterhoff'schen Kindbildes von Bedeutung ist. Die Ergebnisse der Erziehungsratgeberanalyse werden im Folgenden kurz zusammengefasst und reflektiert.

## **Ergebnisdarstellung und -reflexion**

Die herausgearbeiteten Kategorien *Legitimationsgrundlage, das generationale Hierarchieverhältnis – im Wandel, der defizitäre Erwachsene, die Zukunft der Gesellschaft, das Idealbild der Psyche, das defizitäre Kind*, mit den Unterkategorien *das inkompetente Kind, das Kind als Werdendes, das gestörte Kind* und *das gefährliche Kind* bauen aufeinander auf und stehen in Verbindung miteinander. Dadurch repräsentieren sie eine umfangreiche Darstellung von Winterhoffs Kindbild. Einige Kategorien werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt und reflektiert.

---

<sup>2</sup> Zum Verständnis von Kindheit und Kindern in der neuen Kindheitssoziologie vgl. unter anderen Hungerland 2008; Bühler-Niederberger 2005; Hengst und Zeihner 2005; Zeihner 2005; Zeihner et al. 1996.

Die Kategorie *das generationale Hierarchieverhältnis – im Wandel* beinhaltet zwei wichtige Aspekte: zum Einen das generationale Hierarchieverhältnis als solches und zum Anderen seinen Wandel. Das generationale Hierarchieverhältnis bildet die Basis für das von Winterhoff vertretene Bild von Kindern. Das Fundament seines Kindbildes bildet die Hierarchie zwischen Kindern und Erwachsenen, in welcher Kinder den Erwachsenen untergeordnet sind. Diese für sein Kindbild elementare Tatsache legitimiert Winterhoff mit der von ihm unterstellten ‚Natur des Kindes‘ (*das inkompetente Kind* und *das Kind als Werdendes*).

Die Kategorie *das Idealbild der Psyche* zeigt, wie nach Winterhoff das Ergebnis einer optimalen menschlichen Entwicklung zum „funktionstüchtigen Erwachsenen“ (Winterhoff 2009, S. 137), unter Berücksichtigung der angeblichen ‚Natur des Kindes‘ sowie des generationalen Hierarchieverhältnisses aussieht.

Eine Gefahr für das generationale Hierarchieverhältnis entstand nach Winterhoff durch den technischen und gesellschaftlichen Wandel und geht von Erwachsenen aus, die durch den Wandel in vielen Lebensbereichen überfordert sind (*der defizitäre Erwachsene*). Eine weitere Gefahr sieht Winterhoff in Kindern, die durch defizitäre Erwachsene erzogen werden (*das gestörte Kind* und *das gefährliche Kind*). Winterhoff zeigt damit auf, was seiner Ansicht nach aus Kindern wird, wenn sie nicht auf der Grundlage von generationaler Hierarchie erzogen und gesellschaftsfähig gemacht werden würden.

Die damit ausgelöste Veränderung des Hierarchieverhältnisses zwischen Kindern und Erwachsenen führt nach Winterhoff dazu, dass die für ihn ‚natürliche‘ generationale Hierarchie aufhört zu existieren oder umgekehrt wird. Wenn dies geschieht, bricht nach Winterhoff die Gesellschaft zusammen. Dementsprechend zeigt Winterhoff den Wandel im Hierarchieverhältnis als existenzielle Gefahr für die Einzelne und den Einzelnen auf. Dies wird in der Kategorie *die Zukunft der Gesellschaft* verdeutlicht. Die dargestellten Faktoren führen nach Winterhoffs Ansicht zum Wandel in der Kindheit und letztendlich zur Abschaffung dieser.

Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass Winterhoffs Kindbild, geprägt vom generationalen Hierarchieverhältnis, Kinder aufgrund ihrer angeblichen ‚Natur‘ als minderwertiger als Erwachsene und ihnen untergeordnet darstellt. Des Weiteren sieht er - wenn das generationale Hierarchieverhältnis zusammenbricht - Kinder als gesamtgesellschaftliche Gefahr an. Dies spiegelt seine Vorstellung, dass Kinder erst durch Erwachsene gesellschaftsfähig gemacht werden müssten, wider sowie seine Position, dass Kindern ‚natürlicherweise‘ kein Handlungsvermögen (agency) in der Gesellschaft zusteht.

Die Autorin distanziert sich von einem Entwurf des Kindes als Werdendes, zu Sozialisierendes und den Erwachsenen ‚natürlicherweise‘ im generationalen Verhältnis Untergeordnetes. Das jetzige Leben der Kinder ist nicht als Entwicklungs-, Lern- und Vorbereitungsphase zu degradieren und ihre Handlungen und Aktivitäten sind nicht darauf zu reduzieren, dass sie für die Kinder als zukünftige Erwachsene wichtig sein könnten (vgl. Zeiher 2005, S. 24ff).

Weiterhin wird durch die Autorin die Ansicht vertreten, dass Kindheit nicht abgeschafft wird, sondern dass Kindheit sich im Wandel der Zeit verändert. Dennoch bleibt Kindheit weiterhin generational geordnet. Für Winterhoff stellt der Wandel die Abschaffung der Kindheit dar, da Kindheit damit nicht mehr nur eine ‚Phase mensch-



licher Entwicklung‘ ist. Ein Blick auf eine andere gesellschaftliche Gruppe, die sich bereits emanzipiert hat, lässt einen Vergleich zu. Mit der Emanzipation der Frauen und Gesetzen zur Gleichberechtigung wurde anerkannt, dass Frauen aufgrund der Zuschreibung von vermeintlich ‚natürlichen Eigenschaften‘ benachteiligt wurden. So musste beispielsweise für das Frauenwahlrecht gekämpft werden. Heute ist es ein selbstverständlicher Teil der Demokratie.

„In der neuen Kindheitssoziologie wird die Frage nach der Eigenständigkeit der Kinder als Frage nach Herrschaftsverhältnissen zwischen den Generationen gestellt“ (Hengst und Zeiher 2005, S. 11). Mit dieser Perspektive kann das generationale Verhältnis als ein Hierarchieverhältnis untersucht, Machtstrukturen sowie deren Rechtfertigungsmechanismen und somit Ungleichheiten in der generationalen Ordnung aufgedeckt werden.

## **Fazit**

Das Erkenntnisinteresse liegt darin, ein aktuell vertretenes Kindbild in einem Erziehungsratgeber aufzuzeigen. Dies ist aus kindheitswissenschaftlicher Sicht bedeutend, da das Kindbild beispielsweise die Position mitbestimmt, welche Kindern in der Gesellschaft zugesprochen wird sowie ihre Handlungsmöglichkeiten und Rechte, die sich für sie daraus ergeben und die Mitsprache und Mitbestimmungsmöglichkeiten, die ihnen zur Verfügung stehen. Außerdem trägt ein im öffentlichen Diskurs vertretenes Kindbild zur (Re-)Konstruktion vom Bild von Kindern bei. Weiterhin sind durch die entwickelten Kategorien Kriterien entstanden, anhand derer weitere Erziehungsratgeber hinsichtlich des darin vertretenen Kindbildes untersucht werden können.

Als Kindheitswissenschaftlerin versteht sich die Autorin dieses Beitrages als Anwältin der Kinder. Deshalb empfindet sie es als wichtig, die Rede über Kinder und damit vorherrschende Kindbilder in der Gesellschaft kritisch zu hinterfragen, zu diskutieren sowie dadurch das Kindbild mitzugestalten und mitzuprägen. Dabei ist es wichtig, Kinder im Generationenzusammenhang und Kindheit als soziale Struktur zu verstehen. Nur so können beispielsweise die unterschiedlichen Bilder von Kindern und Erwachsenen aufgedeckt und thematisiert werden. Es ist wichtig, das generationale Verhältnis als ein hierarchisches zu problematisieren, da darüber ein Bewusstsein in der Gesellschaft geschaffen wird und im Weiteren ein Umdenken erfolgen kann.

Die Kindbildanalyse des Erziehungsratgebers „Warum unsere Kinder Tyrannen werden Oder: Die Abschaffung der Kindheit“ zeigt, dass die Benachteiligung der Kinder gegenüber Erwachsenen legitimiert wird. Versuche, diese Benachteiligung zu verringern, werden oft als Abschaffung der Kindheit gedeutet und damit aufgrund der ‚natürlichen‘ Zuschreibungen denen Kindheit unterliegt, als nicht vertretbar angesehen. Damit stellt sich abschließend die Frage, wer eigentlich die Tyrannen in Winterhoffs Erziehungsratgeber sind – die Kinder oder die Erwachsenen?

## Literaturverzeichnis

- Alanen, Lena (2005). Kindheit als generationales Konzept. In: Hengst, Heinz und Zeiher, Helga (Hrsg.). Kindheit soziologisch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 65-82
- Bühler-Niederberger, Doris (2005). Kindheit und die Ordnung der Verhältnisse. Von der gesellschaftlichen Macht der Unschuld und dem kreativen Individuum. Weinheim und München: Juventa Verlag
- Hengst, Heinz und Zeiher, Helga (Hrsg.) (2005). Kindheit soziologisch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Hungerland, Beatrice (2008). Was ist Kindheit? Fragen und Antworten der Soziologie. In: Luber, Eva und Hungerland, Beatrice (Hrsg.). Angewandte Kindheitswissenschaften. Eine Einführung für Studium und Praxis. Weinheim und München: Juventa Verlag, S. 71-90
- Hungerland, Beatrice (2002). Wie viel Zeit für's Kind? Zur gesellschaftlichen Produktion generationaler Ordnung durch elterliche Zeitinvestition. Wuppertal
- Jaeggi, Eva; Faas, Angelika und Mruck, Katja (1998). Denkverbote gibt es nicht! Vorschlag zur interpretativen Auswertung kommunikativ gewonnener Daten (2. Überarbeitete Fassung). Forschungsbericht aus der Abteilung Psychologie im Institut für Sozialwissenschaften der Technischen Universität Berlin, Nr. 98-2
- Junge, Cordelia (2010). Achtung Tyrannen! – Eine kritische Kindbildanalyse. Magdeburg
- Lange, Andreas (1996). Formen der Kindheitsrhetorik. In: Zeiher, Helga; Büchner, Peter und Zinnecker, Jürgen (Hrsg.). Kinder als Außenseiter? Umbrüche in der gesellschaftlichen Wahrnehmung von Kindern und Kindheit. Weinheim und München: Juventa Verlag, S. 75-95
- Qvortrup, Jens (2005). Kinder und Kindheit in der Sozialstruktur. In: Hengst, Heinz und Zeiher, Helga (Hrsg.). Kindheit soziologisch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 27-47
- Winterhoff, Michael (2009). Warum unsere Kinder Tyrannen werden Oder: Die Abschaffung der Kindheit (26. Auflage). Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus
- Zeiher, Helga (2005). Zum Wandel des Bildes vom Kind in den Sozialwissenschaften. In: Stenzel, Gudrun und in Zusammenarbeit mit der AJuM der GEW (Hrsg.). Kinder lesen – Kinder leben. Kindheit und Literatur. Weinheim: Juventa Verlag, S. 23-35
- Zeiher, Helga, Büchner Peter und Zinnecker, Jürgen (Hrsg.) (1996). Kinder als Außenseiter?. Umbrüche in der gesellschaftlichen Wahrnehmung von Kindern und Kindheit. Weinheim und München: Juventa Verlag

## **Die Rolle des riskanten Alkoholkonsums im Stressbewältigungsverhalten von weiblichen Fach- und Führungskräften**

Anja Wartmann (Gesundheitswissenschaftlerin M.Sc. Public Health); Phone: 0049 511 762 4805;  
E-Mail: anja.wartmann@wa.uni-hannover.de; Leibniz Universität Hannover, Institut für interdisziplinäre Arbeitswissenschaft, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Schloßwender Str. 5, 30159 Hannover

### **Abstract**

Die Gruppe qualifizierter berufstätiger Frauen - insbesondere weibliche Fach- und Führungskräfte - ist eine Zielgruppe, die in den kommenden Jahren weiter wachsen wird und noch kaum Beachtung in der betrieblichen Suchtprävention gefunden hat. Diese Gruppe ist mit besonderen Stressbelastungen konfrontiert, die gesundheitsrelevante Bewältigungsstrategien nach sich ziehen. Statistische Erhebungen aus der Arbeits- und Gesundheitswissenschaft zeigen in Bezug auf diese Zielgruppe und deren riskanten Alkoholkonsum eine besondere Prägnanz. So wird u.a. interessanterweise deutlich, dass mit zunehmender Sozialschicht der Alkoholkonsum bei Frauen ansteigt. (RKI 2006; 2010)

Im Rahmen dieser vorliegenden qualitativen Studie werden sowohl weibliche Fach- und Führungskräfte im Alter von 40 bis 59 Jahren als auch betriebliche Experten und Expertinnen interviewt. Nach dem bisherigen Stand der inhaltsanalytischen Auswertung und dem zu Grunde liegenden theoretischen Unterbau haben gesellschaftlich-bedingte Belastungen, d.h. die nicht tätigkeitspezifischen Belastungen, einen intensiveren Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der weiblichen Fach- und Führungskräfte als die psychosozialen Belastungen, d.h. die Belastungen, die aus der Arbeitstätigkeit heraus entstehen.

**Keywords:** Genderspezifische Suchtprävention, weibliche Fach- und Führungskräfte, Stress, Alkoholkonsum

## **1 Gesundheitswissenschaftliche Relevanz und Fragstellung**

Die betriebliche Suchtprävention bietet einen der wirksamsten betrieblichen Zugänge, um den Großteil der berufstätigen Erwachsenenbevölkerung gezielt zum bewussten Umgang mit Alkohol und anderen psychoaktiven Substanzen zu sensibilisieren sowie mit Maßnahmen zur frühen Intervention bei Auffälligkeiten zu erreichen. (DHS 2006) Dabei müssen in der Suchtprävention berufliche Bedingungen, Anforderungen und Rollen im Kontext von Geschlecht und Gesundheit betrachtet werden, denn nur so wird ein geschlechtersensibles Vorgehen in der Suchtprävention ermöglicht. (Kolip 2008) Insbesondere die gezielte und frühzeitige Ansprache von Adressatengruppen in ihren spezifischen Lebenssituationen erhöht die Wirkung und leistet einen wichtigen Beitrag zur Qualität von präventiven und gesundheitsfördernden Maßnahmen. (Kolip 2008; Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit 2009)

Bisher wurden nur wenige wissenschaftlich fundierte Modelle geschlechterspezifischer Ansätze in der betrieblichen Suchtprävention entwickelt. Auch wurde sich gesundheitswissenschaftlich bisher kaum mit der wachsenden Gruppe der hoch qualifizierten berufstätigen Frauen, insbesondere der weiblichen Fach- und Führungskräfte, zu denen gehobene und höhere Angestellte, Beamtinnen und Meisterinnen sowie Mitarbeiterinnen des mittleren und gehobenen Managements in der Privatwirtschaft gehören, befasst. Diese Zielgruppe ist mit psychosozialen Belastungen, die aus tätigkeitsbezogenen Anforderungen resultieren, z.B. erhöhte berufliche Heraus-

forderungen und Verantwortung, konfrontiert. *Zugleich* unterliegt die Gruppe gesellschaftlich bedingten Belastungen, die aus gesellschaftlichen Anforderungen heraus entstehen, wie der Kollision mit geschlechtstypischen gesellschaftlichen Rollenbildern und -erwartungen. In Verbindung mit diesen spezifischen Merkmalen können Strategien zur Bewältigung von Stressbelastungen gewählt werden, die in erhöhtem Maße gesundheitsriskante Verhaltensweisen, wie z.B. den riskanten Alkoholkonsum, umfassen.

Diese Hintergründe geben Anlass dazu der Forschungsfrage nachzugehen: *Welche Rolle spielt riskanter Alkoholkonsum im Risiko- und Stressbewältigungsverhalten von Frauen in Fach- und Führungspositionen?* Dabei sollen die folgenden Hypothesen überprüft werden:

- a) Es besteht ein Zusammenhang zwischen der beruflichen Position als weibliche Fach- und Führungskraft und einem riskanten Alkoholkonsum.
- b) Die Kumulation von gesellschaftlich bedingten und psychosozialen Belastungen führt zu einer gezielten Funktionalisierung des Alkohols.
- c) Frauen in Fach- und Führungspositionen stellen eine Risikogruppe in Bezug auf den Konsum von Alkohol dar und sind daher als spezifische Zielgruppe von der betrieblichen Suchtprävention anzusprechen.

Mit der Bearbeitung dieser Thematik werden auf wissenschaftlicher Ebene neue Fragestellungen zum Zusammenhang von Stressbelastungen und Copingstrategien von Frauen in spezifischen beruflichen Positionen und Beschäftigungsbereichen aufgegriffen. Weiterhin werden für den Bereich der Prävention im Rahmen von Gesundheitsförderung Erkenntnisse zu Frauen und Suchtgefährdung, zu geschlechtersensiblen Präventionsansätzen und kumulativen Effekten von psychosozialen und gesellschaftlich bedingten Belastungen von Frauen in qualifizierten Berufssituationen erlangt. Im Bereich betrieblicher Suchtprävention werden Ansatzpunkte für die Beseitigung der Ursachen erhöhter Belastungen am Arbeitsplatz, zur Unterstützung des Abbaus von Risikoverhalten sowie zur Sensibilisierung der Beschäftigten erarbeitet.

## 2 Wissensstand und Problemhintergrund

Erkenntnisse aus der arbeits- und gesundheitswissenschaftlichen Forschung und die Auswertung empirischer Daten belegen in Bezug auf weibliche Fach- und Führungskräfte und einen riskanten Alkoholkonsum, wobei es sich um einen gesundheitsgefährdenden Konsum handelt, eine besondere Prägnanz. (Rehwald et al. 2008; RKI 1999) So zeigte beispielsweise eine umfangreiche quantitativ angelegte Studie des Forscherteams Siegrist, Stansfeld und Head (2004) überraschende Ergebnisse zum Zusammenhang von psychosozialen Arbeitsbedingungen und dem Konsum von Alkohol. Aus der Studie ging hervor, dass in der untersuchten Stichprobe weibliche Führungskräfte mehr Alkohol konsumieren als Männer in ähnlichen Positionen. Außerdem nahm bei Frauen die Prävalenz riskanten und gefährlichen Alkoholkonsums mit steigender beruflicher Position zu. Zu weiteren Ergebnissen hinsichtlich des Schichtgradienten kommt das Robert Koch-Institut (2010): Es wird nachgewiesen, dass der Alkoholkonsum mit steigender Sozialschicht zunimmt. Der Anteil von Frauen mit mäßigem bis hohem Alkoholkonsum steigt von 16,7% in der Altersgruppe der 30 - 44 Jährigen sowie in der Altersgruppe der 45 - 64 Jährigen von 17,8% in der Unterschicht auf 22,8% (30 - 44 Jahre) und 26,6% (45 - 64 Jahre) in der Oberschicht. Dem Trend kann entnommen werden, dass im Vergleich zur Gesundheitsberichtserstattung des Robert Koch Instituts des Jahres 2006 ein weiterer Anstieg im moderaten bis hohen Konsum in der Oberschicht zu verzeichnen ist. (RKI 2010) Altersspezi-

fische Daten der Suchtforschung zeigen zudem auf, dass der Anteil von Frauen im Bereich des riskanten Konsums mit zunehmendem Alter steigt.

Eine qualifizierte berufliche Position ist häufig mit der Kumulation psychosozialer Anforderungen und den verstärkten strukturell und gesellschaftlich bedingten Belastungen verbunden, die spezifische Gesundheits- und Bewältigungskompetenzen erfordern. Zu den gesellschaftlich bedingten Belastungen gehören u.a. Auswirkungen gesellschaftlicher Geschlechterstereotype und Rollenverständnisse zur Frauen- und Berufsrolle (u.a. Kanter 1977; Müller 2005; Tondorf/Krell 1999), die Unterrepräsentanz in den Berufsfeldern, die Doppelbelastung für Frauen mit Familie und Herausforderung allein stehender Frauen (Bundesministeriums für Jugend, Familie, Senioren und Frauen 1999) sowie Konkurrenz- und Akzeptanzprobleme im beruflichen Alltag (u.a. Fuchs 1988; Frerichs 1986). Abhängig von dem jeweiligen Berufsfeld fallen dazu in unterschiedlichem Maße psychosoziale Belastungen in den Bereichen Arbeitsorganisation (z.B. Verantwortungs-, Leistungs- oder Zeitdruck, Karriereentwicklung), Arbeitsumfeld (z.B. Zusammenarbeit von Männern und Frauen, Konkurrenz) sowie Arbeitsinhalt (z.B. Verantwortung) an.

In verschiedenen Studien wurde der Zusammenhang zwischen spezifischen Arbeitsbedingungen und dem Alkoholkonsum als Copingstrategie diskutiert. Unter Verwendung des einflussreichen kognitiv-transaktionalen Stressmodells nach Lazarus (1984) konnte in den Studienergebnissen von Weiss (1980) sowie der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (1992) eine Bestätigung des Zusammenhangs eruiert werden. Auch untersuchten Lausser et al. (1986) die Verbindung zwischen Zeitdruck/Arbeitsüberlastung und Alkoholkonsum und konnten einen Zusammenhang bestätigen. Ebenso kam die über ein Jahr durchgeführte repräsentative prospektive Studie (N=18571) von Crum et al. (1995) zu dem Ergebnis, dass Männer mit hohen psychischen Anforderungen und geringem Entscheidungsspielraum eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Abhängigkeitserkrankung hatten als Männer ohne diese Merkmalskombination.

Zu den Motiven, die dieses Risiko- und Stressbewältigungsverhalten begünstigen, gehören laut Wills/Shiffman (1985) im Allgemeinen die Entspannung bzw. die Reduktion negativer Spannungen. Ein weiteres Motiv kann in der Steigerung positiver Stimmungen liegen. (ebd.) Puls (2002) vertritt für den Berufskontext dazu die weiterführende These, dass Alkoholkonsum als dysfunktionales Bewältigungsverhalten in Reaktion auf negative Arbeitseinflüsse gesehen werden kann. Dabei ist weniger der Konsum während der Arbeit als der generelle Konsum von Bedeutung. In Verbindung mit dem berufsbezogenen Gratifikationsmodell von Siegrist, welches das Ungleichgewicht zwischen Verausgabung und Belohnung in der Arbeitstätigkeit betrachtet, lassen sich der Alkoholkonsum und die Arbeitstätigkeiten in Beziehung zueinander setzen. So könnten wiederholte Erfahrungen mit hoher Verausgabung bei vergleichsweise geringer Belohnung einen riskanten Konsum von Alkohol begünstigen. (Puls 1992; 2003)

### **3 Methodologie**

In diesem Forschungsprojekt, welches ein sensibles Vorgehen voraussetzt, wird ein qualitatives Vorgehen gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass die Bedeutungen von Handlungen unterschiedlich sind und Subjekte sich situationsabhängig verhalten, so dass es notwendig ist, diese Unterschiede zu erklären und die Ergebnisse zu interpretieren. Im anschließenden Verallgemeinerungsprozess werden dann Argumente gefunden, warum die Ergebnisse auch für andere Situationen und Zeiten gel-

ten können, da in der qualitativen Forschung davon ausgegangen wird, dass unter Menschen Regelmäßigkeiten im Denken, Handeln und Verhalten feststellbar sind. (Flick 2007)

Mit Hilfe von Einzelfallanalysen, die die Sichtweisen von weiblichen Fach- und Führungskräften (Innenperspektive) und betrieblichen Sozialberatern bzw. Coaches (Außenperspektive) abbilden, werden sowohl die Position der hoch qualifizierten Frau mit ihren spezifischen Belastungen als auch angewandte Stressbewältigungsstrategien mittels qualitativer Interviews zugänglich und analysierbar gemacht. Für den Zugang in das Untersuchungsfeld stehen betriebliche Sucht- und Sozialberater/-innen, freiberufliche Gesundheitscoaches sowie die Institutsleitung eines wissenschaftlichen Suchtpräventionszentrums als „gatekeeper“ zur Verfügung. Zugleich nahmen diese Personen an den Experteninterviews teil. Bislang wurden drei Experten/-innen interviewt und mit Hilfe der „zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring“ ausgewertet. Diese Experten/-innen wiederum eröffneten den Zugang zu weiblichen Fach- und Führungskräften. Die Untersuchungsfälle wurden anhand literaturgeleiteter Kriterien, die sich aus dem wissenschaftlichen Problemhintergrund ergeben, ausgewählt. Zu diesen Kriterien gehören, dass die Frauen hoch qualifiziert, zwischen 40- bis 59 Jahre alt sowie und/oder in einer Fachposition mit oder ohne Personalverantwortung tätig sind (siehe Tabelle 1). Die leitfadengestützten Einzelinterviews werden in Anlehnung an die „strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring“ analysiert.

**Tabelle 1: Darstellung des Samples der interviewten weiblichen Fach- und Führungskräfte**

Interviewpartnerin	Alter	Familienstand	Kinder	Höchster Bildungsabschluss	In der Position seit
Frau L..	45	Verheiratet	Ein Kind, 12 Jahre	2. Staatsexamen Jura	1 Jahr
Frau M.	47	Ledig	Keine	Promotion, Medizin	4 Monaten
Frau N.	43	Verheiratet	schwanger	2. Staatsexamen Jura	3 Jahren
Frau O.	42	Verheiratet	Ein Kind, 12 Jahre	Dipl. Sozialpädagogin/Sozialarbeiterin	1 Jahr
Frau P.	52	Verheiratet	Ein Kind, 32 Jahre	Erweiterter Realschulabschluss	3 Jahre

Auf Basis der erarbeiteten theoretischen Sinnzusammenhänge wurden themenbezogene Leitfragen für die qualitativen leitfadengestützten Einzelfallinterviews und die Experteninterviews entwickelt. Bei beiden Zielgruppen wurden nach den Dimensionen berufliche Entwicklung, berufliche Belastungen, Verhalten bei negativen Gefühlen, allgemeine Bewältigungsstrategien, Substanzkonsum, Funktionalisierung des Konsums sowie aktives Handeln in Belastungssituationen gefragt. Dabei war unter Verwendung dieser gleichen Themen der Aspekt der Innen- und Außenperspektive interessant, da die Experten aus ihrer Wahrnehmung der Beratung oder des Coachings heraus antworteten, hingegen die weiblichen Führungskräfte ihre eigene Position reflektierten.

## **4 Stand der Auswertung**

Aus dem bisherigen Stand der Untersuchung ergibt sich aus den Teilauswertungen, dass der meist verbreitete riskante Alkoholkonsum bei Frauen im Alter zwischen 40 und 59 Jahren liegt. Weiterhin haben empirische Untersuchungen gezeigt, dass mit Zunahme der Sozialschicht der Konsum von Alkohol steigt. Vor diesen Hintergründen lassen sich Hinweise ableiten, dass die Gruppe der weiblichen Fach- und Führungskräfte als Risikogruppe für einen riskanten Alkoholkonsum zu betrachten ist. Neben statistischen Hinweisen ergeben sich aus den durchgeführten Interviews spezifische Belastungen, die durch das gleichzeitige Aufeinandertreffen beruflicher und privater Bereiche entstehen. Je nach Intensität dieser spezifischen Belastung kann ein Einfluss auf den Alkoholkonsum vermutet werden.

## **5 Literatur**

Bundesministeriums für Jugend, Familie, Senioren und Frauen (Hrsg.) (1999): Untersuchung zur gesundheitlichen Situation von Frauen in Deutschland. Eine Bestandsaufnahme unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklung in West- und Ostdeutschland. Berlin

Crum, R.M., Muntaner, C., Anthony, J.C. (1995): Occupational stress and the risk of alcohol abuse and dependence. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 19 (3): 647 – 655

Deutsche Hauptstelle für Suchtfragen (Hrsg.) (2006): Qualitätsstandards in der betrieblichen Suchtprävention und Suchthilfe der Deutschen Hauptstelle für Suchtfragen. Hamm

Flick, U., v. Kardorff, E., Steinke, I. (2007): *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Rowohlt: Reinbek

Frerichs, J. (1986): *Betriebliche Arbeitszeitpolitik und Interessenvertretung. Lernprozesse bei der Umsetzung der Arbeitszeitverkürzung in der Druckindustrie*. Verlag Neue Gesellschaft: Bonn

Fuchs, W., Klima, R., Wienold, H., Lautmann, R., Rammstedt, O. (1988). *Lexikon zur Soziologie*. Westdeutscher Verlag: Opladen

Head, J., Stansfeld, S.A., Siegrist, J. (2004): The psychosocial work environment and alcohol dependence: A prospective study. *Occup. Environ. Med.* 2004; 61; 219 - 224. London

Kanter, R.M. (1990): *Manager brauchen einen neuen Arbeitsstil und andere Talente*. In: *HARVARDmanager*, No. 2/1990

Kanter, R.M. (1977): *Men and Women of the Corporation*. Basic Books: New York, 22

Kolip, P. (2008): *Geschlechtergerechte Gesundheitsförderung und Prävention*. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 2008, 28 – 35

Lausser, A., Bess, R., Thiele, W., Schneider, B. (1986): *Alkoholkonsum und Prävention in der Arbeitswelt. Strukturforschung im Gesundheitswesen*, 17. unveröffentlichter Bericht, Technische Universität Berlin

- Mayring, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 11. Akt. Und überarb. Auflage, Beltz: Weinheim und Basel
- Mielck, A. (2000): Soziale Ungleichheit und Gesundheit. Empirische Ergebnisse, Erklärungsansätze Interventionsmöglichkeiten. Huber: Göttingen
- Müller, U. (2005): Geschlecht, Arbeit und Organisationswandel - Eine (Re)-Thematisierung. In: Kurz-Schert, I., Correll, L., Janczyk, St. (2005): Zukunft. Die Zukunft der Arbeit und der Arbeitsforschung liegt in ihrem Wandel. Münster
- Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit (Hrsg.) (2009): Suchtprävention in Niedersachsen 2008. Hannover
- Puls, W. (2003): Arbeitsbedingungen, Stress und der Konsum von Alkohol. Theoretische Konzeptionen und empirische Befunde. Band 160. Leske + Budrich: Opladen
- Puls, W. (2002): Betriebliche Bedingungsfaktoren des Suchtmittelkonsums. In: HRgate
- Puls, W. (1992): Stress am Arbeitsplatz und die Motivation zum Alkoholkonsum: Ein eindeutiger Zusammenhang? Sucht, 38, 371 – 385
- Rehwald, R., Wienemann, E., Reinecke, R., Zinke, E. (2008): Betriebliche Suchtprävention und Suchthilfe. Bund Verlag: Frankfurt am Main
- Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2010): Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie Gesundheit in Deutschland aktuell 2009. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Hrsg. Robert Koch-Institut. Berlin
- Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2008): Alkoholkonsum und alkoholbezogene Störungen. Heft 40. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Hrsg. Robert Koch-Institut. Berlin
- Tondorf, K., Krell, G. (1999): An den Führungskräften führt kein Weg vorbei. Edition der Hans-Böckler-Stiftung 23.
- Wills, T.A., Shiffman, S. (1985): Coping Behavior and is Relation of Substance Use: A conceptual framework, In: Shiffman, S., Wills, T.A., Coping and Substance Use, 3 - 24. Academic Press: New York
- Wunderer, R., Dick, P. (1997): Frauen im Management. Besonderheiten und personalpolitische Folgerungen – eine empirische Studie, In: Wunderer, R., Dick, P. (Hrsg.): Frauen im Management. Kompetenz-Führungsstile-Fördermodelle. Luchterhand: Neuwied, Kriftel, Berlin; 1997, 5 - 208
- Weiss, W. (1980): Beruf, Arbeitssituation und exzessiver Konsum von Alkohol. Unveröffentlichter Bericht, Schweizerische Fachstelle für Alkoholprobleme



## **Soziale Unterstützung stationärer Psychotherapiepatienten – Eine empirische Untersuchung an Jugendlichen und jungen Erwachsenen**

Dipl. Reha.-Psych. (FH) Susanne Jäger, M.Sc., Phone: 03931-21874852, E-Mail: susanne.jaeger@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, Akkreditierte Studiengänge B.Sc. und M.Sc. Rehabilitationspsychologie, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

Prof. Dr. Christfried Tögel, Salus-Institut für Trendforschung und Therapieevaluation in Mental Health, Phone: 0391-6075317, c.toegel@salus-institut.de, Seepark 5, 39116 Magdeburg

Prof. Dr. Gabriele Helga Franke, Phone: 03931-21874826, E-Mail: gabriele.franke@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, Akkreditierte Studiengänge B.Sc. und M.Sc. Rehabilitationspsychologie, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

### **Abstract**

**Einleitung:** Im Rahmen von somatischen und psychischen Erkrankungen spielt soziale Unterstützung eine wichtige Rolle. Die einzelnen Komponenten sozialer Unterstützung können als Moderator der Krankheitsbelastung oder als Puffer fungieren. Soziale Unterstützung kann für die Entstehung, die Aufrechterhaltung (Defizitmodell) und die Bewältigung einer psychischen Erkrankung eine Rolle spielen und gleichzeitig die Inanspruchnahme von professioneller Hilfe steuern. Meta-analytisch betrachtet ist soziale Unterstützung im Rahmen von Psychotherapie ein unspezifischer Wirkfaktor, der mit anderen Prädiktoren interagiert. Frauen berichten über mehr soziale Unterstützung als Männer und depressive Patienten profitieren besonders davon.

**Fragestellung:** Das Defizitmodell sozialer Unterstützung wird geprüft. Es wird vermutet, dass Jugendliche in stationärer Behandlung deutlich weniger soziale Unterstützung und vor allem mehr soziale Belastungen als Gleichaltrige der Allgemeinbevölkerung berichten. Basierend auf bisherigen empirischen Untersuchungen werden Unterschiede in der sozialen Unterstützung in Abhängigkeit von der ICD-10 Diagnose und dem Geschlecht erwartet.

**Methode:** Stationäre psychiatrische Patienten beantworteten Fragen zur wahrgenommenen sozialen Unterstützung. Aus einer anfallenden Patientenstichprobe wurden die Jugendlichen und jungen Erwachsenen von 16 bis 24 Jahre extrahiert. Zum Vergleich wurden N=402 gesunde Jugendliche und junge Erwachsene aus der Allgemeinbevölkerung betrachtet.

**Ergebnisse:** 212 Psychatriepatienten, 51% männlich und im durchschnittlichen Alter von 21 Jahren wurden analysiert. Die häufigsten psychischen Diagnosen waren Abhängigkeitserkrankungen (41%), Angsterkrankungen (15%) und Affektive Störungen (15%). Die Personen der Bevölkerungsstichprobe (N=402) waren durchschnittlich 21 Jahre alt, zu 32% männlich und überwiegend (98%) ledig. Es ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Patienten und den gesunden Jugendlichen für alle untersuchten Dimensionen der sozialen Unterstützung. Patienten berichteten weniger Unterstützung und mehr Belastung. Sucht- sowie weibliche Patienten berichteten über höhere soziale Belastungen.

**Diskussion:** Die Jugendlichen und jungen Erwachsenen in stationärer psychiatrischer Behandlung berichteten zu Therapiebeginn deutlich weniger wahrgenommene soziale Unterstützung als die Jugendlichen der Vergleichsgruppe, womit das Defizitmodell gestützt wurde. Im Suchtbereich ist die Lösung des Patienten vom Drogenumfeld notwendig. Therapie und Rehabilitation müssen an die Lebenswelt der Betroffenen heranrücken, um deren Exklusion abzufedern.

**Keywords:** Soziale Unterstützung, Psychiatrie, Jugendliche, junge Erwachsene, soziale Belastung

## **1 Einleitung**

Es gibt verschiedene Konzepte und Definitionen sozialer Unterstützung, zusammenfassend können die zwei Dimensionen psychologische und instrumentelle soziale Unterstützung unterschieden werden. Auf der *psychologischen Seite* steht soziale Unterstützung für: (1) Bindung durch Nähe und Geborgenheit – z.B. in Paarbeziehungen; (2) Selbstwertunterstützung, in dem durch die Interaktion das Selbstwertgefühl aufgebaut und negative Aspekte abgebaut werden; (3) Geselligkeit

und Kontakt zu anderen, soziale Netzwerke; (4) Die emotionale Unterstützung fördert durch die Kommunikation des Problems mit anderen die Aussprache und stellt somit eine Ventilation oder Aufmunterung dar, so dass das Problem mit anderen Augen betrachtet werden kann; (5) Kognitive Unterstützung umfasst in der Kommunikation und Erörterung des Problems konkrete Problemlösungsansätze und das gemeinsame Bewältigungsvorgehen. Auf der *instrumentellen Seite* kann soziale Unterstützung stehen für: (1) Information und Ratschläge zu dem Problem; (2) Eine finanzielle Hilfe oder (3) eine Sachleistung; (4) Praktische Hilfe – zum Beispiel beim Umzug helfen; (5) Im psychologisch-therapeutischen Zusammenhang können auch Maßnahmen zur Besserung der psychischen Verfassung als Unterstützung gelten (Laireiter, 1993).

Im Rahmen von somatischen und psychischen Erkrankungen spielt soziale Unterstützung eine wichtige Rolle. Die einzelnen Komponenten können als Moderatoren der Krankheitsbelastung oder als Puffer fungieren (Gerhards, Deggerich & Finke, 1993). Nach Röhrle und Laireiter (2009) spielt die soziale Unterstützung sowohl für die Entstehung, Aufrechterhaltung und Bewältigung einer psychischen Erkrankung eine Rolle und steuert gleichzeitig die Inanspruchnahme von professioneller Hilfe im ambulanten oder stationären Rahmen. Die Bedarfslage und sich verändernde Versorgungslandschaften lassen die Rehabilitation psychisch Kranker zunehmend bedeutsamer erscheinen (Weig & Grosch, 2003). Die gesellschaftliche Exklusion psychisch Kranker soll durch Therapie und Rehabilitation abgedeckt werden (Eikermann et al., 2005).

Tabelle 1: Soziale Unterstützung als Rahmenbedingung von Psychotherapie (in Anlehnung an Röhrle und Laireiter (2009, S. 18))

---

<b>Soziale Unterstützung als ätiologischer Faktor</b>
Protektiver Faktor zur Erhöhung der eigenen Resistenz
Defizite und negative Formen sozialer Unterstützung als Risikofaktoren (z.B. problematische partnerschaftliche Beziehung) = Defizitmodell
Defizite und negative Formen sozialer Unterstützung als störungsaufrechterhaltende Bedingungen (z.B. problematische Beziehungsmuster) = Defizitmodell
Soziale Unterstützung als Bewältigungskomponente von Störungen

---

<b>Soziale Unterstützung als Komponente der Suche nach Psychotherapie</b>
Unterstützende Beziehungen als Zielort der Hilfesuche bei Problemen
Soziale Unterstützung als Moderatorin von Bedarf und Inanspruchnahme von Psychotherapie
Soziale Unterstützung als Vermittlerin von Psychotherapie (z.B. Familienangehörigen raten professionelle Hilfe an)
Psychotherapie als Kompensation fehlender Unterstützung

---

<b>Soziale Unterstützung als Begleiterin von Psychotherapie</b>
Interaktionen mit dem Netzwerk bei bestehender Psychotherapie
Unterstützung fördert/ unterstützt Aufrechterhaltung von Psychotherapie
Unterstützung konkurriert mit/ behindert Psychotherapie
Unterstützung und Psychotherapie kooperieren (synergetische Effekte)
Unterstützende Beziehungen als Übungsfeld therapeutischer Effekte

---

<b>Soziale Unterstützung als Determinante des Therapieerfolgs</b>
Unterstützung als Voraussetzung und Prädiktor für positive Therapieergebnisse
Unterstützung als Mediatorin psychotherapeutischer Effekte
Unterstützung als Bedingung für die Stabilität der Therapieeffekte

---

Im Rahmen einer Psychotherapie kann soziale Unterstützung verschiedene Beziehungsfacetten annehmen (vgl. Tabelle 1): (1) Soziale Unterstützung als Rahmenbedingung von Psychotherapie, (2) Soziale Unterstützung als Inhalt von Psychotherapie bzw. Soziale Unterstützung als Determinante des Therapieerfolgs und (3) Soziale Unterstützung als Gegenstand von Psychotherapie. Das Defizitmodell besagt, dass eine falsche oder fehlende soziale Unterstützung zur Entstehung und Aufrechterhaltung einer psychischen Erkrankung führen kann. Personen, die Psychotherapie in Anspruch nehmen haben daher meist ein niedrige wahrgenommene soziale Unterstützung, bekunden jedoch Bedarf an Unterstützung.

Röhrle und Strouse (2009) führten eine Meta-Analyse zum Einfluss sozialer Netzwerke auf den psychotherapeutischen Erfolg durch, in die sie nur deutsche und englische Studien mit kontrollierten klinisch-psychologischen Interventionen einschlossen. Von den insgesamt 1.225 Beiträgen konnten lediglich 26 Studien (1980 bis 2005) berücksichtigt werden. Als Gesamteffekt ergab sich eine geringe Effektstärke ( $d=0,24$ ). Die Autoren resümierten, dass soziale Unterstützung ein unspezifischer Wirkfaktor ist, der mit anderen Prädiktoren interagiert; Frauen berichten von mehr sozialer Unterstützung als Männer und depressive Patienten profitieren besonders von sozialer Unterstützung.

Schindler und Körkel (2009) untersuchten  $N=110$  Patienten mit Alkoholabhängigkeit zu Beginn und im Verlauf ihrer Entwöhnungstherapie sowie drei und sechs Monate nach Therapieende. Die untersuchten Patienten waren zu 80% männlich und durchschnittlich 41 Jahre alt. Aus den Verlaufsdaten konnten Prädiktoren für die Rückfallwahrscheinlichkeit ermittelt werden: Die Größe des sozialen Netzwerkes und das Ausmaß allgemeiner sozialer Unterstützung scheint mitverantwortlich für die Rückfallwahrscheinlichkeit zu sein.

Vriends, Lajtman, Becker und Margraf (2009) untersuchten  $N=1.396$  Dresdner Frauen der Allgemeinbevölkerung zwischen 18 und 25 Jahren. Sie versuchten im Rahmen einer epidemiologischen Studie mit zwei Messzeitpunkten Prädiktoren für psychische Erkrankungen zu ermitteln. Im Rahmen ihrer Untersuchung konnten sie aufzeigen, dass 29% der Frauen Kriterien nach der internationalen Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10; Dilling & Freyberger, 2008) erfüllten, aber nur 3% psychotherapeutische Unterstützung in Anspruch nahmen. Vriends und Kollegen (2009) konnten das Bedürfnis nach psychotherapeutischer Behandlung durch mangelnde emotionale Unterstützung und eine geringe Zufriedenheit mit der erhaltenen sozialen Unterstützung vorhersagen.

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse sind exemplarisch für den Zusammenhang von sozialer Unterstützung und psychischer Erkrankungen und stellen den Ausgangspunkt für die nachfolgende empirische Untersuchung wahrgenommener sozialer Unterstützung bei jungen stationären psychiatrischen Patienten dar. In dieser Lebensphase treten zahlreiche kritische Lebensereignisse auf, die häufig mit einem veränderten Freundes- und sozialen Netzwerk einhergehen.

Befunde zur sozialen Unterstützung Jugendlicher und junger Erwachsener sind im deutschen Sprachraum selten. Jäger und Franke (2010) konnten für 411 Studierende eine hohe wahrgenommene soziale Unterstützung aufzeigen. Die Studierenden unterschieden sich statistisch signifikant von der Normstichprobe und berichteten als wichtigsten Faktor sozialer Beziehungen die soziale Belastung. In einer Analyse von Franke (1994) spielte die soziale Belastung bei Studierenden noch eine geringere Rolle als heute. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass junge Erwachsene soziale

Beziehungen verstärkt als Druck bzw. Belastung durch Freunde oder Familienangehörige erleben.

## 2 Fragestellung und Hypothesen

Es wird geprüft, ob das Defizitmodell – d.h. das Risiko, das von sozialer Unterstützung ausgehen kann – auch bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen Bestätigung finden kann.

Hypothese 1: Die Jugendlichen in stationärer Behandlung berichten dem Defizitmodell zu Folge deutlich weniger soziale Unterstützung und vor allem mehr soziale Belastungen als gleichaltrige Personen der Allgemeinbevölkerung.

Hypothese 2: Basierend auf bisherigen empirischen Untersuchungen wird vermutet, dass es Unterschiede in der sozialen Unterstützung hinsichtlich der ICD-10 Diagnosen und dem Geschlecht gibt.

## 3 Methode

Im Rahmen der Routinediagnostik (vgl. Franke & Jäger, 2010) beantworteten stationäre psychiatrische Patienten fünf verschiedener psychiatrischer Kliniken Fragen zur wahrgenommenen sozialen Unterstützung. Aus der anfallenden Patientenstichprobe (01.04.2009 bis 30.06.2010) von N=1.493 Patienten wurden die Jugendlichen und jungen Erwachsenen bis 24 Jahre extrahiert.

Um verallgemeinerbare Aussagen machen zu können, werden die Patienten mit einer Stichprobe von N=402 gesunden Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus der Allgemeinbevölkerung verglichen. Bei dieser Stichprobe handelt es sich um eine Teilstichprobe einer größeren Bevölkerungsbefragung. In die Gesamtstichprobe wurden N=1.278 Personen von 16 bis 84 Jahre eingeschlossen. Insgesamt sechs Testleiter konnten ihren Familien-, Freundes- und Bekanntenkreis sowie deren Familien und Arbeitskollegen zur Teilnahme motivieren.

## 4 Ergebnisse

216 (14%) der Psychatriepatienten erfüllten das Alterskriterium; 40% der Patienten waren auf einer Suchtstation, 32% auf einer allgemein psychiatrischen Station und 27% auf einer psychosomatisch/ psychotherapeutischen Station. 212 Patienten konnten in die Analysen eingeschlossen werden. Die Patienten waren durchschnittlich 21 Jahre alt und zu 51% männlich. Die häufigsten psychischen Diagnosen waren Abhängigkeitserkrankungen (41%), Angsterkrankungen (15%) und Affektive Störungen (15%). Die Personen der Bevölkerungsstichprobe (N=402) waren durchschnittlich 21 Jahre alt, zu 32% männlich und überwiegend ledig (98%).

Abbildung 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die sechs erhobenen Dimensionen der sozialen Unterstützung. Es ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Patienten und den gesunden Jugendlichen für alle untersuchten Dimensionen. Der größte Unterschied zeigte sich mit einem starken Effekt auf der Dimension *Soziale Unterstützung durch Freunde und Bekannte* ( $F=116,1$ ;  $p<0,001$ ;  $\eta^2=0,16$ ), gefolgt von der Dimension *Zusammenhalt und gegenseitige Hilfe* ( $F=108,2$ ;  $p<0,001$ ;  $\eta^2=0,15$ ).

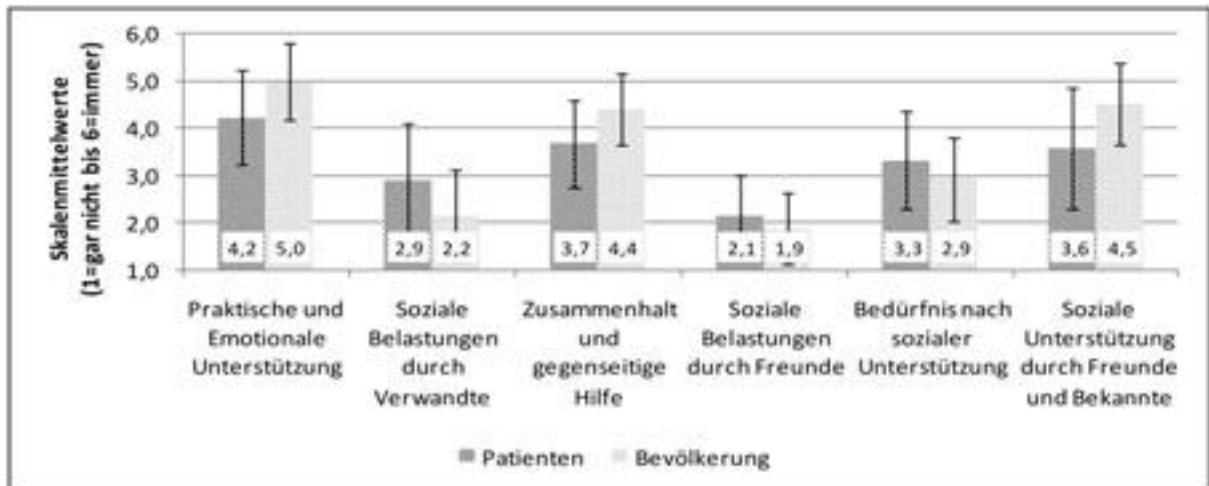


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Dimensionen Sozialer Unterstützung für die zwei Stichproben

Hinsichtlich der ICD-10 Diagnosen fand sich kein Haupteffekt. Die Patienten der Suchttherapie berichteten jedoch tendenziell mehr *Soziale Belastungen durch Freunde* ( $F=3,77$ ;  $p<0,03$ ;  $\eta^2=0,03$ ) als die anderen Patienten. In der Bevölkerungsstichprobe fanden sich vielfältige geschlechtsspezifische Unterschiede, die sich bei den Patienten nicht wiederfanden. Die Patientinnen berichteten – im Gegensatz zur Bevölkerungsstichprobe – von mehr *sozialer Belastung durch Verwandte* als die männlichen Patienten ( $F=5,9$ ;  $p<0,02$ ;  $\eta^2=0,03$ ).

## 5 Diskussion

Die Jugendlichen und jungen Erwachsenen in stationärer psychiatrischer Behandlung berichteten zu Therapiebeginn deutlich weniger wahrgenommene soziale Unterstützung als die Jugendlichen der Vergleichsgruppe, womit das Defizitmodell gestützt wurde. Sie äußerten weiterhin ein höheres Bedürfnis nach sozialer Unterstützung und fühlten sich durch ihre Familie und Freunde sozial belastet; somit kann die erste Hypothese bestätigt werden.

Junge Suchtpatienten fühlten sich besonders durch ihre sozialen Beziehungen zu Freunden belastet. Wenn diese dem Drogenumfeld zuzurechnen sind, lautet die Entwicklungsaufgabe der Patienten, sich ein völlig neues, drogenfreies soziales Netzwerk aufzubauen. Alle jungen Psychiatriepatientinnen berichteten im Durchschnitt von hoher sozialer Belastung durch ihre Familien. Die grundsätzliche Belastung junger Menschen durch ihre sozialen Beziehungen hat in den vergangenen 15 Jahren anscheinend zugenommen (vgl. Franke, 1994; Jäger & Franke, 2010). Im Anschluss an die psychologische Diagnostik sollten daher gemäß Röhrle und Laireiter (2009, S. 22) „bei Vorliegen von Defiziten und Belastungen im engeren persönlichen Netzwerk Methoden zu deren [...] Verbesserung als zusätzliche Interventionen“ eingesetzt werden. Therapie und Rehabilitation müssen an die Lebenswelt der Betroffenen heranrücken, um deren Exklusion abzufedern.

Methodischen Grenzen dieser Arbeit liegen in der Stichprobengenerierung. Zukünftig wäre eine Replikation der Studie in parallelen Vergleichsgruppen wünschenswert.

## 6 Literatur

- Dilling, H. & Freyberger, H. J. (2008). Taschenführer zur Klassifikation psychischer Störungen. Bern: Verlag Hans Huber.
- Eikermann, B., Zacharias-Eikermann, B., Richter, D. & Reker, T. (2005). Integration psychisch Kranker. Ziel ist Teilnahme am „wirklichen“ Leben. Deutsches Ärzteblatt, 102(16), A1104-A1110.
- Franke, G. H. (1994). Testtheoretische Überprüfung des Fragebogens zur Sozialen Unterstützung. Zeitschrift für Medizinische Psychologie, 3(4), 168-177.
- Franke, G.H. & Jäger, S. (2010). Zur Optimierung der Qualitätssicherung in psychiatrischen Kliniken. Ein rehabilitationspsychologisches Forschungsprojekt für die Praxis. Die Neue Hochschule, 51(2-3), 26-28.
- Gerhards, F., Deggerich, G. & Finke, P. (1993). Soziale Fertigkeiten, sozialer Rückhalt und Gesundheit. In A. Laireiter (Hrsg.), Soziales Netzwerk und soziale Unterstützung: Konzepte, Methoden und Befunde (S. 195-205). Bern: Huber.
- Jäger, S. & Franke, G. H. (2010). Der Fragebogen zur sozialen Unterstützung: Psychometrische Prüfung an einer Stichprobe Studierender. Klinische Diagnostik und Evaluation, 3(4), 427-446.
- Laireiter, A. (1993). Begriffe und Methoden der Netzwerk- und Unterstützungsforschung. In A. Laireiter (Hrsg.), Soziales Netzwerk und soziale Unterstützung: Konzepte, Methoden und Befunde (S. 15-44). Bern: Huber.
- Röhrle, B. & Laireiter, A.-R. (2009). Soziale Unterstützung und Psychotherapie: Zwei eng vernetzte Forschungsfelder. In B. Röhrle & A.-R. Laireiter (Hrsg.), Soziale Unterstützung und Psychotherapie (S. 11-46). Tübingen: Dgvt-Verlag.
- Röhrle, B. & Strouse, J. (2009). Der Einfluss Sozialer Netzwerke auf den psychotherapeutischen Erfolg - Eine Meta-Analyse. In B. Röhrle & A.-R. Laireiter (Hrsg.), Soziale Unterstützung und Psychotherapie (S. 277-296). Tübingen: Dgvt-Verl.
- Schindler, C. & Körkel, J. (2009). Die Bedeutung Sozialer Unterstützung für Rückfallgenese und -verlauf bei Alkoholabhängigen. In B. Röhrle & A.-R. Laireiter (Hrsg.), Soziale Unterstützung und Psychotherapie (S. 419-444). Tübingen: Dgvt-Verl.
- Vriends, N., Lajtmán, M., Becker, E. S. & Margraf, J. (2009). Die Rolle der Sozialen Unterstützung im Prozess der Inanspruchnahme von Psychotherapie: Ergebnisse einer epidemiologischen prospektiven Studie. In B. Röhrle & A.-R. Laireiter (Hrsg.), Soziale Unterstützung und Psychotherapie (S. 297-316). Tübingen: Dgvt-Verl.
- Weig, W. & Grosch, E. (2003). Rehabilitation in Psychiatrie und Psychotherapie. Psychoneuro, 29(11), 532-534.

## Lebensqualitätsveränderungen zerebralgeschädigter Personen durch computergestütztes Gesichtsfeldtraining

Svea Bade, Phone: ++49.157-72459655 E-Mail: Svea.Bade@student.ahw.hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

Prof. Dr. habil. Gabriele H. Franke, Phone: ++49.3931-2187-4826, E-Mail: gabriele.franke@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

Prof. Dr. Bernhard A. Sabel, Phone: ++49.391-6721801, E-Mail: bernhard.sabel@med.ovgu.de, Institut für medizinische Psychologie, Otto-von-Guericke Universität, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg

Dr. Dipl. Psych. Carolin Gall, Phone: ++49.391-6721807, E-Mail: carolin.gall@med.ovgu.de, Institut für medizinische Psychologie, Otto-von-Guericke Universität, Leipziger Str. 44, 39120 Magdeburg

### Abstract

*Hintergrund:* Hirnschädigungen in Form von traumatischen, vaskulären oder entzündlichen Prozessen gehen häufig mit funktionellen Einbußen der Sehleistung und dabei vor allem mit Gesichtsfeldausfällen einher. Beeinträchtigungen sehbezogener Aktivitäten des täglichen Lebens sind die Folge. Mittels computergestützter visueller Restitutions-therapie konnten Funktionsverbesserungen des Gesichtsfeldes erzielt werden. Diese haben zugleich Auswirkungen auf die seh- sowie gesundheitsbezogene Lebensqualität, wobei der sehbezogene Aspekt der Lebensqualität der rehabilitationspsychologisch präzisere Indikator ist.

*Fragestellung:* Untersucht wird die Veränderung der selbstberichteten seh- und gesundheitsbezogenen Lebensqualität vor und nach dem restitutiven Gesichtsfeldtraining sowie das Ausmaß der erreichten Effektstärken in der Verlaufsmessung.

*Methode:* Analysiert wurden 90 Patienten mit zerebral bedingten Gesichtsfelddefekten, die an einem sechsmonatigen computergestützten Gesichtsfeldtraining – Vision Restoration Therapy (VRT) – teilgenommen haben. Die Prüfung des Gesichtsfeldes erfolgte mittels hochauflösender Computerkampimetrie. Zur Erfassung der sehspezifischen Lebensqualität kam die deutsche Version des National Eye Institute Visual Function Questionnaire (NEI-VFQ) mit 39 Items zum Einsatz. Diese umfasst 12 Skalen, deren T-transformierte Werte ausgewertet und im prä-post-Vergleich gegenübergestellt wurden. Die Erhebung und Auswertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität erfolgte analog mit dem Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36). Zur Entwicklung akzeptabler Schwellenwerten wurde ein bereinigter Summenwert des NEI-VFQ anhand von 37 Items gebildet, woraufhin die Differenzen zwischen den Prä- und Postmessungen zu den Gruppen „verbessert“, „unverändert“ und „verschlechtert“ zusammengefasst wurden.

*Ergebnisse:* Die sehspezifische Lebensqualität der Patienten im NEI-VFQ hat sich statistisch signifikant bei sechs von 12 Skalen nach der VRT verbessert. Allerdings wiesen alle Skalen bis auf „Farbsehen“ und „Augenschmerzen“ zu beiden Zeitpunkten eine auffällige, statistisch signifikante Belastung ( $T > 60$ ) auf. Die größten Effekte im Sinne einer Verbesserung nach VRT zeigten sich bei „Nahsicht“, „Psychischem Befinden“, „Problemen mit dem Autofahren“ und „Allgemeiner Sehkraft“. Die SF-36 Analyse ergab vergleichbare Ergebnisse. Die aus der Entwicklung akzeptabler Schwellenwerte hervorgegangenen drei Gruppen wiesen die folgende prozentuale Verteilungshäufigkeit auf: „verbessert“ 45,6 %, „unverändert“ 33,3 % und „verschlechtert“ 21,1 %.

*Fazit:* Wie erwartet, verbesserten sich die Parameter der seh- sowie gesundheitsbezogenen Lebensqualität von der Prä- zur Postmessung auf Mittelwertebene und bestätigten die bereits vorliegenden Befunde, dass VRT subjektiv wahrnehmbare Verbesserungen der visuellen Funktionsfähigkeit herbeiführt. Es bestätigt sich, dass das NEI-VFQ ein geeignetes Maß für die Selbstausskunft von Personen mit Gesichtsfeldausfällen ist. Die vorgeschlagenen Schwellenwerte sollten weiterhin überprüft und diskutiert werden.

**Keywords:** Gesichtsfeldausfall, Lebensqualität, NEI-VFQ, SF-36

### Hintergrund

Sehen ist ein hoch komplexer Wahrnehmungsvorgang, der mit der Aufnahme von Informationen am Auge beginnt und sich über die Sehbahn bis hin zum visuellen Kortex fortsetzt. Da sich dieser Funktionsprozess vom anterioren bis hin zum

posterioren Teil des Gehirns vollzieht, haben verschiedene kortikale Schädigungen Auswirkungen auf die visuelle Leistung. Entscheidend für die Art der Sehstörung ist dabei der Ort der Läsion. Bei zerebralen Schädigungen nach Hirninfarkten, Schädel-Hirn-Traumata, Tumoren oder Entzündungen des zentralen Nervensystems kommt es mit 20-40%iger Wahrscheinlichkeit zu Beeinträchtigungen der visuellen Wahrnehmung (Rüsseler, 2009). Eine solche Störung hat mit über 60% Einbußen des Gesichtsfeldes zur Folge (ebd.). Gesichtsfelddefekte wirken sich auf alle Bereiche des täglichen Lebens aus, wie bei der Steuerung und Kontrolle verschiedener motorischer Fähigkeiten, der räumlichen Orientierung oder beim visuellen Erkennen und stellen so für die Betroffenen eine weitreichende Behinderung im Alltag und Berufsleben dar. Allein anhand der jährlichen Inzidenzen von Schlaganfällen (ca. 165.000) und Schädel-Hirn-Traumata (ca. 200.000 bis 300.000) in Deutschland und der damit verbundenen Patientenzahl mit Gesichtsfelddefekten wird die Bedeutung neurovisueller Therapieformen deutlich (ebd.).

Neben Kompensationstraining und technischen Hilfsmitteln wie Prismengläsern gibt es die Möglichkeit eines computergestützten Restitutionstrainings (Vision Restoration Therapy, VRT), das sich auf die Übergangsbereiche zwischen intaktem und geschädigtem Gesichtsfeld konzentriert. Hierbei liegt der Fokus auf einer gezielten Stimulation dieser teilgeschädigten Areale des Gesichtsfeldes, wodurch eine Aktivierung von noch funktionsfähigen Neuronen im Randbereich der Schädigung angenommen wird (Gall & Kasten, 2007). Die Basis dieser Interventionsmethode bilden die in umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten belegten plastischen Anpassungsprozesse des visuellen Systems (Gall et al., 2010; Kasten & Sabel, 2003). In verschiedenen klinischen Studien konnten partielle Funktionserholungen, d.h. Gesichtsfelderweiterungen durch VRT, nachgewiesen und somit eine prinzipielle Behandelbarkeit von Gesichtsfelddefekten belegt werden (Romano et al., 2008; Müller et al., 2007; Sabel et al., 2004; Kasten et al., 1998; Zihl & von Cramon, 1979 & 1985). Dabei ist aber anzumerken, dass die individuelle Reaktion auf ein solches Training eine hohe Variabilität aufweist, denn etwa ein Drittel der Patienten zeigten keine Verbesserungen (Müller et al., 2008; Romano et al., 2008; Sabel et al., 2004; Kasten et al., 1998). Im Besonderen konnte jedoch aufgezeigt werden, dass Gesichtsfeldverbesserungen nach VRT mit einer Erhöhung der seh- sowie gesundheitsbezogenen Lebensqualität einhergehen. Die sehbezogene Lebensqualität wies dabei deutlich stärkere systematische Zusammenhänge mit Verbesserungen der Gesichtsfeldgröße auf, als die gesundheitsbezogene Lebensqualität (Wagenbreth et al., 2010; Gall et al., 2008a; Gall et al., 2008b).

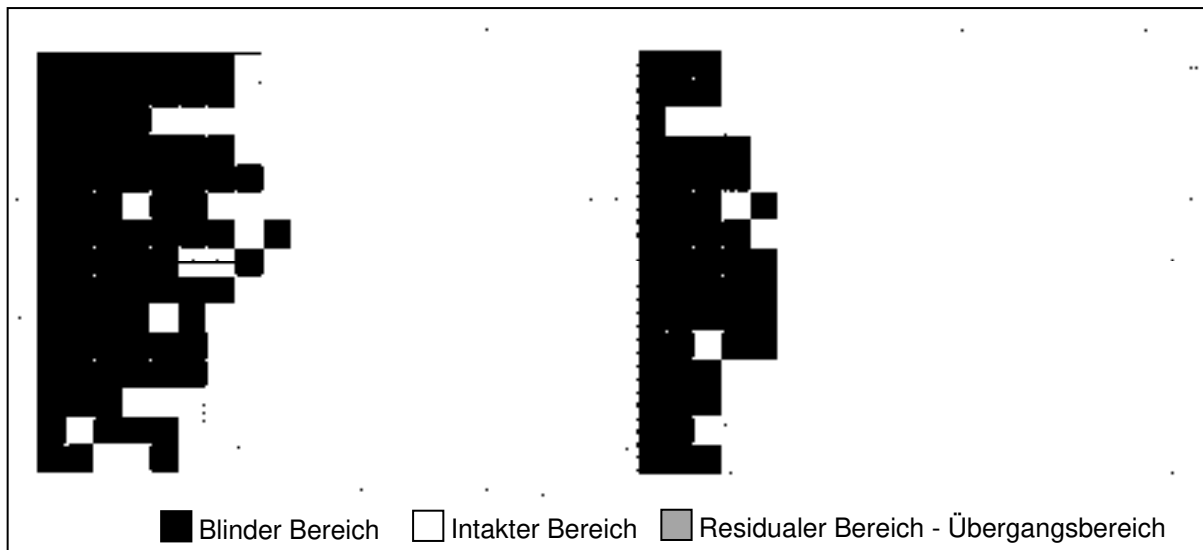
## **Fragestellung**

Ausgehend von Selbstberichten zur seh- sowie gesundheitsbezogenen Lebensqualität zerebralgeschädigter Patienten mit Gesichtsfeldausfällen, die sowohl vor Beginn als auch nach Beendigung des mehrmonatigen Gesichtsfeldtrainings erhoben wurden, soll das Ausmaß der Veränderung gemessen und die erreichten Effektstärken geprüft werden. Darüber hinaus sollen erste Ansätze zur Bestimmung von akzeptablen Schwellenwerten für eine Gruppenbildung nach dem Ausmaß der Verbesserung der subjektiven, sehbezogenen Lebensqualität erprobt werden.



## **Methode**

In die retrospektive Analyse wurden 90 Patienten einbezogen, die auf Grund zerebralbedingter Ätiologie von unterschiedlichen Gesichtsfeldausfällen betroffen waren und das sechsmonatige, computergestützte Gesichtsfeldtraining VRT bei der NovaVision AG (Magdeburg) absolviert haben. Die Prüfung des Gesichtsfeldes erfolgte sowohl vor als auch nach dem Training mittels hochauflösender Computerkampimetrie (vgl. Abb. 1). Auf Basis dieser Daten wurde für jeden Patienten ein ambulantes individualisiertes Trainingsprogramm zur Stimulation der Übergangsbereiche zwischen intaktem und geschädigtem Gesichtsfeld erstellt, d.h. für die Bereiche des Residualsehens. Mit Hilfe der entsprechenden Software haben die Betroffenen die Aufgabe (je 1 Stunde an 6 Tagen in der Woche) möglichst schnell auf die überwiegend im Bereich des Residualsehens dargebotenen Lichtreize zu reagieren. Die Lichtreize werden dabei schrittweise heller, bis der Patient den Reiz erkennt. Darüber hinaus wurde die erforderliche stabile Fixationsleistung durch minimalen Farbwechsel kontrolliert. Eine Anpassung und Aktualisierung des Trainingsprogramms erfolgte regelmäßig nach 28 Übungstagen (Müller et al., 2007; Kasten et al., 1998).



**Abb. 1:** Beispiel eines HRP-Ausdrucks nach Gesichtsfeldprüfung eines Patienten mittels Computerkampimetrie, links vor sowie rechts nach dem sechsmonatigen VRT-Training

Zur Erhebung der seh- sowie gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Patienten kamen sowohl vor als auch nach der Restitutionstherapie standardisierte Selbstbeurteilungsverfahren zum Einsatz. Die deutsche Version des National Eye Institute Visual Function Questionnaire (NEI-VFQ) mit 39 Items wurde zur Beurteilung der seh-spezifischen Lebensqualität herangezogen (Franke et al., 2003). Diese umfasst 12 Skalen, welche auf Rohwertebene sowie auf Ebene der T-transformierten Werte (Franke, 1999) ausgewertet und im prä-post-Vergleich gegenübergestellt werden. Analog dazu erfolgte die Erhebung und Auswertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem Fragebogen zum Gesundheitszustand – SF-36 (Bullinger & Kirchberger, 1998).

Zur Entwicklung von Schwellenwerten, die eine Gruppenbildung anhand der Veränderung der sehbezogenen Lebensqualität erlauben, wurde ein bereinigter Sum-

menwert des NEI-VFQ gebildet. Dieser basierte auf 37 Items, da aufgrund zu geringer Trennschärfe die Items „Farbensehen“ und „peripheres Sehen“ nicht in die Berechnung einbezogen wurden. Die kritische Differenz für die Schwellenwertbetrachtung ergab sich aus der Standardabweichung sowie der Reliabilität des gebildeten Summenwertes:  $D_{krit} = SD_{Sum} * \sqrt{2 * (1 - rel_{Sum})}$ . Bei dieser Ermittlungsmethode wurde auf die Einberechnung einer Fehlerwahrscheinlichkeit verzichtet, was zu weicheren Schwellen führte. Die Differenzen der Verlaufsmessung ( $Diff_{t1-t2}$ ) führten so zu den Gruppen „verbessert“ ( $Diff_{t1-t2} < (-D_{krit})$ ), „verschlechtert“ ( $Diff_{t1-t2} > D_{krit}$ ) und „unverändert“ ( $|Diff_{t1-t2}| < D_{krit}$ ).

## Ergebnisse

Die sehspezifische Lebensqualität der Patienten mit zerebralen Schädigungen hat sich im Mittel nach der VRT verbessert. Gegenüber der Beeinträchtigung vor dem Training war dies bei 11 der Skalen mit einem deskriptiven Anstieg der Rohwerte verbunden. Nur die Skala „Augenschmerzen“ wies im Durchschnitt nach der rehabilitativen Trainingsmaßnahme einen leicht verschlechterten Wert auf. Auf Basis der T-transformierten Werte des NEI-VFQ stellten jedoch alle Skalen, mit Ausnahme der zwei Skalen „Farbensehen“ und „Augenschmerzen“, sowohl zum Zeitpunkt der ersten Messung als auch zum Zeitpunkt der zweiten Messung eine auffällige, statistisch signifikante Belastung dar ( $T > 60$ ). Sechs der 12 Skalen wiesen eine statistisch signifikante Verbesserung in der sehbezogenen Lebensqualität nach der computergestützten Therapie auf. In Bezug auf die Effektgröße standen hierbei „Nahsicht“, „Psychisches Befinden“, „Probleme mit dem Autofahren“ und „Allgemeine Sehkraft“ im Vordergrund (vgl. Tab. 1).

**Tab. 1:** T-transformierte Ergebnisse der Subskalen des NEI-VFQ vor und nach VRT (N = 90)

NEI-VFQ Skalen	vor VRT-Training Mittelwert ± SD	nach VRT-Training Mittelwert ± SD	Signifikanzniveau p	Effektstärke $\eta^2$
1. Allgemeiner Gesundheitszustand	62,48 ± 12,01	61,73 ± 11,93	0,455	0,006
2. Allgemeine Sehkraft	71,88 ± 11,34	69,28 ± 11,70	<b>0,016</b>	<b>0,064</b>
3. Augenschmerzen	52,97 ± 12,68	54,93 ± 13,31	0,126	0,026
4. Nahsicht	72,41 ± 10,77	68,76 ± 12,06	<b>0,001</b>	<b>0,119</b>
5. Fernsicht	66,22 ± 11,50	65,60 ± 11,90	0,448	0,007
6. Soziale Funktionsfähigkeit	65,98 ± 13,52	63,67 ± 13,16	0,053	0,041
7. Psychisches Befinden	68,97 ± 11,85	65,46 ± 12,13	<b>0,001</b>	<b>0,110</b>
8. Ausübung sozialer Rollen	65,57 ± 12,42	62,97 ± 13,03	<b>0,029</b>	<b>0,053</b>
9. Abhängigkeit von anderen	67,72 ± 13,37	65,31 ± 13,76	<b>0,043</b>	<b>0,045</b>
10. Probleme mit dem Autofahren*	75,80 ± 9,95	70,28 ± 20,17	<b>0,011</b>	<b>0,086</b>
11. Farbensehen	54,02 ± 9,92	53,03 ± 10,73	0,406	0,008
12. Peripheres Sehen	73,70 ± 10,35	72,26 ± 11,13	0,081	0,034

\* nur N = 74 Patienten fahren Auto

Die Analyse der gesundheitspezifischen Lebensqualität mittels SF-36 ergab vergleichbare Ergebnisse. Mit Ausnahme der Skala „Körperliche Schmerzen“ sanken die Belastungen für den zweiten Messzeitpunkt ebenfalls im Durchschnitt. Statistisch signifikante und somit relevante Verbesserungen resultierten bei vier der acht Sub- sowie bei beiden Summenskalen. Gleichzeitig wiesen diese Skalen, „Körperliche Rollenfunktion“, „Soziale Funktionsfähigkeit“, „Psychisches Wohlbefinden“ und „Körperliche Summenskala“, die größten Effektstärken auf (vgl. Tab. 2).

**Tab. 2:** Ergebnisse der Subskalen des SF-36 vor und nach VRT (N = 90)

SF-36 Skalen	vor VRT-Training Mittelwert ± SD	nach VRT-Training Mittelwert ± SD	Signifikanzniveau p	Effektstärke η <sup>2</sup>
Körperliche Summenskala	43,59 ± 8,70	45,46 ± 9,84	<b>0,025</b>	<b>0,055</b>
Psychische Summenskala	47,52 ± 11,17	49,25 ± 9,98	0,082	0,034
1. Körperliche Funktionsfähigkeit	70,17 ± 26,26	73,22 ± 23,98	0,124	0,026
2. Körperliche Rollenfunktion	41,94 ± 44,32	62,22 ± 43,74	<b>0,001</b>	<b>0,162</b>
3. Körperliche Schmerzen	84,36 ± 22,62	81,96 ± 26,33	0,280	0,013
4. Allg. Gesundheitswahrnehmung	55,37 ± 17,80	57,23 ± 18,91	0,269	0,014
5. Vitalität	51,50 ± 20,30	54,72 ± 19,89	0,056	0,041
6. Soziale Funktionsfähigkeit	74,31 ± 25,51	79,86 ± 22,85	<b>0,013</b>	<b>0,067</b>
7. Emotionale Rollenfunktion	75,93 ± 40,60	81,48 ± 36,76	0,212	0,018
8. Psychisches Wohlbefinden	66,62 ± 18,37	70,04 ± 16,40	<b>0,017</b>	<b>0,062</b>
Skalenbereich 0 - 100				

Die aus der Entwicklung akzeptabler Schwellenwerte zur Gruppenbildung in Relation zum Ausmaß der Verbesserung der sehbezogenen Lebensqualität anhand des bereinigten Summenwertes des NEI-VFQ hervorgegangenen drei Gruppen wiesen folgende Verteilungshäufigkeit auf: „verbessert“ 41 Patienten (45,6 %), „verschlechtert“ 19 Patienten (21,1 %) und „unverändert“ 30 Patienten (33,3 %). Somit konnten nahezu die Hälfte der Betroffenen ihre sehspezifische Lebensqualität erheblich steigern und profitierten in subjektiver Hinsicht direkt vom Restitutionstraining VRT.

## Fazit

Wie erwartet, verbesserten sich die Parameter der seh- sowie gesundheitsbezogenen Lebensqualität in der Verlaufsmessung. Demzufolge bestätigen die Untersuchungsergebnisse bereits vorliegende Befunde, dass VRT-Training zu Erfolgen führen kann, die sich in einer Zunahme der Lebensqualität widerspiegeln.

Es zeigt sich, dass das NEI-VFQ ein geeignetes Maß für die Selbstauskunft von Personen mit Gesichtsfeldausfällen bezüglich ihrer visuellen Beeinträchtigungen ist.

Die vorgeschlagene Schwellenwertberechnung zur Veränderungsmessung sollte weiterhin überprüft werden. Daher ist es ein weiteres Ziel, die drei gebildeten Gruppen hinsichtlich kampimetrischer sowie medizinischer Daten zu untersuchen, um so gruppenspezifische Charakteristika aufdecken zu können.

## Literatur

- Bullinger, M. & Kirchberger, I. (1998). *Der SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand – Handbuch für die deutschsprachige Fragebogen-Version*. Göttingen: Hogrefe.
- Franke, G.H. (1999). *Handbuch zum National Eye Institute Visual Function Questionnaire (NEI-VFQ) - ein psychodiagnostisches Verfahren zur Erfassung der Lebensqualität bei Sehbeeinträchtigten*. Essen: Eigendruck.
- Franke, G.H., Mähner, N., Reimer, J. Voigtländer-Fleiß, A. & Esser, J. (2003). Ein psychodiagnostischer Zugang zur Erfassung der Einbußen an gesundheitsbezogener Lebensqualität bei verringerter Sehkraft. *Zeitschrift für medizinische Psychologie*, 12, 57-62.
- Gall, C., Prilloff, S. & Sabel, B.A. (2010). Funktionserholung und Plastizität nach Schädigungen des visuellen Systems. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 11, 18-30.
- Gall, C., Mueller, I., Gudlin, J., Lindig, A., Schlueter, D., Jobke, S., Franke, G.H. & Sabel, B.A. (2008a). Vision- and health-related quality of life before and after vision restoration training in cerebrally damaged patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 26, 341-53.
- Gall, C., Mueller, I., Kaufmann, C., Franke, G.H. & Sabel, B.A. (2008b). Zerebral bedingte Gesichtsfelddefekte aus Patientensicht: Gesundheitsbezogene und sehspezifische Lebensqualität unter Verwendung des National Eye Institute - Visual Function Questionnaire. *Der Nervenarzt*, 79, 185-194.
- Gall, S. & Kasten, E. (2007). Kompensatorische und restitutive Methode des Gesichtsfeldtrainings. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 18 (4), 255-273.
- Kasten, E. & Sabel, B.A. (2003). Plastizität des visuellen Systems nach Hirnschädigung. *Neurologische Rehabilitation*, 9 (3), 113-123.
- Kasten, E., Wust, S., Behrens-Baumann, W. & Sabel, B.A. (1998). Computer-based training for the treatment of partial blindness. *Nature Medicine*, 4, 1083-1087.
- Müller, I., Mast, H. & Sabel, B.A. (2007). Recovery of visual function after brain injury: a large-sample study using Vision Restoration Therapy. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25, 563-572.
- Müller, I., Gall, C., Kasten, E. & Sabel, B.A. (2008). Long-term learning of visual functions in patients after brain damage. *Behavioural Brain Research*, 191, 32-42.
- Romano, G.J., Schulz, P., Kenkel, S. & Todd, D.P. (2008). Visual field changes after a rehabilitation intervention: Vision restoration therapy. *Journal of the Neurological Sciences*, 273, 70-4.
- Rüsseler, J. (2009). *Neuropsychologische Therapie: Grundlagen und Praxis der Behandlung kognitiver Störungen bei neurologischen Erkrankungen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Sabel, B.A., Kenkel, S. & Kasten, E. (2004). Vision restoration therapy (VRT) efficacy as assessed by comparative perimetric analysis and subjective questionnaires. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 22, 399-420.
- Wagenbreth, C., Franke, G.H., Sabel, B.A. & Gall, C. (2010). Beeinträchtigung der seh- und gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Schlaganfallpatienten mit homonymen Gesichtsfelddefekten in Abhängigkeit von der Schwere des visuellen Funktionsverlustes. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 227, 138-148.
- Zihl, J., & von Cramon, D. (1979). Restitution of visual function in patients with cerebral blindness. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 42, 312-22.
- Zihl, J., & von Cramon, D. (1985). Visual field recovery from scotoma in patients with postgeniculate damage. A review of 55 cases. *Brain*, 108, 335-65.

## **Is low back pain a symptom of a greater syndrome?**

**Daniel Nowik<sup>1</sup>, Stein Atle Lie<sup>2</sup>, Silje Endresen Reme<sup>2</sup>, Hege Randi Eriksen<sup>2</sup> & Gabriele Helga Franke<sup>1</sup>**

1 = Phone: +49 175 6263042, email: danielnowik@gmx.de, HS Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

2 = Phone: + 47 5558 9961, email: stein.lie@uni.no, Uni Helse, Postboks 7810, 5020 Bergen, Norway

### **Abstract**

#### **Background**

Chronic low back pain (CLBP) produces high costs in the health-care-system, yet little is known regarding how low back pain becomes chronic in the absence of physiological pathology. Furthermore, knowledge on reasons for the high degree of comorbidity is sparse. The Cognitive Activation Theory of Stress (CATS) can provide insight into these mechanisms.

#### **Objective**

To determine whether subjective health complaints (SHC), psychological distress, psychiatric disorders, victimization, motivation to change, and disbelief in recovery are correlated and to identify patient subgroups using these criteria.

#### **Method**

As a part of a randomized multicentre study, patients with CLBP and on sick-leave were screened with a diagnostic interview and filled out a questionnaire consisting of demographic data, and various psychometric tests. Bootstrapping-correlations, t-Tests and two-step cluster-analysis were used to test the hypotheses.

#### **Results**

473 participants with equal gender distribution were assessed. SHC, psychological distress, psychiatric disorders, victimization, and motivation to change showed highly significant correlations with each other ( $r=0.118-0.699$ ;  $p<.05$  &  $p<.01$ ). Disbelief in recovery was only partly correlated to the other factors ( $r=0.032-0.185$ , n.s.,  $p<.05$  &  $p<.01$ ). We found that the patients could be divided into four subgroups using the criteria "psychiatric illness", "victimization" and SHC. Those patients who have suffered from violence and psychiatric comorbidity showed the highest amount of SHC, whereas those without any of these burdens showed the least SHC.

#### **Discussion**

Psychiatric comorbidity and victimization are highly prevalent in this patient-group and therefore need to be routinely assessed and addressed. Further studies will focus on the predictive value of different clusters for CLBP patients.

**Keywords:** *chronic low back pain, comorbidity, victimization, cluster-analysis, subgroups*

## 1 Introduction

Muscle pain including low back pain (LBP) is very common in the general population and the reason for about 50% of the long term sickness absence in Norway (Brage et al., 2004). Furthermore, it is among the most frequent reasons for visits to the general practitioner (Hart, Deyo & Cherkin, 1995) and it is widely quoted that 80% to 90% of the health care and social costs of back pain are for the 10% of patients with chronic low back pain (CLBP) and disability (Indahl, 2004). Even though LBP is common and, in most cases, has a good prognosis, those patients who have had the symptoms for more than 3 to 4 months will continue to be disabled even after 2 years (Mayer & Gatchel, 1998, Frymoyer, 1991). How the “common” complaints of LBP become chronic is poorly understood. The huge amount of uncertainty makes it challenging to treat these patients (Allegretti, Borkan, Reis & Griffiths, 2010, Hage, Svensen & Eriksen, 2005). Recently attribution to neurobiological and psychobiological sensitization mechanisms (Eriksen & Ursin, 2004a) has been made. Additionally, CLBP-patients often present comorbid psychiatric or somatic illnesses, which complicate treatment even more.

A recent Cochrane-review finds evidence for cognitive behavioural therapy’s (CBT) effectivity in treating chronic pain, at least in short-term (Henschke et al., 2010). Still, there are some patients that don’t respond to treatment (Ostelo et al., 2005, Turk & Rudy, 1990) or the effect does not persist for long (Henschke et al., 2010). Based on this one may assume that interventions need to be tailored more to the patients’ needs. We believe CLBP to be less of a distinct disorder, but more of a symptom of a greater syndrome. It has been shown that psychological problems, psychiatric illnesses, victimization, motivation to change and illness-beliefs are connected with health complaints. Thus we propose that they, too, are interconnected and that distinct subgroups might be identified using these criteria.

## 2 Methods

This study focuses on the baseline measures of a four-arm multicentre randomized controlled clinical cross-sectional trial on interventions for chronic low back pain. The participants were recruited through the National Insurance Administration (NAV, [www.nav.no](http://www.nav.no)). Patients on 100% sickness leave for 6 months that geographically belong to one of the participating clinics were invited to participate. The following criteria led to exclusion: being off the sick list, pregnancy, osteoporosis, cancer, and L diagnoses suggesting recent low back pain trauma or specific spinal or other injuries which may account for the current back pain or specific L diagnoses excluding back pain.

### 2.1 Measures

#### *Subjective Health Complaint Inventory (SHC)*

The SHC is composed of 29 items, measuring five fields of common health complaints: musculoskeletal pain, pseudoneurology, gastrointestinal problems, allergy and flu. The authors have demonstrated the scale’s reliability and validity (Eriksen, Ihlebaek & Ursin, 1999).

#### *The Pain Stages of Change Questionnaire (PSOCQ)*

The instrument for measuring patients’ motivation to change was the PSOCQ, which is theoretically based on the Transtheoretical Model (TTM; Prochaska & Velicer, 1997). It reliably identifies different motivational stages in chronic pain patients: Pre-

contemplation, contemplation, noncontemplation action, participation and ambivalent (Kerns et al., 1997, 2005).

#### *The Revised Illness Perception Questionnaire (IPQ-R)*

The IPQ-R measures seven facets of Leventhal's theory of self-regulation (Leventhal et al., 1984, 1997): timeline (acute/ chronic), timeline cyclical, consequences, personal control, treatment control, illness coherence, and emotional representations. It is widely used in psy-chosomatic research and is both reliable and valid (Moss-Morris et al., 2002).

#### *Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)*

The Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS; Zigmond & Snaith, 1983) was used to assess severity of the patients' anxiety and depression. The HADS is a standard tool in both research and clinical use and has been shown to be a reliable and valid instrument (Bjelland, Dahl, Haug & Neckelmann, 2002).

#### *Mini-International Neuropsychiatric Interview (MINI)*

Using diagnostic interviews is the gold-standard for determining psychiatric illnesses. We used the MINI, which covers 23 Axis I disorders with high reliability and validity (Sheehan et al., 1998).

#### *Victimization*

Victimization was assessed by the yes or no question "Have you ever been subjected to violence by one or more persons?", though obvious accidents and playful child fights were to be excluded. Additional questions on the type and frequency of violence were asked.

## **2.2 Statistical analyses**

We used bootstrapped correlations and independent sample t-tests to test for the variables' interconnectedness. To identify subgroups, we used two-step cluster-analyses. P-values less than 0.05 were considered statistically significant. All statistical analyses were performed with SPSS version 18.

## **2.3 Ethics**

The study was approved by The Regional Ethical Committee and the Norwegian Social Science Data Services (NSD). All principles in the Helsinki declaration were followed. Informed consent was signed by each participant with emphasis on the right to withdraw from the study at any time without any explanation.

## **3 Results**

N=473 patients filled out the questionnaire, 50,2 % were female, the mean age was 45.37 (SD=9.83, min=22, max=62). 25.3 % reported victimization and 30.1 % current psychiatric illnesses, as well as 37.7 % lifetime prevalence; there were no statistically differences between men and women.

As can be seen in table 1, there are significant correlations between almost all variables. Highest correlations were found between Anxiety and Depression, and Health Complaints.

Patients with a lifetime psychiatric diagnosis reported significantly more subjective health complaints ( $t(392) = -4.87, p < 0.001$ ), anxiety ( $t(401) = -8.42, p < 0.001$ ), and depression

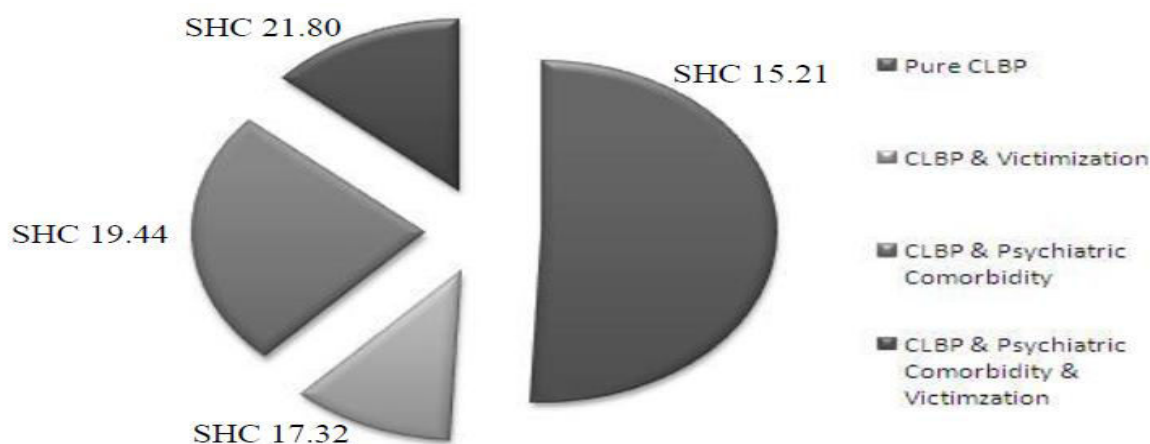
( $t(401) = -7.63, p < 0.001$ ) than those without. No significant differences could be found in their beliefs about treatment outcome, chronicity of their disorder or low motivation. Almost identical results are found in respect to experiences of violence between those with a psychiatric diagnosis and those without. Those patients that have suffered from violence report significantly more subjective health complaints ( $t(401) = 2.82, p < 0.05$ ), anxiety ( $t(410) = 3.83, p < 0.001$ ), and depression ( $t(410) = 3.70, p < 0.001$ ). They differed neither in their beliefs about treatment outcome, chronicity of their disorder, nor in their motivation.

Table 1: Correlations between the measured variables

	<i>Pre-contemplative Stage</i>	<i>Treatment consequences</i>	<i>Timeline beliefs</i>	<i>Anxiety</i>	<i>Depression</i>	<i>Subjective Health Complaints</i>
<i>Precontemplative Stage</i>	1	0.157**	-0.063	0.118*	0.128**	0.191**
<i>Treatment consequences</i>		1	0.071	0.038	0.032	0.073
<i>Timeline beliefs</i>			1	0.082	0.104*	0.185**
<i>Anxiety</i>				1	0.699**	0.546**
<i>Depression</i>					1	0.460**

\*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$

A good cluster solution containing all these factors could not be obtained (table 2). Instead, a two-step cluster analysis with the dichotomous variables lifetime psychiatric diagnosis and experience of violence and the dimensional variable subjective health complaints resulted in a 4 cluster solution with good fitness parameters (mean measure of cohesion and separation = 0.7) and equal gender distribution between the four clusters. 38 patients could not be classified, due to missing data.



Graphic 1: The four patient subgroups



## **4 Discussion**

Regarding 473 Norwegian patients suffering from low back pain, subjective health complaints, motivation, illness-beliefs, psychological problems, psychiatric diagnoses, and victimization are associated. On the basis of psychiatric diagnosis, experiences of violence and subjective health complaints, a statistically robust and clinically meaningful categorization of CLBP patients could be obtained.

Victimization (25.3 % prevalence) and psychiatric illnesses (30.1 % point prevalence, 37.7 % lifetime prevalence) are common in CLBP. Both need to be routinely assessed and addressed in therapy in order to provide adequate treatment. Interestingly, men and women have both suffered from violence and are equally distributed among the clusters. Earlier research has almost exclusively focused on victimized women (Eberhard-Gran, Schei & Eskild, 2007). It might be time to broaden the scope and take men into perspective.

It is explainable why psychiatric illness, victimization and subjective health complaints worked so well for the cluster-solution. One might argue that PTSD is the connection between these variables and thus choose Sharp and Harvey's "mutual maintenance" (2001) or Liedl and Knaevelsrud's "perpetual avoidance" (2008) model to explain the link between victimization, psychiatric illness, and chronic pain. But only two patients suffered from PTSD, which both explanations rely on. Thus, for this population, it might be more reasonable to refer to the Cognitive Activation Theory of Stress (CATS; Eriksen & Ursin, 2004b, 2010). CATS places less importance on the stimulus (or stressor) itself, but emphasizes the role of expectations and the hazards of sustained arousal. It seems legit to assume that both psychiatric illness and victimization lead to altered expectations of both the stimulus and personal coping abilities. For example, a person that has been assaulted or suffers from general anxiety disorder (or both) is more likely to perceive his/ her environment as threatening and to have less positive outcome expectations. This leads to sustained arousal and central sensitization, which can explain the higher amounts of subjective health complaints in patients (Eriksen & Ursin, 2004a) suffering from psychiatric illness and/ or violence.

There is also a substantial part of the victimization/ psychiatric illness-cluster, which reports to having had experienced bullying at work. These patients suffer from even more severe subjective health complaints, which is also explainable from a CATS' point of view. As with every study, ours has some limitations we need to address. The cross-sectional design does not allow causal interpretations. Additionally there is no information on who the criminal offender was and when the violent events happened. This study cannot be judged on its own, but needs to be seen as a prequel to future studies. Further studies need to analyse whether the found subgroups have predictive value and if patients in the high-burden-cluster profit more from specialized treatment.

## **Literature**

- Allegretti A, Borkan J, Reis S & Griffiths F. (2010). Paired interviews of shared experiences around chronic low back pain: classic mismatch between patients and their doctors. *Family Practice*, 0, 1-8.
- Bjelland, I., Dahl, A.A., Haug, T.T. & Neckelmann, D. (2002). The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale: An updated literature review. *Journal of Psychosomatic Research*, 52,69– 77.
- Brage, S., Fleten, N., Knudsrød, O.G., Reiso, H. & Ryen A. (2004). Norsk Funksjonsskjema – et nytt instrument ved sykmelding og uførhetsvurdering. *Tidsskrift for den Norske Laegeforening*, 2004 Oct 7;124(19), 2472-2474.

- Eberhard-Gran, M., Schei, B. & Eskild, A. (2007). Somatic Symptoms and Diseases are more Common in Women Exposed to Violence. *Journal of General Internal Medicine*, 22(12), 1668–1673.
- Eriksen, H.R., Ihlebaek, C. & Ursin, H. (1999). A scoring system for subjective health complaints (SHC). *Scand J Public Health*, 1, 63-72.
- Eriksen, H.R., Ursin, H., (2004a). Subjective health complaints, sensitization, and sustained cognitive activation (stress). *Journal of Psychosomatic Research*, 56, 445-448.
- Eriksen, H.R., Ursin, H., (2004b). The cognitive activation theory of stress. *Psychoneuroendocrinology* 29, 567-592.
- Eriksen, H.R., Ursin, H., (2010). Cognitive activation theory of stress (CATS). *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 877–881.
- Frymoyer, J.W. (1991). Low back pain. The role of spine fusion. *Neurosurgical Journal of North America*, 2(4), 933-954.
- Hagen, E. M., Svensen, E., & Eriksen, H. R. (2005). Predictors and modifiers of treatment effect influencing sick leave in subacute low back pain patients. *Spine*, 30(24), 2717-2723.
- Hart, L.G., Deyo, R.A. & Cherkin, D.C. (1995). Physician office visits for low back pain. Frequency, clinical evaluation, and treatment patterns from a U.S. national survey. *Spine* 1995 Jan 1;20(1), 11-9.
- Henschke, N., Ostelo, R.W.J.G., van Tulder, M.W., Vlaeyen, J.W.S., Morley, S., Assendelft, W.J.J. & Main, C.J. (2010). Behavioural treatment for chronic low-back pain (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2010 Jul 7;7
- Indahl, A. (2004). Low back pain: diagnosis, treatment, and prognosis. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 33(4), 199-209.
- Kerns, R.D., Rosenberg, R., Jamison, R.N., Caudill, M.A. & Haythornwaite, J. (1997). Readiness to adopt a self-management approach to chronic pain: the pain Stages of Change Questionnaire (PSOCQ). *Pain*, 72 (1-2), 227-334.
- Kerns, R.D., Wagner, J., Rosenberg, R., Haythornwaite, J. & Caudill-Slosberg, M. (2005). Identification of subgroups of persons with chronic pain based on profiles on the pain stages of change questionnaire. *Pain*, 116, 302-310.
- Leventhal, H., Nerenz, D.R. and Steele, D.S. (1984). Illness representations and coping with health threats. In: Baum, A. Taylor, S.E. and Singer, J.E. (Eds.), *Handbook of psychology and health*. Vol. IV. pp. 219–252. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Leventhal, H., Benyamini, Y., Brownlee, S., Diefenbach, M., Leventhal, E., Patrick-Miller, L. and Robitaille, C. (1997). Illness representations: Theoretical Foundations. In: Petrie, K.J. and Weinman, J. (Eds.), *Perceptions of health and illness: Current research and applications*. pp. 19–45. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
- Liedl, A. & Knaevelsrud, C. (2008). PTBS und chronische Schmerzen: Entstehung, Aufrechterhaltung und Zusammenhang. *Schmerz*, 22, 644-651.
- Mayer, T.G, Barnes, D., Nichols, G., Kishino, N.D., Coval, K., Piel, B., Hoshino, D., Gatchel, R.J (1988). Progressive isoinertial lifting evaluation. II. A comparison with isokinetic lifting in a disabled chronic low-back pain industrial population. *Spine*, Sep;13(9), 998-1002.
- Moss-Morris, R., Weinman, J., Petrie, K. J., Horne, R., Cameron, L.D., & Buick, D. (2002). The Revised Illness Perception Questionnaire (IPQ-R). *Psychology and Health*. 17, 1-16.
- Ostelo, R.W., van Tulder, M.W., Vlaeyen, J.W., Linton, S.J., Morley, S.J., Assendelft, W.J. (2005). Behavioral treatment for chronic low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005 Jan 25;(1), CD002014.
- Prochaska, J.O. & Velicer, W.F. (1997). The transtheoretical model of health behavior change. *American Journal of Health Promotion* 12(1), 38-48.
- Sharp, T.J. & Harvey, A.G. (2001). Chronic Pain and Posttraumatic Stress Disorder: Mutual Maintenance? *Clinical Psychology Review*, 21(6), 857-877.
- Sheehan, D.V.; Lecrubier, Y.; Sheehan, K.H.; Amorim, P.; Janavs, J.; Weiller, E., et al. (1998). The Mini-International Neuropsychiatric Interview (M.I.N.I.): the development and validation of a structured diagnostic psychiatric interview for DSM-IV and ICD-10. *J Clin Psychiatry*, 59 Suppl 20, 22-33;quiz 34-57.
- Turk, D.C. & Rudy, T.E. (1990). Neglected factors in chronic pain treatment outcome studies--referral patterns, failure to enter treatment, and attrition. *Pain*, 43(1) 7-25.
- Zigmond AS, Snaith RP. The Hospital Anxiety and Depression Scale. *Acta Psychiatr Scand*, 67, 361–370.

# Wirtschaftswissenschaften

**Sitzungsleiter:**

Prof. Dr. M. Herzog (HS Magdeburg-Stendal)



# **Performance-Effizienz im Dienstleistungssektor: Die Anwendung der Data Envelopment Analysis zur Messung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern am Beispiel einer Filialbank**

Dipl. Kff. (FH) Manuela Koch, Phone: ++49.3943-659-117, E-Mail: mkoch@hs-harz.de, Hochschule Harz (FH), Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

## **Abstract**

Bedingt durch die Eigenschaften von Dienstleistungen und der damit verbundenen Integration des Kunden in den Dienstleistungsprozess, kommt Mitarbeitern im Leistungserstellungsprozess einer Dienstleistung („Mitarbeiter-Performance“) eine entscheidende Bedeutung zu. Anders als im Sachgüterbereich greift eine Leistungsmessung zu kurz, die vorwiegend auf quantitativen Kennzahlen beruht und eine parametrisch identische Produktionsfunktion unterstellt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine geeignete Messmethode zu finden, die es erlaubt, neben quantitativen Kriterien auch qualitative, nichtmonetäre Kriterien in die Messung einzubeziehen. Gleichzeitig sollen im Rahmen der Effizienzmessungen nur Mitarbeiter verglichen werden, die ähnliche Produktionsfunktionen haben, mithin strukturell vergleichbare Input- und Outputgrößen. Im Rahmen des Aufsatzes soll daher kurz die Bedeutung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern im Dienstleistungsbereich skizziert werden. Anschließend werden einige Verfahren, die bereits im Rahmen des Performance-Measurement eingesetzt werden, aufgezeigt und hinsichtlich Vor- und Nachteilen diskutiert. Schließlich wird die Data Envelopment Analysis (DEA) als Verfahren für die Messung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern im Dienstleistungsbereich vorgestellt und anhand eines Beispiels illustriert.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis(DEA), Performance-Effizienz, Leistungsmessung

## **1 Ausgangslage**

Der Dienstleistungssektor ist einer der am schnellsten wachsenden Wirtschaftsbereiche weltweit und produziert mittlerweile ca. zwei Drittel der Gesamtwertschöpfung der europäischen Wirtschaft (Uppenberg/Strauss, 2010, S. 8). Die wissenschaftliche Erforschung von Dienstleistungsproduktivität und -effizienz steht jedoch noch am Anfang. Wesentliche Eigenschaft einer Dienstleistung ist neben Immaterialität vor allem die Integrativität, d.h. die Einbeziehung des externen Faktors „Kunde“ in die Leistungserstellung (z.B. Bieger, 2007, S. 11, Corsten, 1997, S. 27). Aufgrund dieser Eigenschaften kommt dem Faktor Mitarbeiter im Dienstleistungsbereich eine entscheidende Bedeutung zu. Des Weiteren spielt die Integration des Kunden, und daraus folgend die Interaktion zwischen Kunde und Mitarbeiter, eine wichtige Rolle bei der kundenseitigen Beurteilung des Ergebnisses und der Dienstleistungsqualität (Bruhn/Stauss, 2006, S. 10). Eine Effizienzbeurteilung der Mitarbeiter-Performance ist daher auch deshalb schwierig, weil der Output einer Dienstleistung maßgeblich von der Integrationsfähigkeit und -bereitschaft des Kunden abhängt und somit von Mitarbeiter zu Mitarbeiter variieren kann. Ist ein Mitarbeiter einer Bankfiliale effizient, wenn er pro Woche vier Depots eröffnet, zwei Baufinanzierungsverträge abschließt und fünf Beratungsgespräche geführt hat? Um diese Frage zu beantworten, muss ein entsprechendes Messverfahren einen Vergleich im Sinne eines Benchmarking ermöglichen, wobei jedoch nur Mitarbeiter miteinander verglichen werden sollten, die unter vergleichbaren Bedingungen (z.B. mit ähnlicher Kundenstruktur) arbeiten (Schmitz, 2006, S. 166). Mit dem Ziel der Praktikabilität ist das Messverfahren ist zudem so zu wählen, dass auch qualitative nichtmonetäre Größen berücksichtigt werden können. Auch scheint die Unterstellung einer parametrisch identischen Produkti-

onsfunktion zur Messung der Performance-Effizienz der Mitarbeiter ungeeignet (Westermann, 1996, S. 71 ff). Das Zulassen parametrisch unterschiedlicher Produktionsfunktionen stellt daher eine weitere Anforderung an ein Verfahren zur Messung der Performance-Effizienz dar.

## 2 Verfahren zur Messung der Performance-Effizienz

Im Bereich der Performance-Messung existieren bereits zahlreiche Verfahren. Hierbei ist zunächst zwischen der Performance-Messung gesamter organisatorischer Einheiten (z.B. Unternehmen oder Behörden) und individueller Leistungen einzelner Personen oder Teams zu unterscheiden (Grüning, 2002, S. 3). Vor dem Hintergrund der Zielstellung dieser Arbeit sollen im Folgenden vor allem diejenigen Verfahren betrachtet werden, die die Messung individueller Leistungen ermöglichen. Die Verfahren lassen sich dabei auf vier unterschiedliche Cluster aufteilen:

<b>Cluster I:</b> reine Input- <u>oder</u> Outputbetrachtung	z.B. Bildungsgrad, Weiterbildungsaktivitäten, Produktkenntnisse (Input), Verkaufszahlen, Absatzzahlen, Mystery-Test- Ergebnisse (Output)
<b>Cluster II:</b> Input- und Outputbetrachtung (individueller Vergleich)	z.B. Zielvereinbarungen, Balanced Scorecard, Leistungsbeurteilung
Input- und Outputbetrachtung (relativer Vergleich)	
<b>Cluster III</b> Vergleich mit Durchschnitt	<b>Cluster IV</b> Vergleich mit den Besten („Frontier-Ansätze“)
z.B. Regressionsbasierte Methoden	z.B. Parametrische Ansätze (z.B. Corrected Ordinary Last Square (COLS), Stochastik Frontier Analysis (SFA), nichtparametrische Ansätze (Data Envelopment Analysis (DEA))

Tab. 1: Verfahren zur individuellen Messung der Performance-Effizienz

Verfahren und Methoden in Cluster I stellen reine Input- oder Outputbetrachtungen dar und basieren vornehmlich auf quantitativen Größen. Da keine Input-Output-Relation erfolgt, sind sie nicht geeignet um Effizienz festzustellen. Cluster II zeigt Verfahren, die sowohl Input- als auch Outputgrößen in die Betrachtung einbeziehen, die dabei jedoch keinen Vergleich zu den Peers, sondern lediglich einen individuellen Vergleich (z.B. über gewisse Zeiträume hinweg) ermöglichen. Eines der bekanntesten Verfahren auf diesem Gebiet ist die Balanced Scorecard (BSC), die auch häufig zur Performance-Messung auf organisatorischer Ebene eingesetzt wird. Um zu einem Vergleich im Sinne eines Benchmarking zu gelangen, müssten jedoch alle Scorewerte durch gewichtete Addition zu einem Gesamtscore aggregiert werden. Diese Vorgehensweise ist sowohl in methodischer als auch prinzipieller Hinsicht fraglich, da die wissenschaftliche Praxis bisher davon ausgeht, dass die dazu benötigten Indikatoren gewichte nicht zu ermitteln sind. Eine ungewichtete Aggregation widerspricht wiederum dem Prinzip der BSC, dass Schwächen innerhalb einer Perspektive nicht mit Stärken innerhalb einer anderen Perspektive zu kompensieren sind (Grüning, 2002, S. 30f). Verfahren, die sowohl Input- als auch Outputgrößen berücksichtigen und dabei einen Vergleich mit Peers ermöglichen, können wiederum in zwei Cluster (Cluster III und IV) unterschieden werden. Cluster III beinhaltet Verfahren, die einen Vergleich der individuellen Performance mit der durchschnittlichen Performance anstreben. Diese sind häufig regressionsbasiert (Boles, 1993, S. 37).

Die Anwendung dieser Verfahren ermöglicht zwar eine individuelle Effizienzmessung und Standortbestimmung, kann jedoch (zumindest bei Mitarbeitern, die über dem Durchschnitt liegen) kein Entwicklungspotenzial aufzeigen. Einen Vergleich zu den jeweils besten Peers ermöglichen die Verfahren in Cluster IV. Diese werden auch als „Frontier-Ansätze“ bezeichnet, da diejenigen Peers, die die Effizienzgrenze bzw. den effizienten Rand bilden, als Vergleichsmaßstab dienen. Innerhalb dieser Verfahren kann nochmals in parametrische und nichtparametrische Verfahren unterschieden werden (Radomski, 2008, S. 21). Die Besonderheit der parametrischen (ökonometrischen) Verfahren liegt darin, dass bereits im Vorfeld der Messung Annahmen über den funktionellen Zusammenhang zwischen Input und Output getroffen werden müssen und somit a priori eine Produktionsfunktion definiert werden muss. Bei nichtparametrischen Verfahren, zu deren bekanntesten die Data Envelopment Analysis (DEA) zählt, können die Outputs zu den Inputs ins Verhältnis gesetzt werden, ohne im Vorfeld Annahmen über deren funktionalen Zusammenhang anzustellen (Auerbach, 2009, S. 72). Vor dem Hintergrund nicht bekannter, parametrisch heterogener Produktionsfunktionen der im Rahmen der Performance-Effizienzmessung untersuchten Einheiten, scheint die Anwendung eines nichtparametrischen Ansatzes wie der DEA für den Untersuchungszweck am geeignetsten (Cantner et al. 2007, S. 21). Bisher wurde die DEA vor allem zur Effizienzbeurteilung und Performancemessung von Organisationsbereichen, mithin auf Unternehmensebene, eingesetzt (Grüning, 2002, S. 51). Mit dem vorliegenden Ansatz soll eine Übertragung der DEA auf die Mitarbeiterebene erfolgen und deren Eignung für die Messung der individuellen Performance-Effizienz als Ausgangspunkt für ein Leistungscontrolling erprobt werden.

### **3 Die Data Envelopment Analysis**

Die DEA basiert auf Arbeiten von Charnes/Cooper/Rhodes (1978) und Banker/Charnes/Cooper (1984). Die Grundlage bildet das sogenannte CCR-Modell, welches mittlerweile als eines von mehreren Modellen der DEA zählt. Als ein Verfahren aus dem Bereich der linearen Optimierung ermöglicht die DEA die Effizienzmessung unterschiedlicher Leistungseinheiten, sogenannter „Decision Making Units“ (DMU), unter Berücksichtigung heterogener linearer Produktionsfunktionen. Folglich werden systematisch nur diejenigen DMU miteinander verglichen, die hinsichtlich ihres Produktionsprozesses ähnlich sind. Ziel der DEA ist es, für jede DMU einer Kohorte eine relative Effizienz zu errechnen und diese anhand einer Effizienzkennzahl darzustellen. In die Effizienzberechnung können dabei multiple Outputs und Inputs einbezogen werden (Luo/Donthu, 2005, S. 28). Vollkommene Effizienz erreicht eine DMU nur dann, wenn Vergleiche ihres Input-Output-Vektors mit denen aller anderen DMU im Sinne von Pareto-Koopmanns keine Anhaltspunkte für Ineffizienz bezüglich eines Inputs oder Outputs ergeben (Westermann, 1996, S. 7ff). Mathematisch betrachtet basiert die DEA auf traditionellen Indexzahlen für Produktivität, bei denen für jede DMU  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) ein Produktivitätsindex  $h_j$  folgendermaßen definiert ist:

$$h_j = \frac{u^T Y_j}{v^T X_j}$$

$Y_j$  stellt dabei den Outputvektor ( $r=1, \dots, s$ ) und  $X_j$  den Inputvektor ( $i=1, \dots, m$ ) der DMU  $j$  dar. Die Vektoren  $u$  und  $v$  enthalten die Gewichte  $u_r$  und  $v_i$ , mit denen die jeweiligen In- und Outputs aggregiert werden. Der Index  $h_j$  stellt somit den Index der totalen

Faktorproduktivität dar (1). Mittels der DEA wird der Index  $h_j$  nun so bestimmt, dass er als Effizienzparameter interpretiert werden kann. Bei effizienten DMU entspricht daher  $h=1$ . Alle weniger effizienten DMU erhalten einen kleineren (inputorientiert) bzw. einen größeren (outputorientiert) Wert. Dieses Vorgehen evoziert das komplexe Problem der Fraktionalen Linearen Programmierung, welches von Charnes /Cooper (1962) in ein herkömmliches lineares System überführt und schließlich mit Hilfe des Simplex gelöst wurde.

#### 4 Die Anwendung der DEA zur Messung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern am Beispiel einer Filialbank

Wie anfänglich bereits erläutert, stellt die Messung der Performance-Effizienz hohe Anforderungen an die Messmethodik. Am Beispiel von Mitarbeitern einer Filialbank soll im Folgenden die Messung der Performance-Effizienz anhand der DEA illustriert werden. Dieses Anwendungsbeispiel eignet sich vor dem Hintergrund der Problemstellung besonders, da eine Beratungsleistung einen besonders hohen Dienstleistungsanteil aufweist (Bieger, 2007, S. 14).

Um die Komplexität des Leistungserstellungsprozesses adäquat abzubilden, greift eine einstufige, eindimensionale Effizienzmessung zu kurz (Engelhardt et al. (1993), S. 398 ff). Die Produktionsfunktion der Mitarbeiter einer Bankfiliale ist daher durch die Aggregation der Input-Output-Beziehungen aller Teilprozesse herzuleiten. Für die Abbildung solcher struktureller Beziehungen folgt die Untersuchung dem theoretischen Ansatz nach Bradford, Malt und Oates (Bradford et al. (1969), S. 185-213), welcher den Produktionsprozess in sogenannte „Transformationsstufen“ unterteilt.

Transformationsstufe	Name
<b>TS 1 (Akquiseeffizienz)</b>	Wie effizient wird das Kundenpotential in die Beratung „gezogen“? Wie akquisestark ist der Mitarbeiter?
<b>TS 2 (Beratungseffizienz)</b>	Wie effizient werden die vereinbarten Kundentermine genutzt? Wo hat der Mitarbeiter Stärken und Schwächen in der Beratung?

Tab. 2: definierte Transformationsstufen (Auszug)

Für jede Transformationsstufe sind entsprechend geeignete Inputs und Outputs zu definieren. Zur Darstellung der Verflechtungsbeziehung der Transformationsstufen bildet der Output der vorangegangenen Stufe prinzipiell den Input der nächsten Stufe. Am Beispiel der Transformationsstufe 1 „Akquiseeffizienz“ soll nun exemplarisch die Anwendung der DEA in diesem Kontext demonstriert werden. Für die Berechnung der Akquiseeffizienz wurden zunächst folgende Input- und Outputgrößen definiert:

Transformationsstufe	Input	Output
<b>TS 1 (Akquiseeffizienz)</b>	Kundenanzahl je Mitarbeiter	Termine
	Einwohner im Einzugsgebiet	Cross-Selling-Quote
	Durchschnittl. Kundenvolumen (Einlagevolumen des Kunden)	

Tab. 3: definierte Input- und Outputgrößen für die Transformationsstufe „Akquiseeffizienz“



Unter Anwendung des in Kapitel 3 skizzierten CCR-O-Modells der DEA wurden für eine Kohorte mit n=44 folgende Ergebnisse errechnet:

Akquiseseffizienz TS I							
DMU	Effizienzwert	Rang	Referenz	DMU	Effizienzwert	Rang	Referenz
7	1	1	7	...	...	...	...
17	1	1	17	31	0,35568562	40	17
3	0,991361288	3	17	19	0,29201645	41	20
63	0,935097107	4	20	10	0,28420531	42	20
39	0,928369672	5	20	43	0,27870077	43	20
61	0,89092377	7	20	40	0,17733624	44	36
...	...	...	...				

Tab. 4: Ergebnistableau (gekürzt) für die Transformationsstufe „Akquiseeffizienz“

Effiziente DMU	min. Wert	max. Wert	durchschn. Score	Score Differenz
2	0,18	1	0,68	0,82

Tab. 5: Ergebniszusammenfassung für die Transformationsstufe „Akquiseeffizienz“

Die Ergebnisse zeigen, dass insgesamt 2 Mitarbeiter (DMU 7 und 17) in Bezug auf den Bereich „Akquise“ effizient arbeiten. Es gelingt ihnen vor dem Hintergrund der jeweiligen Kundenstruktur somit am besten, das vorhandene Kundenpotential in Beratungsgespräche einzuladen und daraus entsprechende Cross-Selling-Erträge zu generieren. Weiterhin weist das Ergebnis auch den Grad der Ineffizienz derjenigen Mitarbeiter aus, die einen geringeren Effizienzwert als 1 erzielt haben. Dabei wird jedem ein Referenz-Mitarbeiter („Peer“) zugeordnet, der eine ähnliche Produktionsfunktion besitzt, jedoch effizient arbeitet. Betrachtet man die statistische Auswertung, so fällt auf, dass es innerhalb der Effizienzwerte eine Differenz von 0,82 gibt. Somit bestehen hinsichtlich der Akquiseeffizienz große Leistungsunterschiede innerhalb der betrachteten Kohorte.

## 5 Fazit

Im Rahmen dieses Aufsatzes wurde argumentiert, dass die Messung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern im Dienstleistungsbereich besonderen Herausforderungen unterliegt. Diese ergeben sich vor allem aufgrund der Spezifika von Dienstleistungen. Mit der DEA wurde ein Verfahren vorgestellt und exemplarisch illustriert, dem es insbesondere gelingt, auch qualitative, nichtmonetäre Größen in eine Berechnung einzubeziehen und gleichzeitig auch heterogene Produktionsfunktionen zuzulassen. Damit wurde ein Weg gewählt, der von rein input- oder outputorientierter Betrachtung (z.B. Bewertung anhand von Verkaufszahlen) Abstand nimmt. Stattdessen ermöglicht die Anwendung der DEA die Beurteilung der Effizienz und erweitert somit den Blick auch auf den Einsatz knapper Ressourcen bzw. auf die Ergebnismaximierung vor dem Hintergrund vorhandener Ressourcen (z.B. der Kundenstruktur). Weiterhin ermöglicht das Verfahren einen Vergleich mit dem jeweils Besten, anstatt mit dem Durchschnitt der betrachteten Kohorte. Die kritischen Faktoren beim Einsatz

der DEA sind vor allem in der Wahl und im Umfang der Input- und Outputgrößen zu sehen. Um adäquate und interpretierbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die Inputs und Outputs so gewählt werden, dass sie den betrachteten Bereich angemessen abbilden. Die Messung der Performance-Effizienz von Mitarbeitern im Dienstleistungsbereich ist nicht nur sehr komplex, sondern für eine umfassende Personalbeurteilung und -entwicklung auch sehr wichtig. Die Anwendung der DEA in diesem Kontext ist ein gangbarer Weg. Zwar stellt er einige Bedingungen an die Vorbereitung und Durchführung der Messung, die für die genannten Herausforderungen jedoch eine adäquate Lösung bietet.

#### Literatur:

- Auerbach, C. (2009), Fusionen deutscher Kreditinstitute – Erfolg und Erfolgsfaktoren am Beispiel von Sparkassen und Kreditgenossenschaften, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Banker, R. D./ Charnes, A./ Cooper, W. (1984) Models for Estimation of Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, in management science vol. 30, S. 1078-1092
- Bieger, Th. (2007) Dienstleistungsmanagement, 4. Auflage, Haupt Verlag, Bern et al.
- Boles, J./ Donthu, N./ Lothia, R. (1995) Salesperson Evaluation Using Relative Performance Efficiency: The Application of Data Envelopment Analysis, in: Journal of Personal Selling & Sales Management, Vol. 17, No. 4
- Bradford, D.F./ Malt, R.A./ Oates, W.E. (1969) The Rising Cost of Social Public Services: Some Evidence and Reflections, in: National Tax Journal, Vol. 22-1969
- Bruhn, M./ Stauss, B. (2006) Forum Dienstleistungsmanagement: Dienstleistungscontrolling, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Cantner, U./ Krüger, J./ Hanusch, H., (2007), Produktivitäts- und Effizienzanalyse, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Charnes, A./ Cooper, W. (1962) Programming with Linear Fractional Functionals, Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 9, S. 181–186
- Charnes, A./ Cooper, W./ Rhodes (1978) Measuring the efficiency of decision making units, in: European journal of operational research Vol. 2, S.429 - 444
- Corsten, H. (1997) Dienstleistungsmanagement, 3. Auflage, München/ Wien
- Engelhardt, W.H. / Kleinaltenkamp, M. / Reckenfelderbäumer, M. (1993) Leistungsbündel als Absatzobjekte – Ein Ansatz zur Überwindung der Dichotomie von Sach- und Dienstleistungen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 45. Jg. Heft 5
- Grüning, M. (2002), Performance-Measurement-Systeme – Messung und Steuerung von Unternehmensleistung, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden
- Luo, X./Donthu, N. (2005): Assessing advertising media spending inefficiencies in generating sales, in: Journal of Business Research, 58
- Radomski, B. (2008), Fusionen deutscher Sparkassen – eine Anwendung der Data Envelopment Analysis, Verlag Dr. Kovac, Hamburg
- Schmitz, G. (2006), Mitarbeiterperformance als Ansatzpunkt für Leistungscontrolling, in: Bruhn/Stauss (Hrsg.): Forum Dienstleistungsmanagement: Dienstleistungscontrolling, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Uppenberg, K./ Strauss, H. (2010), Innovation and productivity growth in the EU services sector, European Investment Bank, Luxemburg
- Westermann, G. (1996): Lokaler technischer Fortschritt und intra-industrielle Strukturen, Shaker Verlag

## **Ermittlung regionaler Entwicklungsschwerpunkte im Energieholzsektor am Beispiel von Nord-Ost-Brandenburg**

Dip.-Forstw. Mareike Schultze, +49 3375 508 511, mareike.schultze@th-wildau.de, Technische Hochschule Wildau [FH], Bahnhofstraße 1, D-15745 Wildau

Dipl.-Geograph Stefan Siegemund, +49 3375 508 449, stefan.siegemund@th-wildau.de, Technische Hochschule Wildau [FH], Bahnhofstraße 1, D-15745 Wildau

Marco Hahs, M. Sc. Dipl. Ing. (FH), ++49 3334 65 7287, mhahs@hnee.de, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde [FH], Friedrich-Ebert-Str. 28, D- 16225 Eberswalde

**Abstract:** Die dezentrale Bereitstellung und Nutzung von Energie aus holzartiger Biomasse trägt sowohl zu Klimaschutzziele als auch zur wirtschaftlichen Entwicklung ländlicher Gebiete bei. Im Projekt belo-net werden anhand der Region Nord-Ost-Brandenburg Ansatzpunkte für Kooperationen mit Schwerpunkt auf den Bereich der Energieholzlogistik untersucht. Um regionale Entwicklungsschwerpunkte zu identifizieren, wurden in einem Geographischen Informationssystem (G.I.S.) eine Modellierung des technischen Waldenergieholzpotenzials mit einer Analyse der Infrastruktur und der bekannten Energieholzabnehmer kombiniert. Im Ergebnis können mögliche Standorte für Biomassehöfe – die als Lager-, Umschlag- und Verteilzentren wesentliche logistische Elemente regionaler Energieholzstrategien sind – identifiziert und bewertet werden.

**Keywords:** Bioenergie, Energieholz, Dezentrale Wertschöpfungsmöglichkeiten, G.I.S., Rohstoffpotenziale, Infrastruktur, Logistik

### **1 Hintergrund und Zielstellung**

Die Erzeugung und Nutzung von Holzenergie kann einen wesentlichen Beitrag zur Stärkung der Wirtschaftskraft in ländlichen Gebieten leisten. Voraussetzung hierfür ist die Mobilisierung von endogenen Potenzialen (z.B. Biomasserohstoffe, Arbeitskräfte, Infrastruktur, Know-how). Ein Instrument zur Regionalentwicklung wird in dem Aufbau von Kooperationen entlang der kompletten Wertschöpfungskette gesehen. Am Beispiel der Landkreise Märkisch-Oderland, Barnim, Uckermark und Oberhavel werden im Projekt belo-net<sup>1</sup> Ansatzpunkte für solche Kooperationen im Bereich der Logistikprozesse erarbeitet.

Mit einer Waldfläche von 265 Tsd. ha und einer geringen Besiedlungsdichte (94 Einwohnern / km<sup>2</sup>) bietet das Projektgebiet gute Voraussetzungen für den Einsatz von Waldholz als Energiequelle. Allerdings bestehen regional unterschiedliche Voraussetzungen mit walddreichen und landwirtschaftlich geprägten Landkreisen (z. B. Barnim: 46,4 % Wald, Uckermark: 22,9 % Wald, Märkisch-Oderland 24,4 % Wald, Statistik Berlin Brandenburg 2009) sowie einem ausgeprägten Stadt-Land-Gradienten zwischen berlinnahen und peripheren Gebieten.

Biomassehöfe haben als Mittler zwischen Produzenten und Abnehmern eine wichtige Rolle bei der Mobilisierung von Waldenergieholz. Als Vermarktungsstruktur für hochwertige Biomassebrennstoffe bieten sie regionalen Unternehmen zusätzliche Wertschöpfungsmöglichkeiten und Tätigkeitsfelder für gering qualifizierte Arbeitskräf-

---

<sup>1</sup> Das Projekt belo-net ist ein gemeinsames Vorhaben der Hochschulen Wildau und Eberswalde. Es wird gefördert durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Landes Brandenburg. Weitere Informationen: [www.belo-net.de](http://www.belo-net.de)

te. Durch die inhomogene Siedlungs- und Landnutzungsstruktur im Projektgebiet bestehen unterschiedliche Voraussetzungen für die Entwicklung solcher Logistikzentren. Gute Standorte erfüllen infrastrukturelle Mindestvoraussetzung und zeichnen sich durch räumliche Nähe zu Rohstoff- und Absatzmärkten aus. Um diese zu identifizieren, wurden eine Modellierung des technischen Waldenergieholzpotenzials mit einer Analyse der Infrastruktur und der bekannten Energieholzabnehmer kombiniert.

## 2 Potenziale an Waldenergieholz

Die verfügbaren Rohholzmengen wurden flächenscharf basierend auf Forstplanungsdaten modelliert. Die Datengrundlage besteht aus der digitalen Forstgrundkarte (FGK) und dem Datenspeicher Wald (DSW 2 Stand 2006), einer Datenbank mit detaillierten Struktur- und Sachdaten für jeden Bestand. Getrennt nach verschiedenen Baumartengruppen und deren Anteil an der Waldfläche wurde der laufende jährliche Zuwachs ermittelt. Die Modellierung des Potenzials an Energieholz erfolgt verwendungsorientiert mithilfe von Bestandessortentafeln (Offer & Staupendahl 2009). Neben den stofflichen Sortimenten Stammholz und Industrieholz werden Energieholz und nicht verwertbares Derbholz (NVD) unterschieden. Die Anteile an Astholz sind entsprechend der jeweiligen Höhe der Bäume als Mittelwerte nach Haschke & Rickert (2005) berücksichtigt. Die Umrechnung von Vorratsfestern in Erntefestmeter erfolgt mittels der im DSW 2 befindlichen Umrechnungsfaktoren in Abhängigkeit des Brusthöhendurchmessers. Verluste bei Ernte, Aufarbeitung und Rückung werden pauschal mit 15 % angenommen (Becker & Engler 2009). Die verfügbaren Mengen wurden nach drei Szenarien mit unterschiedlicher Sortimentsbildung ermittelt:

- *Szenario 1:* Die stoffliche Nutzung des Rohholzes als Stamm- und Industrieholz steht im Vordergrund. Energieholzpotenzial = Energieholzanteil + 60% des NVD
- *Szenario 2:* Energieholzpotenzial = Energieholzanteil + 80% des NVD
- *Szenario 3:* Die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung wird berücksichtigt. Energieholzpotenzial = Energieholzanteil + 80% des NVD + 10 % des Industrieholzanteils

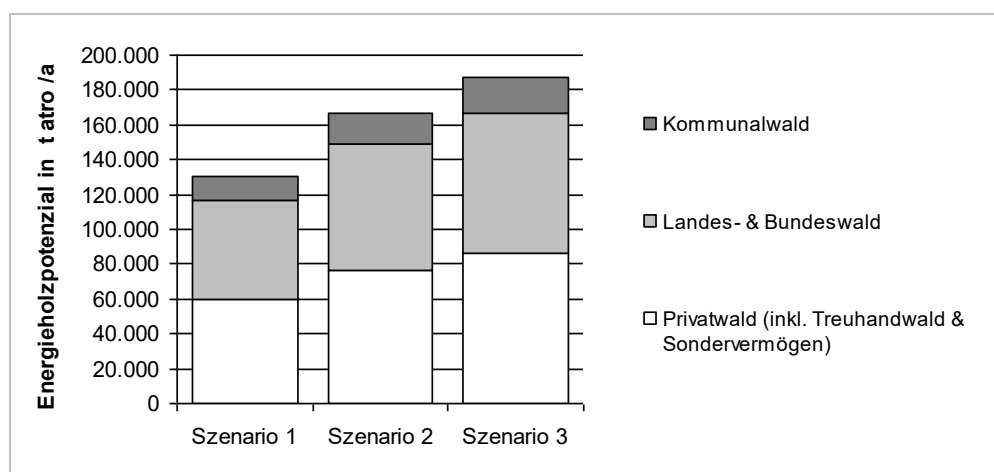


Abbildung 1: Energieholzpotenzial nach Waldbesitzarten und Szenarien in Nord-Ost-Brandenburg [t atro / a]

Für die Waldfläche Nord-Ost-Brandenburgs lässt sich inklusive NVD ein technisches Energieholzpotenzial von jährlich rund 220 Tsd. t atro ausweisen. Abbildung 1 zeigt die drei Szenarien im Vergleich. Entsprechend der zugrunde liegenden Forsteinrichtungsdaten sind die Ergebnisse für einen Zeitraum von 10 Jahren aussagekräftig.

### **3 Infrastrukturanalyse**

Geeignete Standorte für Biomassehöfe haben eine gute Anbindung an die Versorgungs- und Verkehrsinfrastruktur und liegen in räumlicher Nähe zu Rohstoffquellen und Abnehmern. Idealerweise sind bereits geeignete Flächen oder Gebäude für die Lagerung vorhanden. Ebenfalls zu beachten sind die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb der Höfe. Auf Basis von Geodaten (DLM Brandenburg 2009) wurden mögliche Standorte in der Untersuchungsregion anhand von Ausschluss- und Eignungskriterien eingegrenzt. Ausgeschlossen wurden:

- Flächen in bestehender Nutzung (Flugplätze, Talsperren/Wehre; Tagebau/ Riesel-feld/Schwimmbecken; Grünland/ Gartenland/Moor; Waldflächen, Ackerflächen; Sonderkulturanbau; Flächen besonderer funktionaler Prägung)
- Naturschutzgebiete
- Geschützte Bereiche des menschlichen Wohnens/Lebens (Freizeitanlagen, Wohnbaufläche, Flächen im Abstand < 250 m um Wohnbauflächen)
- Geschützte Bereiche von übergeordneter Bedeutung (Wasserschutzgebiete I - III; Truppenübungsplätze)
- Als bau- oder betriebsuntauglich einzustufende Flächen (Seen, Flüsse, Sumpf/nasser Boden; Inseln) sowie ein Puffer von 30 m um Waldflächen
- Flächen in Industriegebieten, die jedoch für den Betrieb von Lagerplätzen als ungeeignet einzustufen sind (Einhandelsflächen).

Als Eignungskriterien wurden berücksichtigt:

- *Verkehrsanbindung*: Euklidischer Abstand zu Autobahnen, Bundes- und Landstraßen (1 km, 3 km und 5 km).
- *Vorhandene Betriebsinfrastruktur*: Industriegebiete der Nutzungsvarianten Lagerflächen, Anlagen und Gebäude zur Verwertung und Entsorgung von Abwasser und Abfallstoffen, Anlagen und Flächen zur Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität, Wärme, Wasser und andere Flächen.
- *Verfügbarkeit von Energie zur Trocknung des Holzes*: Entfernung zu den in Betrieb befindlichen Biogasanlagen nach HNE (2010) in Umkreisen von 200, 500 und 1.000 m

Besonders geeignete Standorte besitzen Eigenschaften aller Eignungskriterien und haben daher aus infrastruktureller Sicht ein hohes Standortpotenzial für den Aufbau von Biomassehöfen. Deshalb wurden die Einzelkriterien durch Überlagerung zu einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Abbildung 2 zeigt den Ablauf der Infrastrukturanalyse.

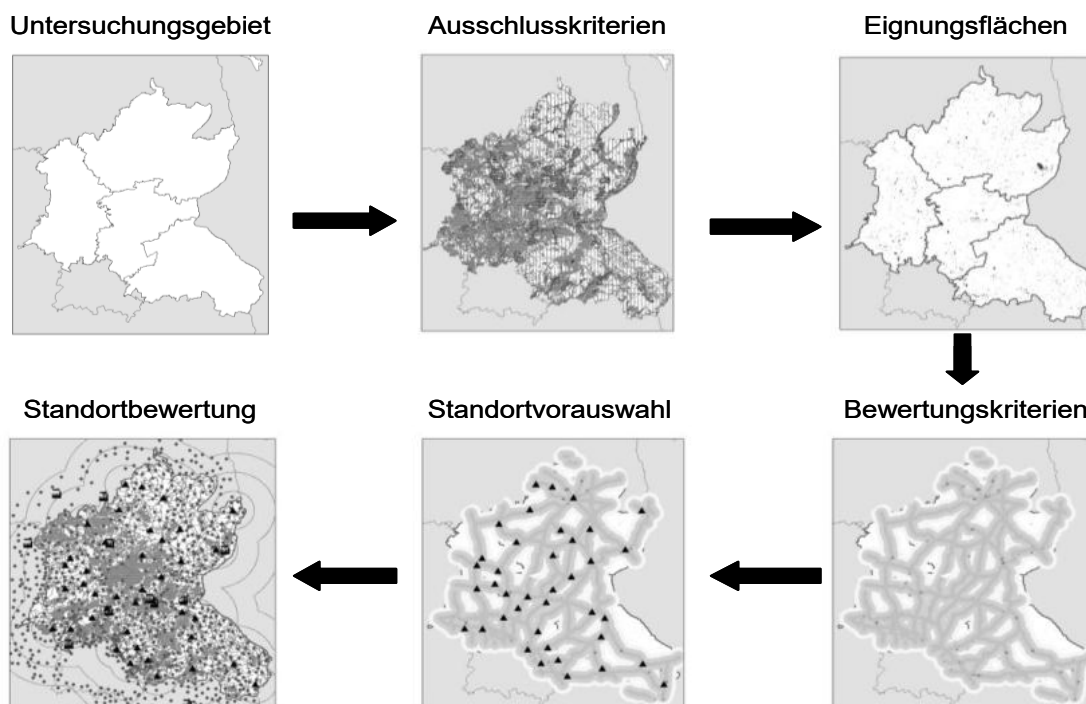


Abbildung 2: Analyseschritte zur Standortvorauswahl für Biomassehöfe

#### 4 Bewertung der Standorte

Für die mittels Ausschluss- und Eignungskriterien als „gut“ bewerteten Standorte wurden die in Einzugsradien von 10 km und 30 km verfügbaren Waldenergieholzpotenziale ermittelt, wobei die Nutzungskonkurrenz der im Projektgebiet gelegenen, auf Basis von Waldholz betriebenen BMH(K)W einbezogen wurde. Abbildung 3 bezieht das Energieholzpotenzial aller Eigentumsarten ein. Noch ungenutzte Potenziale liegen aber vor allem im Privatwald. Hier bieten Biomassehöfe durch ihre Bündelungsfunktion auch die größten Vorteile. Die wichtigsten Abnehmergruppen von Biomassehöfen sind Privatabnehmer und Gemeinden oder Gewerbetreibende mit gering dimensionierten Heizkesseln und hohen Qualitätsanforderungen an das Brennmaterial. Industrielle BH(K)W werden nur in geringfügigem Ausmaß auf das Angebot zurückgreifen, treten aber als Konkurrent auf dem Rohstoffmarkt auf.

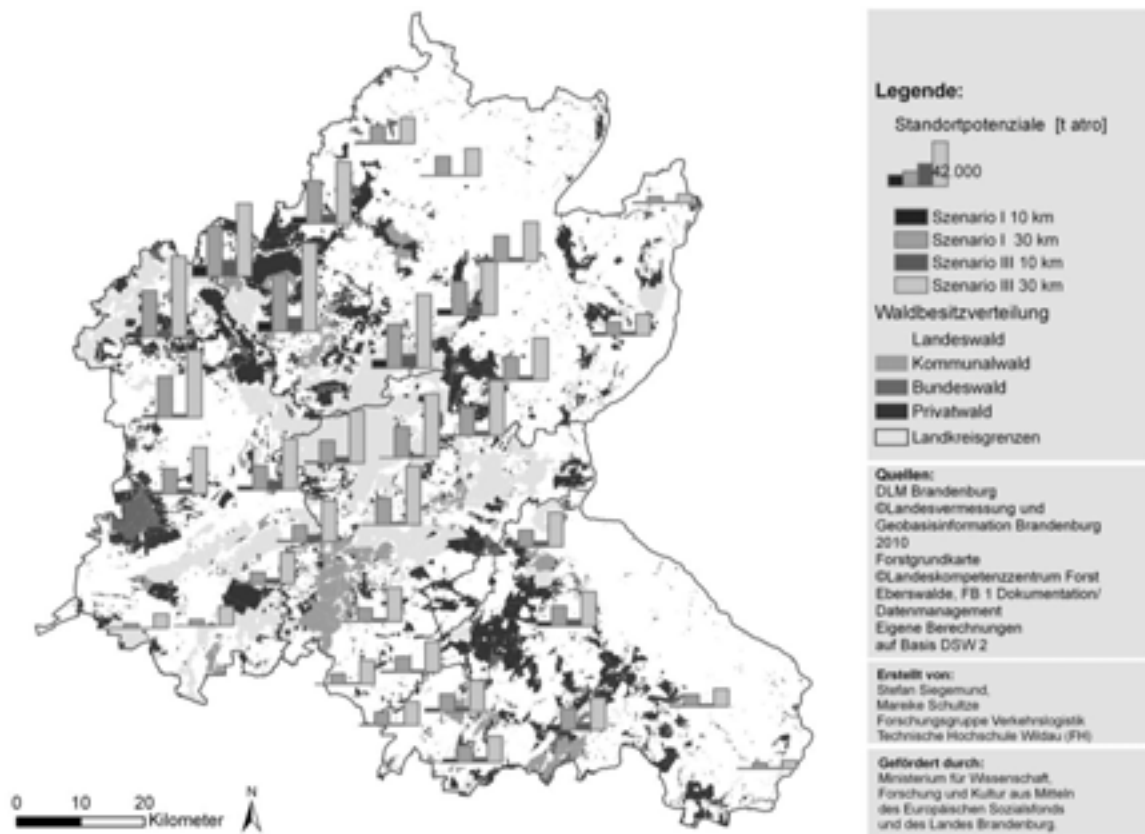


Abbildung 3: Bewertung der Standorte nach Waldenergieholzpotenzialen (10 km und 30 km Umkreis, Einbezug der Nutzungskonkurrenz durch mit Waldholz betriebene BH(K)W) und Waldbesitzverteilung

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dem modellierten technischen Potenzial an Waldenergieholz lassen sich theoretisch ca. 4 % des Wärmebedarfs der Projektregion decken. Durch die Berechnung von drei Szenarien mit verschiedenen Nutzungsentscheidungen (Bildung stofflicher und energetischer Holzsortimente) konnten die Auswirkungen verschiedener Marktentwicklungen ermittelt werden. Bei zunehmender Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung entspricht das Szenario 3 am ehesten der zukünftigen Entwicklung. Die ermittelten Werte stellen eine vorsichtige Einschätzung der in den kommenden Jahren verfügbaren Energieholzmengen dar: Die durch die Forsteinrichtung geplanten Hiebsmaßnahmen sind in der Regel konservativ bemessen worden und die Bestandeswerte werden aufgrund geänderter Durchforstungskonzepte und Wuchsbedingungen häufig unterschätzt (Offer & Staupendahl 2009).

Durch die Kombination der Analyse von Rohstoffpotenzialen mit einer Infrastrukturanalyse war eine erste Bewertung von Teilregionen hinsichtlich ihrer Eignung für den Aufbau von Biomassehöfen möglich. Je nach kalkuliertem Waldenergieholz-Szenario bestehen z. T. erhebliche Unterschiede zwischen den Standorten. Einzelne infrastrukturell sehr gut bewertete Standorte sind aufgrund des geringen Waldenergieholzpotenzials unattraktiv. Nur wenige der Standorte mit hoher Biomasseverfügbarkeit liegen in von Privatwald geprägten Gebieten, in denen noch hohe ungenutzte Potenziale vorhanden sind. Weiterer Forschungsbedarf besteht zu den Einflussfaktoren auf

die Wirtschaftlichkeit des Betriebs von Biomassehöfen. So kann der wirtschaftlich vertretbare Transportradius an einzelnen Standorten in Abhängigkeit der Rohstoff- und Absatzpreise variieren. Biomassehöfe mit geringem Jahresumsatz und starker Abhängigkeit von lokalen Energieholzquellen können an Standorten mit geringem Waldbesatz Versorgungsschwierigkeiten haben. Die aufgezeigten Ergebnisse zur Eignung von Standorten basiert auf allgemein verfügbaren Informationen und Geodaten. Einzelne Standorte werden im weiteren Projektverlauf durch Vor-Ort-Analysen und Befragung der verantwortlichen Personen näher untersucht.

## 6 Literatur

- Becker, G.; Engler, B. (2009): Stoffliche oder thermische Holznutzung: Strategien für die Sortierung von Industrie- und Kronenholz in Abhängigkeit von Bestandes- und Marktbedingungen, Vortrag auf dem Forum: Hackschnitzel – forstwirtschaftliches Produkt mit Zukunft? auf der Ligna 2009
- Haschke, P.; Rickert, I. (2002): Abschätzung der Potentiale an Waldenergieholz in den Kreisen Uckermark und Barnim, unveröffentlichte Studie, Eberswalde
- HNE (2010): schriftliche Mitteilungen der Arbeitsgruppe Bioenergie an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Datenbasis Biogasanlagen im Land Brandenburg (Stand 31.12.2009). Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV)
- Offer, A.; Staupendahl, K. (2009): Neue Bestandessortentafeln für die Waldbewertung und ihr Einsatz in der Bewertungspraxis, Forst und Holz 64, Heft 5
- Schneider, G.; & Aust, J. (2010): Schriftliche Mitteilung vom 31.08.2010 der Arbeitsgruppe Bioenergie an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung basierend auf Daten der 50Hertz Transmission GmbH 2010 und Bilke et al. (2007).
- Statistik Berlin Brandenburg (2009a): Ergebnisse des Mikrozensus im Land Brandenburg 2006. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2009b): Statistisches Jahrbuch 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2010a): Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes im Land Brandenburg am 31. Dezember 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2010b): Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes in Berlin am 31. Dezember 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam, Berlin
- Statistik Berlin Brandenburg (2010c): Statistischer Bericht A I 3 – j / 09. Bevölkerung der kreisfreien Städte und Landkreise im Land Brandenburg 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam
- Statistisches Bundesamt (2006): Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte. Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR), Wiesbaden



## **Stolperstein Service Level Agreement – Vom Problem der rechtlichen Qualifizierung zur praxisorientierten Umsetzung**

Christiane Uri (LL.M.), Phone: +49.152 22970916, E-Mail: [christiane.uri@t-online.de](mailto:christiane.uri@t-online.de), Fachhochschule Schmalkalden, Blechhammer 9, 98574 Schmalkalden

**Keywords: Service Level Agreement (SLA); Recht**

### **Abstract**

Der Trend hält an: Auch in den kommenden Jahren wird die IT einen immer größer werdenden Stellenwert für die Geschäftsprozesse einnehmen, so dass der Unternehmenserfolg zunehmend von der Qualität der IT abhängen wird.<sup>1</sup> Für das Jahr 2010 prognostizierten Marktforscher einen starken Anstieg der Outsourcing-Nachfrage.<sup>2</sup> Infolgedessen sind Unternehmen nicht (mehr) nur von der IT selbst abhängig, sondern auch von einem externen Dienstleister, auf welchen – anders als bei der unternehmensinternen Fachabteilung – nicht mehr direkt Einfluss genommen werden kann. Umso wichtiger wird es daher, (fremd-)bezogene IT-Leistungen qualitativ und quantitativ abzusichern und bspw. in einem sog. Service Level Agreement (kurz: SLA) konkrete Rahmenparameter festzulegen. Auf diese Weise soll nicht nur die Einhaltung von Leistungsversprechen überprüft, sondern auch die Nichteinhaltung der Qualitätsstandards erfolgsneutral sanktioniert werden können.

Im Zuge des inflationären Einsatzes von SLAs kommt es jedoch in der Praxis immer wieder zu Schwierigkeiten, die ihren Ursprung vornehmlich in der schwierigen rechtlichen Qualifizierung von SLA-Regelungen haben. Grund hierfür ist, dass SLAs in den unterschiedlichsten Vertragsformen zur Anwendung kommen,<sup>3</sup> wobei vor allem in der IT-Praxis die Verträge nicht mehr nach den im BGB genannten Vertragsarten, sondern zunehmend nach ihrer technischen Aufgabenstellung bezeichnet werden, wie z. B. der Application Service Providing Vertrag (kurz ASP)<sup>4</sup>.

### **I. Der Begriff Service Level Agreement**

Auf der Suche nach einer allgemeingültigen und abschließenden Definition des Begriffs Service Level Agreement wird man schnell feststellen, dass die Literatur und Praxis hier zu keinem einheitlichen Ergebnis kommt. Nach der *Information Technology Infrastructure Library* (kurz: ITIL)<sup>5</sup> handelt es sich bei einem SLA um eine schriftliche Vereinbarung zwischen einem IT-Dienstleister und einem IT-Kunden, wobei die Festlegung der wichtigsten Service-Ziele und der Verantwortlichkeiten der Parteien als charakteristisches Merkmal beschrieben wird.<sup>6</sup> Der Fokus der Definition auf den Bereich der IT-Dienstleistungen ist jedoch mit der SLA-Praxis nicht mehr vereinbar.<sup>7</sup>

---

<sup>1</sup> Die „IT-Skills-Studie 2010“ bestätigt, dass die Ausrichtung der IT an den Unternehmenszielen ein zentrales Thema in dt. Unternehmen ist. *Giesen/Völker*, URL 1, S. 1.

<sup>2</sup> *SaaS-Magazin.de*, URL 2.

<sup>3</sup> *Schreibauer/Taraschka*, CR 2003, 557 (557).

<sup>4</sup> Zurverfügungstellung von Softwareanwendungen (Applications) über Datennetze. *Wiebe*, S. 163.

<sup>5</sup> Sammlung von „Best Practices“. Vgl. *Buchsein u. a. m.*, S. 119 f.

<sup>6</sup> *OGC*, S. 66.

<sup>7</sup> Obwohl SLAs primär für die Fremdvergabe von IT-Services in Frage kommen, werden sie heute auch zur Regelung von IT-fremden Dienstleistungen, wie bspw. im Bereich des Facility Managements, eingesetzt. *Rath*, K&R 2007, 362 (363).

## II. Die Vertragspartner eines SLA

Anhand der rechtlichen und wirtschaftlichen Beziehung der Partner eines SLA lassen sich zwei Typen von SLAs unterscheiden: Unternehmensinterne und externe SLAs.<sup>8</sup> Bei unternehmensinternen SLAs handelt es sich um innerbetriebliche Vereinbarungen, die zwischen verschiedenen Geschäftseinheiten (Abteilungen) innerhalb einer Organisation (Unternehmen) getroffen werden. Zwischen den Partnern des SLA besteht somit eine rechtliche und wirtschaftliche Abhängigkeit. Vertragspartner von externen SLAs (zwischenbetriebliche SLAs) sind zwei juristische Personen, die rechtlich und wirtschaftlich voneinander unabhängig sind.<sup>9</sup>

## III. Ausgestaltung von SLAs

Hierbei muss betont werden, dass es nicht „das SLA“ gibt, welches mustergültig allen kunden- und unternehmensspezifischen Anforderungen gerecht wird.<sup>10</sup> Insofern ist es wichtig, SLAs als variable Vereinbarungen zu verstehen, die nach Art, Inhalt und Umfang der jeweiligen Dienstleistung und den organisatorischen Rahmenbedingungen angepasst werden müssen.<sup>11</sup> In der Praxis können SLAs daher durchaus unterschiedlich Eingang in ein Vertragswerk finden, wobei sich drei Gestaltungsvarianten herausstellen lassen: Das SLA als selbständige Einzelvereinbarung<sup>12</sup>, SLAs als Kernstück einer Rahmenvereinbarung und SLAs als Anhang zu einer Rahmenvereinbarung<sup>13</sup>.

## IV. Die rechtliche Qualifizierung von Service Level Agreements

### 1. Das Verhältnis zwischen SLAs und Verträgen

Das interne SLA wird als Organisationsnorm<sup>14</sup> im unternehmensinternen Bereich zwischen verschiedenen Fachabteilungen<sup>15</sup> genutzt, um interne Prozesse zu reglementieren.<sup>16</sup> In der Literatur zu Service Level Agreements herrscht insofern Einigkeit darüber, dass ein internes SLA nicht die Voraussetzungen einer rechtlich bindenden Übereinkunft erfüllen kann.<sup>17</sup> Im Gegensatz zu den internen SLAs ergeben sich bei externen SLAs keine Schwierigkeiten bei der Begründung eines rechtswirksamen Vertrags. Auch hier herrscht in der Literatur Einigkeit darüber, dass die zwischen zwei Rechtssubjekten geschlossene Vereinbarung ein rechtskräftiges Schuldverhältnis (Vertrag) definiert, dessen Ansprüche im Wege der ordentlichen Gerichtsbarkeit eingeklagt werden können.<sup>18</sup>

### 2. Die rechtliche Bedeutung von SLAs und deren Einfluss auf die Vertragstypologie

Gleich welche Gestaltungsvariante die Vertragsparteien bevorzugen, die Notwendigkeit der rechtlichen Qualifizierung eröffnet sich immer dort, wo mehrere Leistungs-

---

<sup>8</sup> Schrey, S. 286 f.; Anders Walther, S. 17 ff.; Berger, URL 3, S. 29 ff.; Kirchhoff/Billion/Bonk, S. 42 f., die zusätzlich konzerninterne SLAs benennen.

<sup>9</sup> Kirchhoff/Billion/Bonk, S. 48; Berger, URL 3, S. 29; Schrey, S. 286.

<sup>10</sup> Vgl. Buchsein u. a. m., S. 126.

<sup>11</sup> Kleiner/Müller/Köhler, S. 32.

<sup>12</sup> Berger, URL 3, S. 21.

<sup>13</sup> Hodel/Berger/Risi, S. 91; Schrey, S. 312.

<sup>14</sup> Schrey, S. 286.

<sup>15</sup> Vgl. Gadatsch/Mayer, S. 195.

<sup>16</sup> So werden SLAs zunehmend auch als Controlling-Instrument eingesetzt. Hierzu Walther, S. 20 ff.

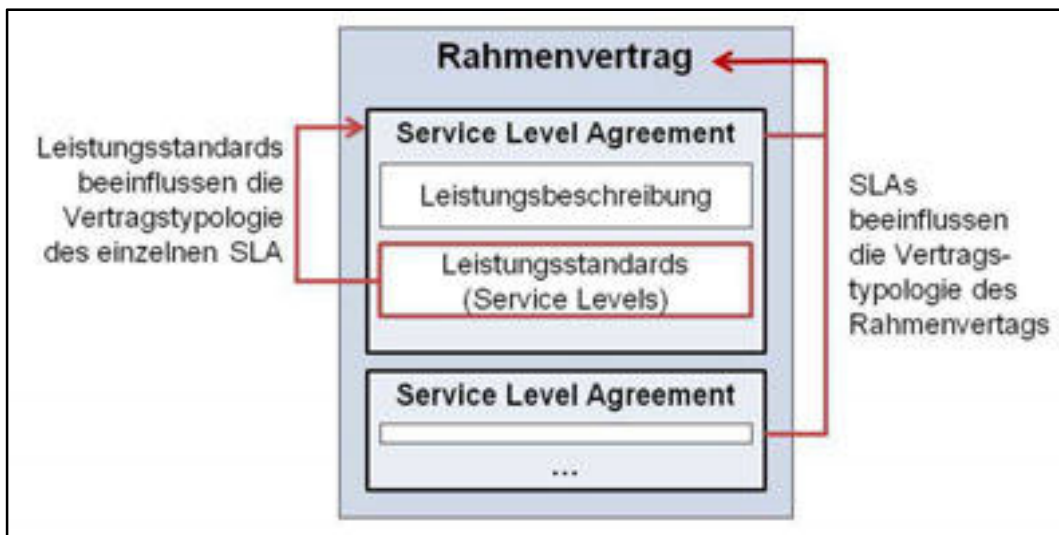
<sup>17</sup> Vgl. Berger, URL 3, S. 38; Thiadens, S. 284 f.; Schrey, S. 286.

<sup>18</sup> Vgl. Schrey, S. 286 f.; Walther, S. 18; Berger, URL 3, S. 38; Pantry/Griffiths, S. 11.

pflichten unterschiedlicher Vertragsnatur sowie deren gesetzlich anzuwendenden Gewährleistungsrechte in einem Vertragswerk zusammentreffen. Dabei sollte die Sachproblematik der konkurrierenden Vertragsordnungen jedoch nicht übermäßig betont werden.<sup>19</sup> So enthalten SLA-Vereinbarungen neben der Festlegung von Leistungsbeschreibung und Leistungsstandards typischerweise auch detaillierte Sanktionsbestimmungen für den Fall der nicht ordnungsgemäßen Leistungserbringung. Kommt es zu Leistungsstörungen, greifen vorrangig die vertraglichen Sanktionsmechanismen<sup>20</sup>, so dass sich die Frage nach der rechtlichen Qualifizierung von SLAs und Rahmenvertrag gar nicht stellen sollte.<sup>21</sup>

#### **a) Vertragstypologische Einordnung von SLAs**

Die Frage nach der vertragstypologischen Einordnung von SLAs bestimmt sich in erster Linie nach deren Leistungsstandards (Service Levels). Treten mehrere SLAs in einem Vertrag zusammen, bestimmen die Service Levels der SLAs auch mittelbar die Vertragstypologie des Rahmenvertrags (vgl. Abb.).<sup>22</sup>



Jedoch wird sich bereits das einzelne SLA i. d. R. keinem bestimmten Vertragstyp unterstellen lassen. Zum einen ist es in der Praxis häufig der Fall, dass verschiedene Leistungsgegenstände, welche zwar thematisch zu einem Sachverhalt gehören, rechtlich jedoch einer unterschiedlichen Behandlung bedürfen, in einem einzelnen SLA zusammengefasst werden. Je nach Ausgestaltung werden demnach kauf-, miet-, dienst- und/oder werkvertragliche Leistungen in dem SLA kombiniert. Zum anderen können sich die vereinbarten Leistungen bei der Einordnung durchaus ambivalent darstellen.<sup>23</sup> Des Weiteren können auch die vertraglich definierten qualitativen und quantitativen Leistungsstandards (Service Levels) einen Einfluss auf die rechtliche

<sup>19</sup> So auch *Bräutigam*, Rdnr. 416.

<sup>20</sup> Neben Vertragsstrafen und pauschalierten Schadenersatzbeträgen kommen hier auch sog. Bonus/Malus-Regelungen, pauschalierte Minderungssätze und das Recht zur außerordentlichen Kündigung in Betracht. Vgl. ausführlicher *Bräutigam*, Rdnr. 549; Schumacher, MMR 2006, 12 (15).

<sup>21</sup> Dies entspricht auch regelmäßig dem Zweck von SLA-Vereinbarungen, wonach die individualvertraglichen Regelungen grundsätzlich Vorrang vor den gesetzlichen Vorschriften haben sollen.

<sup>22</sup> Nach *Bräutigam*, Rdnr. 410.

<sup>23</sup> Beispielhaft sind hier sog. Querschnittsleistungen (z. B. Pflege- und Wartungsleistungen) zu nennen, die entweder als Dienstvertrag oder als Werkvertrag ausgestaltet werden können. *Bräutigam*, Rdnr. 412.

Qualifizierung des SLA und damit mittelbar auf den Haupt-/Rahmenvertrag haben.<sup>24</sup> Obwohl ein praktisch relevantes Umschlagen in andere Vertragstypologien nur in seltenen Fällen im Rahmen von Individualvereinbarungen in Betracht kommen dürfte, sollte dies dennoch bei den Vertragsverhandlungen nicht unterschätzt werden.

### **b) Rechtliche Konsequenzen für den Rahmenvertrag**

Der Rahmenvertrag ist für sich gesehen vorerst neutral und enthält lediglich allgemein gültige Regelungen, wie bspw. die Bezeichnung der Parteien, Vertragsdauer etc.<sup>25</sup> Erst mit Hinzutreten der SLAs wird der eigentliche Vertrag komplett und gleicht sich bei der vertragstypologischen Einordnung den jeweiligen SLAs an. Dabei ergeben sich insbesondere Schwierigkeiten im Hinblick auf die Vielfalt unterschiedlicher Leistungskomponenten, die innerhalb eines SLA zusammentreten können. Ist bereits das einzelne SLA – wie dargestellt – vertragstypologisch schwer fassbar, kann letztendlich auch die Frage nach einer eindeutigen juristischen Zuordnung des Rahmenvertrags nicht auf Anhieb beantwortet werden.<sup>26</sup>

#### **aa) Methodische Grundsätze der Rechtslehre und die Konsequenz für die SLA-Praxis**

Die Lösungsansätze für die rechtliche Beurteilung des Rahmenvertrags – im weiteren beispielhaft anhand des ASP-Vertrags dargestellt - finden sich vornehmlich in den von der Rechtslehre entwickelten methodischen Grundsätzen zur rechtlichen Behandlung von gemischten Verträgen.<sup>27</sup>

Eine erste Möglichkeit bietet hier die sog. Absorptionstheorie<sup>28</sup>, deren Ziel es ist, die gesamte Vertragsbeziehung einem einzigen Vertragstyp unterzuordnen. Zu diesem Zweck soll das dominierende Element der Vertragsbeziehung identifiziert werden. Die für dieses Element vorgesehene Vertragsrechtsordnung soll in einem zweiten Schritt auf den gesamten Vertrag Anwendung finden.<sup>29</sup> Das zentrale Element des ASP besteht in der (Online-)Nutzung fremder (Standard-)Software. Nach Literatur und Rechtsprechung besteht weitestgehend Einigkeit darüber, dass die Softwarenutzung, in der Form der entgeltlichen Gebrauchsüberlassung, als Mietvertrag im Sinne der §§ 535 ff. BGB einzuordnen ist.<sup>30</sup> Nach der Absorptionstheorie wären damit auch alle anderen Leistungskomponenten dem Mietvertragsrecht zu unterwerfen. Ein Umstand, der nicht immer zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führen muss.

Dagegen vermeidet eine zweite Methode, die sog. Kombinationstheorie<sup>31</sup> die mit dem Absorptionsprinzip verbundene Starrheit, indem sie die für die Problemlösung einschlägigen Gesetzesbestimmungen nebeneinander gelten lässt. Danach werden die unterschiedlichen Leistungsteile – auch innerhalb der SLAs – dem jeweiligen Vertragstyp zugeordnet und im Falle der Leistungsstörung die dafür vorgesehenen Ge-

---

<sup>24</sup> Schuster, CR 2009, 205 (207).

<sup>25</sup> Söbbing, Rdnr. 589; Lütcke/Bähr, K&R 2001, 82 (83 f.).

<sup>26</sup> Zum ASP vgl. Bettinger/Scheffelt, CR 2001, 729 (731); Ferner Bräutigam, Rdnr. 418.

<sup>27</sup> Den gemischten Verträgen ist gemein, dass die von den Parteien übernommenen Leistungspflichten die Charakteristika verschiedener Vertragstypen aufweisen - im Speziellen auch Typenkombinationsvertrag genannt. Oetker/Maultzsch, § 16, Rdnr. 12; Bettinger/Scheffelt, CR 2001, 729 (731).

<sup>28</sup> Grundlegend zur Absorptionstheorie vgl. Lotmar, S. 176 ff., 686 ff.

<sup>29</sup> Im Ergebnis werden also die untergeordneten Elemente vollständig von dem dominierenden Element absorbiert. Bamberger/Roth/Gehrlein, § 311, Rdnrn. 20, 22.

<sup>30</sup> Röhrborn/Sinhart, CR 2001, 69 (71); Intveen/Lohmann, ITRB 2002, 210 (211); BGH, Urt. v. 15.11.2006 – XII ZR 120/04, NJW 2007, 2394; Palandt/Grüneberg, Überbl. v. § 311, Rdnr. 12.

<sup>31</sup> Grundlegend zur Kombinationstheorie vgl. Rümelin, S. 320 ff.

währleistungsrechte des angesprochenen Typs angewendet.<sup>32</sup> Im Hinblick auf den ASP-Vertrag könnte sich die weitere rechtliche Behandlung einzelner Leistungsbestandteile folglich auch nach werk- oder dienstvertraglichen Bestimmungen richten.<sup>33</sup> Beide Methoden sind jedoch weder im Gesetz geregelt, noch können Aussagen darüber getroffen werden, wann und unter welchen Umständen sich eine der beiden Theorien als sachgerechter erweist. Für die Praxis ist es daher empfehlenswert, den Vertragstyp des Haupt- bzw. Rahmenvertrags zu bestimmen, der im Streitfall als erste Orientierung dienen kann. Ferner besteht die Möglichkeit, die SLAs als Einzelverträge zu gestalten, wobei im Anschluss jedem Einzelvertrag ein bestimmter Vertragstyp zugewiesen wird.<sup>34</sup> Schließlich ist im Rahmen der Vertragsverhandlungen jedes einzelne SLA dahingehend zu überprüfen, ob mit der vereinbarten Leistungsformulierung (Leistungsbeschreibung) auch der gewünschte Vertragstyp und damit das beabsichtigte Regelungskonzept angesprochen wird.<sup>35</sup>

#### **bb) Verhältnis der Gewährleistungsrechte des Rahmenvertrags und den SLAs**

Eine besondere Bedeutung kann dem Verhältnis der Gewährleistungsregelungen des Rahmenvertrags auf der einen Seite und den SLAs einschließlich deren Sanktionsregelungen auf der anderen Seite beigemessen werden.<sup>36</sup> Grundsätzlich gilt die juristische Auslegungsregel „*lex specialis derogat legi generali*“.<sup>37</sup> Da die SLAs die spezielleren Regelungen insbesondere im Hinblick auf die Konkretisierung der Leistung enthalten, gehen sie den allgemeinen Regelungen im Rahmenvertrag vor.<sup>38</sup> Letztere sind wiederum die spezielleren Normen gegenüber den gesetzlichen Bestimmungen, sofern die SLAs keine oder nur lückenhafte Regelungen enthalten. Soweit im Ausnahmefall der Gewährleistung des Rahmenvertrags der Vorrang zu geben ist, sollte das entsprechende SLA hierzu einen ausdrücklichen Verweis enthalten. Um im Streitfall Klarheit zu haben und Diskrepanzen zwischen verschiedenen Regelungswerken vorzubeugen, empfiehlt es sich, eine Regelungshierarchie im Rahmenvertrag festzulegen. Obwohl eine solche Regelungshierarchie bereits in vielen Fällen Abhilfe schaffen kann, sollte möglichen Konkurrenzen im Vertragswerk dadurch begegnet werden, dass nicht – wie üblicherweise – nur der Rahmenvertrag, sondern auch die SLAs von Juristen erarbeitet bzw. verhandelt werden.<sup>39</sup>

### **V. Fazit**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich SLAs nicht ohne Weiteres den bekannten Vertragsarten des BGB unterstellen lassen. Stattdessen enthalten sie i. d. R. ganze Leistungsbündel, die nicht nur unterschiedlicher Vertragsnatur sein können, sondern auch in ihrer Gesamtheit für die rechtliche Einordnung von Bedeutung sind. Entsprechend ihrer Natur erfordern SLAs daher eine besondere Sorgfalt bei der Ausarbeitung, wobei hier sowohl Juristen als auch fachkundiges (IT-)Personal gefragt sind. Dabei sollte jedoch nicht vergessen werden, dass der Erfolg einer Vertragsbeziehung nicht ausschließlich vom umfassenden bzw. abschließenden Vertragspapier bestimmt wird. Aufgeblähte SLA-Regelungen können keine

---

<sup>32</sup> Oetker/Maultzsch, § 16, Rdnr. 22.

<sup>33</sup> Röhrborn/Sinhart, CR 2001, 69 (70).

<sup>34</sup> Lütcke/Bähr, K&R 2001, 82 (84).

<sup>35</sup> Bräutigam, Rdnr. 412.

<sup>36</sup> Röhrborn/Sinhart, CR 2001, 69 (76); Bräutigam, Rdnr. 8.

<sup>37</sup> Vgl. hierzu Schellhammer, Rdnr. 7.

<sup>38</sup> Bräutigam, Rdnrn. 8, 176; Söbbing, Rdnr. 598; Anders Intveen/Lohmann, ITRB 2002, 210 (213).

<sup>39</sup> Blöse/Pechardscheck, CR 2002, 785 (790); Bräutigam, Rdnr. 10 f.

Garantie für eine vertrauensvolle und partnerschaftliche Geschäftsbeziehung sein. Viel wichtiger ist es, SLAs als Kommunikationsgrundlage zwischen Kunde und Dienstleister zu verstehen, die geeignet sind, die Dienstleistungen in quantitativer und qualitativer Hinsicht darzustellen und abzusichern sowie im Bedarfsfall die verursachergerechte Schadensliquidation zu ermöglichen.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Bamberger/Roth (Hrsg.):** BGB, Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch, Bd. I und II, 2. Aufl., München 2008. (zit.: Bamberger/Roth/Bearbeiter)
- Bettinger/Scheffelt:** Application Service Providing: Vertragsgestaltung und Konflikt-Management, in: CR 2001, 729-741.
- Blöse/Pechardscheck:** Die rechtliche Absicherung von IT-Outsourcing-Projekten, Risikooptimale Durchführung von Auslagerungsmaßnahmen im IT-Bereich, in: CR 2002, 785-791.
- Bräutigam:** Vertragsgestaltung, in: Bräutigam (Hrsg.): IT-Outsourcing, Eine Darstellung aus rechtlicher, technischer, wirtschaftlicher und vertraglicher Sicht, 2. Aufl., Berlin 2009, S. 817-1084.
- Buchsein/Victor/Günther/Machmeier:** IT-Management mit ITIL V3, Strategien, Kennzahlen, Umsetzung, 2. Aufl., Wiesbaden 2008. (zit.: Buchsein u. a. m.)
- Gadatsch/Mayer:** Masterkurs IT-Controlling, Grundlagen und Praxis, IT-Kosten- und Leistungsrechnung, Deckungsbeitrags- und Prozesskostenrechnung, Target Costing, 3. Aufl., Wiesbaden 2006.
- Hodel/Berger/Risi:** Outsourcing realisieren, Vorgehen für IT und Geschäftsprozesse, Nachhaltige Steigerung des Unternehmenserfolgs, 2. Aufl., Wiesbaden 2006.
- Intveen/Lohmann:** Die Haftung des Providers bei ASP-Verträgen, Wonach richtet sich die Providerhaftung und welche vertraglichen Möglichkeiten zur Beschränkung gibt es noch?, in: ITRB 2002, 210-213.
- Kirchhoff/Billion/Bonk:** Service-Level-Agreements (Servicevereinbarungen), in: IT Service Management Forum Deutschland e. V. (itSMF) (Hrsg.): Service Level Management in der Öffentlichen Verwaltung - Diagnose, Planung, Umsetzung, Düsseldorf 2010, S. 41-52.
- Kleiner/Müller/Köhler:** IT-Sicherheit Make or Buy, Was Sie selbst machen müssen und was sich outsourcen lässt, Wiesbaden 2005.
- Lotmar:** Der Arbeitsvertrag nach dem Privatrecht des deutschen Reiches, Bd. 1, Leipzig 1902.
- Lütcke/Bähr:** Outsourcing-Verträge und Service Level Agreements in der IT-Branche - Gestaltungsvarianten für die Praxis, in: K&R 2001, 82-87.
- Oetker/Maultzsch:** Vertragliche Schuldverhältnisse, 3. Aufl., Berlin u. a. 2007.
- Office of Government Commerce (OGC) (Hrsg.):** Service Design, London 2007. (zit.: OGC)
- Palandt:** Bürgerliches Gesetzbuch, Kommentar, 69. Aufl., München 2010. (zit.: Palandt/Bearbeiter)
- Pantry/Griffiths:** The Complete Guide to Preparing and Implementing Service Level Agreements, London 1997.
- Rath:** Hinweise zur Ausgestaltung von Service Level Agreements (SLA), in: K&R 2007, 362-366.
- Röhrborn/Sinhart:** Application Service Providing - juristische Einordnung und Vertragsgestaltung, in: CR 2001, 69-77.
- Rümelin:** Dienstvertrag und Werkvertrag, Tübingen 1905.
- Schellhammer:** Schuldrecht nach Anspruchsgrundlagen samt BGB Allgemeiner Teil, 7. Aufl., Heidelberg u. a. 2008.
- Schreibauer/Taraschka:** Service Level Agreements für Softwarepflegeverträge, in: CR 2003, 557-562.
- Schrey:** Service-Level-Agreements: vertragliche Regelungen, in: Bernhard/Mann/Lewandowski/Schrey (Hrsg.): Praxishandbuch Service-Level-Management, Die IT als Dienstleistung organisieren, 2. Aufl., Düsseldorf 2006, S. 285-316.
- Schumacher:** Service Level Agreements: Schwerpunkt bei IT- und Telekommunikationsverträgen, in: MMR 2006,12-17.
- Schuster:** Rechtsnatur der Service Level bei IT-Verträgen, Wie die Gestaltung von Service Levels die Leistung, die Gewährleistung und den Vertragstyp konkretisiert, in: CR 2009, 205-210.
- Söbbing:** Handbuch IT-Outsourcing, Recht, Strategie, Prozesse, IT, Steuern, samt Business Process Outsourcing, 3. Aufl., Heidelberg 2006.
- Thiadens:** Manage IT!, Organizing IT demand and IT supply, Dordrecht 2005.
- Walther:** Service Level Agreements - Ein methodischer Baustein im Dienstleistungscontrolling, Saarbrücken 2006.
- Wiebe (Hrsg.):** Internetrecht, Zivilrechtliche Rahmenbedingungen des elektronischen Geschäftsverkehrs, Wien 2004.

#### INTERNETQUELLEN

- URL 1 Giesen/Völker:** IT-Skills-Studie 2010, unter: [http://www.data-assessment.com/fileadmin/content/pdf/IT\\_Skills\\_Survey10/IT-Skills-Studie\\_Folder\\_290610\\_Web.pdf](http://www.data-assessment.com/fileadmin/content/pdf/IT_Skills_Survey10/IT-Skills-Studie_Folder_290610_Web.pdf) (Zugriff: 22.09.2010).
- URL 2 SaaS-Magazin.de (Hrsg.):** Deutscher Markt für Outsourcing wächst wieder, unter: <http://www.saasmagazin.de/seasondemandmarkt/studien/bitkom170910.html> (Zugriff: 22.09.2010).
- URL 3 Berger:** Konzeption und Management von Service-Level-Agreements für IT-Dienstleistungen, unter: [http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/570/1/Dissertation\\_ThomasBerger\\_SLAs.pdf](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/570/1/Dissertation_ThomasBerger_SLAs.pdf) (Zugriff: 22.09.2010).

# **Agentenbasierte Simulation zum Test von Preisoptimierungsalgorithmen**

Mario Oettler, Dipl. Volkswirt, Tel.: ++49 (0)3727 58-1249, E-Mail: oettler@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida University of Applied Sciences, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Alexander Börsch, Dipl.-Math. oec., E-Mail: alexander.boersch@mathematik.tu-chemnitz.de, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Mathematik, D-09107 Chemnitz

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ittner, Phone: ++49 (0)3727 58-1288, E-Mail: ittner@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida University of Applied Sciences, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

## **Abstract**

In diesem Beitrag wird eine, im Rahmen des Projektes PriMini entwickelte, agentenbasierte Simulation vorgestellt, mit deren Hilfe das Nachfrageverhalten verschiedener Käufergruppen für ein Produkt nachgebildet wird. Ziel der Simulation ist es, verschiedene Algorithmen zur automatischen Preisanpassung der Anbieter zu testen.

Es konnte festgestellt werden, dass die betrachteten Algorithmen in verschiedenen Marktconstellations unterschiedlich gute Ergebnisse liefern. Der eingesetzte Q-Learning-Algorithmus hat sich jedoch im Vergleich zu den anderen getesteten Algorithmen in den meisten Szenarien als vorteilhaft herausgestellt. Seine Stärke kommt besonders dort zum Vorschein, wo komplexere Nachfragesituationen mit mehreren Käufergruppen vorherrschen.

**Keywords:** agentenbasierte Simulation, Q-Learning, Preisoptimierung

## **1 Einleitung**

Märkte unterliegen ständigen Veränderungen, dabei spielen Preise bei der Koordination von Angebot und Nachfrage eine zentrale Rolle [1]. Die Beobachtung der Nachfrage und die Anpassung der Preise können jedoch viel Zeit in Anspruch nehmen und somit für Unternehmen hohe Kosten verursachen. Das Projekt PriMini beschäftigt sich daher mit der automatisierten Preisbeobachtung und Preisanpassung. Dabei steht der Wunsch der Anbieter im Vordergrund in jeder Situation den Preis so zu setzen, dass der maximale Deckungsbeitrag (DB) erzielt wird. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Algorithmen entwickelt und mit Hilfe einer agentenbasierten Simulation getestet.

Die Verwendung einer agentenbasierten Simulation bietet sich an, da die Entscheidungen der Kunden komplex sind und nur schwer mit Hilfe von Gleichungen nachgestellt werden können. Es ist somit möglich, Kunden zu modellieren, die weder rational handeln, noch vollkommene Informationen über den Markt besitzen [2].

## **2 Simulation**

### **2.1 Ablauf**

Zu Beginn der Simulation werden die Anbieter initialisiert und eine leere Liste der Käufer erstellt. Die Simulation wird in diskreten Zeitschritten vorgenommen. In jedem Zeitschritt finden die folgenden Aktionen statt:

- Anbieter setzen die Preise für das Gut fest.
- Neue Käufer werden generiert und der Käuferliste hinzugefügt.
- Die Käufer entscheiden, ob und bei welchem Anbieter sie kaufen. Sie ziehen dafür die aktuellen Preise sowie deren Anbieterpräferenz heran.
- Alle Käufer, welche sich für einen Kauf entschieden haben, verlassen den Markt. D. h., sie werden aus der Käuferliste entfernt.
- Alle Käufer, welche sich nicht für einen Kauf entschieden haben, treten in der nächsten Periode erneut am Markt auf.

## 2.2 Szenarien

Um die Algorithmen in unterschiedlichen Nachfragesituationen zu testen, wurden zehn Szenarien durchgespielt. Diese unterscheiden sich hinsichtlich des Verhaltens der Nachfrager.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Gestaltung der einzelnen Szenarien.

Die Spalte „Anzahl der Kundengruppen“ gibt an wie viele unterschiedliche Kundengruppen in dem jeweiligen Szenario auftreten. Je mehr Kundengruppen vorkommen, desto heterogener ist der Markt. In der Spalte Symmetrie wird angegeben, ob die Nachfrager in ihren Präferenzen symmetrisch auf die Anbieter verteilt sind oder nicht. Dies umfasst die Bekanntheit des Anbieters, die Verteilung der Sofortzahlungsbereitschaft und der Zahlungsbereitschaft sowie die Reihenfolge der Suche.

Die Sofortzahlungsbereitschaft gibt die Preisobergrenze an unterhalb der ein Kunde seine Suche abbricht und sofort bei dem gerade betrachteten Anbieter kauft.

Der Anbieter, der in der Suchreihenfolge der Kunden weiter vorn steht und mehr Kunden hat, die eine Sofortzahlungsbereitschaft aufweisen, wird Marktführer genannt. Im Folgenden ist stets der erste Anbieter Marktführer, wenn von der Symmetrie abgewichen wird.

In der Spalte Saisonalität wird angegeben, ob sich die Zahl der Nachfrager im Zeitablauf ändert. In den Szenarien, in denen unterschiedliche Kundengruppen auftreten, ergibt sich in jeder Periode eine mehrfachgeknickte Preis-Absatz-Funktion (PAF). Die Kundengruppen unterscheiden sich in ihrer mittleren Zahlungsbereitschaft.

In Abbildung 1 sind exemplarisch die Umsätze abgebildet, die ein Anbieter erzielt, wenn er seinen Preis verändert. Die durchgängige Linie zeigt den Verlauf, wenn der Konkurrent seinen Preis bei 55 Geldeinheiten (GE) konstant lässt. Die gepunktete Linie zeigt den Verlauf, wenn beide Anbieter ihre Preise gleich setzen. Es ist zu erkennen, dass für den Umsatz mehrere lokale Maxima vorliegen. Dadurch kann eine inkrementelle Annäherung an das Umsatzmaxima dazu führen, dass sich der Anbieteragent mit einem lokalen Maximum anstelle des globalen Maximums zufrieden gibt. Dieses Problem ist bereits aus Gutenbergs doppelt geknickter Preis-Absatzfunktion bekannt [3]. Der Q-Learning-Agent (siehe Abschnitt 3.1.2) versucht dies durch Exploration zu vermeiden.



Tabelle 1: Übersicht über Nachfrageszenarien

Szenario	Anzahl der Kundengruppen	Symmetrie	Saisonalität
1	1	Ja	Nein
2a	3	Ja	Nein
2b	1	Ja	Ja, für alle Kundengruppen gleich
3	3	Ja	Ja, für alle Kundengruppen gleich
4	1	Nein	Nein
5a	3	Nein	Nein
5b	1	Nein	Ja, für alle Kundengruppen gleich
6	3	Nein	Ja, für alle Kundengruppen gleich
7	3	Ja	Ja, für alle Kundengruppen unterschiedlich
8	3	Nein	Ja, für alle Kundengruppen unterschiedlich

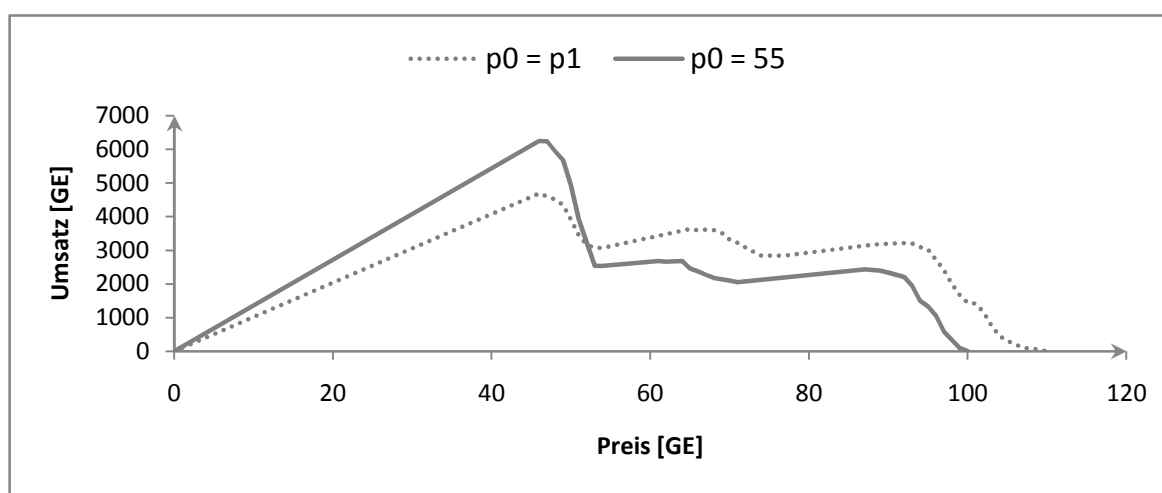


Abbildung 1: Umsatz des Anbieters 1 in Abhängigkeit vom Preis

### 3 Anbieter

Im Rahmen der Simulation wird angenommen, dass es nur ein Gut gibt. Im Weiteren werden die Anbieter als Agent bezeichnet. Kosten werden nicht betrachtet. Umsatz, Gewinn und Deckungsbeitrag sind somit gleich.

#### 3.1 Aktionsorientierte Agenten

Diese Agenten treffen zu Beginn jedes Zeitschritts die Entscheidung, den Preis innerhalb gegebener Grenzen um eine feste Größe  $\Delta$  zu heben oder zu senken [4].

##### 3.1.1 Einfacher Agent

Die Informationen welche der Einfache Agent (sR) nutzt, beschränken sich auf den eigenen Umsatz der letzten und vorletzten Periode sowie die von ihm ausgeführte Aktion der letzten Periode. Wenn der Umsatz gestiegen oder gleich geblieben ist, wird die Aktion wiederholt, andernfalls wird sie umgekehrt. Wenn allerdings der Umsatz bei 0 liegt, wird die Aktion Preissenken ausgeführt. Dieses Vorgehen stellt si-

cher, dass der Preis immer in die Richtung des größeren Umsatzes geändert wird. Allerdings werden sämtliche Umwelteinflüsse außen vor gelassen. Durch das extrem kurze Gedächtnis reagiert dieser Agent zwar sehr schnell auf Veränderungen, lernt aber nichts aus seinen Erfahrungen.

### 3.1.2 Q-Learning-Agent

Dieser Agent (sAI) nutzt im Vergleich zum einfachen Agenten zusätzlich die Preise der Konkurrenten und hat außerdem ein längeres Gedächtnis. Zugrunde liegt der Reinforcement-Learning-Algorithmus des Q-Learnings. Dieser lernt anhand von Belohnung für ein bestimmtes Aktions-Zustands-Paar. Ein Zustand wird in diesem Falle durch den Preis am Markt und eine zeitliche Komponente beschrieben. Die Belohnung stellt der eigene Umsatz dar, welcher maximiert werden soll. Der Agent aktualisiert mittels der Bellmannaktualisierung in jedem Zeitschritt den Wert des betrachteten Aktions-Zustands-Paares. Die folgende Gleichung gibt die Bellmannaktualisierung wieder.

Formel 1: Bellmannaktualisierung

$$Q(s_t, a_t) := Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)]$$

$\alpha$ : Lernparameter;  $\alpha \in (0,1]$

$\gamma$ : Verminderungsparameter;  $\gamma \in (0,1]$

$s_t$ : Zustand im Zeitpunkt  $t$ ; [Preise; Zeit]

$a_t$ : Aktion im Zeitpunkt  $t$ ; (Preis heben bzw. senken)

$r_t$ : Belohnung im Zeitpunkt  $t$ ; Umsatz

$Q(s_t, a_t)$ : Nutzen im Punkt  $(s_t, a_t)$

Die Bellmannaktualisierung kann sowohl diskret als auch mit Hilfe einer Approximation geschehen. Der zugewiesene Wert stellt den Nutzen des Aktions-Zustands-Paares dar. Der Agent entscheidet sich dann in einem Zustand für jene Aktion, welche den höheren Nutzen verspricht. Um ein ungewolltes Festfahren in einem lokalen Extremum zu vermeiden, wird eine Exploration eingeführt. Dies bedeutet, dass der Agent von Zeit zu Zeit nicht die von ihm als optimal angesehene Aktion durchführt. Hier wird eine sogenannte Epsilon-Greedy-Strategie verfolgt.

## 3.2 Wahlfreie Agenten

Diese Gruppe von Agenten wählt in jedem Schritt einen beliebigen Preis aus. Auch hier ist es sinnvoll, Preisgrenzen anzugeben in denen sich der Agent bewegen soll. Leicht kann diese Art von Agenten in die obere überführt werden, indem man den Preis nicht frei wählt sondern, nur in die Richtung des ausgewählten Preises geht.

### 3.2.1 Approximation

Ein möglicher Ansatz den optimalen Preis zu ermitteln ist, die Umsatzfunktion in Abhängigkeit des Preises, Konkurrenzpreises und der Zeit zu Approximieren. Die Approximation wird anhand von Daten aus der Vergangenheit berechnet. Mittels geeig-

neten Optimierungsverfahren ist es nun möglich, den umsatzmaximalen Preis bei gegebenem Konkurrenzpreis und Zeitpunkt zu ermitteln.

### **3.2.2 Triviale Agenten**

Neben den bisher vorgestellten Agenten gibt es weitere, triviale Agenten welche sich lediglich an einfachen Geschäftsregeln orientieren. In der Simulation wird ein Festpreisagent (sFP1) eingesetzt. Dieser setzt einen konstanten Preis, bei dem er Umsatz erzielt. Neben dem sFP1 wird noch ein weiterer Agent (sL) eingesetzt. Dieser simuliert einen harten Preiskampf, indem er seinen Preis immer um einen festen Betrag unter den niedrigsten Preis der Konkurrenten der letzten Periode setzt.

## **4 Auswertung**

Tabelle 2 zeigt die Umsätze der verschiedenen Agenten in den einzelnen Szenarien. Es wurden jeweils die Agenten sAI und sR gegen die wahlfreien Agenten und den Agenten sR getestet. Außerdem wurde das Verhalten als Monopolist untersucht.

Wie aus den Ergebnissen zu sehen ist, bringt der Q-Learning-Agent (sAI) seine Stärken erst zum Vorschein, wenn die Anzahl der Käufergruppen steigt. In den Szenarien 2a, 3, 5a, 6, 7 und 8 gibt es jeweils drei Käufergruppen. Hier ist eindeutig zu beobachten, dass der Q-Learning-Agent höhere Umsätze generiert als der einfache Agent sR (Siehe Tabelle 3). Außerdem erzielt der sAI im direkten Vergleich mit sR fast immer höhere Umsätze.

Die besseren Ergebnisse des sR im Vergleich zu sAI bei Szenarien in denen lediglich eine Kundengruppe auftritt sind damit zu erklären, dass in diesem Falle die Preis-Absatz-Funktion annähernd linear ist und daher zu erwarten ist, dass es nur ein Optimum in der Preis-Umsatz-Funktion gibt.

In der Realität ist davon auszugehen, dass die Käufer heterogen sind und die Annahme von mehreren Käufergruppen plausibel ist. Um die Agenten weiter anzupassen sind jedoch zusätzliche komplexe Tests notwendig.

Legende zu Tabelle 2:

- 0 ... Umsatzzahlen des ersten Agenten
- 1 ... Umsatzzahlen des zweiten Agenten

Tabelle 2: Simulationsergebnisse, erzielte Umsätze der Anbieter in den einzelnen Szenarien

Szenario								
<b>1</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	3.348.020	3.530.735	7.202.948	8.026.363	6.321.412	5.326.233	-	-
1	9.104.383	9.038.247	4.555.757	3.714.354	6.070.655	5.907.878	12.552.546	12.474.403
<b>2a</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	5.427.760	2.486.965	3.885.340	5.442.006	3.305.349	2.339.980	-	-
1	2.322.973	7.414.038	2.322.973	3.348.378	3.111.429	7.917.349	6.441.959	9.154.967
<b>b</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	3.507.010	3.728.985	7.627.744	7.414.936	6.524.597	4.970.894	-	-
1	9.555.097	9.466.607	4.786.969	4.432.632	6.452.769	6.950.840	13.182.977	12.151.437
<b>3</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	5.582.135	5.336.370	3.917.384	5.666.990	2.825.849	2.461.203	-	-
1	2.460.489	2.802.232	2.460.489	3.498.462	5.913.189	7.999.898	6.613.298	7.641.791
<b>4</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	4.950.335	5.021.445	9.308.575	8.972.299	8.767.822	7.075.377	-	-
1	7.628.082	7.612.223	2.272.809	2.258.259	3.601.657	4.479.536	12.552.546	12.474.403
<b>5a</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	6.193.525	6.007.560	4.962.945	4.875.367	4.819.192	3.540.213	-	-
1	1.134.634	1.267.799	1.134.634	1.144.622	1.382.285	4.349.059	6.269.299	6.369.613
<b>5b</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	5.114.005	5.313.360	9.852.529	9.600.376	9.370.021	7.377.901	-	-
1	8.014.206	7.983.547	2.383.091	2.219.138	3.631.890	3.358.799	13.190.852	13.126.851
<b>6</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	6.433.765	6.265.870	5.167.467	4.892.178	5.094.005	3.652.614	-	-
1	1.137.545	1.272.226	1.137.545	1.191.931	1.279.186	4.175.284	6.452.792	6.520.804
<b>7</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	5.604.170	5.404.880	3.991.293	3.904.146	6.010.852	2.527.678	-	-
1	2.522.060	2.622.045	2.522.060	2.496.241	2.913.333	5.435.480	6.751.073	6.651.630
<b>8</b>	<b>sFP1; sR</b>	<b>sFP1; sAI</b>	<b>sL; sR</b>	<b>sL; sAI</b>	<b>sR; sR</b>	<b>sR; sAI</b>	<b>- ; sR</b>	<b>- ; sAI</b>
0	6.580.080	6.412.510	5.358.659	4.995.817	8.005.580	3.795.803	-	-
1	1.195.996	1.330.420	1.195.996	1.249.693	1.433.804	4.244.349	6.706.301	3.767.009

Tabelle 3: Anzahl der Szenarien in denen sich der Agent sR oder sAI als vorteilhaft erwiesen hat, in Abhängigkeit von der Zahl der Kundengruppen.

Anzahl Kundengruppen	sFP1		sL		sR		-	
	sR	sAI	sR	sAI	sR	sAI	sR	sAI
3	0	6	1	5	0	6	2	4
1	4	0	4	0	2	2	4	0

## Literatur

- [1] Vgl. Gudehus, T., Dynamische Märkte: Praxis, Strategien und Nutzen für Wirtschaft und Gesellschaft, Berlin, Heidelberg 2007, S. 143.
- [2] Vgl. Meyer, M. / Heine, B. O., Das Potenzial agentenbasierter Simulationsmodelle, Aufgezeigt im Anwendungsfeld „Computational Organization Theory“, in: DBW Jg. 2009, Heft 4, S. 495 -520, S. 495.
- [3] Vgl. Ott, A. E., Grundzüge der Preistheorie, 3. Aufl., Göttingen 1989, S. 177.
- [4] Vgl. Börsch, A., Dynamische Preisoptimierung im Handel, Diplomarbeit, 2007.

# Poster

## **Sitzungsleiter/innen:**

A. Göbel (HS Harz)

T. Lohr (HS Harz)

Prof. Dr. F. Stolzenburg (HS Harz)

D. Wüstenhagen (HS Harz)



## **Analytics-As-A-Service: die nächste Generation von Scoring- und Empfehlungssystemen**

Holger Langner, Phone: ++49.3727 58 1249, Fax: ++49.3727 58 1303, E-Mail: langner@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida (University of Applied Sciences), Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Stefan Dahms, Phone: ++49.3727 58 1249, Fax: ++49.3727 58 1303, E-Mail: dahms@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida (University of Applied Sciences), Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Prof. Dr. Andreas Ittner, Phone: ++49.3727 58 1288, Fax: ++49.3727 58 1303, E-Mail: ittner@hs-mittweida.de, Hochschule Mittweida (University of Applied Sciences), Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

**Abstract** Das Projekt „Analytics-As-A-Service“ (A3S) hat die Übertragung von Data-Mining-Verfahren auf eine Webservice-Plattform zum Ziel. Von besonderem Interesse sind hierbei Scoring- und Empfehlungssysteme, wie sie z.B. im Bereich des Customer-Relationship-Management ihre Anwendung finden. Die vorliegende Publikation stellt die Architektur der A3S Recommendation Services als erste praxisfähige Ausbaustufe eines Systems vernetzter Datenanalysedienste im Bereich E-Commerce vor und fasst die aus dessen Piloteinsatz gewonnenen Erfahrungen zusammen.

**Keywords:** Service-oriented Architecture, Recommender Systems, Collaborative Filtering

### **1 Das Projekt Analytics-As-A-Service (A3S)**

Ziel des Paradigmas „Analytics-As-A-Service (A3S)“ ist die Übertragung von Data Mining-Verfahren auf eine Webservice-Plattform. Ein serviceorientierter Ansatz ermöglicht die Externalisierung der benötigten Rechnerinfrastruktur und verschafft den Anwendern damit einen kostensparenden Zugang zu Rechnerressourcen mit hoher Verfügbarkeit und nutzungsbezogener Skalierbarkeit.

Im Fokus stehen dabei Scoring- und Empfehlungssysteme. Im Gegensatz zu komplexen Datenklassifikatoren oder Statistiken als Resultate eines konventionellen Data-Mining-Prozesses, erlauben sie eine unmittelbare Integration in vielfältige unternehmerische Entscheidungsprozesse, ohne dass dazu zunächst weitere Zwischenstufen für die Transformation, Interpretation und Bewertung der mittels Data-Mining gewonnenen Resultate notwendig sind. In den Pilotstudien des Projekts A3S wurden hierzu bereits einige Anwendungsbeispiele in der Praxis näher untersucht:

- Produktempfehlungen im E-Commerce-Bereich
- Scoringfunktionalität für die Bewertung von Zeitungsabonnenten nach ihrer Kündigungswahrscheinlichkeit
- Scoringfunktionalität zur Fraud Detection für ein Au-Pair-Webportal

Sind Datenanalysefunktionen als Services verfügbar, so können Sie vom Anwender auf einfache Weise in Form von Clientkomponenten in den jeweiligen Geschäftsprozess integriert werden. Zugleich sind sie damit für den jeweiligen Nutzungszweck anpassbar und fakturierbar. Rechnerinfrastruktur, Einarbeitungszeit und Bereitstellungskosten von Personal, wie sie für die Einführung und Administration konventioneller, integrierter Data-Mining-Systeme meist notwendig sind, können minimiert werden. Vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen (kmUs) bietet sich somit erstmals in größerem Umfang die Möglichkeit, vielfältige Daten aus unterschiedlichen Geschäftsprozessen für Data-Mining-Prozesse zu erschließen, in einen ganzheitlichen, auf ihren konkreten Anwendungsbedarf anpassbaren Analysepro-

zess zu integrieren, und dabei von State-Of-the-Art-Verfahren aus dem Bereich des Data-Mining im unmittelbaren Praxiseinsatz zu profitieren.

Im Folgenden werden die Entwicklungsziele des Projekts A3S, der erreichte Entwicklungsstand und die aus dem Praxiseinsatz gewonnenen Erfahrungen beschrieben.

## 2 Entwicklungsschwerpunkte

Für die Forschung und Entwicklung am Paradigma „Analytics-As-A-Service“ ergeben sich, über die Bereitstellung einer skalierbaren und hoch verfügbaren Rechnerinfrastruktur als technische Grundvoraussetzung hinaus, weitergehende softwaretechnische Anforderungen:

- kontinuierlicher Transfer von aktuellen Resultaten der Verfahrensforschung aus den Bereichen Context-Aware Recommender Systems, Collaborative Filtering, Content-based Filtering in die Anwendung,
- Modularisierung und Parallelisierung der Analyseverfahren, um eine verteilte Berechnung auf sehr großen Datenmengen in Elastic Computer Clouds zu ermöglichen,
- leistungsfähige Komponenten zur Datenintegration aus der Anwendungsdomäne und aus zusätzlichen serviceorientierten Datenquellen, mit denen das System bei Bedarf online vernetzt werden kann,
- eine hybride Scoring-/Recommender System-Architektur, die verschiedene Data-Mining-Verfahren integrieren und Resultate kanalunabhängig ausliefern kann,
- Plug-Ins zur anwenderseitigen Datenakquisition und Resultatintegration
- Front-End-Werkzeuge, mit denen sich der Anwender die benötigten Analytikfunktionen mit minimalem Aufwand für seinen Einsatzzweck konfigurieren kann.

## 3 Entwicklungsstand und Pilotanwendung

**Prozessmodell des A3S Recommendation Service** Im Rahmen des Projekts A3S wurde ein serviceorientiertes Data-Mining-Prozessmodell entwickelt und implementiert. Es entspricht in seinem aktuellen Realisierungsstand einem klassischen Recommender System, unterteilt jedoch dessen Funktionalität stärker in einzelne, leichter entkoppelbare Phasen, um eine domänen- und kanalunabhängige Anwendbarkeit zu gewährleisten.

**Datenintegration** Der „Dynamic Domain Integration Service“ stellt Importprozessoren für Transaktions- und Produktdaten und einen „Customer-Event-Tracking-Service (ETS)“ für die Aufzeichnung von Interaktionsereignissen bereit.

**Berechnung von Scorewerten und Empfehlungen** Für die Berechnung von Scorewerten kommen bisher elementare Collaborative Filtering-Verfahren („Amazon-Algorithmus“, Warenkorbanalyse) zum Einsatz. Überraschenderweise hat sich in der Pilotanwendung gezeigt, dass deren Vorhersagequalität, vor allem im Zusammen-



spiel mit einem regel-basierten Content-Based Filtering, bereits ausreicht, um plausible Empfehlungen zu generieren.

Ausgehend von diesem initialen Entwicklungsstand soll die Bandbreite an Anwendungsfähigen Verfahren systematisch erweitert werden. Im Fokus stehen hierbei Verfahren, die auf der Singulärwertzerlegung der Transaktionsmatrix beruhen.

Verfahren zur Analyse höherdimensionaler Transaktionsmatrizen sind in jüngster Zeit u.a. im Umfeld des Netflixprizes verstärkt untersucht worden [3], [4] und erwiesen sich dort als erfolgversprechend, vor allem wenn sie mit Verfahren des Ensemble-Learning dynamisch miteinander kombiniert werden [1]. Die prototypische Umsetzung einer elementaren Variante dieser Verfahren [2] für Anwendungsdaten aus einem realen Webshop konnte jedoch bisher noch keine eindeutige Überlegenheit gegenüber klassischen Collaborative-Filtering-Verfahren nachweisen. Es ist dies ein Indiz dafür, dass sich die aktuellen Forschungsergebnisse nicht „out-of-the-box“ auf jede beliebige Anwendungsdomäne übertragen lassen, sondern zunächst weitere Anstrengungen auf dem Gebiet der Anwendungsforschung notwendig sind, um zur Praxisreife zu gelangen. Hierzu gehören die Realisierung geeigneter Datenvorverarbeitungsschritte zur Anreicherung der Datenbasis um Kontextinformationen und Verbesserung der Datenqualität, eine systematische Analyse der Leistungsfähigkeit einzelner Verfahren bei unterschiedlichen Arten realer Anwendungsdaten und die Entwicklung von Verfahren zur dynamischen Selektion und Kombination der besten Resultate aus einer Menge konkurrierender Verfahren.

Der „A3S Recommendation Service“ ist in seiner aktuellen Ausbaustufe von der Vorhersagequalität eines einzelnen verwendeten Verfahrens bereits insofern unabhängig, als seine Empfehlungsergebnisse durch Kopplung mehrerer konkurrierender Collaborative Filtering-Verfahren zustande kommen. Die Selektion der konkurrierenden Resultate erfolgt dabei noch heuristisch in Form einer fixen Priorisierung, jedoch sollen künftig hierzu auch Ensemble Learning-Verfahren Anwendung finden.

**Filterung von Empfehlungsergebnissen** Die von einem Recommender System ausgelieferten Empfehlungsergebnisse haben für den Anwender nur dann einen praktischen Wert, wenn sie mit dem adressierten Geschäftsprozess kompatibel sind. Praktisch alle Pilotanwender fordern daher explizit Verfahren, mit denen dies gewährleistet werden kann. Daher wurde die „A3S Filtering Language“ entwickelt, um es dem Anwender zu ermöglichen, Filterregeln für Empfehlungsergebnisse zu formulieren.

Der Anwender kann so mit minimalem Aufwand Empfehlungen wissensbasiert für den jeweiligen Geschäftsprozess (wie z.B. die aktuelle Verkaufsstrategie innerhalb eines Webshops) maßschneidern, und gleichzeitig die subjektive Empfehlungsqualität auch bei geringer Datenqualität signifikant steigern, ohne dass hierzu zusätzliche anwenderseitige Komponenten notwendig sind.

**Integration in die Anwendungsplattform** Auch bei einem serviceorientierten Ansatz verbleibt für die Anwender das Problem, geeignete Integrationsschnittstellen für die jeweilige Businessplattform zu schaffen. Dies betrifft den Export der Anwendungsdaten, die Konfiguration der verwendeten Analysedienste sowie die Einbettung der Resultate in den Entscheidungsprozess bzw. die Businessplattform.

Bewährt hat sich hier die direkte Integration der benötigten Funktionalitäten in Plugins für die jeweilige Zielplattform. Im Rahmen des Projekts A3S wurden dazu als quelloffene, frei verfügbare Module eine PHP-Client-Bibliothek sowie Plugins für zwei

der am weitesten verbreiteten Shopsysteme (magento, xtCommerce) implementiert, und im Praxiseinsatz kontinuierlich weiterentwickelt.

Die Praxiserfahrungen aus dem Projekt A3S haben gezeigt, dass es im Zusammenhang mit der Entwicklung von Anwenderschnittstellen lohnenswert ist, eine Public-Private-Partnership mit externen Vertriebspartnern anzustreben. Die Forschungseinrichtung kann sich dann auf die Verfahrensentwicklung und Bereitstellung von Diensten konzentrieren, während externe Partner die Anforderungsanalyse sowie kontinuierliche Verbesserung der Schnittstellenmodule aus Sicht des jeweiligen Anwenders übernehmen. Wertvolle Erfahrungen über tatsächliche Praxisanforderungen und die Anwendbarkeit der entwickelten Lösung können auf diese Weise direkt in die Forschung zurückfließen.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das im Projekt A3S entstandene Prozessmodell erlaubt eine mehrstufige Vernetzung unterschiedlicher Datenanalysedienste zu einem serviceorientierten Scoring- und Empfehlungssystem. Es konnte seine prinzipielle Tauglichkeit im Piloteinsatz nachweisen. Vor allem die Kanalunabhängigkeit und leichte Integrierbarkeit der Analyseergebnisse, sowie die Erweiterbarkeit hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Verfahren lassen es möglich erscheinen, dieses Modell auf vielfältige Anwendungsdomänen zu übertragen und in seiner Funktionalität bedarfsbezogen zu skalieren und zu fakturieren.

Im nächsten Entwicklungsschritt soll die Übertragung des Prozessmodells auf eine verteilte Architektur auf der Grundlage des Actor-Modells vorgenommen werden. Sie ermöglicht eine Spezifikation der beteiligten Module als leichtgewichtige, über ein Nachrichtenmodell entkoppelte Einheiten, die in einer offenen, dienstorientierten Architektur kombiniert werden können und so eine skalierbare Plattform für Datenanalyseanwendungen bilden.

## Literatur

- [1] Michael Jahrer, Andreas Töscher, and Robert Legenstein. Combining predictions for accurate recommender systems. In KDD '10: Proceedings of the 16th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pages 693–702, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [2] Genevieve Gorrell. Generalized hebbian algorithm for incremental singular valuedecomposition in natural language processing. In Proceedings of the EACL 2006, pages 97–104. The Association for Computer Linguistics, 2006.
- [3] Yehuda Koren. Collaborative filtering with temporal dynamics. In KDD '09: Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pages 447–456, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [4] Inc. Netflix. Netflix Prize:Home. <http://www.netflixprize.com/>, Online-Ressource, letzter Zugriff: Aug. 2010.

## Berechnung der Wärmeübertragung in einem Kleinwindenergiegenerator

Dipl.-Ing. (FH) M. Eckart, Phone: 0351/462-3525, Fax: 0351/462-2193, E-Mail: Eckart@et.htw-dresden.de<sup>1</sup>

M. Sc. S. Miersch, Phone: 0351/462-2729, Fax: 0351/462-2193, E-Mail: Soeren.Miersch@et.htw-dresden.de<sup>1</sup>

Prof. Dr.-Ing. T. Burkhardt, Phone: 0351/462-2607, Fax: 0351/462-2175, E-Mail: Burkhardt@et.htw-dresden.de<sup>1</sup>

Prof. Dr.-Ing. N. Michalke, Phone: 0351/462-2861, Fax: 0351/462-2193, E-Mail: Michalke@et.htw-dresden.de<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTWD), Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

### Abstract

Kleinwindenergieanlagen erfreuen sich steigender Nachfrage. Sie müssen jedoch günstig zu fertigen und wartungsarm sein, um die finanzielle Amortisation zu gewährleisten. Neben den mechanischen Komponenten bietet auch der Generator viele Ansatzpunkte zur Verbesserung. Insbesondere muss das Kühlsystem robust, wartungsfrei und effektiv gestaltet werden. Im Nachfolgenden wird die umgesetzte Lösung der Generatorinnenkühlung vorgestellt und der Berechnungsweg erläutert.

### Keywords:

Kühlung, elektrische Maschine, Generator, Außenläufer, permanentmagneterregt, Windenergie

## 1 Einführung

Neben Großwindenergieanlagen steigt insbesondere im internationalen Umfeld die Nachfrage nach Kleinwindenergieanlagen (KWEA) zur regenerativen Energieerzeugung. Dem Bedarf Rechnung tragend, wurde an der HTW Dresden in Zusammenarbeit mit einem sächsischen Kleinwindenergieanlagenhersteller ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt zur Auslegung von Generatoren für den Einsatz in KWEA bearbeitet. Ein wichtiger Auslegungspunkt war die Gewährleistung einer zuverlässigen Maschinenkühlung. Daher musste ein Berechnungsmodell gefunden werden, das die Erwärmung der Maschine realitätsnah beschreibt.

## 2 Generatorentwurf

Neben der Hauptfunktion, der effizienten Energieumwandlung, muss ein Kleinwindenergiegenerator den störungsfreien und möglichst auch wartungsfreien Betrieb gewährleisten können. Dazu zählen u. a. die Anpassung des Generators an die Leistungskennlinie des Repellers aber auch Sicherheitsaspekte wie statische und dynamische Lasten des Repellers und die Eignung als Betriebsbremse [1]. Vielfach muss dazu die thermische Belastung beachtet werden. Sowohl unterschiedliche Umgebungsbedingungen, bis hin zum tropischen Klima, als auch die verschiedenen Lastzustände, inkl. Kurzschlussbremsung, dürfen nicht zur Überhitzung führen.

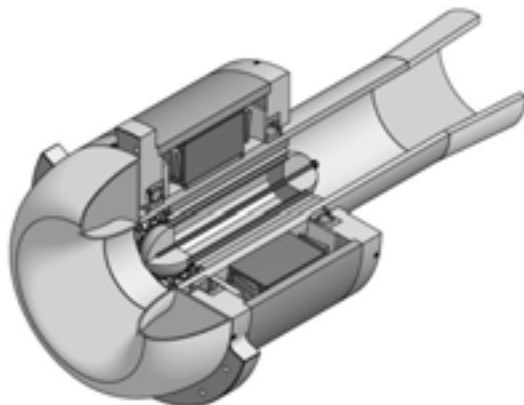


Abb. 1: Schnittbild des Generators

Ausgehend von einer 4 kW KWEA mit 4 m Repellerdurchmesser entstand eine permanentmagneterregte Synchronmaschine in Außenläuferbauweise (Abb. 1).

Der Generator ist auf eine Drehzahl von  $300 \text{ min}^{-1}$  bei  $150 \text{ Nm}$  Drehmoment ausgelegt. Die Repellerblätter werden ohne zusätzlichen Mitnehmer direkt am vorderen Lagerschild verschraubt. Das hintere Ende des Achsrohres dient der Montage am Turmkopf der KWEA.

### Kühlkonzept

Bei Außenläufermaschinen ist die Kühlung des innenliegenden Stators eine besondere Herausforderung, die hier durch eine spezielle Innenkühlung gelöst wurde. Der Stator ist auf ein stabiles Achsrohr aus Aluminiumlegierung aufgeschraubt. Im Bereich des Statorblechpaketes ist im Inneren ein Kühlkörper angeordnet (Abb. 1). Dies ermöglicht kurze Wärmeleitpfade in der Maschine und damit im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen von Außenläufermaschinen eine deutlich forciertere Kühlung. Die Kühlluftströmung wird durch den dynamischen Druck des Windes hervorgerufen. Zur Reduzierung der Druckabfälle sind am Ein- und Austritt von Statorrohr und Kühlkörper ein Konfusor und ein Diffusor angeordnet.

## 3 Wärmeübergangsberechnung

Ziel der Kühlkörperauslegung ist das maximale Produkt aus konvektivem Wärmeübergangskoeffizienten und Konvektionsoberfläche, wodurch sich für den Konvektionswiderstand ein Minimum ergibt. Weitere Aspekte wie der Rippenwirkungsgrad sind mit zu berücksichtigen. Für die Gestaltung der Kühlkörper bieten sich vielfältige Möglichkeiten, wobei auch der Kostenfaktor beachtet werden muss. Für ein erstes Entwicklungsmuster wurden daher Stranggussprofile aus Aluminium verwendet.

Ein analytischer Ansatz zur Berechnung des Kühlluftvolumenstromes ist ein Modell aus parallel geschaltetem inneren und äußeren Strömungswiderstand. Die Summe der Druckverluste im Kühlsystem ist dabei gleich dem Druckverlust der Umströmung des Generators [2]. Eine geschlossene analytische Lösung über eine Druckbilanz ist jedoch nur bei Kenntnis des  $C_w$ -Wertes möglich, weshalb auf eine numerische Simulation des Strömungsfeldes zurückgegriffen wurde.

### Strömungssimulation

Für die CFD-Simulationen mit ANSYS® wurde die Geometrie in aktives und passives Modell unterteilt. Das aktive Modell ist ein strömungssymmetrischer Ausschnitt des frei angeströmten Kleinwindenergiegenerators, wobei der Kühlkörper durch einen porösen Ersatzkörper modelliert wurde. Bei Vorgabe variabler Verlustkoeffizienten

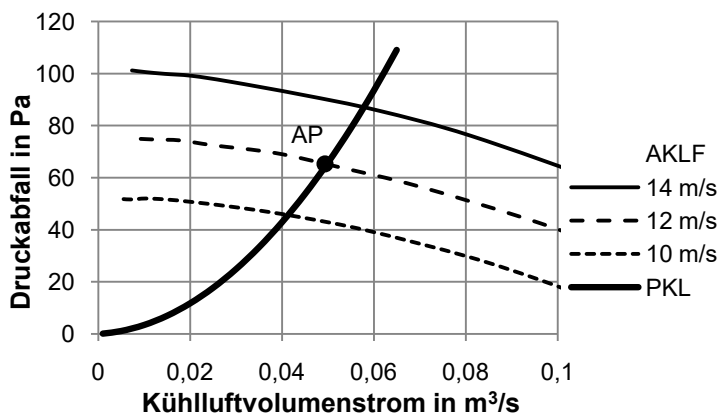


Abb. 2: Kennlinienfeld des Kühlsystems

des Ersatzkörpers und verschiedener Anströmgeschwindigkeiten ergibt sich ein aktives Kennlinienfeld des Kühlsystems (AKLF) (Abb. 2). Die Berechnung der passiven Kennlinie des Kühlkörpers (PKL) erfolgt in einem separaten CFD-Modell. Der Arbeitspunkt (AP) liefert den Kühlluftvolumenstrom, womit die Berechnung der REYNOLDS-Zahl, als Eingangsgröße der Wärmeübergangsberechnung, möglich ist.

### Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

Aus der lokalen NUSSELT-Zahl  $Nu_x$ , die ein Maß für die Güte des Wärmeübergangs ist, dem hydraulischen Durchmesser  $d_h$  eines Kühlkörperkanals und der Wärmeleitfähigkeit der Kühlluft  $\lambda$  kann der lokale konvektive Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{x,K}$  berechnet werden (Abb. 3) [3]. Die hieraus resultierende axiale Lageabhängigkeit des konvektiven Wärmeübergangswiderstandes ist für die Länge und Positionierung des Kühlkörpers von Bedeutung.

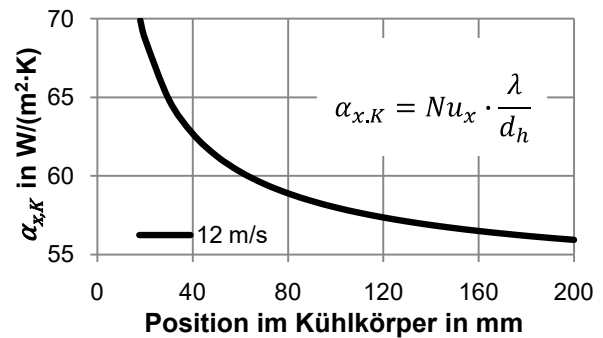


Abb. 3: Lageabhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten

## 4 Thermisches Netzwerk

Als schnelle Berechnungsmethode für thermische Felder hat sich das Wärmequellenetzwerk (WQN) etabliert. Grundlage sind alle Verlustquellen aus dem elektromagnetischen Entwurf und die mechanischen und fluiden Reibungsverluste. Diese bilden gemeinsam mit allen bekannten und gesuchten Temperaturen ein Knotenmodell, das durch die thermischen Widerstände der entsprechenden Wärmepfade geschlossen wird. Es resultiert ein WQN das den Generator in Längs- und Querschnitt abbildet (vgl. Abb. 4 und Abb. 5) und analog zum elektrischen Netzwerk mittels Knotenspannungsanalyse berechnet wird.

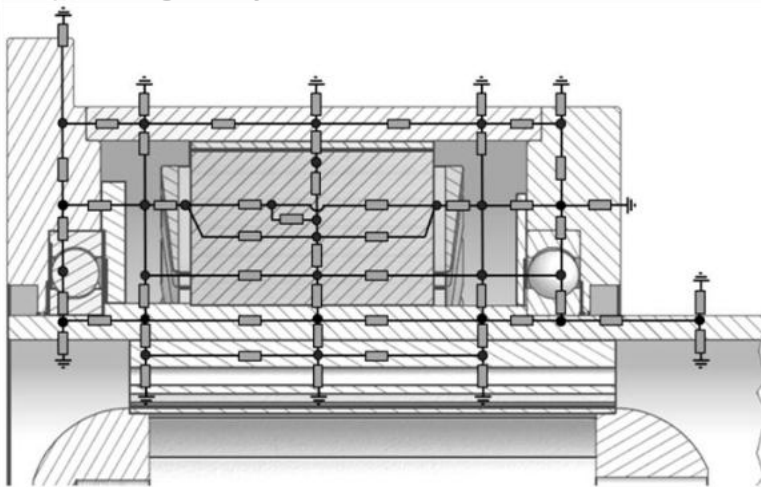


Abb. 4: Schema des WQN im Längsschnitt

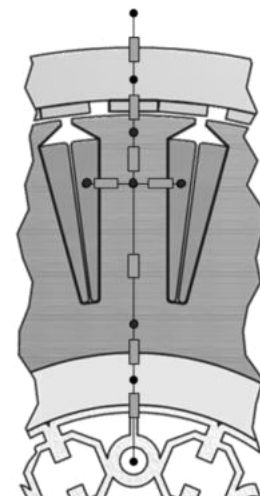


Abb. 5: WQN im Querschnitt

Die Wärmeleitwiderstände ergeben sich mit  $R_{th,\lambda} = \frac{l}{\lambda \cdot A}$ , wobei die spezifische thermische Leitfähigkeit  $\lambda$  für Komponenten mit thermisch inhomogenem Aufbau, z.B. Blechpaket und Wicklung, zuvor mit analytischen bzw. numerischen Ersatzmodellen bestimmt wurde. Für die konvektiven Wärmeübergangswiderstände  $R_{th,\alpha} = \frac{1}{\alpha \cdot A}$  war der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  analog zu Kap. 3 für alle Grenzflächen der Maschine zu ermitteln. Wärmestrahlung konnte aufgrund des freien Standortes vernachlässigt werden. [4, 5]

## 5 Numerische Simulation

Das beschriebene WQN unterliegt vielen Vereinfachungen und Annahmen. So werden die spezifischen Verlustquellen als konstant betrachtet sowie komplexe Geometrien, z.B. die Wicklungskopfräume, stark vereinfacht abgebildet. Die numerische Simulation liefert demgegenüber deutlich genauere Auflösungen des thermischen Feldes (Abb. 6) und der Wärmestromverteilung im Generator.

Ausgehend von einem symmetrischen Sektor wurde ein räumliches CAD Modell der

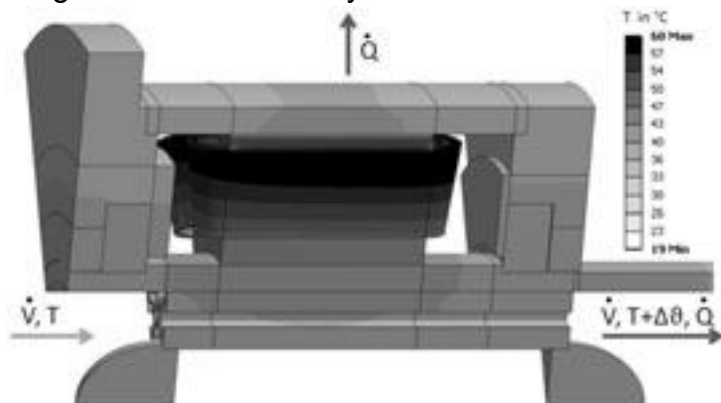


Abb. 6: 3D Modell des thermischen Feldes

Maschine erstellt. Luft- und Füge- bzw. Klebspalte, die einen hohen thermischen Widerstand aufweisen und die geometrisch als Ebene angesehen werden können, wurden als Kontaktwiderstände berücksichtigt. Komponenten mit thermisch unbedeutendem Einfluss, z.B. Verschraubungen, wurden vernachlässigt. Die Verlustquellen und Materialien wurden analog zum WQN definiert.

Während das WQN die mittlere Volumentemperatur bestimmt, kann die numerische Simulation thermisch kritische Stellen, sog. Heißpunkte, ermitteln. Der Vergleich der mittleren Wicklungsübertemperatur zeigte nur geringe Differenzen zwischen WQN und FEM (ca. 5 %), womit das WQN als hinreichend genau angesehen werden kann. Die Heißpunkte in den Wicklungsköpfen sind jedoch ca. 6 K (ca. 15 %) wärmer als mit WQN berechnet.

## 6 Fazit

Die thermische Rechnung zeigte bereits für das Entwicklungsmuster deutliche Reserven des Kühlsystems. Der KWEA-Generator war für eine elektrische Leistung von 4 kW bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s ausgelegt. Die Wicklung hat in diesem Arbeitspunkt noch 54 K Reserve gegenüber der verwendeten Isolierstoffklasse F, die auch durch Messungen belegt werden konnten. Diese dienen einerseits als Puffer bei Überlastung, können aber auch genutzt werden um die Leistungsfähigkeit des Generators zu erhöhen, respektive Bauvolumen und Materialaufwand zu verringern. In Verbindung mit einer Fremdbelüftung, wie sie an einer anderen Maschine realisiert wurde, zeigt sich die Innenkühlung auch als ein vielversprechendes Kühlverfahren für Außenläufermaschinen im unteren zweistelligen kW Bereich.

## 7 Literatur

- [1] Norm IEC 61400-2. 2006. *Sicherheit kleiner Windenergieanlagen*.
- [2] Spurk JH. 1996. *Strömungslehre*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- [3] VDI (Hrsg.). 2006. *VDI-Wärmeatlas*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- [4] Baehr HD, Stephan K. 2008. *Wärme- und Stoffübertragung*. Berlin: Springer.
- [5] Wagner W. 2004. *Wärmeübertragung*. Würzburg: Vogel Buchverlag.

## Bestimmung der Permittivität dünner Bindemittel- und Farbschichten

Thomas Stieler, Phone: ++49.15126655790, E-Mail: thomas.stieler@student.iwid.hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich IWID, Institut für Elektrotechnik, Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

Dipl. Rest. (FH) Stephanie Backes, Phone: ++49.1794708274, E-Mail: stephanie.backes@fh-erfurt.de, Fachhochschule Erfurt, Fachrichtung Konservierung/Restauration, Altonaer Str. 25, 99085 Erfurt

### Abstract:

Der vorliegende Bericht befasst sich mit der mikrowellenbasierten zerstörungsfreien Untersuchung ausgewählter natürlicher und synthetischer Materialien in der Restaurierung im Hinblick auf ihre Permittivität. Anlass dazu gab der hohe Stellenwert der nicht-invasiven naturwissenschaftlichen Untersuchungsverfahren zur Material- und Strukturanalyse von Kunst- und Kulturgut.

Es wurde ein neuartiges Verfahren zur Vermessung dünner Materialaufträge unbekannter Schichtdicken auf Kupfertafeln im Hinblick auf ihre Permittivität bzw. Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  untersucht. Exemplarisch wurden hierzu u.a. Aufstriche von Leinöl, Paraloid® B 72 (Copolymer PMMA/EA) und Laropal® A 81 (Harnstoffaldehydharz) sowie Farbaufträge der Bindemittel unter Verwendung des Pigments Cadmiumrot vermessen.<sup>1</sup> Unter Einsatz spezieller Sensoren wurden Parameter bestimmt, aus denen  $\epsilon_r$  ermittelt werden konnte. Die Messungen bestanden aus zwei Teilmessungen bei 24 GHz. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von angefertigten Schablonen ortsabhängig durchgeführt.

Verfahrenstechnisch wurde, gemittelt über Zeit und Ort, für Paraloid® B 72 eine Permittivität von etwa 2,8 bestimmt. Für Laropal® A 81 liegt sie im Bereich von  $\epsilon_r \approx 5,2$  bis 5,7. Der Vergleich dieser  $\epsilon_r$ -Werte mit in der Literatur angeführten Dielektrizitätszahlen ergab deutliche Übereinstimmungen [1]. Diese Ergebnisse bestätigen die Anwendbarkeit des neuen Verfahrens zur Ermittlung der Permittivität von Materialien, die in dünnen Schichten vorliegen.

**Keywords:** Permittivität, Mikrowellentechnik, dünne Materialaufträge

## 1 Einführung

Im Bereich der Kunsttechnologie und Restaurierungswissenschaft besitzen zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren u.a. zur Materialanalyse von Kunst- und Kulturgut einen hohen Stellenwert. Im Zusammenhang mit objektbezogenen Frage- und Problemstellungen kann es erforderlich sein, Materialzusammensetzungen des originalen Bestandes oder von Konservierungs- und Restaurierungsmaterialien zu identifizieren.

Die Möglichkeiten der Anwendung der zerstörungsfreien Mikrowellenprüfung auf diesem Gebiet wurden bislang nicht untersucht.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mit dem im Folgenden beschriebenen, neuentwickelten Messverfahren wurde versucht, die Permittivität von einer Auswahl an natürlichen und synthetischen Materialien zu bestimmen. Als Probenmaterial dienen

---

<sup>1</sup> Des Weiteren wurden Proben mit Aufstrichen einer Eidottertempera, einer Eitempera und Mowilith® 30 (PVAc) untersucht.

entsprechend präparierte Kupfertafeln. Kupfer als Bildträger wird in maltechnischen Quellschriften bereits im 15. Jahrhundert erwähnt.

## 2 Messverfahren

Dieses neuartige mikrowellenbasierende Messverfahren wurde entwickelt, da ein standardisiertes Messinstrument zur Bestimmung der Permittivität dieser in dünnen Schichten vorliegenden Materialien nicht existiert. Das Verfahren baut auf drei Teilschritten auf. Ausgehend von zwei Kunststofffolien, deren Permittivität im Vorfeld bestimmt worden war (Referenzfolien: PTFE mit  $\epsilon_r = 2,1$ ; handelsübliche Laserdruckerklarsichtfolie, vermutlich PPC, mit  $\epsilon_r = 2,9$ ), den Ergebnissen von Schichtdickenmessungen sowie der Messung der Eingangsimpedanz eines Mikrowellenresonators, dessen Boden aus Kupferplatte mit Materialauftrag bestand, konnten erste Werte aus den in den zwei Teilmessungen gewonnenen Informationen bezüglich des  $\epsilon_r$  bestimmt werden. Beide Teilmessungen erfolgten bei einer Frequenz von etwa 24 GHz.

Die Referenzfolien wurden je nach Art übereinander gelegt, um eine bestimmte Schichtdicke zu realisieren. Um bei der Vermessung der Proben die Ortsabhängigkeit ihrer Schichtdicken zu berücksichtigen, wurde mit speziell angefertigten Schablonen sichergestellt, dass die zwei Teilmessungen jeweils am gleichen Ort erfolgten.

Im Folgenden ist die Vorgehensweise kurz erläutert.

### 2.1 Messung der Schichtdicken

Die Ermittlung der Schichtdicken erfolgte mittels eines speziellen Sensors, der in dem neu entwickelten Schichtdickenmessgerät FSC1 (Prototyp) der FI Test- und Messtechnik GmbH [2] integriert ist. Via Bluetooth werden die Daten an einen Computer gesendet, wo die Messergebnisse angezeigt werden.

Referenzfolien waren Teflonfolien unterschiedlicher aber bekannter Dicke von etwa 55  $\mu\text{m}$ .

### 2.2 Messung der $\epsilon_r$ - und schichtdickenabhängigen Größe

Mit Hilfe eines Netzwerkanalysators (NWA) und eines speziell abgestimmten und angefertigten Mikrowellen-Hohlraumresonators als Sensor war es möglich, Messwerte in Form der Mikrowelleneingangsimpedanz des Resonators aufzunehmen, die von  $\epsilon_r$  und von der Schichtdicke abhängen.

Letztendlich wurde für die jeweiligen Referenzfolien und Materialproben nur der Imaginärteil  $\text{Im}\{Z\}$  der Eingangsimpedanz verwertet, da in ihm die relevante, durch das  $\epsilon_r$  und die Schichtdicke bedingte Information steckt.

Analog zu der Schichtdickenmessung wurde ebenfalls unter den Referenzfolien eine Kupferplatte verwendet.



### 2.3 Ermittlung der Permittivität der Materialien

Wie bereits angedeutet, soll das  $\epsilon_r$  der Materialaufträge aus den zwei Teilmessungen extrahiert werden. Die relevante Information über  $\epsilon_r$  ist in  $\text{Im}\{Z\}$  enthalten. Jedoch hängt  $\text{Im}\{Z\}$  auch von der Schichtdicke ab.  $\text{Im}\{Z\}$  der zwei Referenzfolien wurde deswegen über deren gemessene Schichtdicke aufgetragen. Da die Permittivität der Referenzfolien bekannt ist, konnten durch geeignete Inter- und Extrapolation verschiedenste Geraden mit  $\epsilon_r = \text{const.}$  konstruiert werden, nachfolgend  $\epsilon_r$ -Diagramm genannt. Die aufgenommenen Messwerte der Materialschichtenmessungen, nämlich die Schichtdicken gemäß Abschnitt 2.2, und  $\text{Im}\{Z\}$  gemäß Abschnitt 2.3, im Folgenden für Paraloid<sup>®</sup> B 72 und Laropal<sup>®</sup> A 81 dargestellt, wurden in das  $\epsilon_r$ -Diagramm eingezeichnet.

Auf diese Weise wurden  $\epsilon_r$ -Werte für die untersuchten Materialien bestimmt. Aus Bild 1 ergibt sich  $\epsilon_r = 2,8$  für Paraloid<sup>®</sup> B 72 und aus Bild 2 folgt  $\epsilon_r = 5,4$  für Laropal<sup>®</sup> A 81. Die zwei Stoffe unterscheiden sich signifikant in ihrer Permittivität. Bis auf Paraloid<sup>®</sup> B 72 im Schablonenloch 1 sind die Streubereiche und damit die statistischen Messunsicherheiten relativ klein. In Messwert für Laropal<sup>®</sup> A 81, nämlich  $\epsilon_r = 5,4$ , ist jedoch eine erhöhte systematische Unsicherheit vorhanden, weil hierfür weit aus dem Bereich der Referenzfolien, d.h.  $\epsilon_r = 2,1$  und  $2,9$ , heraus extrapoliert wurde.

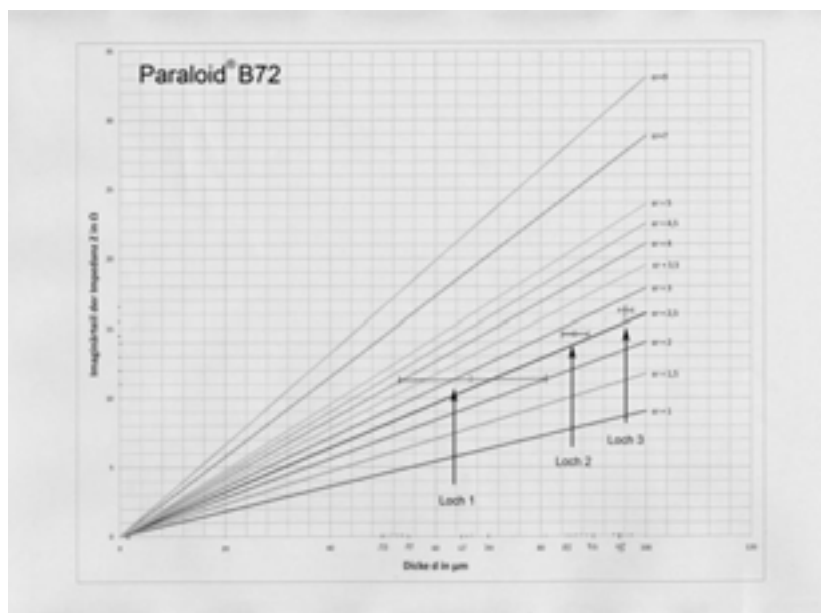


Bild 1:  $\epsilon_r$ -Diagramm mit eingetragenen Messwerten für Paraloid<sup>®</sup> B72 und eingezeichneten zeitgemittelten Fehlerbalken (Standardabweichung).

### 3 Ausblick

Die Untersuchungen an den Materialproben haben gezeigt, dass eine materialspezifische Größe - die Permittivität – mittels Mikrowellentechnik aus zwei Teilmessungen ermittelt werden kann. Dies wurde in der Untersuchungsreihe an den Beispielen Paraloid<sup>®</sup> B 72 und Laropal<sup>®</sup> A 81 deutlich. Das angewandte, neuentwickelte Verfahren hat somit vielversprechende Ergebnisse geliefert, so dass eine weitere Forschungsaktivität auf diesem Gebiet erstrebenswert ist.

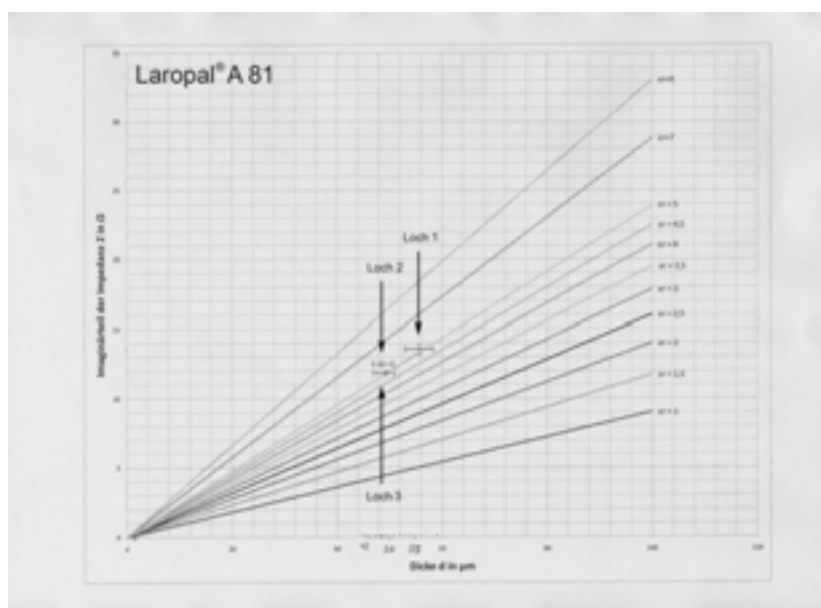


Bild 2:  $\epsilon_r$ -Diagramm mit eingetragenen Messwerten für Laropal® A 81 und eingezeichneten zeitgemittelten Fehlerbalken (Standardabweichung).

Zur Verfahrensqualifizierung sind weiterführende Untersuchungen sowie deren Optimierung notwendig. Die Schichtdickenmessung erfolgte mit einem Prototyp des Schichtdickenmessgerätes der FI Test- und Messtechnik GmbH (FIT-M). Da größere Streuungen der Messwerte auftraten, insbesondere an hier nicht beschriebenen Materialien, sind weitere Untersuchungen mit dem weiterentwickelten Messgerät vorgesehen. Unter Anwendung des Serientyps sind zuverlässigere Messergebnisse zu erwarten. Ebenso sollte zur Verifizierung der Messergebnisse wenigstens eine weitere Referenzfolie mit einem  $\epsilon_r > 2,9$  in die Untersuchungen einbezogen werden.

An dieser Stelle möchten wir unseren herzlichsten Dank an Herrn Professor Dr.-Ing. Johann Hinken für seine Unterstützung aussprechen sowie an Herrn Sven Johanson von der FIT-M für die Bereitstellung des Schichtdickenmessgerätes. Des Weiteren danken wir Herrn Mathias Conrads von der Firma Dr. A. Conrads Lacke GmbH & Co. KG für die Leihgabe einer Spiralrakel.

#### 4 Literaturhinweise

[1] Zum Vergleich wurde folgende Quelle genutzt:

<http://asiinstr.com/technical/Dielectric%20Constants.htm>, Stand 25.08.2010

[2] Johann Hinken, Sven Johanson, Christian Ziep: Paint thickness measurement on CFRP and similar substrates. International Symposium of NDT in Aerospace, Nov. 22-24, 2010, Hamburg

## CD-, DVD- und Blu-ray Disc-Forensik

*Frank Irmeler*

E-Mail: irmler@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien, Magdeburger Straße 50, 14770 Brandenburg

*Reiner Creutzburg*

Phone: +49-3381-355 442, Fax: +49-3381-355 499,

E-Mail: creutzburg@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien, Magdeburger Straße 50, 14770 Brandenburg

### **Abstract**

Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über die Möglichkeiten der forensischen Untersuchung von CD, DVD und Blu-ray Disc. Gezeigt wird, welche Informationen mit Hilfe von frei erhältlicher sowie kommerzieller Software für die forensische Untersuchung gelesen werden können.

*Keywords: Forensik, Compact Disc, Digital Versatile Disc, Blu-ray Disc*

## **1. Einleitung**

In unserer hochtechnisierten Welt sind Computer aus dem alltäglichen Umfeld nicht mehr wegzudenken. Als Hilfsmittel, Fabrikationsmittel, Kommunikations- und Unterhaltungsmedium sind weltweit über eine Milliarde Computer im Einsatz [1]. Für die Speicherung der Daten ist seit 1980 ein optischer Wechseldatenträger etabliert, die beschreibbare CD und nachfolgend deren Weiterentwicklungen DVD und Blu-ray Disk.

Aus juristischer Sicht kann eine direkte Zuordnung sichergestellter Medien zu den benutzten Systemen, auf denen sie erstellt worden sind, von großer Aussagekraft sein, wenn sich auf ihnen Daten befinden, die gesetzeswidrigen Hintergrund oder strafrechtliche Relevanz haben.

Aus diesem Grund wurde untersucht, welche Informationen sich neben den eigentlichen, sichtbaren Nutzdaten auf den CDs, DVDs und Blu-ray Discs befinden, um Rückschlüsse auf das verwendete Computersystem zu erhalten, auf dem sie erstellt wurden.

## **2. Brennprogramme auf verschiedenen Betriebssystemen**

Neben der Auswertung der sichtbaren Daten auf dem Datenträger kann die Erkennung des eingesetzten Brennprogramms sowie das verwendete Betriebssystem forensisch interessant sein, da sich diese Informationen als Indizien für eine Zuordnung vom zu untersuchenden Medium zum eingesetzten Computersystem nutzen lassen.

In zahlreichen Versuchsreihen wurden Medien, die von verschiedenen Brennprogrammen auf verschiedenen Betriebssystemen erstellt wurden, mit dem Programm Nero Disk-Info geöffnet.

Es zeigte sich, dass auf dem Datenträger Informationen zum verwendeten Betriebssystem und/oder zum Brennprogramm ermittelt werden konnte.

### **3. CD, DVD und Blu-ray Disc**

Im Jahre 1995 stellte die Firma Philips auf Druck der Musikindustrie, in ihrem "Orange Book"-Standard für beschreibbare CDs eine Identifizierungsmöglichkeit für die Rückverfolgung von kopierten Inhalten zur Verfügung.

Dazu wurde in den Q-Sektoren der einzelnen Musiktitel sowie in den Roll-in/out-Blöcken ein Eintrag spezifiziert, der den Recorder IDentification Code (RID), eine einzigartige Seriennummer für jeden Brenner, auf dem Zielmedium vermerken soll. Der RID-Code besteht aus 3 Gruppen, die folgende Informationen beinhalten: Die Hersteller-Codeangabe, gefolgt vom Gerätetypecode und der einzigartigen Brennernummer.

Eine eindeutige Identifizierung des zum Brennen verwendeten Laufwerks ist im ISO/IEC 23912 Standard für beschreibbare DVD-R-Medien definiert. Dazu ist ein festgelegter Bereich vor dem Lead-in vorgesehen, an dem ein Unique ID Field angelegt wird. Untergebracht werden 32 Byte zur Herstellerangabe, 16 Byte für die Seriennummer und 16 Byte für die Modellbezeichnung [2].

In einem festen Bereich auf der BD befindet sich das Disc Definition Structure Field (DDS), in dem das Laufwerk eine Kennung hinterlassen kann. Definiert ist eine Mindestgröße von 60 Bytes für dieses Feld. Die maximale Größe ist variabel, darf jedoch 2048 Bytes nicht überschreiten.

Bei den mehrfach wiederbeschreibbaren BD-REs wird die Kennung im Physical Access Control (PAC) untergebracht [3].

Beide Felder liegen außerhalb des Datenbereichs der BD-R(E). Bei der Implementation wurde auf Steuerbefehle CDBs (Command Descriptor Blocks) geachtet, um diese Felder auslesen zu können [3].

### **4. Brenneridentifikation bei CD, DVD und BD**

Für die Untersuchung zur Identifizierung des zum Schreiben verwendeten Brenners wurden zahlreiche Datenträger auf verschiedenen Geräten angelegt und anschließend mit verschiedenen Programmen getestet (Programme siehe nachfolgende Tabelle).

Die Untersuchung zeigte, dass es bei **CD-R(W)**-Medien u. U. möglich ist, das zum Erstellen genutzte Laufwerk zu bestimmen. Das Ergebnis ist abhängig vom Typ des CD-Brenners.

Von insgesamt 21 getesteten Laufwerken hinterließen nur 6 CD-Brenner eine eindeutige Kennung auf dem Datenträger, die ermittelt werden konnte.

Eine weitere Untersuchung zeigte auf, dass bei Multisession-CDs nur die Kennung des ersten Schreibvorgangs bestimmt werden konnte. Die Möglichkeit einer Identifizierung des zum Erstellen genutzten Laufwerks wurde auch bei dem Nachfolger der CD, der DVD, untersucht.

Hierbei stellte sich heraus, dass nur bei **DVD-R(W)**-Medien eine Kennung hinterlassen wurde. Insgesamt wurden 14 Laufwerke getestet, wovon alle Angaben zum Hersteller und die Modellbezeichnung auf dem DVD-R(W)-Medium hinterlassen. Bei 13 der 14 Laufwerke konnte die Geräteseriennummer auf dem Medium ausfindig gemacht werden.

Auch stellte sich heraus, dass bei Multisession-DVDs nur die Kennung des ersten Schreibvorgangs bestimmt werden konnte.

Bei **DVD+R(W)**-Medien konnten keine Kennungen bestimmt werden.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Programme und deren Zuverlässigkeit bei der Ermittlung des zum Erstellen verwendeten Laufwerks bei CD und DVD gezeigt [4]. Einige Programmen benötigen für die Analyse besondere Hardware. Dies ist in der rechten Spalte gekennzeichnet.

Zuverlässigkeit der Brenneridentifikation bei CD und DVD

Software	Identifikation bei CD-R(W)	Identifikation bei DVD-R(W)	Identifikation bei DVD+R(W)	Spez. Hardware nötig?
RID_code	keine	keine	keine	keine
Nero Disk-Info	keine	keine	keine	keine
PxScan	keine	sehr hoch	keine	ja (Plextor)
PLScsi	hoch	keine	keine	ja (Plextor)
CD/DVD Diagnostic	keine	keine	keine	keine
QPxTool	keine	sehr hoch	keine	ja (Plextor, LiteOn,...)
FTK	keine	keine	keine	keine
X-Ways	keine	keine	keine	keine
EnCase	keine	keine	keine	keine
durch Abbildanalyse	sehr gering	keine	keine	keine

Bei der Möglichkeit zur Identifikation des zum Erstellen genutzten Brenners bei Blu-ray Discs zeigte sich, dass bei den einmalig beschreibbaren **BD-Rs** keine Kennung bestimmbar war.

Bei den wiederbeschreibbaren **BD-REs** zeigte sich, dass die Kennung **aller** Laufwerke, in denen eine BD-RE beschrieben wurde, auf dem Medium vermerkt wird. Hierbei schreibt jeder noch nicht in der Liste vorhandene Brenner seine Kennung (Herstellerangabe, Modellbezeichnung, gegebenenfalls Firmwareversion und Seriennummer) in das Physical Access Control-Feld auf dem Medium.

Es konnte jedoch kein Hinweis auf einen Wert festgestellt werden, der den letzteingesetzten Brenner aus dieser Liste vermerkt.

Nachfolgend sind die Ergebnisse für die Brenneridentifikation bei BD zu sehen [5].

#### Zuverlässigkeit der Brenneridentifikation bei BD

Software	Identifikation bei BD-R	Identifikation bei BD-RE	spezielle Hardware nötig?
Nero Disk-Info	keine	gering	keine Angabe

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Aus forensischer Sicht ist eine Untersuchung der optischen Speichermedien vielversprechend. So können neben der Untersuchung der gespeicherten Nutzdaten und der Zeitstempel (MAC times) unter anderem Angaben zum verwendeten Betriebssystem und des eingesetzten Brennprogramms ausfindig gemacht werden. Auch ist es teilweise möglich, die für das Brennen eingesetzte Hardware auf dem Speichermedium zu identifizieren. Dies gilt vor allem bei den DVD-R(W)-Medien.

Die Untersuchung zur Identifikation des zum Brennen genutzten Laufwerks setzt neben der Software und gegebenenfalls der nötigen Hardware auch den Einsatz des originalen, sichergestellten Speichermediums voraus [5].

**Ausblick:** Die Frage, ob zukünftige Medien mit einer Identifizierungsmöglichkeit ausgestattet sind, ist noch nicht zu beantworten. Sie ist abhängig von den (teils gegenläufigen) Interessen zwischen Kunde, Musik-/Videoindustrie und den Herstellern.

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] CBS International GmbH.: Über eine Milliarde Computer weltweit im Einsatz. [http://www.silicon.de/hardware/netzwerk-storage/0,39039015,39192538,00/ueber\\_eine\\_milliarde\\_computer\\_weltweit\\_im\\_einsatz.htm](http://www.silicon.de/hardware/netzwerk-storage/0,39039015,39192538,00/ueber_eine_milliarde_computer_weltweit_im_einsatz.htm). Version: 2008. – [Online; Stand 12. März 2011]
- [2] Ecma International: 80 mm (1,46 Gbytes per side) and 120 mm (4,70 Gbytes per side) DVD Recordable Disk (DVD-R). In: Standard (2004), S. 73–74
- [3] Blu-ray Disc Association: Rewritable Blu-ray Disc (BD-RE) Multi-Media Command Set Description. In: White paper (2004), S. 37
- [4] Irmeler, F.: *Möglichkeiten der forensischen Untersuchung von CD, DVD und Blu-ray Disc*. Bachelorarbeit, FH Brandenburg, Fachbereich Informatik und Medien 2010
- [5] Irmeler, F.; Creutzburg, R.: *Possibilities of forensic investigation of CD, DVD and Blu-ray disc*. Proceedings SPIE Defence, Security & Sensing, Conference on Mobile Multimedia/Image Processing, Security, and Applications, Vol. 8063 (April 2011), in print

## **Der virtuelle Audioprozessor und die Audio-Language – ein erster Performancevergleich mit Matlab-Simulink**

Stefan Jaritz, Phone: ++49 3641 -205-717 E-Mail: stefan.jaritz@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07743 Jena

Hanno Kahnt, Phone: ++49 3641 -205-707 E-Mail: hanna.kahnt@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07743 Jena

### **Abstract**

Eine neue Methode, genannt die Audio Language und der virtuelle Audio Prozessor, ist zu Zeit in einer frühen Entwicklungsphase. In dieser wird versucht, die Schwächen im traditionellen Entwicklungsprozess digitaler Audiogeräte zu beheben und trotzdem hardwarenah die Software zu implementieren.

Ein großer Nachteil bei der klassischen Entwicklung von Audiogeräten ist die Bindung der Signalverarbeitungsalgorithmen an spezielle Hardware. Dies ist nötig, weil die Entwickler angehalten sind, ihre Applikationen hinsichtlich Performance und damit Kosten zu optimieren.

Der neuartige Ansatz trennt durch die Definition einer Hardware-Abstraktions-Schicht die Bindung des Signalverarbeitungsalgorithmus von der jeweiligen Hardware.

Das Aufsetzen einer hardwareunabhängigen abstrakten Beschreibungssprache ermöglicht es dem Geräteentwickler, dass er sein Gerät ohne Rücksicht auf die Hardware beschreiben kann. Dem damit verbunden Performanceverlust kann durch die Optimierung der Funktionen, welche in der Hardwareabstraktionsebene definiert sind, entgegengewirkt werden. Das Verschmelzen der abstrahierten Hardware mit definierten Kommunikationsprozessen führt zu dem virtuellen Audioprozessor.

Die Verwendung von Matlab-Simulink als Codegenerator zum Prototypenbau stellt eine Alternative zu der vorgestellten Lösung dar. Deswegen ist es interessant, die generierten Ergebnisse zu untersuchen. Dazu werden an einem einfachen Beispiel die generierten Codes hinsichtlich ihrer Performance untersucht. Als Hardwareplattform dient das ADSP-21369 SHARC EZ-KIT Lite Evaluation Kit von Analog Devices. Eine DSP-Plattform ist besonders geeignet, da kein Betriebssystem eine Performancemessung verzerrt. Der Abgriff der Messwerte erfolgt mit Hilfe eines Oszilloskops direkt an der Hardware.

In den Messungen konnte nachgewiesen werden, dass der von Matlab-Simulink generierte Code das System weniger auslastet als der Code der Audio-Language. Weiterhin konnte der Einfluss der Compilereinstellungen auf die Ausführungsgeschwindigkeit des Codes quantifiziert werden. Bis um zu 40% konnte die Ausführungsgeschwindigkeit des Codes gesteigert werden. Die Verwendung von auf das System optimierten Funktionen steigert die Ausführungsgeschwindigkeit der Audiosignalverarbeitung. Hinsichtlich der Signalverarbeitung sind die untersuchten Systeme vergleichbar. Es ist interessant, in nachfolgenden Arbeiten zu untersuchen, wie sich die Ausführungsgeschwindigkeit bei komplexeren Beispielen wie z.B. einem Audioeffektgerät oder einer Frequenzweiche verhält.

### **Keywords:**

audio language, virtual audio processor, audio compiler, audio signal processing

## **1. Einleitung**

Die präsentierte Methode beschäftigt sich mit den typischen Problemen kleiner und mittelständischer Firmen, welche Lösungen im Audibereich anbieten. Bedingt durch die große Konkurrenz werden ca. alle 5 Jahre neue Produkte auf den Markt gebracht. Diese enthalten neue Hardware. Das ist zwei Ursachen geschuldet. Zum einen werden Bauteile ständig abgekündigt und zum anderen müssen meist neue, leistungsfähigere Datenverarbeitungseinheiten benutzt werden. Es wird sehr viel Entwicklungszeit darauf verwendet, bekannte Algorithmen in neue Hardware zu transferieren.

Der gegenwärtige technische Stand lässt sich wie folgt beschreiben:

- In den produzierten Geräten wird die Signalverarbeitung durch Mikrocontroller gesteuert bzw. durch digitale Signalprozessoren vorgenommen. Die Hersteller der Entwicklungstools bieten Compiler, Debugger, Evalboards - kurz ein „Entwicklungsframework“ - an. Dieses ist genau auf die Hardware zugeschnitten.
- Für den PC sind in den letzten Jahren Frameworks wie z.B. CLAM[1], RTPROC[2], SAINT VIRTUAL DSP[3] oder Chuck[4] entstanden, welche sehr gut zur „virtuellen“ Audiogeräteentwicklung bzw. Instrumentenentwicklung geeignet sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es für die Geräteentwicklung bisher keine Lösung gibt, welche einen universellen Ansatz verfolgt. Entweder sind die Lösung ausschließlich nur für einen PC bzw. PC-Software geeignet oder sie beziehen sich nur auf eine spezielle Hardware.

## 2. Konzept

Die Abstraktion der Funktionen eines Audiogerätes in eine Hardwareabstraktionsebene (HAL) ermöglicht es, dass die Hardware modular und austauschföchtig wird. Das Gerät wird in einer speziellen Sprache charakterisiert. Diese wird als „Audio-Language“ bezeichnet. Die Beschreibung des Gerätes wird durch ein Sprachframework in Funktionen der Hardwareabstraktionsebene übersetzt. Die Hardwareabstraktionsebene stellt die Schnittstelle zwischen Gerätebeschreibung und real existierender Hardware dar. Folgende Grafik demonstriert den neuen Entwicklungsprozess:

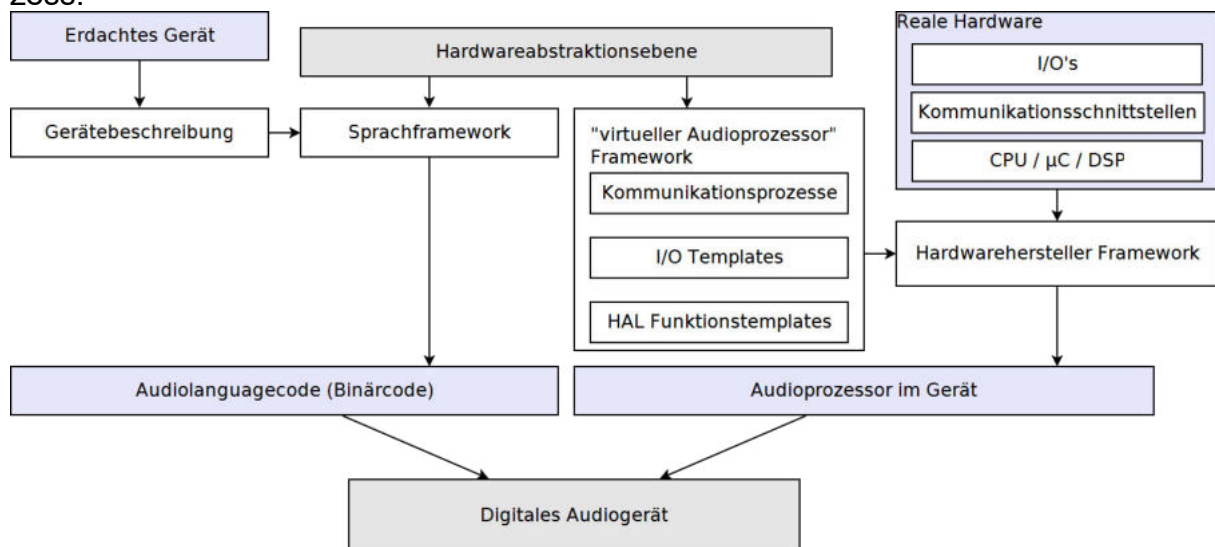


Abbildung 1: Entwicklungsprozess eines digitalen Audiogerätes

Neben dem Sprachframework existiert eine Codeschablone für den Audioprozessor, welche zusammen mit den Funktionen für die spezielle Hardware zur Erstellung eines Audioprocessors verwendet wird.



### 3. Performance

Es ist sehr interessant, diese Methode mit anderen Möglichkeiten zur Codegenerati- on zu vergleichen. Im Nachfolgenden Vergleich wird ein Biquad-Filter in Matlab- Simulink erstellt. Die Übertragungsfunktion des Filters folgt der Beschreibung von Zölzer [6]:

$$H(z) = \frac{a_1 * z^0 + a_2 * z^{-1} + a_3 * z^{-2}}{z^0 + b_2 * z^{-1} + b_3 * z^{-2}}$$

Die Berechnung für  $y(n)$  in Abhängigkeit von  $x(n)$ ,  $D_1$  und  $D_2$  erfolgt über die von Oppenheim und Schafer [7] vorgestellten Formeln:

$$D_1(n) = -b_3 * D_2(n-1) - b_2 * D_1(n-1) + x(n)$$

$$y(n) = a_3 * D_2(n-1) + a_2 * D_1(n-1) + a_1 * D_1(n)$$

Der generierte Code wird auf dem Evaluationsboard ADSP-21369 SHARC EZ-KIT Lite Evaluation Kit von Analog Devices untersucht. Zusätzlich werden für dieses Board zwei Audioprozessoren erzeugt. Der eine verwendet lediglich generische HAL Funktionen des Frameworks zur Realisierung des Biquad-Filters. Die andere Variante des Audioprozessors substituiert die Funktionen zur Berechnung des Biquad durch die Funktionen, welche vom Compilerhersteller mitgeliefert werden. Die Ausführungszeit des Codes wird mit Hilfe eines Oszilloskops gemessen. Es wird ein Pin des DSP überwacht, welches anzeigt, ob sich das System im Leerlauf befindet.

### 4. Messung

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse der in Abschnitt 4 vorgestellten Messmethode aufgezeigt:

	Frontend	Middleware	Backend(Compiler)	Last [Prozent]
1	Matlab-Simulink	Keine	Keine Optimierung	3,3
2	Matlab-Simulink	Keine	Maximale Optimierung	2,3
3	Audio-Language	Generischer Audioprozessor	Keine Optimierung	10,9
4	Audio-Language	Generischer Audioprozessor	Maximale Optimierung	6,3
5	Audio-Language	Spezieller Audioprozessor	Keine Optimierung	10
6	Audio-Language	Spezieller Audioprozessor	Maximale Optimierung	6,1

Table 1: Messergebnisse

Bei den Messungen werden 3 Stufen ausgewiesen. Die erste Stufe, genannt „Front- end“, ist die, mit welcher der Benutzer die Lösung seines Problems formuliert. Die Middleware vermittelt aktiv zwischen dem Model und der Hardware. Der Codegene- rator von Matlab-Simulink generiert den Code, ist aber zur Laufzeit nicht aktiv. Daher benutzt Matlab-Simulink keine Middleware. Der generierte Code wird durch einen

Compiler auf die Hardware angepasst. Der Erstellungsprozess wird als Backend bezeichnet. Es wichtig, den Einfluss des Compilers zu quantifizieren. Verschiedene Compiler setzen denselben C-Code unterschiedlich um. Zudem kann über die Optimierungsoptionen die Ausführungsgeschwindigkeit bzw. die Codegröße beeinflusst werden.

Der Lastwert bezieht sich auf die Zeit zwischen zwei Audiosamples. Mit Hilfe der Hardware wurde die Leerlaufzeit erfasst. In Beziehung zur Abtastfrequenz gesetzt kann die Systemlast ermittelt und normiert werden. In dieser Last sind alle Prozesse eingeschlossen. Das bedeutet, dass sowohl die Sampleerfassung und Normierung wie auch die Signalverarbeitung in dieser Zeit quantifiziert werden.

Die Messungen zeigen, dass durch die Verwendung der Optimierungsfunktionen des Compilers die Ausführungszeit des Codes deutlich verringert werden kann (ca. 30% - 40%).

Statisch generierter Code ist im Vergleich zu der „Interpreter basierten Lösung“ (Audioprozessoren) hinsichtlich der Ausführungsgeschwindigkeit deutlich überlegen. Gegenüber der optimierten Lösung von Matlab-Simulink benötigt die Ausführung des Codes des generischen Audioprozessors bzw. des speziellen Audioprozessors etwa das 2,7 fache der Zeit.

Die Ausführungsgeschwindigkeit der Audiosignalverarbeitung sollte im Kontext mit dem Framework, in welchem die Signalverarbeitung abläuft, gesehen werden. In vorhergegangenen Messungen [8] wurde die Systemlast des Audioprozessor-Frameworks mit ca. 5,7% bestimmt. Damit verbleibt für den Code für die Audiosignalverarbeitung des generischen Audioprozessors 0,6% und des speziellen Audioprozessors 0,4% der Gesamtzeit pro Audiosample.

Die Lösung in Matlab-Simulink benötigt ebenfalls ein Framework. Die Systemlast wurde mit 1,8% bestimmt [8]. Dementsprechend verbleibt für die Audiosignalverarbeitung 0,5% der Gesamtzeit pro Audiosample.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die vorgestellte Methode des virtuellen Audioprozessors und der Audio-Language hinsichtlich der Ausführungszeiten des Codes für die Audiosignalverarbeitung der Methode der Codeerzeugung mit Matlab-Simulink ebenbürtig ist.

#### Literatur

- [1] X. Amatriain, Clam: A Framework for Audio and Music Application Development, IEEE Software, pp. 82 - 85, 2007
- [2] H. Krueger and P. Vary, RTPROC: A System for Rapid Real-Time Prototyping in Audio Signal Processing, 12th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, pp. 311-314, 2008
- [3] G. Zoia and C. Alberti, An Audio Virtual DSP for Multimedia Frameworks, Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference, vol. 3, pp. 1421-1424, Mar. 2001
- [4] G. Wang, The Chuck Audio Programming Language. PhD thesis, Princeton University, Sept. 2008
- [5] U. Zölzer, Digitale Audioverarbeitung, Teubner, pp. 132, 1996
- [6] Oppenheim and Schaffer, Digital Signal Processing, New Jersey, Prentice Hall, 1975
- [7] S. Jaritz, The Virtual Audio Processor and the Audio Language - a New Method for Designing Digital Audio Devices, 26<sup>th</sup> VDT INTERNATIONAL CONVENTION, November 2010, proceedings

# Design und Test einer Reaktionskammer zur Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten auf Nickel- und Iridiumsubstraten

M. Hofmann<sup>1</sup>, D. Biniok<sup>1</sup>, O. Seifarth<sup>2</sup>, H. Beyer<sup>1</sup>, S. Schrader<sup>1</sup>, W. Mehr<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Hochschule Wildau [FH], Technical University of Applied Science, Bahnhofstraße, 15745 Wildau

<sup>2</sup>IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder)

## Abstract

Das große Interesse an Graphen und Kohlenstofffunktionsschichten beruht besonders bei ersterem auf seiner unverwechselbaren Bandstruktur und seinen herausragenden physikalischen Eigenschaften. 2004 konnte erstmals eine Graphenschicht in sehr kleinen Abmessungen hergestellt werden [1], was bis dahin als unmöglich galt, da zweidimensionale Kristalle nicht stabil sein können (vorhergesagt von L.D. Landau und R.E. Peierls) [2]. Seit dem wird auf dem Gebiet der großflächigen Graphenabscheidung weltweit geforscht.

In einer speziell für diese Aufgabe konzipierten Reaktionskammer wurde die Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten auf Nickel- und Iridiumsubstraten mittels chemischer Gasphasenabscheidung für verschiedene Parameter studiert. Während der Abscheidung wurde besonderes Augenmerk auf die Erreichung hoher Abkühlraten der Substrate von 10 K/s gelegt. Die Prozessbedingungen sind für Nickel und Iridium während des Prozesses konstant gehalten worden, um die unterschiedlichen Schichtbildungsmechanismen zu studieren. Die Ergebnisse zu den erzeugten Schichten (charakterisiert mittels Ramanspektroskopie) werden vergleichend vorgestellt.

**Keywords:** Kohlenstofffunktionsschicht, katalytische Schichtabscheidung, Graphen, Nickel, Iridium

## 1 Graphenabscheidung mittels CVD

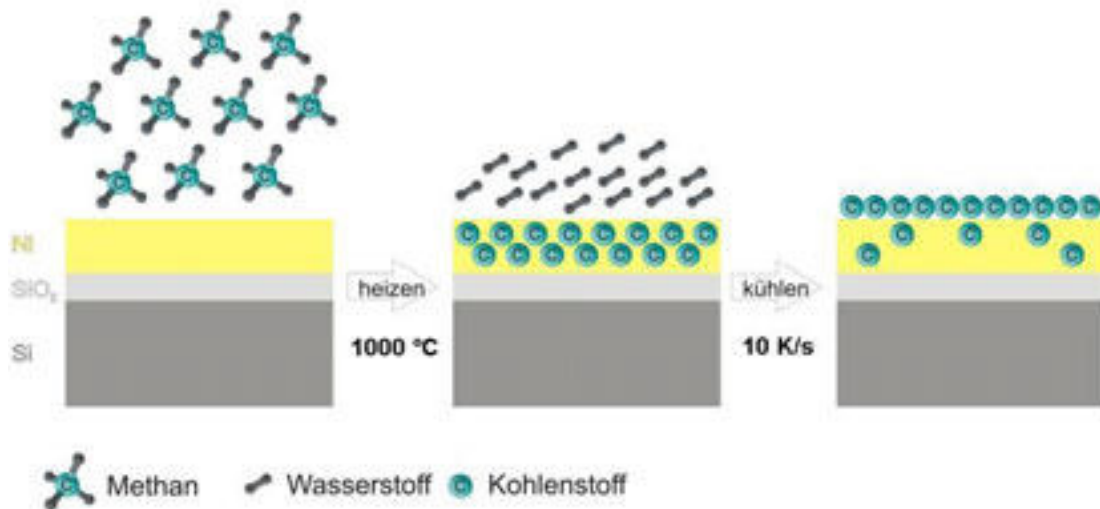


Abbildung 1: Vereinfachtes Reaktionsschema zum Ablauf der Graphenbildung (ähnlich zu [3]).

Die zu charakterisierenden Kohlenstofffunktions-, speziell Graphenschichten wurden mit Hilfe der chemischen Gasphasenabscheidungsmethode (CVD) hergestellt. Dabei war ein Siliziumwafer (Si) mit einer 300 nm dünnen katalytischen Nickelschicht das Ausgangsmaterial. Bevor mit dem eigentlichen CVD-Prozess begonnen werden konnte, musste die Probe auf eine Prozesstemperatur von ca. 1000 °C gebracht werden, um die notwendige Voraussetzung zu schaffen, dass das später in die

Kammer eingeleitete Methan (Kohlenstofflieferant) in seine Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff an der katalytischen Nickeloberfläche gespalten wird. Nach dem Erreichen der Prozesstemperatur erfolgte zunächst die Injektion von reinem Wasserstoff in die Experimentierkammer für 10 Minuten. Durch den Vorgang der chemischen Erosion konnte in diesem Zeitraum die natürlich entstandene Oxidschicht bzw. andere Verunreinigungen von der Nickeloberfläche entfernt werden. Nach der Reinigung erfolgte die Injektion von Methan für 3-4 Minuten in die Kammer und der eigentliche CVD-Schritt startete. Der Abbildung 1 kann ein vereinfachtes Reaktionsschema entnommen werden, wie es durch die CVD-Methode zur Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten auf Nickelsubstraten kommt. Bei der Injektion von Methan wird dieses an der heißen Nickeloberfläche zersetzt (Abb. 1 Mitte) und der freigesetzte Kohlenstoff diffundiert in die Nickelschicht ein, wo er zunächst gespeichert wird. Ist dieser Prozess abgeschlossen und die Methangasinjektion beendet, beginnt der eigentliche Bildungsprozess von Kohlenstofffunktionsschichten. Es hat sich gezeigt, dass hierfür die gesamte Probe mit einer sehr hohen Rate von ca. 10 K/s abgekühlt werden muss [4].

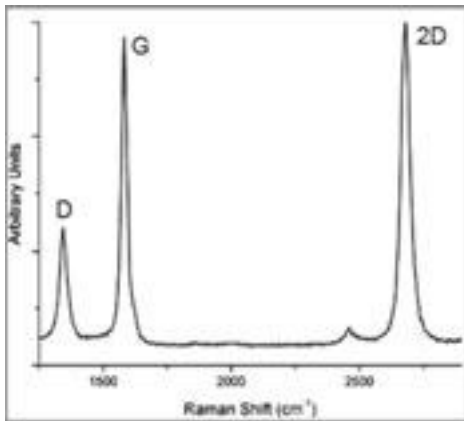
## 2 Anlagenaufbau / Versuchsaufbau

Der große Vorteil der konzipierten Anlage bestand darin, dass der Aufbau so einfach wie möglich gehalten werden sollte, um einen schnellen Zugriff und einen hohen Probendurchsatz zu gewährleisten. Es wurde dabei die Variabilität im Aufbau und die Möglichkeit der Beschichtung von Proben mit einer max. Größe von 90x70 mm<sup>2</sup> berücksichtigt. Die Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten mittels CVD-Verfahren fand im Druckbereich von 10<sup>-5</sup> bis 10<sup>0</sup> mbar statt, was die Anforderung an die Vakuumtechnik minimierte. Die experimentelle Herausforderung bestand nun darin, genau soviel Kohlenstoff in das Nickel eindiffundieren zu lassen, dass sich beim Abkühlen nur eine Monolage Graphen auf dem Metallsubstrat ablagert. Es gibt nur einen ganz bestimmten Temperaturbereich, bei der sich eine Monolage Graphen herausbilden kann. Zur Verifikation dieses Bereiches wurde ein Widerstandsheizler verwendet (Temperaturen bis 1800°C). Ein weiterer wichtiger Punkt war die experimentelle Umsetzung der hohen Kühlraten von 10 K/s an der Probe. Hierzu wurden zahlreiche Tests durchgeführt, wobei sich herausstellte, dass nur eine aktive Kühlung der Probe die gewünschten Raten ermöglichte. In Experimenten konnte gezeigt werden, dass Kühlraten zwischen 2 und 40 K/s erreicht werden können.

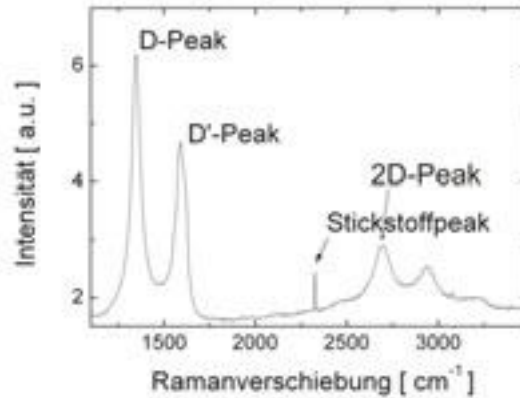
## 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Charakterisierung der abgeschiedenen Kohlenstofffunktionsschichten erfolgte mittels Ramanspektroskopie am IHP in Frankfurt (Oder). Die Messungen erfolgten mit einem sehr schmalbandigen Argonlaser bei einer Wellenlänge von 514 nm und einer Spotgröße von ca. 0,4 µm über einen Messbereich von 1100 bis 3500 cm<sup>-1</sup>. Zum besseren Verständnis der Interpretationen der Ramanmessungen kann der Abbildung 2(a) das charakteristische Ramanspektrum einer Monolage Graphen als Referenz entnommen werden. Unverschoben liegt der D-Peak bei ~1350 cm<sup>-1</sup> und gibt Aufschluss (bei Vorhandensein) über Störstellen im Graphenfilm, d.h. über die Güte der erzeugten Schicht. Der zweite Peak, der bei Graphenschichten sichtbar sein sollte, ist der so genannte G-Peak bei ~1584 cm<sup>-1</sup>. Dieser ist immer dann detektierbar,

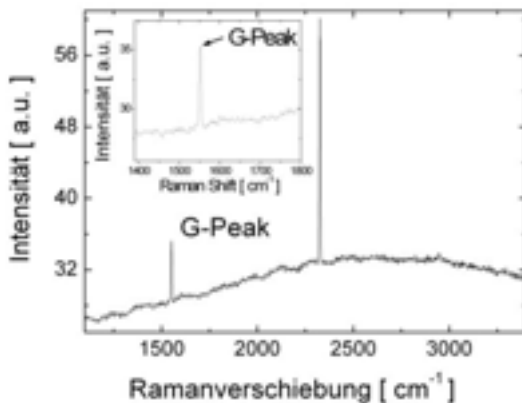
wenn es sich um  $sp^2$ -hybridisierten Kohlenstoff (Hybridisierungszustand des Graphens und des Graphits) handelt. Der wichtigste Peak für die Identifikation von Graphen ist der 2D-Peak bei  $\sim 2722\text{ cm}^{-1}$ , da dieser anhand seiner Form etwas über die Anzahl der übereinander liegenden Graphenschichten aussagt. Je mehr Schichten übereinander angeordnet sind desto breiter und flacher ist der entsprechende 2D-Peak.



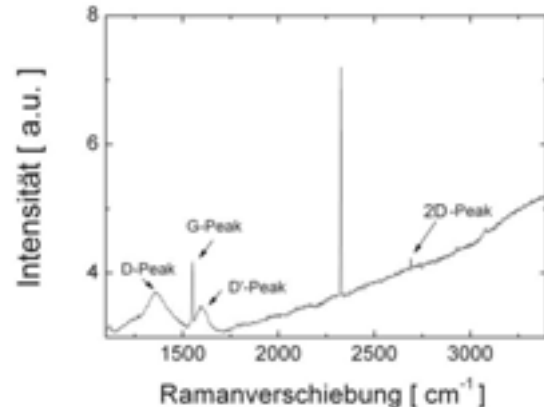
(a) Charakteristisches Ramanspektrum für eine Monolage Graphen [3].



(b) Prozesstemperatur/Kühlrate:  $810\text{ }^\circ\text{C}$  /  $12\text{ K/s}$ ,  $\text{Ar}/\text{H}_2/\text{CH}_4=200/65/50\text{ sccm}$ ,  $t(\text{H}_2)/t(\text{CH}_4)=12/4\text{ min}$ .



(c) Prozesstemperatur/Kühlrate:  $800\text{ }^\circ\text{C}$  /  $10\text{ K/s}$ ,  $\text{Ar}/\text{H}_2/\text{CH}_4=200/20/20\text{ sccm}$ ,  $t(\text{H}_2)/t(\text{CH}_4)=10/3\text{ min}$ .



(d) Prozesstemperatur/Kühlrate:  $810\text{ }^\circ\text{C}$  /  $14\text{ K/s}$ ,  $\text{Ar}/\text{H}_2/\text{CH}_4=200/65/50\text{ sccm}$ ,  $t(\text{H}_2)/t(\text{CH}_4)=12/4\text{ min}$ .

Abbildung 2: Ramanspektren, bei denen die Intensität der Ramansignale über der Ramanverschiebung für verschiedene Bedingungen aufgetragen ist. (b) und (c) Abscheidungsprozess auf einer  $300\text{ nm}$  dicken Nickelschicht und (d) Abscheidungsprozess auf einem Iridium-Einkristall.

Der Abbildung 2(b) können erste Indizien entnommen werden, dass es sich bei der abgeschiedenen Schicht auf Nickel um eine Vorstufe von Graphen handelt. Es zeigt sich ein starker D-Peak und zusätzlich ist bei ca.  $1600\text{ cm}^{-1}$  ein zweiter D-Peak (D'-Peak) detektierbar, der immer dann entsteht, wenn sich das Kohlenstoffnetzwerk aus der Ebene heraus ausbreitet (dreidimensional). Aufgrund der Unsymmetrie des D'-Peaks kann gesagt werden, dass dieser mit dem G-Peak überlagert ist. Bei den Peaks bei  $2700$  und  $2900\text{ cm}^{-1}$  handelt es sich zum einen um den 2D-Peak und zum

anderen um eine höher Harmonische des D-Peaks. Die Formation der einzelnen Peaks lässt den Schluss zu, dass es sich bei der Schicht um stark gestörtes Graphen handelt. Aufgrund der Form des 2D-Peaks ist jedoch von mehreren Lagen Graphen auszugehen, die übereinander angeordnet sind.

Ein völlig anderes Verhalten der Intensitäten der Ramansignale einer Schicht mit anderen Prozessparametern kann der Abbildung 2(c) entnommen werden, da hier trotz vergleichbarer Prozess-temperatur und Kühlrate nur der G-Peak eindeutig identifizierbar ist. Daraus lässt sich schließen, dass bei der zweiten untersuchten Schicht nur einzelne  $sp^2$ -hybridisierte Kohlenstoffatome vorhanden waren. Ein Indiz für diese Behauptung ist der Intensitätsunterschied zwischen den G-Peaks (Abb. 2(b) und 2(c)) und dem Stickstoffpeak bei ca.  $2300\text{ cm}^{-1}$ , welcher durch die Messmethode unter Atmosphäre bedingt ist. Aufgrund dieses Vergleichs zeigt sich, dass der Abscheidungsprozess ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Parameter darstellt, bei dem auch die Injektionsmenge und die -zeit eine wichtige Rolle spielen.

Neben den Nickerexperimenten wurden noch vergleichend Experimente mit einem Iridium-Einkristall durchgeführt, da hier ebenfalls ein katalytischer Effekt an der Oberfläche zur Graphenbildung führen soll [5]. Anhand der Abbildung 2(d) kann gesagt werden, dass die detektierten Peaks eindeutig auf die Existenz von Graphen auf der Iridiumoberfläche hinweisen. Neben einem starken G-Peak und einem schwachen D-Peak ist der 2D-Peak bei ca.  $2700\text{ cm}^{-1}$  eindeutig detektierbar. Das Verhältnis des G-Peaks zum 2D-Peak weist auf die partielle Formation von wenigen Lagen (5-6 Lagen) Graphen hin.

## 4 Zusammenfassung

Bei der Abscheidung von Kohlenstofffunktionsschichten auf Nickel- und Iridiumsubstraten unter verschiedenen Bedingungen hat die Charakterisierung der erzeugten Schichten mittels Ramanspektroskopie gezeigt, dass das Abscheidungsverfahren in der konzipierten Reaktionskammer funktioniert. Es handelte sich bei den erzeugten Schichten im Fall von Nickel und Iridium um stark gestörtes Graphen, wobei es nicht nur auf die Wahl der Gasmenge sondern auch auf die Prozess-temperatur ankam. Abschließend ist zu sagen, dass die Prozesse an der oberen Grenze der möglichen Temperaturen des derzeit konzipierten Aufbaus stattfanden und es zur Verifikation der Ergebnisse und der Optimierung der Prozesse einer Modifikation des Heizeraufsatzes aus einem anderen Material bedarf. Jedoch bereits unter den verwendeten Bedingungen ein beginnendes Wachstum nachgewiesen werden konnte.

## Literatur

- [1] K. S. Novoselov, A. G. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, and A. A. Firsov. *Science* **306**, 666 (2004).
- [2] L. D. Landau. *Phys. Z. Sowjetunion* **11**, 26 (1937).
- [3] D. Sukhdeo. *International NNIN REU Report X*, 100 (2009).
- [4] J. H. Mun, C. Hwang, S. K. Lim, and B. J. Cho. *CARBON* **48**, 447 (2010).
- [5] J. Hofrichter, Szafranek B. N., M. Otto, T. J. Echtermeyer, M. Baus, A. Majerus, V. Geringer, M. Ramsteiner, and H.Kunz. *Nano Lett.* **10**, 36 (2010).

## **Digitales Spielen im Alter**

Sabine Dummert, B.A., Phone: ++49.391/866-4290 (Sekretariat), E-Mail: sabine.dummert@sgw.student.hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstr. 2, 39114 Magdeburg

### **Abstract**

Beispielhaft werden anhand der Spielkonsole Nintendo Wii die Potentiale digitaler Spiele in Bezug auf das erfolgreiche Altern hin untersucht. Diese Analyse erfolgt auf technischer, individueller sowie gruppenbezogener Ebene. Es wird geprüft, inwiefern das Spielen mit der Wii unumstrittene altersbedingte Einschränkungen kompensieren und funktionale Kapazitäten erweitern kann. Eingebettet wird diese Untersuchung in den Bezugsrahmen der Sozialen Arbeit.

### **Keywords:**

digitales Spielen, Soziale Arbeit, Nintendo Wii, erfolgreiches Altern, digitale Erlebniskultur, informeller Bildungskontext

## **Die Spielkonsole Nintendo Wii im Kontext des erfolgreichen Alterns**

Jeder Mensch erfährt ab einem bestimmtem Alter, was es bedeutet, wenn Einschränkungen das alltägliche Leben beeinflussen. Mit fortschreitendem Alter stellen sich sukzessiv multiple Verluste zentraler Körperfunktionen ein. Zunehmend wird jedoch versucht, die Nutzung vorhandener Ressourcen hinsichtlich der Lebensqualität zu optimieren. Dieses Thema des erfolgreichen Alterns wird im Zuge des demographischen Wandels wieder verstärkt fokussiert, sodass die Frage nach dem Gelingen des Alltags und die damit einhergehende Herausforderung sozialarbeiterischer Gestaltungsmöglichkeiten für ein erfolgreiches Altern an Bedeutung gewinnen. (Baltes/Baltes 1990)

Zur Beschreibung der Rahmenbedingung und der Dynamik erfolgreichen Alterns wurde das Metamodell „Selection, Optimization, and Compensation“ nach Baltes und Baltes (SOC; 1990) herangezogen und es wurde untersucht, welche Anteile die Wii innerhalb dieses Prozesses haben kann. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die durch das Spielen mit der Wii herausgeforderten Handlungs- und Entwicklungsreserven zu einer eingeschränkten, aber selbstwirksamen Alltagsbewältigung beitragen, indem sie das individuelle körperliche und psychische Funktionsniveau durch Verlustregulation erhalten oder fördern und zudem ein sozial integriertes Leben im Alter unterstützen. Die zwei Hauptstränge dieser Hypothese, das Wii-Spiel und das erfolgreiche Altern, wurden miteinander verknüpft und hinsichtlich mehrerer Funktionen und Ebenen<sup>1</sup> untersucht. Dabei wurden in dem als exploratives zu beschreibenden Feld Erfahrungs- und Arbeitsberichte sowie theoretische Untersuchungen zum Thema 'digitales Spielen im Alter' herangezogen und analysiert. Diese beinhalten Aspekte der Motivation und Wahrnehmung, Praktiken der Spielnutzung sowie Einschätzungen des Potentials der Wii im Hinblick auf die physische, psychische und/oder me-

---

1 Die analysierten Ebenen mit ihren Funktionsbereichen sind: (1) Technik: Steuerung; Spielgenre und visuelle Repräsentation; (2) Individuum: interaktive Spielkontrolle; physischer, psychologischer und medial-kultureller Wirkungsbereich; (3) Gruppenebene: gemeinschaftliches und generationsübergreifendes Spiel.

dial-kulturelle Wirksamkeit. Der Fokus lag dabei auf den Spielsammlungen Wii Fit, Wii Sports und Wii Sports Resort.

### **Ebenen des Wii-Spiels und ihre Funktionsbereiche**

Die Analyse zeigt auf **technischer Ebene**, dass sich die Spiel-Steuerung der Wii durch ein leicht zu erlernendes, intuitives Bedienkonzept auszeichnet. Die Grafik weist eine reduzierte Komplexität auf, was sich zugunsten des Kontrastes auswirkt und so visuelle Reize auch mit eingeschränkter Sehstärke noch gut erfassbar macht. Die einfache inhaltliche Struktur erleichtert zudem den Einstieg in virtuelle Welten, da keine umfassenden Spiel-Handlungen erfasst werden müssen. (u.a.: Ibister/ DiMauro 2009: 2; Peek et al. 2008: 2) Durch die Imitation natürlicher Bewegungen (Jenson/ de Castell 2009: 4) und die breite gesellschaftliche Bekanntheit der Spiele (gepaart mit eventuellen entsprechenden Erfahrungen) stellt die Wii ein Angebot mit niedrigen Zugangsbarrieren dar. Die inhaltliche und performative Bezugnahme auf das eigene Leben wird zudem einem lebensweltorientierten Ansatz der Sozialen Arbeit gerecht.

Auf **individueller Ebene** wird deutlich, dass die Spielsituation der Wii durch unterschiedliche Spielwelteinflüsse geprägt ist. Dabei bestimmen sowohl intrinsische als auch externale Beweggründe das Ausmaß der Immersion und des Flows. (Csikszentmihalyi in Fritz 2004: 99) Durch eine eindeutige Handlungsanforderung sowie Rückmeldung entsteht eine Interaktion mit dem Spiel, die als anregend erlebt wird. Demgegenüber ist zu bedenken, dass die Spielmotivation negativ beeinflusst werden kann, wenn der freie Charakter des Spiels im Sinne eines Zwangs oder einer Routinehandlung verloren geht. Daher sollten bspw. Bewohner der stationären Altenhilfe auch im Sinne einer kultursensiblen Altenarbeit nicht zum Spielen gedrängt werden.

In ersten Reaktionen im Kontext der Rehabilitation berichten verschiedene Teilnehmer von Wii-Projekten über eine verbesserte Reaktionszeit sowie die Wiedererlangung von Bewegung und Gleichgewicht. Es wurde festgestellt, dass bei älteren Menschen durch das Spielen mit der Wii die Hand-Augen-Koordination sowie die Fein- und Grobmotorik verbessert werden konnten. (Pigford/ Andrews 2010: 16) In diesem Zusammenhang kann dargelegt werden, dass die Nachahmung einer realen Situation die Spielkontrolle begünstigt. Jene Spielkontrolle stärkt die funktionelle Kapazität im Alter, die ein wichtiger Aspekt der Alltagsbewältigung ist. (Steinhagen-Thiessen/ Borchelt 2010: 191) Selbstbestimmtheit im spielerischen Verhalten, Abläufe gestalten bzw. beeinflussen zu können und auch ggf. im virtuellen Wettkampf erfolgreich zu sein, kann die innere Einstellung zu den eigenen Fähigkeiten verbessern. (Fritz 2004: 26ff) Die Herausforderung der Handlungs- und Entwicklungsreserven wird in dieser Situation als angenehm wahrgenommen und fördert dabei die aktive und bewusste Wahrnehmung der eigenen Leistungskapazitäten und -grenzen. So kann die internale Handlungskontrolle aufrechterhalten und die Überzeugung, auf externe Kontrolle angewiesen zu sein, abgebaut werden. Das unterstützt das Streben nach Selbstakzeptanz, Autonomie, Vertrauen in soziale Beziehungen mit Anderen sowie eine Auseinandersetzung mit sich, seiner Lebenswelt und -situation.



Dass die Wii Spielen und Lernen im Sinne einer Edutainmentsoftware sinnvoll verbinden kann (Croll/ Lippa 2008: 23), zeigt sich darin, dass die Wii für den spielenden, älteren Menschen eine gute Gelegenheit und Möglichkeit bietet, sich mit aktuellen technologischen Entwicklungen auf spielerische Weise vertraut zu machen. Mit der Spielkonsole können damit Grundsätze der Erlebnispädagogik auf das Leben im Alter übertragen werden: Eine technikzugewandte Erlebniswelt wird innerhalb einer technikabgewandten Alltagswelt ermöglicht. Dabei wird sowohl die Kognitionen älterer Menschen gefördert (Röhrich et al. 2009: 3) als auch die Bedienung von Benutzeroberflächen und die Orientierung in virtuellen Räumen geübt. In diesem Sinne führt das Konsolenspiel an neue Medien heran (Prensky 2001), welche wiederum eine Quelle für die Entwicklung von Bewältigungsstrategien im Alter sein können.

Im Zusammenhang mit der Mehrspielerfunktion der Wii kann die Spielsituation durch den in einer **Gruppe** stattfindenden Spielprozess als soziale Situation bestimmt und als ein Raum für soziale Kontakte beschrieben werden. Soziale und kommunikative Kompetenzen können daher im gemeinsamen Spielerlernen, aber auch im Austausch über Inhalte des Spiels und über das Spiel hinaus angewendet werden. So ist das Wii-Spiel durch veränderbare Spielerkonstellationen als ein variabler, sozialer Erfahrungsraum zu verstehen. (u.a. Volda/ Greenberg 2009) Das gemeinsame Interesse Angehöriger verschiedener Generationen am digitalen Spiel kann dazu beitragen, dass ein vermehrter Austausch zwischen jungen und älteren Menschen stattfindet.

### **Schlussfolgerung und Ausblick**

Der Einsatz der Wii im Hinblick auf den Prozess des erfolgreichen Alterns verdeutlicht demnach: Während des Wii-Spielens wird physisch und psychisch auf das Individuum eingewirkt. Bewältigungsstrategien fördern die Kompensation und können selektiv – bspw. durch die Wahl des Genres – fokussiert werden, sodass der Weg zu einer optimierten Lebensweise mit Hilfe angenehmer Tätigkeiten geebnet wird. So sollen körperliche, mentale und soziale Beeinträchtigungen minimiert und Lebensqualität gefördert werden. Folglich *kann* das Wii-Spielen, indem es das individuelle Bewältigungssystem älterer Menschen positiv beeinflusst, zusammenhängende physische und psychische Gesundheitsaspekte selektiv unterstützen und somit zu einem optimierten Alltag in Hinblick auf die Selbständigkeit beitragen.<sup>2</sup>

Ein großer Kritikpunkt ist hier der immer wieder auftretende, optionale Charakter der Wii: Viele der genannten positiven Effekte *können* auftreten, müssen es aber nicht zwangsläufig. Dies ist auf die Heterogenität des Alters und die damit verbundenen unterschiedlichen Bedürfnisse und Motivationen sowie Lebenseinstellungen und Biographien zurückzuführen. Der Nutzen des Wii-Spielens ist zudem abhängig von der geistigen und physischen Situation der spielenden Person. Die Gefahr der Überforderung sollte dabei ernst genommen werden. (Neufeldt 2009: 3) Der Einsatz der Wii

---

<sup>2</sup> Diese Schlussfolgerung erfolgte in Anlehnung an die Definition des erfolgreichen Alterns sowie dem SOC nach Baltes und Baltes (1990/ 1994).

führt also nicht automatisch zu den gewünschten psychischen, physischen und sozialen Prozessen, was sie zumindest im momentanen Stadium ihrer Erforschung nicht als 'professionelles Werkzeug' für die Soziale Arbeit innerhalb der Altenhilfe/-arbeit erscheinen lässt.

Was zukünftig anzunehmen ist, lässt eine Generation unter dem Begriff der 'Digital Natives' (Prensky 2001) vermuten. Deren Spielwelt wird voraussichtlich aufgrund ihres Aufwachsens mit neuen technologischen Entwicklungen eine Andere sein. So gilt es, vermehrt die Bedürfnisse sowohl der 'Digital Immigrants' (Prensky 2011) als auch der 'Digital Natives' zu erkennen und zu verstehen, um präventive und intervenierende Ansätze adressatenspezifisch auszurichten. Ziel des sozialarbeiterischen Handelns sollte dabei sein, Technisches immer mit sozialen Aspekten zu verbinden, eine moderierende Haltung einzunehmen und den Prozess zu begleiten, sich jedoch langfristig zurückzuziehen.

## Literaturverzeichnis

- Baltes, P. B./ Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. New York: Cambridge University Press. In: Jopp, D. (2003): Erfolgreiches Altern. Dissertation, Berlin
- Baltes, P. B./ Baltes M. M.: (1994): Gerontologie: Begriffe, Herausforderungen und Brennpunkte. In: Baltes/ Mittelstraß/ Staudinger (Hrsg.): Alter und Altern: Ein interdisziplinärer Studientext zur Gerontologie. De Gruyter, Berlin, S. 1-34
- Croll, J./ Lippa, B. (2008): Digitale Integration durch Medienkompetenz. Auf dem Weg zur Chancengleichheit in der Informationsgesellschaft. In: Medien und Erziehung (MERZ) 4.08, S. 23-31
- Fritz, J. (2004): Das Spiel verstehen. Eine Einführung in Theorie und Bedeutung. Juventa Verlag, Weinheim München
- Isbister, K./ DiMauro, C. (2009): Wagging the Form Baton: An Analysis of Body-Movement-Based Design Patterns in Nintendo Wii Games, Toward Innovation of New Possibilities for Social and Emotional Experience. URL: <http://www.katherineinterface.com/wagging.pdf> (Zugriff am 25.04.2010)
- Jenson, J./ de Castell, S. (2009): From Simulation to Imitation: New Controllers, New Forms of Play. In: Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory. Proceedings of DiGRA 2009, S. 1-7
- Neufeldt, C. (2009): Wii play with elderly people. Enhancing Interaction Spaces by Social Media for the Elderly. A workshop report., vol. 6, no. 3, S. 50-59. URL: [http://www.uni-siegen.de/locatingmedia/workshops/ecscwageingworkshop/neufeldt\\_wii\\_play\\_elderly.pdf](http://www.uni-siegen.de/locatingmedia/workshops/ecscwageingworkshop/neufeldt_wii_play_elderly.pdf) (Zugriff am 01.03.2011)
- Peek, A./ Ibrahim, T./ Abunasra, H./ Waller, D./ Natarajan, R. (2008): White-Out from a Wii: Traumatic Haemothorax Sustained Playing Nintendo™ Wii. In: Annals of The Royal College of Surgeons of England, 90(6), S. 1-2
- Pigford, T./ Williams Andrews, A. (2010): Feasibility and Benefit of Using the Nintendo Wii Fit for Balance Rehabilitation in an Elderly Patient Experiencing Recurrent Falls. In: Journal Of Student Physical Therapy Research, Volume 2 (Number 1), S. 12-20
- Prensky, M. (2001): Digital Natives, Digital Immigrants. In: On the Horizont. NCB University Press, Vol. 9 No. 5, October 2001
- Röhrich, J./ Schemmerling, M./ Florian, A. (2009): Wii mit Senioren erproben: Dokumentation einer explorativen Studie im Rahmen eines Seminar-Projekts. (Arbeitsbericht Nr. 26). Universität Augsburg
- Steinhagen-Thiessen, E./ Borchelt, M. (2010): Morbidität, Medikation und Funktionalität im Alter. In: BASE (2010): Lindenberger, U./ Smith, J./ Mayer, K. U./ Baltes, P. B. (Hrsg.): Die Berliner Altersstudie. Akademie Verlag, Berlin, S. 175-207
- Voida, A./ Greenberg, S. (2009): Wii All Play: The Console Game as a Computational Meeting Place. In: New Gaming Experiences, S. 1559-1568

## **eCampus-Services & -Infrastrukturen – eGovernment-Komponenten- und Service-orientierte elektronische Campusverwaltung mit verbesserter Sicherheit**

Martin Henning, [mhenning@hs-harz.de](mailto:mhenning@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode  
Hendrik Werner, [hwerner@hs-harz.de](mailto:hwerner@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode  
Peter Kußmann, [pkusmann@hs-harz.de](mailto:pkusmann@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode  
Dr. Nico Brehm, [nico.brehm@repugraph.com](mailto:nico.brehm@repugraph.com), RepuGraph GmbH, Alte Leipziger Str. 50, 99734 Nordhausen  
Prof. Dr. Hermann Strack, [hstrack@hs-harz.de](mailto:hstrack@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

### **Abstract:**

eGovernment-Standards und -Basiskomponenten werden zur Verbesserung der prozessorientierten Umsetzung von Campus-Systemen an Hochschulen und deren Sicherheit kriterienorientiert eingesetzt, im Rahmen des F&E-Projekts „eCampus“. Drei Architekturansätze bis hin zu Weiterentwicklungen serviceorientierter Architekturen (SOA) werden identifiziert.

**Keywords:** eGovernment-Basiskomponenten, OSCI, Qualifizierte rechtverbindliche elektronische Signatur, Verfahrenselektronisierungen, SOA, Campus-Management, eCampus, Standardisierung.

## **1 Einführung**

Im Rahmen des Projekts „eCampus - Services & -Infrastrukturen für gesicherte u. verbindliche vollelektronische Hochschulverwaltungen“ sollen ausgewählte Verfahrenselektronisierungen für Verwaltungsprozesse an Hochschulen untersucht und auf Basis verfügbarer eGovernment-Standards und -Komponenten umgesetzt werden. Unter Einsatz von innovativen eGovernment- und Sicherheitskomponenten, sowie der Integration entsprechender Architekturmodelle (u.a. auf Basis des eGovernment-Standards OSCI) soll dabei gewährleistet werden, dass sensibles Kommunikations- und Datenmanagement in den ausgewählten Szenarien nach Standards nachweisbar abgesichert, datenschutzkonform umgesetzt und elektronische Dokumente, rechtsverbindlich elektronisch signiert, integriert werden können.

## **2 eCampus - sensible Daten und Prozesse an Hochschulen**

Sensitive Kommunikations- und Datenmanagement-Anteile in den ausgewählten Szenarien sollen abgesichert, datenschutzkonform umgesetzt und elektronische Dokumente rechtsverbindlich elektronisch signiert werden können - unter Nutzung von Synergien und Kostenentlastungen aus dem Bereich der Umsetzung des eGovernment-Aktionsplans Sachsen-Anhalt (u.a. Pflegevertrag Governikus und PKI LSA). In Feldversuchen werden dabei die Realisierungen evaluiert, insbesondere auf Akzeptanz und Nutzerfreundlichkeit bei folgenden Fachverfahren betrachtet:

- 1) eTOR (Prüfungsdatenaustausch mit externen Hochschulen),
- 2) eExamReg (Prüfungsanmeldungen und -bewertungen),
- 3) eZeugnis (Zeugniskopien),
- 4) ePraxReg (Vereinbarung für Praxissemester),
- 5) eBafögSch (Leistungsscheine für Bafög),
- 6) eSchein (studentische Bescheinigung).

In diesem Papier werden die Fachverfahren/Prozessszenarien eExamReg ausführlicher betrachtet. Vor dem Hintergrund des Zielsetzungsspektrums eCampus wurden folgende Kriterien für entsprechende Konzeptionen und Umsetzungen entwickelt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Kriterienkatalog Sicherheitsziele

Nr.	Kriterium
K1	Sicherung Vertraulichkeit, Authentizität, Integrität
K2	Rechtsverbindlichkeit/Signatur von elektr. Dokumenten
K3	Datenschutzkonformität
K4	Realisierung nachweisbarer Zustellungen (Verbindlichkeit)
K5	Nutzerentlastung bzgl. Signatur- & PKI-Checks
K6	Nutzung von Internet-Standards (u.a. XML/SOAP)
K7	Integration von XML und (Verwaltungs-)Standards
K8	Integrationsfähigkeit bzgl. Campusmanagementsystemen (z.B. HIS)
K9	Kosteneff. Nachnutzung von eGov.-Komponenten & Wartung
K10	Vertrauenswürdigkeit von Komponenten & Services
K11	Handhabbarkeit
K12	Kosten-Nutzen.

### 3 Architekturen und eGovernment-Komponenten in eCampus

Hinsichtlich Umsetzungen von Sicherheitsaspekten stehen eGovernment- und Sicherheits-Standards wie OSCI und PKI nach Signaturgesetz mit wiederverwendbaren Komponenten zur Verfügung:

- volle Rechtsverbindlichkeit: für elektr. Dokumente (PKI/Signatur) und deren Zustellung (OSCI),
- hochwertige Sicherheit sowie Vertrauenswürdigkeit für die Signaturstufen „Qualifizierte Signatur (QES)“ und „Akkreditierte (qualifizierte) Signatur (AKQES)“,

OSCI (Online Service Computer Interface) ist in Verwaltungen und Wirtschaft im Einsatz und ermöglicht die abgesicherte und rechtsverbindliche (nachweisbare) Zustellung von Nachrichten zwischen den Teilnehmern. So bildet OSCI analog das „Einschreiben mit Rückschein“ elektronisch ab, in dem nachweisbare Zustellungen durch das Erzeugen von sogenannten Laufzetteln (signiert durch OSCI-Intermediär) für jeden OSCI-Nachrichtenaustausch durchgeführt werden. OSCI-Nachrichten werden als doppelte XML-Umschläge auf SOAP-Basis (s. Abb. 1) u.a. durch Ende-zu-Ende-Verschlüsselungen für Inhaltsdaten und Signaturen gesichert, so dass Vertraulichkeit, Integrität und Authentizität

personenbezogener Daten bei der Übertragung über unsichere Netze, wie dem Internet, gewährleistet werden können (vgl. OSCI-Empfehlung der Konferenz der Datenschutzbeauftragten von Bund und Ländern [SENPRE2005]). Für die Standards PKI/QES und OSCI können wesentliche eGovernment-Basiskomponenten LSA im Projekt

eCampus zur Verfügung gestellt werden: PKI LSA, OSCI-Clients Govello & EGVP, OSCI-Intermediär Governikus, vgl. [MILSA2008, LDVK2010]. Mittels OSCI und vorgenannter eGovernment-Basiskomponenten können, maßgeblich Anforderungen und Ziele aus Kapitel 2, mittels folgender Sicherheitsfunktionen, erfüllt werden:

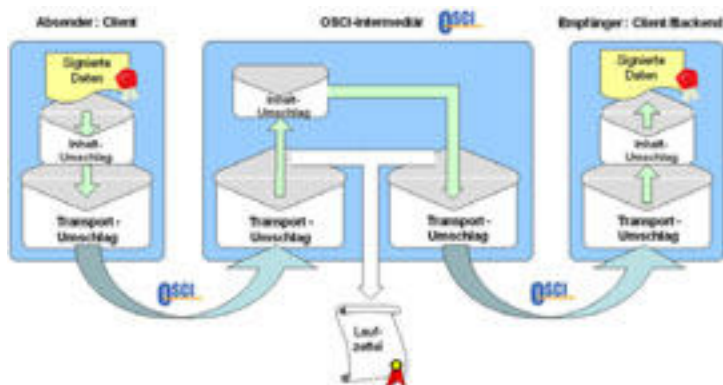


Abb. 1: OSCI-Infrastruktur

Tabelle 2: OSCI - Gegenüberstellung Sicherheitsziele und Sicherheitsfunktionen

Si-Funktionen	Ziele	Vertraulichkeit	Integrität	Authentizität	Nichtabstreitbarkeit	Zurechenbarkeit/Verbindlichkeit
Ver-/Entschlüsselung		😊				
Signaturintegration			😊	😊	😊	😊
Zertifikatsprüfung			😊	😊	😊	
Zeitstempel						😊
Laufzettel/Quittierung					😊	😊
Benutzerauthentisierung				😊		
Nachrichten-IDs				😊		

Im Vergleich zum Kriterienkatalog (s. Tabelle 1) ergibt sich damit das OSCI für das Erreichen der Sicherheitsziele geeignet ist. Hinsichtlich der Integrationsfähigkeit von Basiskomponenten, Standards und Diensten lassen sich zudem drei grundsätzliche Architekturansätze aufzeigen, mit denen sich entsprechende Integrationen von zusätzlichen (OSCI-) Sicherheitsfunktionen in ein eCampusmanagement-Systeme (wie HIS) umsetzen (nach Strack/Richter et.al [eCaLDVK2010]).

- A-CPM1. OSCI-Schalen-Architektur für eCampus-Systeme
- A-CPM2. Built-in-SicherheitsArchitektur für eCampus-Systeme
- A-CPM3. SOA-eCampus-Architektur.

Die Built-In-Architektur verfolgt dabei den Ansatz, dass die für das Projektumfeld notwendigen (OSCI-)Sicherheitsfunktionalitäten und -techniken direkt in das eCampus-System integriert werden (wie z.B. zukünftig in HISinOne), die SOA-eCampus-Architektur als deren Spezialfall berücksichtigt dabei zusätzlich SOA/WebService-Standards auch außerhalb von OSCI. Die Schalen-Architektur hingegen kennzeichnet sich dadurch, dass durch die Einbindung von bereits bestehenden eGovernment-(OSCI)Komponenten existierende eCampus-Systeme um zusätzliche „Sicherheitsschalen“ auf OSCI-Basis ergänzt werden, z.B. zum Ersatz schwachstellenbehafteter Eingabe-Schnittstellen auf Web-Basis (http/SSL) für elektr. Prüfungsdaten in herkömmlichen eCampus-Systemen.

#### 4 Konzeption und Umsetzung eCampus-Verfahren am Beispiel

Die Abkürzung eExamReg steht für eine Elektronisierung der Prüfungsanmeldung und -bewertung. Zur Darstellung dient hier der Vorgang der Prüfungsbewertung. Folgende Risiken und Schwachstellen sind im IST-Ablauf beispielhaft erkennbar:

- 1) Gefälschter Prüfungsdateneintragen auf Basis von einfacher Nutzernamen-Passwort-Authentifikation für webbasierte Prüfungssysteme.
- 2) Selbst bei Einsatz weiterer Zugangssicherungen zum Online-Prüfungssystem (z.B. persönliche Prüferzertifikate) verbleiben erhebliche Risiken bzgl. der Integrität, Authentizität und damit Verbindlichkeit der elektronischen eingetragenen Prüfungsdaten (derzeit: ergänzend Einreichung der Prüfungsdaten zusätzlich papiergebunden mit Unterschriften an das Prüfungsamt).

Auch bei der Übertragung auf Einsatzszenarien für studentische Prüfungsanmeldungen können ähnliche Risiken bzgl. Verbindlichkeit durch die bisher übliche elektronische Datenhaltung und deren Default-Sicherungen bei Online-Anmeldungen entstehen. Beim bisherigen Ablauf des Verfahrens gibt es folgende Probleme/Schwachstellen: Vielzahl von Medienbrüchen bei Noteneingaben, Schwächen bzgl. Authentizität & Integrität & Datenschutz, sowie bzgl. Verbindlichkeit und Nichtabstreitbarkeit. Daher sind bisher zusätzliche Vertrauensanker z.B. per herkömmlichen Papier- und Postweg mit handschriftlichen Dokumenten-Unterschriften (Dozenten) notwendig.

Die in eCampus entwickelte Absicherung der elektronischen Prüfungsbewertung eExamReg nach dem Prinzip der OSCI-Schalenarchitektur wird in der folgenden Ab-

bildung 2 veranschaulicht. Eine erste entsprechende Prototyp-Realisierung der Schalenarchitektur mittels eines OSCI-HIS-Mediator zur Einkopplung OSCI-gesicherter und QES-signierter elektr. Prüfungsdateneingaben in herkömmliche Campusmanagement-Systeme wurde in eCampus entwickelt.

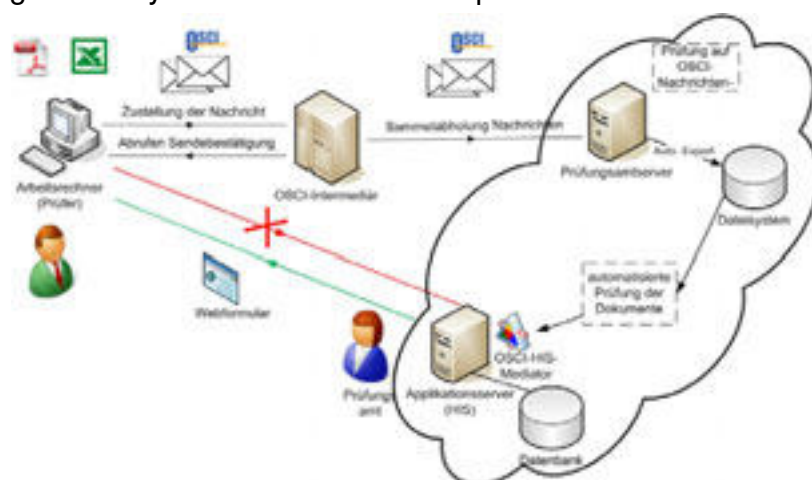


Abb.: 2: eExamReg: zukünftige Elektronisierung mit OSCI-HIS-Mediator (Schalenarchitektur)

Die Prüfungsdaten der Dozenten werden mittels OSCI-Transfer nach Sicherheits- und Signaturprüfungen unter Erzeugung signierter Quittungen und Logs automatisch vom Mediator über eine einzig noch geöffnete Web-Eingabeschnittstelle in gesicherter RZ-Umgebung an das herkömmliche Campussystem übergeben (z.B. HIS). Die Web-Abruf-Schnittstelle für das Lesen/Anzeigen von so eingetragenen Bewertungen bleibt unberührt. Prüfungsamtspersonal ist damit von Eingabetätigkeiten entlastet, prüft und archiviert automatische erzeugte Logs/Quittungen. Ausgehend von SOA-Konzepten wird in eCampus ein Architekturvorschlag unter Integration weiterer Sicherheitsfunktionalität wie Web Service Security und OSCI 2.0 entwickelt, als Grundlage für zukünftige Software-Infrastrukturen zur elektronischen Verwaltung von Hochschulen. Der Vorschlag wird als „eCampus Reference SOA“ bezeichnet, vgl. Brehm/Strack in [eCaLDVK2010] und eröffnet weitere Integrationsmöglichkeiten bzgl. Funktionalität und Sicherheit auch für neuartige Campussysteme wie HISinOne.

## 5 Fazit

Die in eCampus entwickelten Architekturkonzepte und erste Realisierungen zeigen, dass zusätzliche Sicherheit und Verbindlichkeit nach Standards für Campus-Managementsysteme in effektiver und effizienter Weise integrierbar sind. Dabei ist auch unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten die Verwendung von OSCI- und Signatur-Komponenten nach Landespflegevertrag LSA Governikus besonders attraktiv.

## Literatur

- [SENPRE2005] Pressestelle Senat Bremen: Datenschutzbeauftragte empfehlen Bremer Entwicklung bundesweit. <http://www.senatspressestelle.bremen.de/detail.php?id=11601>,
- [OSCIL2002] OSCI-Leitstelle (ed.): OSCI-Transport 1.2 – Spezifikation, [www.osci.de](http://www.osci.de), Bremen, 2002
- [MILSA2008] Ministerium des Innern, Land Sachsen-Anhalt: eGovernment-Maßnahmenplan 2008-2009
- [eCaLDVK2010] Strack, Brehm, Kußmann, Henning, Werner, Richter, Weise: LDVK-Bericht „eCampus-Services & -Infrastrukturen - für eine gesicherte & verbindliche elektron. Hochschulverwaltung, Hs Harz, 2010
- [SiStLSA2008] Strack, H.; Karich, Ch.; Werner, W.: Evaluation von Signaturanwendungs- und OSCI-Komponenten für standardisierten Einsatz LSA. Studie (öff. Teil), Hs Harz, 2008
- [StrEun2007] Strack, H., Karich Ch.: „A Distributed Architecture for the Management of Transcripts of Records and Student Mobility Data within the Bologna Process Framework“; in: Proceedings of EUNIS 2007 Conference, Universities of Grenoble and University P.M. Curie of Paris, France, 2007

## **eCollabSec – Plattform für elektronische Collaboration mit integrierter Sicherheit**

Dipl.-Ing.(FH) Peter Kußmann, Phone: ++49.3943-659-364, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: pkusmann@hs-harz.de, Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

Dipl.-Inf.(FH) Martin Henning, Phone: ++49.3943-659-341, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: mhenning@hs-harz.de, Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

Prof. Dr. Hermann Strack, Phone: ++49.3943-659-341, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: hstrack@hs-harz.de, Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

### **Abstract**

Um elektronische Dokumente gemeinsam zwischen verschiedenen Partnern und Plattformen gesichert austauschen und bearbeiten zu können, wurde eine elektronische Collaboration-Plattform für domänenübergreifende und gesicherte elektronische Kooperationsformen von Hochschulen, Unternehmen und Verwaltungen entwickelt. Diese Plattform für hochschulübergreifende Kooperationen wurde im Auftrag des Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt konzipiert und auf Basis von internationalen Webstandards (wie WebDAV) sowie von Groupware-, eGovernment- und Security-Basiskomponenten (wie OSCI, PKI LSA) umgesetzt.

**Keywords:** domänenübergreifende und gesicherte eCollaboration, Knowledge-Management, WebDAV, Security, eGovernment-Standards, OSCI

## **1 Problem- und Anforderungsanalyse**

Um einrichtungs- und netzdomänen-übergreifend elektronische Dokumente mit differenzierten Anforderungsprofilen insbesondere zu Collaborations- und Sicherheits-Aspekten austauschen und transparent bearbeiten zu können, soll zur Lösung eine elektronische Plattform zur entsprechenden Dienstekopplung unterschiedlicher Akteure im Bereich der hochschulübergreifenden Kooperation (s. unten) im Sinne eines Collaboration-, Dokumenten- und Knowledge-Managementsystems für das Kultusministerium Sachsen-Anhalt konzipiert und aufgebaut werden. Ein erster Anwendungsbereich ist hierbei eine landesweit verteilte Arbeitsgruppe zum Hochschulmarketing und entsprechend zugeordnete Verfahrensszenarien, bei dem das Kultusministerium Sachsen-Anhalt (MK LSA) als auch weitere externe Akteure wie die Hochschulen des Landes und das Wissenschaftszentrum Sachsen-Anhalt (WZW) entsprechende Dokumente gesichert austauschen sowie transparent bearbeiten können (ggf. parallel). Die abzubildenden Szenarien-Varianten zerfallen dabei in zwei Gruppen bzgl. der Kommunikations- und Collaboration-Anforderungen und Charakteristika:

- A1) Informelle Collaboration-Szenarien mit sensitiver elektronischer Dokumentenbearbeitung und –übersendung unter vertrauenswürdigen Akteuren in geschlossenen Gruppen, ohne gruppen-internes Konkurrenz- bzw. Gefährdungspotential, dabei auch mit netzwerkdomänen-übergreifenden Nutzungen.
- A2) Formelle Zustellungs-Szenarien für sensitive elektronische Dokumente/Prozesse mit Sicherheits-Ansprüchen und Zustellnachweis-Bedarfen auch in offenen oder erweiterbaren Gruppen, mit auch gruppen-internen Konkurrenz- bzw. Gefährdungspotentialen (Beispiel: offene Förderantragsverfahren und Förderbescheide).

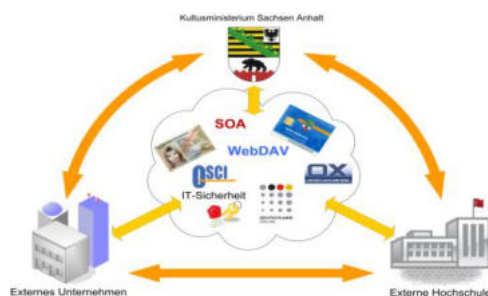


Abbildung 1: Akteure und -Dienstestruktur in eCollabSec

Für die Anforderungsspezifikation wurden Kernanforderungen für die Auswahl der Zielarchitektur und relevanter Bausteine in einer Anforderungsliste für die Szenarien-Varianten A1 und A2 zur domänenübergreifenden und gesicherten elektronischen Zusammenarbeit von Hochschulen und Einrichtungen festgehalten (siehe Tabelle 1).

Anf1:	Dokumentenintegrierte One-Click referenzierbare Hyperlinks auch zwischen Office-Dokumenten verschiedener Netzwerk- und Dateisystem-Domänen (alternativ zu proprietären Office-Lösungen im Intranet)
Anf2:	Transparent gesichertes Groupware- u. Dokumentenmanagement in heterogenen Umgebungen mittels Standards
Anf3:	Gesicherte Zustellungen/Zustellnachweise: „Elektronisches Einschreiben mit Rückschein“
Anf4:	Elektronische Rechtsverbindlichkeit und Authentizität/Integrität: qualifizierte elektronische Signatur
Anf5:	Weitgehende Nutzung von internationalen Webstandards sowie von eGovernment- und Security-Basis-komponenten sowie von offenen Systemen (OpenSource).
Anf6:	Informelle Kollaboration und formale rechtverbindliche Verwaltungsverfahren auf einer integrierten ePlattform

Tabelle 1: eCollabSec-Anforderungen

Nach entsprechend kriterienorientierter Auswahl von Plattformen und Bausteinen für die Lösungsarchitektur, unter Einbindung von Tests und kriterien-orientierten Anpassungen, wurden Vorbereitungen für ein Roll-Out des Systems unter Einbindung entsprechender Dienstleister eingeplant und damit die Überführung in ein Produktivsystem, inklusive der Auswahl eines entsprechenden Betreibermodells.

## 2 Standards, Komponenten und Plattformen für Lösungen

Zur Umsetzung des Vorhabens wurde in Absprache mit dem Auftraggeber eine entsprechende Vorauswahl an Systemen und Bausteine getroffen. Die breite (integrierte) Wiederverwendung von Systemen und Bausteinen stand dabei im Vordergrund, evtl. ergänzende (Software-)Entwicklungen bzw. – Anpassungen wurden nur auf geringe Umfänge beschränkt. Die Auswahl konzentrierte sich vor dem Hintergrund der IT-Nutzungsprofile und –vorkenntnisse der Anwender auf folgende Arten bzw. Funktionsbereiche von Collaboration-Systemen bzw. deren Kombination: Groupware-Systeme für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, Dokumentenmanagement-Systeme oder Portal-Systeme.

Für eine effiziente, komponentenorientierte Umsetzung auf Basis von Standards stehen im Land Sachsen-Anhalt verschiedene eGovernment-Basiskomponenten und Sicherheitsinfrastrukturen zur Verwendung bereit, die für entsprechende Realisierungen und Integrationen zur Vollelektronisierung von Fachverfahren unter Aspekten von Rechtsverbindlichkeit, Datenschutz und IT-Sicherheit vorgesehen sind:

- Basiskomponente PKI-LSA inkl. Public-Key-Infrastruktur Sachsen-Anhalt (PKI LSA) insb. für fortgeschrittene und qualifizierte elektronische Signaturen
- Basiskomponente VPS/OSCI zur gesicherten, rechtsverbindlichen, nachweisbaren und datenschutzkonformen Zustellung von elektronischen Dokumenten und Daten auch durch ungesicherte Netzwerke (z.B. Internet).



- Weitere Sicherheitsinfrastrukturen wie Firewalls und Virtual Private Networks (VPN) im Landesverwaltungsnetz [Q4, Q5, Q6].

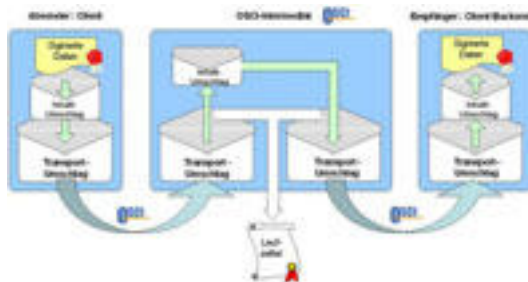


Abbildung 2: OSCI mit Zustellnachweisen (Laufzettel) und verschlüsselten Umschlägen (mit Ende-zu-Ende-Verschlüsselung für Inhaltsdaten)

### 3 Kriterien zur Lösungsauswahl und Realisierung

Für die Entwicklung und Realisierung einer integrierten Collaboration-Plattform sowohl für informelle Collaboration- als auch formelle Zustellungsszenarien auf Grundlage von Basissystemen und Komponenten wurde ein Kriterienkatalog zur Lösungsauswahl erstellt, siehe Tabelle 2.

#### 3.1 Basissystem

Das Basissystem sollte die notwendigen Grundfunktionalität abbilden, um ausgewählte Aspekte des Dokumenten-, Content- und Knowledge-Management im Sinne insbesondere von informellen Collaboration-Szenarien umsetzen zu können.

Krit1:	Integrationsfähigkeit in heterogene Teilnetzwerke
Krit2:	Unterstützung von Benutzer- und Rollenmanagement
Krit3:	Integres Verhalten des Systems bei konkurrierenden Zugriffen
Krit4:	Unterstützung standard-basierter Benutzer- und Autor-schnittstellen (Web-Oberfläche und WebDAV für Dokumentenzugriff), Desktop-artiger virtueller Arbeitsplatz [Q11]
Krit5:	Verteilbarkeit der Architektur (Skalierbarkeit, Performance)
Krit6:	Allgemeinere Sicherheitsanforderungen: transparent im Webbetrieb / softwarebasiert, Server- und Client-Authentisierung, Vertraulichkeit und Integrität für Kommunikation und Dokumente, Zugriffsschutz
Krit7:	Speziellere Sicherheitsanforderungen: rechtsverbindliche elektronische Dokumenten-Signaturen und nachweisbare Dokumentenzustellungen nach eGovernment-Standards für geschlossene (org-interne) und offene Nutzergruppen.
Krit8:	Optionale weitere Funktionen, wie z.B. automatisierte Aktualisierungsmeldungen mittels RSS-Feeds.

Tabelle 2: Kriterien des eCollabSec-Basissystems

#### 3.2 Integrierte Collaboration-Plattform

Das integrierte Zielsystem sollte vor allem eGovernment-Basiskomponenten integrieren, um auch für erweiterte Anwendungsbereiche insb. für Szenarien mit Anforderungen an gesicherte und rechtsverbindliche Verfahrenselektronisierungen auf OSCI-Basis einsetzbar zu sein. Die resultierende Anforderungsspezifikation bildete die Grundlage für die in AP2 (Analyse existierender Standards/Systeme) durchgeführte Auswahl von einzusetzenden Komponenten und das Design der ausgewählten Architektur, auf deren Basis dann ein Systemprototyp umgesetzt wurde (Basissystem-Weiterentwicklung durch zyklisches Rapid Prototyping mit Nutzertests/Feedback).

### 4 Realisierung

Ausgehend von den Anforderungen und Kriterien für die eCollabSec-Plattform (siehe Tabelle 2) wurden mehrere Basissysteme untersucht (z.B. OpenExchange, OpenGroupware, Typo 3, BSCW, etc.) und resultierend der „Open-Xchange-Server

6“ für die Realisierung ausgewählt, wobei folgende Systemeigenschaften von besonderer Relevanz waren [Q10]:

- WebDAV-Schnittstellen für Distributed Digital Authoring
- OneClick-Feature für Office-Dokument-eingebettete Hyperlinks
- integrierte automatisierte Versionierung für Dokumente
- vielfältige Schnittstellen/Konnektoren (z.B. für Outlook) + mobile connectivity
- kommerzielle Support- und Pflegeleistungen.

Bei ersten Funktionstests wurde eine Reihe von Fehlfunktionen identifiziert. Für weitere Diagnosen wurde die Durchführung von Zugriffen mittels Netzwerkscannern aufgezeichnet und mit XML-Tools auf Standard-Konformität analysiert. Hierbei wurden die Fehlerursache identifiziert, diese mit Lösungsvorschlägen an den Hersteller zur Behebung übermittelt. Beispielhaft seien hier folgende Fehler genannt:

- no\_browser\_webdavdirectorylisting,
- no\_pdf\_doubleclick\_in\_webdav,
- no\_direct\_document\_open\_over\_webdav,
- big\_file\_upload\_error.

Für die gesicherte Integration des „Open-Xchange-Server 6“ inkl. WebDAV-Schnittstellen als Basissystem wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt und umgesetzt, u.a. mit Konfiguration von SSL/TLS für Client+Server-Authentifikation, so dass ein verschlüsselter Zugriff nur mit entsprechenden Client-Zertifikaten möglich ist (CA der DOI [Q3]). Für die integrierte Collaboration-Plattform wurde ergänzend die Zustellungsfunktionalität mittels OSCI-Basiskomponenten [Q1] in einem Zugangsportal eingebunden.

## 5 Fazit

Die wichtigen Teilszenarien für informelle (Authoring) und formelle elektronischer Collaboration (Zustellung) konnten in einer integrierten Collaboration-Plattform auf Basis von Internet- und eGovernment-Standards umgesetzt werden. Erste Anwendungstests waren erfolgreich. Die stufenweise Überführung vom Test- in den Echt-Betrieb wird unter Auswahl und Umsetzung eines geeigneten Betreibermodells vorbereitet.

## Literatur:

- [Q1] Strack, H.; Karich, Ch.; Werner, H.: Evaluation von Signaturanwendungs- und OSCI-Komponenten für den standardisierten Einsatz im Land Sachsen-Anhalt (öff. Teil), für MI LSA Ref. 45, Hs-Harz, Wernigerode, 2008
- [Q2] Hannemann, Kirbs, LIZ: PKI Sachsen-Anhalt Teilnehmerhandbuch, Halle/Saale, 2009
- [Q3] DOI-Netz e.V. Deutschland-Online Infrastruktur: Teilprojekt PKI - Certificate Policy (CP) / Certification Practice-Statement (CPS) - DOI-CA [DOI101], 2010
- [Q4] Ministerium des Inneren – Sachsen-Anhalt (ed.): RderL. des MI - PKI-LSA 45.23-02840-01, Magdeburg, 2006
- [Q5] Arbeitskreis eGovernment von der Konferenz der Datenschutzbeauftragten des Bundes und der Länder (ed.): DS in DMS - Datenschutz bei Dokumentenmanagementsystemen, Magdeburg, 2006
- [Q6] Arbeitskreis „Technische und organisatorische Datenschutzfragen“ der Konferenz der Datenschutzbeauftragten des Bundes und der Länder (ed.): DS in Projekten -Datenschutz und Datensicherheit in Projekten - Projekt- und Produktivbetrieb, 2009
- [Q7] Ministerium der Justiz des Landes Sachsen-Anhalt (ed.): VV-DSG-LSA -Verwaltungsvorschriften zum Gesetz zum Schutz personenbezogener Daten der Bürger, Magdeburg, 2009
- [Q8] Bundesministerium der Justiz (ed.): SigG – Signaturgesetz , 2001
- [Q9] Bundesministerium der Justiz (ed.): SigV – *Signaturverordnung*, 2001
- [Q10] Open Xchange Server benutzerhandbuch, Open-Xchange Inc., 2009
- [Q11] Webdav - Web-based Distributed Authoring and Versioning – RFC 2518,

**Titel:** „Ein Beitrag zur Untersuchung biomechanischer Kenngrößen  
mittels mechatronischer Zweitore“

M.Eng. Dipl.-Ing.(FH) Martin Reuter, Phone: ++49-3641-205-320, Fax: ++49-3641-205-303,  
E-Mail: martin.reuter@fh-jena.de, Fachhochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena

### **Problemaufriss und Lösungsansatz:**

Das Hauptziel der Promotionsarbeit (Bearbeitungszeitraum 2010-2012) von Martin Reuter zu dieser Publikation ist die Entwicklung mechatronisch einfach zu handhabender Simulationsmodelle für das komplexe Dämpfungsverhalten biologischer Materialien, auf Basis der Zweitorthorie. Auf Basis der Zweitorthorie können Modelle zur Bestimmung mechanischer Kenngrößen entwickelt werden. Die Entwicklung mechatronisch einfach zu handhabender Simulationsmodelle dienen zur Beschreibung des komplexen Dämpfungsverhaltens biologischer Materialien. Mit diesen universell einsetzbaren mechatronischen Modellen (Zweitoren) können biomechanische Systeme modelliert, simuliert und deren Parameter bestimmt werden. Die Gültigkeit des zu entwickelnden mathematischen Modells soll mit der Modellbildung und Messung der mechanischen Punktimpedanzen experimentell untersucht werden.

### **Methode:**

Der theoretische Teil des Ansatzes aus der der Modellentwicklung bestimmt für praxisrelevante Zweiparametermodelle (z.B. Voigt - Kelvin) die notwendigen Hybrid- bzw. Leitwertparameter. Somit können mechanische Kenngrößen durch mechatronische Zweitore ermittelt werden. [3]. Im Verlauf der Themenbearbeitung sollen nur die Parameter der elastischen Subsysteme wie Steifigkeiten bzw. Nachgiebigkeiten und komplexer Dämpfungen untersucht werden.

Der wissenschaftliche Nutzen liegt in der quantisierten Bestimmung von Biomaterialqualitäten unter definierten Rahmenbedingungen sowie in der Entwicklung eines neuartigen, schnellen, genauen und preiswerten Messsystems zur Impedanzbestimmung von mechanischen- und akustischen Systemen.

Die Verifizierung der theoretischen Ergebnisse für die domäneübergreifende Gültigkeit des Modells soll über die aus der Literatur bekannte akustische Impedanzmessung im „Kundtschen Rohr“ erfolgen [1].

Das komplexe Dämpfungsverhalten wird durch Resonanzmethoden ermittelt. Dazu werden die Eigenresonanzen der Werkstoffe und Fügstellen bestimmt. Die Probenanregung erfolgt durch harmonische bzw. spezielle stochastische Krafterregungen mit zu regelnden Erregersignalen. Aus den gemessenen Antwortsignalen werden die komplexen Antwortfunktionen berechnet. Diese Antwortfunktionen sind Grundlage der analytischen Werkstoff- und Fügstellenmodelle aus denen sich die elastischen Materialparameter wie dynamische Steifigkeit, Elastizitätsmodul, Dämpfungsmaß und Verlustfaktor ableiten lassen.

### Ergebnisse:

Die experimentellen Untersuchungen zur Ermittlung der mechanischen Punktimpedanz wurden wie folgt realisiert.

Der Prüfling erfährt mit dem Tauchspulenaktor eine sinusförmige Krafterwirkung  $F_E$  mit der Wegamplitude  $x_1$  aus der Nulllage  $x_0$  [4]. Das zu untersuchende Prüfmaterial wird im Modell (Abb.3) als Masse  $m_2$  dargestellt. Die komplexen Materialeigenschaften des Prüflings sind in  $c_2$  und  $d_2$  enthalten. Der Prüfling besteht im Laborversuch aus einem der menschlichen Haut ähnlichen Kunststoffmaterial. Die Signalerzeugung und Erfassung erfolgt über ein Frontend. Als Sensor dient ein Impedanzmesskopf.

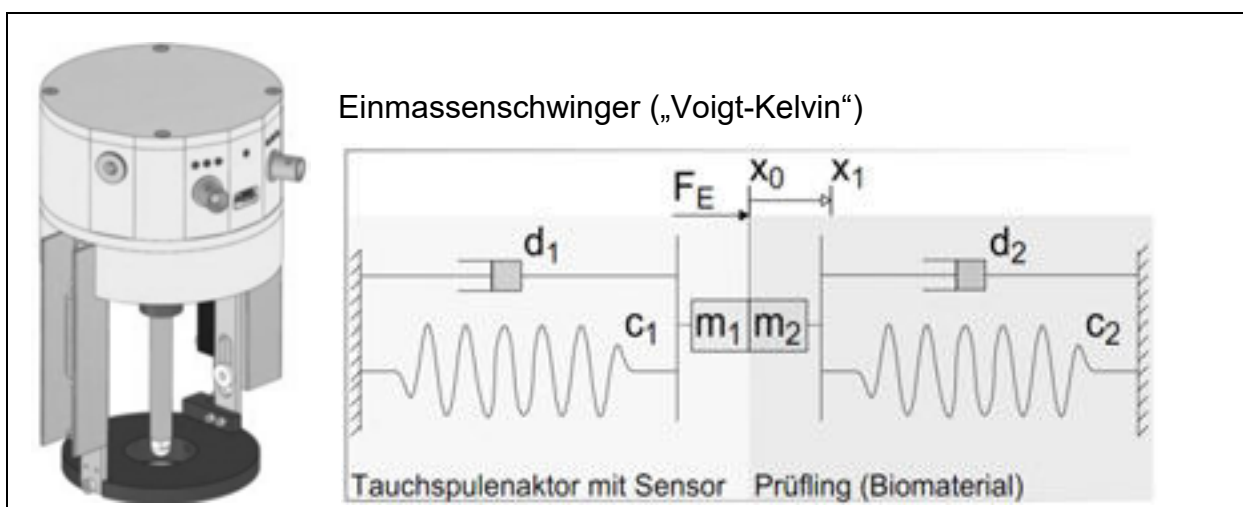


Abb.3 mechanisches Impedanzmesssystem mit Modelldarstellung

Die drei Übertragungsfunktionen zum Versuch sind in Abb.4 an der Resonanzstelle dargestellt. Abb.4 zeigt die Vergrößerungsfunktion des Einmassenschwingers  $V_1$  im Vergleich zur mechanischen Impedanzmessung ohne Last (Übertragungsfunktion  $H_1$ ) und mit einer Maximalkrafteinwirkung von 0,36 N auf das zu untersuchenden Prüfmaterial (Übertragungsfunktion  $H_2$ ).

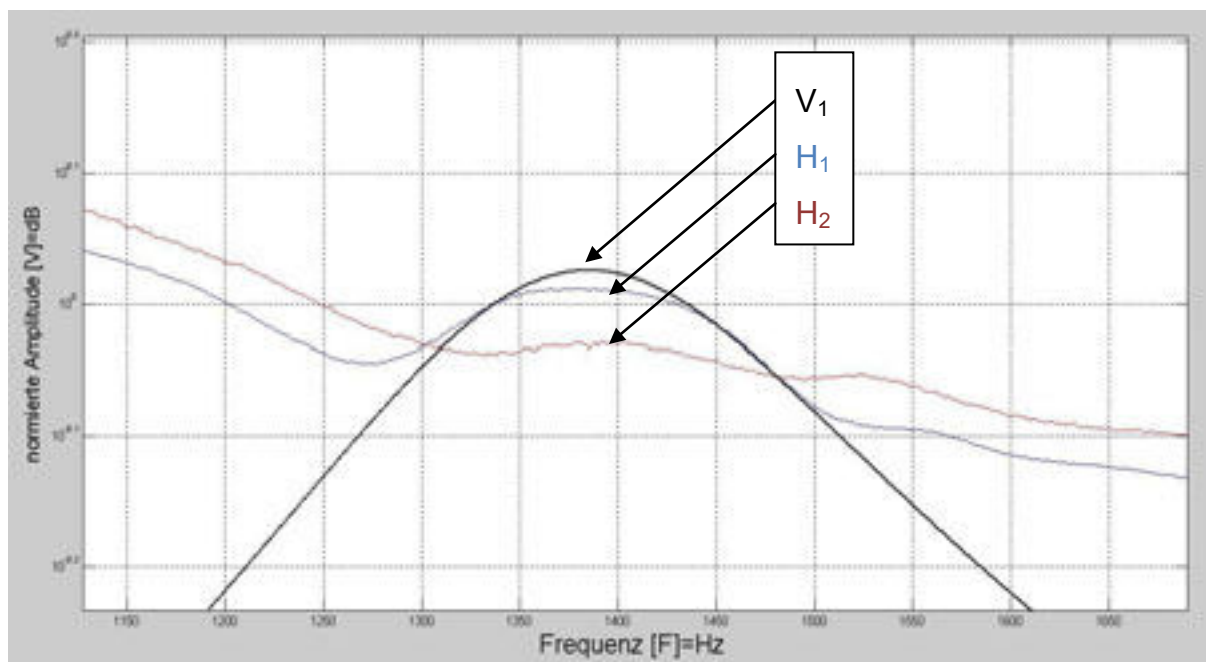


Abb.4 Amplitude der Übertragungsfunktion [5]

### Zusammenfassung:

Mit der erfolgreichen Erarbeitung physikalischer Grundlagen zum Forschungsthema konnten die Voruntersuchungen abgeschlossen werden. Mit den mechatronischen Bauelementen wurde das mechatronische System isomorph dargestellt. Es wurden Energiebeziehungen für mechanisch translatorische, akustische, elektrodynamische und magnetische Systeme aufgestellt. Mit Fluss- und Potentialgrößen werden komplexe Materialparameter an den Zweitoren ermittelt. Auf diese Weise werden über die Energie Synergien zwischen den Systemen hergestellt. Es können somit mechatronische Systeme mittels Übertragungsfunktion komplex beschrieben werden. Auf Basis dieser universell einsetzbaren Beschreibungen von mechatronischen Zweitoren soll das mechanische und akustische System modelliert, simuliert und deren Materialparameter bestimmt werden. Die Entwicklungen und die Aufbauten beider Systeme zur Impedanzmessung waren erfolgreich. Die Ermittlung

der Werkstoffparameter ist außerordentlich wichtig. Dadurch werden die Änderungen von Kenngrößen der eingesetzten Werkstoffe unter veränderten Bedingungen im Einsatz voraussagbar bzw. überprüft. Die Untersuchung mit modernen Prüfsystemen bietet sich hier als schnelles, genaues und preiswertes System an.

### **Abstract:**

The main focus of this work is the development of simulation models which are easy to handle for viscoelastic behavior of biological materials with the help of the classical network theory for description of biomechanical properties. Based on this universally applicable mechatronic model (two-port network) biomechanical systems can be modeled, simulated and material parameter can be determined. The validation of the mathematic model should be experimentally analyzed by modeling and measuring of the mechanic point impedance (Approach A). The theoretical part of approach A determines the required hybrid- and conductance parameter for practical relevant two-parameter-models. Therefore mechanical material properties can be determined by mechatronic two-port network. The scientific benefit is the quantified determination of biomaterials under defined basic conditions. Acoustic impedance measurements (approach B) are used for verification of the theoretical results. Only parameters of elastic sub-systems like stiffness respectively elasticity and complex damping will be analyzed in the scope of this projekt.

- 
- [1] F.v.d.Eerden: "Noise reduction with coupled prismatic tubes", profschrift, ISBN: 90-36515211, 24.11.2000, Universiteit Twente
  - [2] J.Sachs, P. Peyerl: „Messung von Schallabsorption und Dämmung mit dem Kundtschen Rohr“ 24. Deutsche Jahrestagung für Akustik (DAGA 98), 23-27.03.1998, Zürich
  - [3] J.Grabow, M.Reuter, S.Franke: „Dynamisch-mechanische Analyse (DMA)“ Forschungsbericht, 2009 / 2010, FH Jena
  - [4] HL.Oestreicher: "Field and impedance of an oscillating sphere in a viscoelastic medium with an application to biophysics.", J. Acoust. Soc. Am. 1951, 23(6):707-174.
  - [5] J.Garbers: "Versuchsaufbau zur mobilen Impedanzanalyse", Bachelorarbeit, 10.02.2011, FH-Jena

## **Einfluss einer Partikelgrößenmesssonde auf die Stabilität des Wirbelbettes**

Dipl.-Ing. (FH) Katharina Germer, Phone: ++49.3496.672556, E-Mail: k.germer@bwp.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg

Prof. Dr. Bertram Wolf, Phone: ++49.3496.672584, E-Mail: b.wolf@bwp.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg

### **Abstract**

Die Granulierung in der Wirbelschicht wird in der Pharmaindustrie genutzt, um die Fließfähigkeit, Kompressibilität und Homogenität von Pulvern zu verbessern, die zu Tabletten verpresst werden sollen. Eine hohe Qualität der Granulate wird durch Inprozesskontrolle kritischer Prozessparameter gewährleistet. In dieser Studie wurde eine in-line Sonde für Partikelgrößenmessungen in der Mitte des Prozessbehälters in einem Batch-Wirbelschichtgranulierer installiert und die Stabilität des Wirbelbettes, die Ausbeute und die Reproduzierbarkeit des Prozesses sowie der Produkteigenschaften untersucht. Der Prozess wurde in einem Labor-Wirbelschichtgranulierer sowohl ohne als auch mit installierter Sonde durchgeführt. Als optimale Prozessparameter für die Granulierung einer Modellformulierung aus Lactosemonohydrat und mikrokristalliner Cellulose mit wässrigem Hydroxypropylmethylcellulose-Schleim wurden Zulufttemperatur 60°C und Sprühdruk 2 bar ermittelt, die Sprühdrate wurde von 6-18 g/min variiert. Ansteigendes Agglomeratgewicht im Verlauf der Granulierung wurde durch Anpassung des Volumenstroms im Bereich 45-70 m<sup>3</sup>/h reguliert. Mit der installierten Sonde wurde die Partikelgröße kontinuierlich über den gesamten Agglomerationsprozess gemessen. Die Qualität des trockenen Granulats wurde mit Hilfe der Partikelgröße, der Schütt- und Stampfdichte (daraus berechnet der Kompressibilitäts-index), des Böschungswinkels und der äußeren Form und Größe mit dem Stereomikroskop überprüft.

Bei Sprühdraten im Bereich von 8-16 g/min war das Wirbelbett über den gesamten Prozess ohne und mit installierter Sonde stabil, die Ausbeute lag über 90%, Verluste resultierten aus geringfügigen Produktablagerungen an der Behälterwand. Die zugeführte Druckluft in der Messsonde zur Verdünnung und Homogenisierung der Partikel hatte keinen Einfluss auf die Stabilität des Wirbelbettes. Die Granulat Korngröße steigt mit zunehmender Sprühdrate und damit beschleunigter Agglomeratbildung an, die Werte für die Granulate ohne und mit Sonde unterscheiden sich nicht signifikant. Auch die Werte für Schüttdichte, Stampfdichte und Böschungswinkel geben keinen Hinweis auf einen Einfluss der installierten Sonde auf den Prozess oder die Granulateigenschaften. Die Sonde kann in-line zur Messung der Partikelgröße und damit als Werkzeug der Process Analytical Technology eingesetzt werden.

**Keywords:** Wirbelschichtgranulierung, Partikelmesssonde

## **1 Einleitung und Ziel**

Die Granulierung in der Wirbelschicht wird in der Pharmaindustrie genutzt, um Pulver fließfähiger, homogener und besser tablettierbar zu machen. Für die Sicherstellung einer guten Qualität der Granulate werden während des Prozesses zunehmend verschiedene Inprozesskontrollen der kritischen Prozessparameter durchgeführt, u.a. soll die Messung der Korngröße mit Hilfe der in-line Partikelgrößenmesssonde IPP 70-S (Parsum, D-Chemnitz) erfolgen. Dazu wurde die Sonde unterhalb der Sprühdüse in der Mitte des Prozessbehälters eines Labor-Wirbelschichtgranulierers (GPCG 1.1, GLATT, D-Binzen) installiert und das Kornwachstum während des gesamten Prozesses im Zentrum des Wirbelbettes online überwacht. Bei den Untersuchungen sollte geklärt werden, ob die derart installierte Sonde einen Einfluss auf den Prozess der Wirbelschichtgranulierung bezüglich Homogenität und Reproduzierbarkeit des Wirbelbettes und Ausbeute einerseits und andererseits auf die Eigenschaften der Granulate hat.

## 2 Prinzip der Granulierung in der Wirbelschicht

Die im Wirbelbett vorliegenden primären Pulverpartikel werden mit Bindemittellösung besprüht. An der Oberfläche scheiden sich feine Tröpfchen ab, die einen klebrigen Film bilden. Die Pulverpartikel beginnen über Flüssigkeitsbrücken zu verkleben, und es kommt zum Agglomerataufbau. Infolge der Zufuhr warmer Prozessluft verdampft Lösungsmittel, und die Flüssigkeitsbrücken härten zu Feststoffbrücken aus, die aus Bindemittel und Anteilen an gelöstem Feststoff bestehen. Zu große Agglomerate können durch Reibung und Scherkräfte im Wirbelbett auch wieder zerfallen, im Idealfall stellt sich ein stationärer Zustand zwischen Bildung und Zerfall ein, was zu gewünschter, relativ enger Korngrößenverteilung führen sollte. Bei der endgültigen Trocknung der Agglomerate bilden sich unregelmäßig geformte Granulatkörner.

## 3 Beschreibung des Labor-Wirbelschichtgranulierers, der Partikelgrößenmesssonde und des Granulierprozesses

Der Labor-Wirbelschichtgranulierer GPCG 1.1 wird im top spray-Verfahren betrieben. Die Sprühdüse befindet sich im Zentrum des Wirbelbettes. Die mit einem Ventilator angesaugte Zuluft wird erwärmt, gelangt durch einen Siebboden in den konischen Prozessbehälter und erzeugt mit den Pulverpartikeln ein Wirbelbett. Über dem Prozessbehälter befindet sich das Filtergehäuse mit einem Textilfilter, der regelmäßig abgerüttelt wird, wodurch Feinkorn in das Wirbelbett zurückgeführt und Verlust gering gehalten wird. Die Partikelgrößenmesssonde besteht aus einem Elektronikgehäuse, einem Sondenrohr, einem Sondenkopf mit Optikbauteilen, einem Luftaustritt und einer Befestigung für den Dispergierer. Das Messprinzip beruht auf der Auswertung von Abschattungen eines Laserstrahls, die von den bewegten Partikeln erzeugt werden. Dabei erfolgt eine Sehnenlängenmessungen der Partikel.

Die Modell-Pulvermischung aus Lactosemonohydrat (Tablettose 70, Meggle-Pharma, D-Wasserburg) und mikrokristalliner Cellulose (MCC 101 L, Sanaq AG, CH-Basel) im Verhältnis 1:1 wurde mit wässrigem Hydroxypropylmethylcellulose-Schleim 7,5% w/w (Pharmacoat 606, Shin Etsu, D-Mühlheim) granuliert. Die Sprühdüse wurde von 6-18 g/min variiert, alle anderen Prozessparameter wurden nahezu konstant gehalten: Zulufttemperatur 60°C, Sprühdüse 2 bar, Durchmesser der Sprühdüse 1 mm, obere Position der Sprühdüse am Prozessbehälter und Abrütteln der Filter für 5 s mit 10 s Pause. Zur Aufrechterhaltung des Wirbelbettes bei zunehmendem Agglomeratgewicht wurde der Volumenstrom von 45 auf 70 m<sup>3</sup>/h erhöht. Zu jeder Sprühdüse ohne bzw. mit installierter Sonde wurden zwei identische Versuche durchgeführt. Von den trockenen Granulaten wurden die Korngröße mittels Siebanalyse (Siebanalysenmaschine, Retsch, D-Haan), Schütt- und Stampfdichte (Stampfvolumeter, Erweka, D-Heusenstamm), Böschungswinkel (Fließtester PTG S3, Pharma Test, D-Hainburg) und äußere Form mit dem Stereo-Lichtmikroskop (Stemi 2000-C, Carl Zeiss, D-Jena) untersucht.



#### 4 Ergebnisse der Granulierprozesse mit und ohne Sonde

Alle Granulierprozesse mit Sprühdichten zwischen 8 und 16 g/min ergaben Ausbeuten über 90%, unabhängig davon, ob mit oder ohne Sonde gearbeitet wurde (Tab. 1). Mit steigender Sprühdichte verkürzte sich die Prozesszeit, da mehr Binder-lösung pro Zeiteinheit versprüht wurde. Bei Sprühdichte 18 g/min und höher wurde das Agglomerat überfeuchtet, und das Wirbelbett brach zusammen, bei Sprühdichte 6 g/min und kleiner erfolgte ungenügender Agglomerataufbau.

Sprühdichte [g/min]	8	10	12	14	16
Ausbeute [%] ohne Sonde	92	97	94	97	96
Ausbeute [%] mit Sonde	92	97	91	97	91
Prozesszeit [min] ohne Sonde	41	31	30	27	23
Prozesszeit [min] mit Sonde	39	31	29	25	23
Schüttdichte [g/ml] ohne Sonde	0,21	0,18	0,17	0,16	0,15
Schüttdichte [g/ml] mit Sonde	0,21	0,19	0,20	0,17	0,16
Stampfdichte [g/ml] ohne Sonde	0,25	0,22	0,21	0,19	0,17
Stampfdichte [g/ml] mit Sonde	0,26	0,23	0,23	0,20	0,19
Böschungswinkel [°] ohne Sonde	34	35	35	35	36
Böschungswinkel [°] mit Sonde	34	34	35	35	36
d50-Wert [µm] Siebanalyse ohne Sonde	321	388	392	422	447
d50-Wert [µm] Siebanalyse mit Sonde	330	375	351	408	436
d50-Wert [µm] Sonde	289	373	332	412	481

Tabelle 1: Produktparameter der Granulate, hergestellt ohne und mit Sonde

Die Granulatkorngröße steigt mit zunehmender Sprühdichte und damit beschleunigter Agglomeratbildung an, wobei sich die Werte bei einer bestimmten Sprühdichte für den Prozess ohne bzw. mit Sonde nicht signifikant unterscheiden. Beide Korngrößensmessverfahren (Sonde und Siebanalyse) zeigen denselben Trend (Abb. 1).

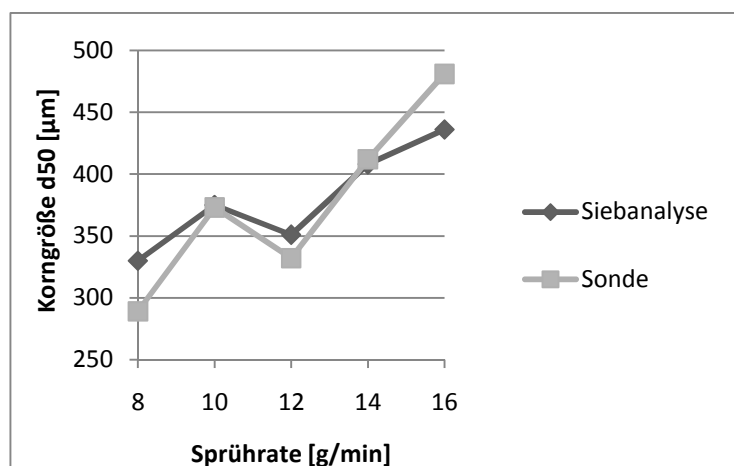


Abbildung 1: Mittlere Korngröße d<sub>50</sub> der Granulate mit Sonde, Vergleich Siebanalyse und Sondenmessung

Schütt- und Stampfdichte der Granulate werden mit zunehmender Sprühdichte kleiner, offenbar führen die voluminösen Granulatkörner zu großen interpartikulären

Hohlräumen und damit zu großen scheinbaren Volumina, bei den Granulaten mit geringerer Korngröße kann sich Feinkorn zwischen den größeren Granulatkörnern einlagern, was zu geringeren interpartikulären Hohlräumen und kleineren scheinbaren Volumina führt. Der Böschungswinkel steigt mit zunehmender Korngröße geringfügig an, was auf eine gewisse Abnahme der Fließfähigkeit hinweist. Da gröbere Granulate eigentlich besser fließen sollten als feinkörnige, könnte dieser Befund auf sperrige Form der größeren Körner hinweisen. Sowohl für Schütt- und Stampfdichte als auch für den Böschungswinkel unterscheiden sich die Werte für die Chargen ohne und mit Sonde bei bestimmter Sprütrate nur geringfügig. Die mikroskopische Untersuchung ergab unregelmäßige Form der Granulatkörner, bestehend aus Agglomeraten der primären Pulverpartikel. Zwischen den Granulaten, hergestellt mit bzw. ohne installierte Sonde, konnten im Aussehen keine Unterschiede festgestellt werden. Die Zunahme der Korngröße mit zunehmender Sprütrate wurde mit dem Mikroskop qualitativ bestätigt.

## 5 Zusammenfassung

Veränderungen der Geometrie von durchströmten Räumen oder zusätzliche Einbauten können die Strömungsverhältnisse verändern und Störungen eines Prozesses hervorrufen. Zu klären war die Frage, ob der Einbau der Partikelgrößenmesssonde direkt in den Prozessbehälter eines Wirbelschichtgranulierers und damit praktisch ins Zentrum des Wirbelbettes zu Veränderungen des Granulierprozesses und möglicherweise sogar der Granulateigenschaften führt, einmal aufgrund des zusätzlichen Gegenstandes im durchströmten Raum und zum anderen wegen der Spüldruckluft zum Verdünnen der Partikeldispersion beim Messvorgang in der Sonde.

Eine Modell-Pulvermischung wurde unter definierten Bedingungen mit einer Bindemittellösung granuliert, und zwar sowohl mit als auch ohne installierte Sonde. Bezüglich Homogenität und Reproduzierbarkeit des Prozesses konnten für die beiden Konstellationen keine Unterschiede beobachtet werden, auch die Ausbeuten der Prozesse waren vergleichbar und mit stets über 90% akzeptabel. In Abhängigkeit von der Sprütrate wurden erwartungsgemäß Granulate mit veränderten Eigenschaften (Korngröße, Schüttvolumen, Stampfvolumen und Böschungswinkel) erhalten, es ergaben sich aber keine Unterschiede in Bezug auf analoge Chargen ohne bzw. mit Sonde. Die Sonde kann als Werkzeug der Process Analytical Technology (PAT) genutzt werden, um das Korngrößenwachstum während des Granulierprozesses zu überwachen und steuern. Bei eventuellen Störungen kann sofort eingegriffen und der Prozess, wenn nötig, unterbrochen werden. Mittelfristiges Ziel ist eine automatische Prozesssteuerung über die Korngröße, z.B. Steuerung der Prozessparameter Sprütrate, Sprühdauer, Zulufttemperatur und Zuluftstrom.

## **Ein System zur automatischen, ontologiebasierten Parametrierung von Feldgeräten**

Prof. Dr. Volkmar Richter, Phone: +49.3496 67-3125, Fax: +49.3496 67-3199,  
E-Mail: volkmar.richter@inf.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Lohmannstr. 23 , 06366 Köthen/Anhalt

Dipl.-Ing. Stephan Rellin, Phone: +49.30.549794944, , E-Mail: sr@r-st.de, Hochschule Anhalt, Lohmannstr. 23 ,  
06366 Köthen/Anhalt

### **Abstract**

Feldgeräte der Automatisierungstechnik werden durch das Einstellen von teilweise mehreren hundert Parametern für Ihren Einsatz in einer konkreten Applikation befähigt. Das Ermitteln der funktionalen (im Idealfall optimalen) Parameter erfordert Fachwissen und hohen Aufwand. Im Artikel wird ein System beschrieben, welches dieses Wissen über die Funktionalität der analysierten Komponente im Prozess extrahiert und in formaler Form (Ontologie) speichert, um es für diverse Anwendungen, z.B. das Generieren eines Parametersatzes für ein anderes Feldgerät (anderer Hersteller, neuere Version) zur Verfügung zu stellen. Es wird die Erstellung einer Ontologie für spezielle Feldgeräte (Frequenzumrichter) beschrieben und ein Ausblick auf das gewünschte Endergebnis gegeben.

**Keywords:** semantische Technologie, Ontologie, Parametrierung von Feldgeräten, Interoperabilität, Frequenzumrichter

## **1 Einführung**

Die internen Strukturen moderner Feldgeräte werden immer komplexer. Die Geräte erhalten immer mehr Funktionalität. Alle großen Hersteller von Geräten der Industrieautomatisierung entwickeln ihre eigenen Protokolle und interne Funktionsstrukturen, so dass im Falle einer Störung ein Ersatz eines defekten Gerätes mit dem Gerät eines anderen Herstellers oft sehr zeitaufwendig bis unmöglich wird. Ein gutes Beispiel hierfür sind die verschiedenen Komponenten für die Bewegungssteuerung von Antrieben wie Frequenzumrichter (FU) und Servotreiber. Diese Geräte verfügen über bis zu 400 einstellbare Parameter, die die konkrete Funktionsweise der Komponente in der spezifischen Applikation abbilden. Die Parameter können, z.B. in dem Falle eines notwendigen Austausches, in den allermeisten Fällen nicht von dem einen Gerät auf das andere Gerät direkt übertragen werden.

Aus Sicht der Autoren lässt sich durch Einsatz von Ontologien sowohl der Austausch von komplexen elektronischen Feldgeräten beschleunigen und vereinfachen als auch die Parametrierung dieser Geräte optimieren. Als „Nebeneffekt“ wird auch noch das Wissen über die Funktionalität des betreffenden Gerätes in der vorliegenden Applikation personenunabhängig gespeichert und verringert so die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit einer bestimmten Person.

## **2 Lösungsansatz**

Um die geschilderten Funktionen zu erreichen, sind Neuentwicklungen im Bereich Hardware und im Bereich Software geplant. Im Folgenden wird nur auf die erforderlichen Softwareentwicklungen eingegangen.

Es ist ein semantisches System zu entwickeln, welches die Funktionalität der verschiedenen Industrieautomatisierungskomponenten beschreiben und vorhalten kann. Darüber hinaus werden spezifische Algorithmen zur Suche (Matching-Algorithmen) der geeigneten Parameter sowie zum Generieren der Parametersätze benötigt. Im Rahmen des Vorhabens soll auch untersucht werden, inwieweit Lösungen des Open Source Natural Language Processing-Framework GATE [GATE] in die Entwicklung einbezogen werden können.

Die Basis des Lösungsansatzes stellt die Entwicklung einer Ontologie dar, die es gestattet, Funktionalität von Frequenzumrichter (in abstrakter Form) und deren Beziehung zu den konkreten Parametern zu Speichern. Hierzu wurden zunächst alle möglichen (einstellbaren) Funktionalitäten von Frequenzumrichtern unterschiedlicher Hersteller untersucht.

Dieses System besteht aus einer Hardware, welche die physikalische Anpassung der Signale und die Umsetzung der Informationen realisiert, sowie aus einer PC-Software, die die Informationen, gestützt durch eine webbasierte FU-Funktions-Ontologie generiert und das Kommunikationsmodul programmiert.

Das Servicemodul (Software) wurde im ersten Ansatz in folgende Module gegliedert:

- **FU-Konfigurationsextraktor**  
Liest die Konfiguration des aktuell betriebenen FU aus
- **Schematagenerator (Semantischer Analyse)**  
Aus der ausgelesenen Konfiguration wird mit Hilfe semantischer Algorithmen, die auf der FU-Ontologie arbeiten, ein Befehlssatz in Form einer Tagliste generiert. Diese dient im weiteren Verlauf als Suchschema. Das Suchschema setzt sich zusammen aus den konfigurierten Funktionen.
- **FU-Matcher**  
Anhand des zuvor generierten Suchschemas werden kompatible FUs in der Ontologie gesucht und aufgelistet, welche ebenfalls die Funktionalität des aktuell verwendeten FU bieten können. Zusätzlich werden zu jedem gefundenen FU weitere Schemata generiert, die den ursprünglichen Befehlssatz um zusätzliche Funktionen, die der angebotene FU besitzt, erweitern.
- **Konfigurationsgenerator (Semantischer Synthese)**  
Nach Eingabe des angeschlossenen FU und Auswahl des gewünschten Befehlssatzes(es kann auch einfach der ausgelesene Befehlssatz eines anderen zuvor angeschlossenen FUs benutzt werden) wird eine passende Konfiguration basierend auf semantischen Algorithmen für das Kommunikationsmodul erstellt und übertragen.



Bild: geplante Softwarestruktur

### 3 Realisierung

Die Entwicklung der ersten Versionen der Frequenz-Umrichter Ontologie erfolgte mit dem freien Editor Protege [PROTEGE], als Repräsentationsformat wurde OWL gewählt. Für das untersuchte Beispiel wurden alle wesentlichen Funktionen eines Frequenzumrichters instanziiert. Im rechten Teil des Bildes sind der Funktion sowohl Relations- als auch Dateneigenschaften zugeordnet.



Es zeigte sich, dass die für das Web 2.0 konzipierten Inferenzmaschinen [GRO2005] für das Vorhaben nicht geeignet waren, so dass mit der Entwicklung eigener Algorithmen begonnen wurde.

## 4 Ausblick

Die Entwicklungsarbeiten an dem beschriebenen System laufen weiter. Ziel ist es, ein praktisch nutzbares System bis hin zu einem Prototyp zu entwickeln.

Im nächsten Schritt soll für die Suche in der eigenen Ontologie eine erweiterte Suchfunktion mit folgenden Eigenschaften entwickelt werden:

- Die Suchfunktion muss auf definierten Subsets (Untermengen) beschränkt laufen
- Die Suchfunktion soll analog einer Graphensuche funktionieren, d.h. sich in den bestehenden Strukturen bewegen können
- Backtracking muss implementiert werden, d.h. die Suchergebnisse werden auf Konsistenz geprüft und bei negativem Ergebnis wird der Teil des Suchbaums, in dem die Inkonsistenz auftritt, aus dem Suchbaum eliminiert und die Suche in dem verbleibenden Suchbaum fortgesetzt.

Vorgehensweise beim Aufbau des Suchbaums:

- In der Ontologie werden die Eigenschaften der Frequenzumrichter beschrieben und dazu eine sehr große Anzahl von Funktionen verwendet, z.B.:
  - PowF\_FNK\_3wire PowerFlex (Allen Bradley)
  - PowF\_FNK\_2wire
  - J7AZ\_FNK\_3wire J7 Reihe von Omron/Yaskawa
  - J7AZ\_FNK\_2wire
- Der Suchbaum wird über die Abhängigkeiten dieser Funktionen untereinander aufgebaut
- Die Abhängigkeiten werden in der Ontologie beschrieben durch zwei Object\_Properties (Relationen)
  - Funktion\_hatOverrides
  - Funktion\_hatAbhaengigkeit
- Ableitung des Suchbaumes aus den beiden Object\_Properties

Im Ergebnis soll ein auf einem Server lauffähiges, ontologiebasiertes System vorliegen, dessen Datenbasis durch die Hersteller der Feldgeräte direkt gepflegt werden kann und soll. Mit Hilfe dieses Systems kann der Anwender ein Kommunikationsmodul entsprechend seiner spezifischen Anforderungen mit Funktionalität ausstatten und so Feldgeräte mit der Prozesssteuerung verbinden

## 5 Literatur

[PROTEGE] <http://protege.stanford.edu/> (letzter Zugriff: 03.12.2010).

[YAS V7 ]Bedienhandbuch des Frequenzumrichters Yaskawa V7, <http://www.yaskawa.com/site/products.nsf/products/Industrial%20AC%20Drives~V7.html>

[ALL PF] Bedienhandbuch des Frequenzumrichter Allen Bradley Power Flex, <http://www.ab.com/drives/powerflex/755/>

[GATE] <http://gate.ac.uk/> (letzter Zugriff: 03.12.2010).

[GRO2005] Groot, P., Hitzler, P., Horrocks, I., Motik, B., Pan, J., Stuckenschmidt, H., Turi, D., Wache, H.: Methods for Approximate Reasoning (2005)

## Energieprofilbasierende Analysemethoden von Proteinfamilien

B.Sc. Florian Heinke; E-Mail: fheinke@htwm.de; Hochschule Mittweida University of Applied Sciences; Fakultät Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik; Fachgruppe Biotechnologie; Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

B.Sc. Riccardo Brumm; E-Mail: rbrumm@htwm.de; Hochschule Mittweida University of Applied Sciences; Fakultät Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik; Fachgruppe Biotechnologie; Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

### Abstract

Proteine sind Makromoleküle, die aufgrund ihrer katalytischen Eigenschaften in der Lage sind lebenswichtige Stoffwechselvorgänge zu realisieren. Das Verstehen dieser Strukturen und der Funktionalitäten gehört zu den bedeutendsten Zielen der modernen Biologie bzw. zu den größten Herausforderungen der *life sciences*. Die Aufklärung von Proteinwechselwirkungen sowie deren Signalwege und Metabolismen trägt zur Optimierung von Medikamenten und der weitaus schnelleren Entwicklung dieser bei. Die Bioinformatik leistet hierbei einen großen Beitrag. So ermöglichen computergestützte Technologien unter Verwendung von Protein- und DNA-Datenbanken die Identifizierung von krankheitsinduzierenden Proteinen sowie die für den Verlauf der Krankheit bedingten Proteine in relativ kurzer Zeit.

Eine Vielzahl der hierfür genutzten Methoden und Algorithmen basieren auf dem Vergleich biologischer Strukturen und Sequenzen [7]. In dieser Arbeit präsentieren wir einen neuartigen Ansatz zur Berechnung von Proteinenergieprofilen, wobei durch die Abstraktion von Struktur- und Sequenzinformationen eines Proteins eine funktions- und strukturspezifische Abbildung entsteht. Weiterhin demonstrieren wir den paarweisen Vergleich dieser Vektoren auf Basis von modifizierten Optimierungsalgorithmen sowie Möglichkeiten Rauminformationen aus Energieprofilen zurück zu gewinnen. Abschließend soll auf eine Vorhersagemöglichkeit von Proteinenergieprofilen eingegangen werden.

Alle erläuterten Algorithmen sind in den unter <http://bioservices.hs-mittweida.de/Epros/> verfügbaren Tools implementiert [6].

### Keywords:

Proteinenergieprofile, Fingerprint, Energieprofil-Alignment, Struktur- und Sequenzabstraktion, Datenbanksuche

## 1 Aufbau, Struktur und Bedeutung der Proteine

Proteine sind Makromoleküle, die im biologischen Kontext verschiedenste Aufgaben erfüllen. Die wohl bekannteste Kategorie der Proteine sind die Enzyme, die lebensnotwendige Reaktionen katalysieren. Sie sind hochspezifisch bezüglich des in der Reaktion beteiligten Substrats, wodurch jedes Enzym eine ebenso spezifische räumliche Struktur besitzt.

Trotz dieser großen Funktions- und Strukturvielfalt, besitzen alle Proteine einen allgemein gültigen Aufbau. So setzen sich diese Moleküle aus nur 20 verschiedenen (den kanonischen) Aminosäuren, die sich jeweils nur in ihrer Seitenkette unterscheiden, linear zur Aminosäuresequenz bzw. Primärstruktur zusammen.

Dieser einfachen Beschreibbarkeit steht das komplexe Problem der Proteinfaltung gegenüber. Auslöser sind intra- und intermolekulare Wechselwirkungen. Der detaillierte Ablauf der Proteinfaltung ist jedoch ungeklärt. Die dabei wirkenden Quantenmechanismen sind zudem so komplex, dass die Vorhersage der Proteinstruktur auf Basis der Aminosäuresequenz bisher nicht realisierbar ist. Für die Entwicklung und Optimierung von Medikamenten sind Strukturinformationen und die daraus ableitbaren Wirkungsmechanismen essenziell. So bewirken genetische Mutationen Protein-

fehlfaltungen und beeinträchtigen die Funktionsweise der Proteine, wobei in der Mehrzahl der Fälle der Zusammenhang zwischen Mutation und Krankheitsausbildung ungeklärt ist [7].

## 2 Methoden

### 2.1 Berechnung von Proteinenergieprofilen

Der Ansatz zur Berechnung von Energieprofilen beruht darauf, dass die Gesamtenergie eines Proteins sich aus den durch Wechselwirkungen bedingten Energien der einzelnen Aminosäuren zusammen setzt (1) [1].

$$E_{Ges} = \sum_{\langle ij \rangle} e_{ij}^* f(r_{ij}) + \sum_i e'_{i0} g(i) \quad (1)$$

Dabei definiert  $e'_{i0}$  die Wechselwirkung einer Aminosäure mit dem umgebenden Lösungsmittel.  $e_{ij}^*$  beschreibt die Interaktion zwischen Aminosäure  $i$  und Aminosäure  $j$ , wobei  $f(r_{ij})$  als Funktion des Abstandes zwischen  $i$  und  $j$  agiert und die Wechselwirkungen relativiert. Durch  $g(i)$  wird die räumliche Präferenz von  $i$  während des Faltungsvorgangs modelliert. Diese Präferenzen wurden aus einer Verteilungsstatistik errechnet, die mit Hilfe von 2100 bekannten Proteinstrukturen erstellt wurde. Durch das inverse Boltzmann-Gesetz kann aus diesen Präferenzen die Energien aller Aminosäuren in Proteinstruktur approximiert werden. Werden diese Energien über die Sequenz aufgetragen erhält man das Energieprofil des Proteins [1,4,5].

Durch diesen Ansatz werden Struktur- und Sequenzinformationen auf einen eindimensionalen Protein-spezifischen Vektor abgebildet.

### 2.2 eAlign – Paarweiser Vergleich zweier Proteinenergieprofile

Wie unter Punkt 2.1 beschrieben, handelt es sich bei einem Energieprofil um eine eindeutige physikochemische und strukturelle Abbildung. Aus einem paarweisen Vergleich (Alignment) zweier Energieprofile kann man demnach strukturelle und funktionelle Ähnlichkeiten ableiten. Hierfür wurde ein Algorithmus implementiert (eAlign) der dieses Alignment berechnet und die Ähnlichkeit der zwei verglichenen Energieprofile quantifiziert.

Die Unähnlichkeit ist gleich dem Editieraufwand, der benötigt wird, um beide Energieprofile in ein Konsensus-Energieprofil zu überführen. Die dabei benötigte Gewichtung des Editieraufwands wurde aus der energetischen Verteilung von ca. 800.000 Aminosäuren abgeleitet. Das Ziel des Alignment-Verfahrens ist es, jenes Konsensus-Profil zu finden, für den der Editieraufwand minimal ist. Dieses Problem wurde mit Hilfe der dynamischen Programmierung gelöst [3,4].

Aus dem benötigten Editieraufwand lässt sich die Signifikanz der Ähnlichkeit quantifizieren (Score) [4].

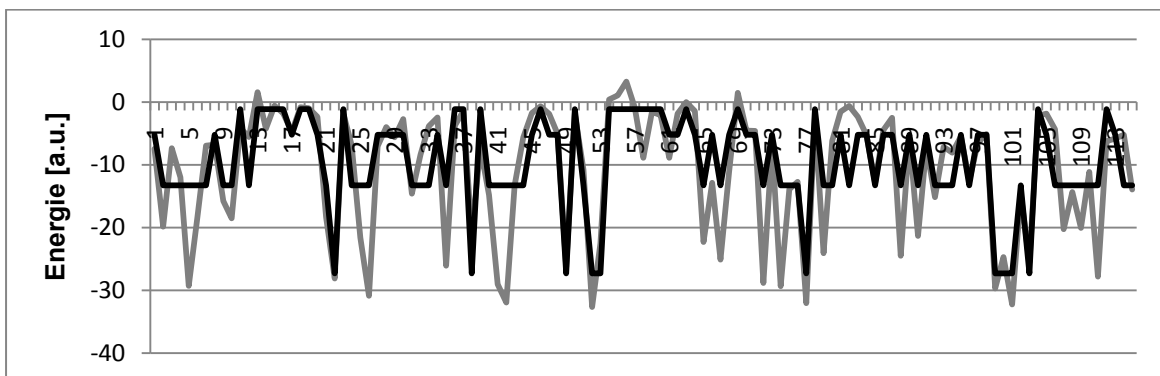


### 2.3 eGOR – sequenzbasierte Vorhersage von Energieprofilen

Um die unter 2.2 aufgeführte Methodik auch auf Proteine übertragen zu können, deren Struktur nicht bekannt ist, aber deren Sequenz experimentell ermittelt werden konnte, wurde ein Algorithmus entwickelt, der auf Basis einer Aminosäuresequenz das entsprechende Energieprofil vorhersagen kann.

Die Grundlage für diese Methode bildet der GOR-Algorithmus. Dieser Algorithmus wurde ursprünglich zur Ermittlung von Sekundärstrukturen entwickelt [2]. Für die Implementierung des eGOR-Algorithmus wurde der klassische GOR-Ansatz auf die energetische Problemstellung übertragen und modifiziert. Ausgangspunkt für diesen Algorithmus ist eine Wahrscheinlichkeitsstatistik, die aus 4300 bekannten Energieprofilen hergeleitet wurde. Hierfür wurden die Proteinsequenzen erfasst und unter Einbeziehung der Energieprofilinformationen die energetische Präferenz der Aminosäuren abgeleitet. Mit Hilfe dieser Präferenzen kann der eGOR-Algorithmus das Energieprofil auf Basis der Sequenz ermitteln [4].

Durch diese Methode werden demnach die Energie vermittelnde Strukturinformationen approximiert und zur Energieprofilvorhersage einbezogen. Ein solches vorhergesagtes Energieprofil ist exemplarisch in Abbildung 4 dargestellt.



**Abb. 4: eGOR-Vorhersage im Vergleich zu realen Werten**, dieses Beispiel veranschaulicht die Vorhersage eines Energieprofils (schwarz) auf Basis der Sequenz eines menschlichen Angiogenins. Zum Vergleich dient das reale Energieprofil (grau)

## 3 Ergebnisse

Bei Untersuchungen eventueller Zusammenhänge zwischen Proteinstrukturen und Energieprofilen zeigte eine Korrelation zwischen der Energie und strukturellen Stabilität der Aminosäuren [1,4,5]. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die durch eAlign ermittelten Scores stark mit den Scores von Proteinstruktur-Alignments korrelieren [4]. Der Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$  beträgt 0,75. eAlign ermöglicht somit die Quantifizierung der strukturellen Ähnlichkeit zweier Proteine. In Anbetracht der Speicher- und Zeitkomplexität von  $O(n^2)$  ist eAlign um einiges schneller als die üblichen Strukturalignment-Algorithmen, die eine Komplexität von  $\Omega(n^4)$  aufweisen [4,7].

Die Evaluation der Vorhersagegüte des eGOR-Algorithmus zeigte eine 60% Genauigkeit bei der Prognostizierung der Aminosäureenergien. Bezüglich des Energieprofilverlaufs liefert das Verfahren eine Vorhersagegenauigkeit von 95%. Somit können vorhergesagte Energieprofile ohne Einschränkungen zum Vergleich mit Struktur-basierenden Energieprofilen herangezogen werden.

## 4 Einsatzmöglichkeiten der dargestellten Verfahren

Als eine neuartige Proteinabstraktionsebene bieten Energieprofile viele nützliche Anwendungen. Zum einen weißt das Alignment zweier Energieprofile eine geringere Zeitkomplexität auf als bekannte Strukturalignmentverfahren und ist zudem chemisch sensitiver. Weiterhin können, auf Grund des höheren Informationsgehaltes, schnellere und sensitivere heuristische Verfahren implementiert werden, die zum Beispiel die Suche in biologischen Datenbanken verbessern. Zudem können Mutationen von Proteinen tiefgründiger untersucht werden. Diese Technologien lassen sich mit Hilfe des eGOR-Algorithmus auch auf Proteine mit unbekannter Struktur übertragen. So können strukturell nicht aufgeklärte Membranproteine durch Vorhersage ihres Energieprofils auch auf der Ebene der Energie untersucht und folglich die Lage und Funktionsweise von Wirkstoffrezeptoren deutlich besser beschrieben sowie Proteinwechselwirkungen besser verstanden werden [4,5].

## Literatur

- [1] Dressel F, Marsico A, Tuukkanen A, Schroeder M, Labudde D; *Understanding of SMFS barriers by means of energy profiles*; Proc. GCB
- [2] Garnier, J.; Osguthorpe D.J.; Robson, B.; *Predicting the secondary structure of globular proteins*, J Mol. Biol. 120:97-120
- [3] Needleman, S.B.; Wunsch, C.D.; *A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins*, J Mol. Biol. 48(3):443-453
- [4] Bachelor Thesis: Florian Heinke, Hochschule Mittweia, 2010, Energieprofilbasierende Methoden zur Analyse von Proteinfamilien
- [5] Bachelor Thesis: Riccardo Brumm, Hochschule Mittweia, 2010, Energieprofilbasierende Stabilitätsanalyse von Membranproteinen
- [6] Bachelor Thesis: Stefan Schildbach, Hochschule Mittweia, 2010, Energieprofilbasierende Suchen und Strukturvergleiche
- [7] Holm L, Sander C; *Mapping the protein universe*, Science 273(5275):595-603

## **Entwicklung eines Integritätstest-Verfahrens und der zugehörigen Prüfvorrichtung zur Leckfreiprüfung von getauchten Membransystemen**

Dipl. Ing. Katrin Wild, Dipl. Ing. Stephanie Rietz, Prof. Dr. rer. nat. Müller, Phone: ++49376552122, Fax:++49376552111, E-Mail: Stephanie.Rietz@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau / Institut für Textil und Ledertechnik, Klinkhardtstraße 30, 08468 Reichenbach

Dr. Reinhard Voigt, Phone: ++49619625758, Fax:++49619629237, E-Mail: info@microdyn-nadir.de, Microdyn Nadir GmbH, Rheingaustraße 190-196, 65203 Wiesbaden

### **Abstract**

Membranbelebungsverfahren gelten in der Wasseraufbereitung derzeit als modernste Verfahrenstechnik, mit der sich höchste Wasserqualität, bei geringem Platzbedarf und guter Ablaufqualität erzielen lässt. Die Membran-Bio-Reaktoren (MBR) sind eine Erweiterung des klassischen Belebungsverfahrens, wobei das gereinigte Abwasser mit einer Mikro bzw. Ultrafiltrationsmembran vom belebten Schlamm abgetrennt wird. Die von der Firma Microdyn-Nadir GmbH unter Mitarbeit der Professur Werkstoffveredlung und -prüfung der WHZ entwickelte neuartige Filtereinheit BIO-CEL<sup>®</sup> garantiert Bakterien- bzw. Keimfreiheit und wird sowohl zur Reinigung von Brauchwasser als auch bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser eingesetzt. Eine Vielzahl der Einsatzgebiete unterliegt hierbei Richtlinien zur Bakterien- bzw. Keimfreiheit, u. a. auch vom Gesetzgeber (z. B. EU-Badegewässer-Richtlinie), so dass es für die Hersteller der Membranen bzw. – Membran-Bio-Reaktoren zwingend erforderlich ist, die Dichtheit der Systeme bzw. die Qualität des aufbereiteten Wassers zu gewährleisten.

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines Integritätstest-Verfahrens mit zugehöriger Prüfvorrichtung zur Dichtheitsuntersuchung solcher Membransysteme. Das entwickelte Testverfahren zeichnet sich zum einen durch eine schnelle Leckerkennung aus, die sich automatisiert in den seriellen Fertigungsprozess integrieren lässt und zum anderen durch eine Vernetzung zweier separater Prozessschritte, Kombination von Membranbenetzung und Membranstabilisierung innerhalb des „inline“-Prüfprozesses, welche natürliche Ressourcen spart. Eine leicht modifizierte Version der Pilot-Testanlage ermöglicht eine Funktionsüberprüfung von Membransystemen im Betrieb beim Kunden vor Ort.

**Keywords:** Ultrafiltration, Membranverfahren, Membran-Bio-Reaktoren, Membransysteme, Abwasserbehandlung, Bakterien- bzw. Keimfreiheit, Integritäts-Testverfahren, Leckerkennung

## **1 Aufbau der BIO-CEL<sup>®</sup>-Filtereinheit und Prüfung der Integrität**

Die Firma Microdyn Nadir GmbH hat im Jahr 2008 eine neuartige Filtereinheit (BIO-CEL<sup>®</sup>) am Markt positioniert. Herzstück dieser Neuentwicklung ist eine rückspülbare Membrankomponente, deren Stabilität durch einen flächigen Verbund des Membranträgervlieses mit der Drainageschicht (Spacer) erzielt wird. Technisch wird dies durch einen Laminierungsprozess realisiert. Die Randabdichtung der einzelnen Membrantaschen erfolgt mit Hilfe eines speziellen Ultraschallschweiß-Verfahrens. Mit BIO-CEL<sup>®</sup>-Modulsystem steht erstmals ein Produkt zur Verfügung, welches die Vorteile von getauchten Hohlfaser- und Plattenmodulen vereint. Die selbsttragende Konstruktion von parallel geschalteten Einzelmembrankomponenten, ermöglicht die Herstellung von Modulen mit einer hohen Packungsdichte.

Die Herstellung einer Bio-CEL<sup>®</sup>-Kassette ist automatisiert und setzt sich aus mehreren Teilprozessen zusammen. Fertigungsbedingte Leckagen innerhalb der Prozesskette sind hierbei vor allem bei Klebprozessen und dem Ultraschallschweißen zu erwarten. Im Betrieb der BIO-CEL<sup>®</sup>-Filtersysteme können kleinste Leckagen die an-

gestrebte Trennwirkung der Membran schmälern und eine Verschmutzung des Permeats nach sich ziehen.

Die Dichtheitsprüfung der Module erfolgte bisher durch einen Druckhaltetest im Wasserbad. Das getauchte Membranmodul wurde permeatseitig mit Druckluft unterhalb des Bubblepoints beaufschlagt und anhand der Blasenbildung an Leckstellen visuell von einem Prüfer beurteilt.

Um einerseits die Undichtheiten besser differenzieren zu können (Zusammenhang, Größe und Anzahl der Leckagen) und andererseits das Prüfverfahren zu automatisieren, war es jedoch notwendig den Druckabfall (bei einem definierten Vordruck) messtechnisch aufzuzeichnen und auszuwerten. In einem anschließenden Prozessschritt wurde die Porenstruktur der Membran durch ein zweites Tauchbad in Stabilisierungslösung stabilisiert.

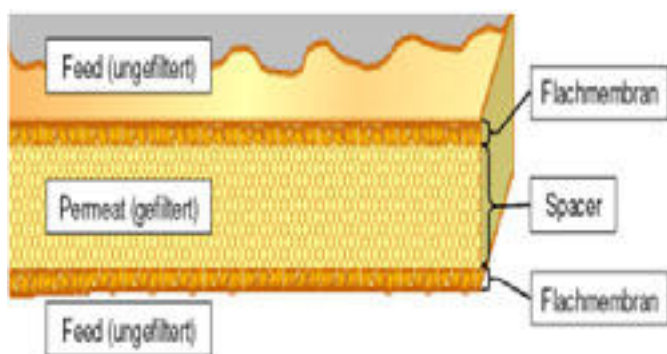


Abb.1: Schematischer Querschnitt einer Membrantasche

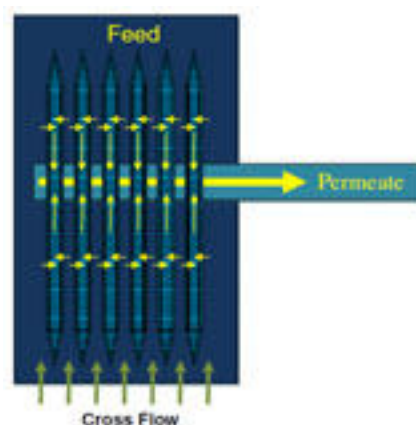


Abb.2: Arbeitsweise des Filtersystems

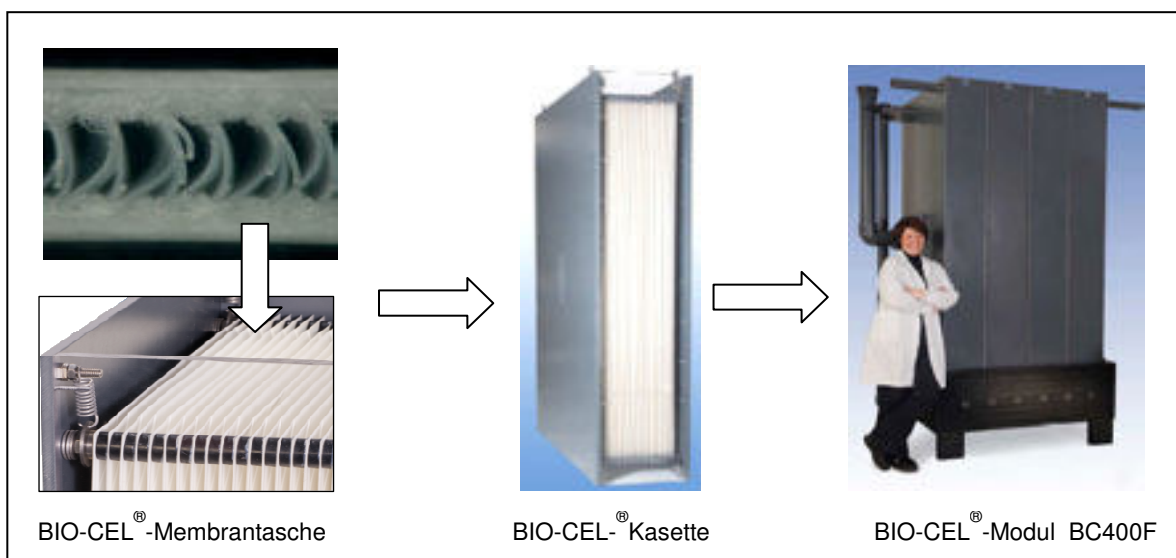


Abb.3: Aufbau von BIO-CEL®-Modulsystemen der Microdyn-Nadir GmbH

## 2 Druckhaltetest von BIO-CEL® – Modulkassetten

Voraussetzung für einen automatisierten Integritätstest ist, dass die Filtersysteme vollständig benetzt und die Membranporen verschlossen werden. Der Porenöffnungsdruck beträgt ca. 300 mbar. Es wurden verschiedene Benetzungsmethoden (tauchen, beregnen, besprühen) untersucht und deren Vor- und Nachteile für den angestrebten automatisierten Produktionsprozess herausgearbeitet. Die Schwierigkeit bestand hierbei insbesondere darin, eine für alle Modulgrößen (von 10 m<sup>2</sup> bis zu 400 m<sup>2</sup>) kompatible „inline“ Benetzung zu gewährleisten.

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit sich die Stabilisierungslösung hinsichtlich ihrer Viskosität, Oberflächenspannung und Benetzungseigenschaften von dem bisherigen Benetzungsmittel Wasser unterscheidet und ob ein druckdichtes Verschließen der Poren auch mit Stabilisierungsmittel gewährleistet ist.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Stabilisierungslösung, auf Grund der geringeren Oberflächenspannung sehr gut auf der Membranoberfläche spreitet und zur Benetzung der Filtersysteme geeignet ist. Der separate Prozessschritt der Nachstabilisierung konnte somit entfallen.

Zur Überprüfung der Integrität von Filtersystemen wurde aufbauend auf den Untersuchungen mit einer Laborversuchsanlage eine Pilot-Testanlage zur Leckfrei-Prüfung entwickelt. Die Prozesssteuerung der Anlage ermöglicht verschiedenste Testabläufe wie z.B. Druckhaltetest und Druckstufentest. Durch die Prüfung verschieden großer Filtersysteme mit Leckagen wurde einerseits der Testzyklus optimiert, andererseits wurden auftretende Leckagen (Zusammenhang Größe und Anzahl der Leckagen) mit einem definierten Druckabfall und Gasvolumenstrom charakterisiert.

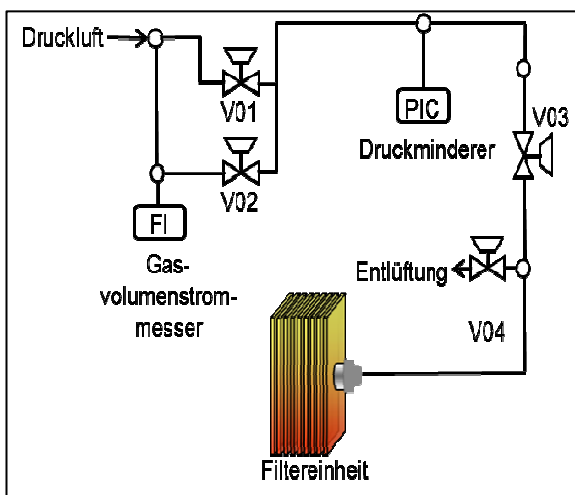


Abb. 4: Lecktestanlage im Pilot-Maßstab

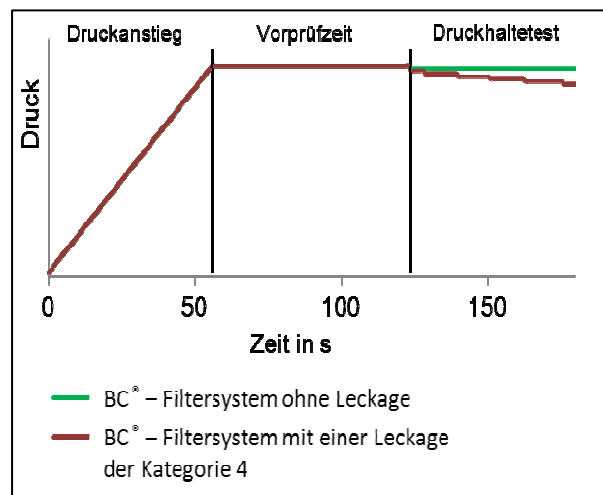


Abb. 5: Druckhaltetests von zwei benetzten Membransystemen mit und ohne Leckage

Bei der bisherigen visuellen Prüfung wurden die Leckagen mit ansteigender Größe in 4 Kategorien eingeteilt. Durch entsprechende Untersuchungen wurde die funktionelle Abhängigkeit vom Druckverlust des Moduls und dem zugehörigen Gasvolumenstrom der jeweiligen Leckkategorien ermittelt.

Mit der Berechnung des Verhältnisses Leckagestrom zu Permeatstrom entsteht ein Kennwert, durch den der angestrebte Rückhalt von  $\geq 95\%$  im Betrieb der Filtersysteme gesichert werden kann.

Der im Kooperationsprojekt erarbeitete Testablauf ermöglicht bis zu zehn Filtersysteme je Stunde vollautomatisch zu prüfen. Zusätzlich wurde auf Basis einer leicht modifizierten Version der Pilot-Testanlage eine Funktionsüberprüfung von Membransystemen im Betrieb beim Kunden vor Ort ermöglicht.

### **3 Zusammenfassung**

Aufbauend auf den grundlegenden Arbeiten zur Abdichtung der Membran durch die Stabilisierungslösung in einem fixen Druckbereich und durch Benetzung mittels Beregnungs- und Sprühverfahrens konnte die Pilot-Testanlage nach einigen Optimierungen bezüglich der Handhabung auch an Modulen aus der Fertigung erprobt und eingesetzt werden. Dadurch wurde die Zuverlässigkeit der Testergebnisse gegenüber der bisherigen Praxis des vollständigen Eintauchens der Membranmodule verbessert und gleichzeitig der Aufwand für den Test verringert.

### **4 Danksagung**

Die Autoren möchten dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes „Entwicklung eines Integritätstest-Verfahrens und der zugehörigen Prüfvorrichtung zur Leckfreiprüfung von getauchten Membransystemen“ (AiF KF 0188719 und AiF KF 0421102) danken.

## Entwicklung von Axialturbinen für die Flussenergienutzung

Christoph Thiericke Dipl.-Ing.(FH), Phone: ++49. 3461-46-2923, E-Mail: christoph.thiericke@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str., 06217 Merseburg

Prof. Dr.-Ing. habil. Dominik Surek, Phone: ++49.3461-46-2929, Fax: ++49. 3461-46-2129, E-Mail: dominik.surek@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Str., 06217 Merseburg

### Abstract

Bisher gehören Kaplan turbinen zu den schnellläufigen Wasserturbinen, die für geringe Gefällehöhen von  $H=2$  m bis  $H=25$  m und für große Volumenströme eingesetzt werden. Flüsse und Kanäle verfügen aber auch über das Energiepotential der Strömung, das ebenfalls genutzt werden kann. Dafür gibt es bisher keine geeigneten Wasserturbinen. Deshalb werden axiale Wasserturbinen berechnet und entwickelt, die mobil ohne Staustufe und ohne Wehr im Fluss installiert werden können und die Strömungsenergie im Fluss zur Elektroenergieerzeugung nutzen.

**Keywords: Wasserturbine, Axialturbine, Flussenergienutzung**

## 1 Einleitung

Die Triebkraft von Flüssen ist das Gefälle  $i$  als Verhältnis der Neigung  $\Delta h$  zur Längeneinheit  $L$  des Flusses oder der Neigungswinkel der Flusssohle  $\alpha$  in Strömungsrichtung. Der Sinus dieses Neigungswinkels stellt das Gefälle dar mit  $i=\sin\alpha=\Delta h/L$ . Dieses Gefälle ist in Gebirgsgegenden mit  $i=3\cdot 10^{-3}$  bis  $9\cdot 10^{-3}$  groß und es nimmt im flachen Land, wenn der Fluss zum Strom wird, bis auf Werte von  $i=0,3\cdot 10^{-3}$  bis  $1,4\cdot 10^{-3}$  ab. Hier erhält der Fluss eine größere Tiefe und Breite mit größeren Volumenströmen von  $\dot{V}=80$  m<sup>3</sup>/s bis 2300 m<sup>3</sup>/s und er wird für die energetische Nutzung interessant. In diesem Bereich des ruhigen Fließens sinkt jedoch auch die mittlere Strömungsgeschwindigkeit auf Werte von  $c=1,0$  m/s bis 2,5 m/s, die im Jahresverlauf noch Schwankungen unterworfen ist. Für diese Strömungsgeschwindigkeiten bei Flusstiefen von  $h=1,6$  m bis 9,5 m sind mobile Wasserturbinen zu entwickeln und mit geeigneten Elektrogeneratoren zu koppeln. Die Schnelllaufzahlen und spezifischen Drehzahlen dieser Wasserturbinen, liegen weit über denen, der bisher bekannten axialen Kaplan turbinen. Damit werden in Abhängigkeit der Flussgröße und des Turbinendurchmessers Turbinenleistungen von  $P=3,0$  kW bis 140 kW erreicht.

## 2 Parameter von Flusswasserturbinen ohne statischem Gefälle

Nach Betz [1] kann dem strömenden Wasser in Flüssen nur ein Teil der kinetischen Energie von einer frei fahrenden Wasserturbine der Größe von  $c_p=16/27=0,59$  entzogen werden, so dass sich das im Bild 1 dargestellte Abströmprofil  $c_3$  einstellt. Der übrige Anteil der kinetischen Flussenergie von 41% wird zur Abströmung benötigt. Damit kann die Turbinenleistung aus der Tiefe und Breite des Flusslaufs ermittelt werden. Folgende Bedingungen sind dabei zu beachten:

- Die Wasserturbine soll vollständig in den Fluss eintauchen.
- Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Flusswassers von  $c=1,0$  m/s bis 2,5 m/s ist abhängig vom Fluss und von der Jahreszeit.
- Die Flusstiefe begrenzt den Turbinenaußendurchmesser. Für eine Flusstiefe von  $h=2,0$  m kann der größte Turbinendurchmesser mit  $d=1,8$  m<sup>Ø</sup> ausgeführt werden.

- Die spezifische Drehzahl von Flusswasserturbinen nimmt Werte von  $n_q=500 \text{ min}^{-1}$  bis  $2500 \text{ min}^{-1}$  an, die weit über den spezifischen Drehzahlen von Kaplan turbinen liegen.
- Bei Flusswasserturbinen ist die Druckzahl gleich dem Quadrat der Lieferzahl  $\psi=c^2/u^2=\varphi^2$ , die Schnelllaufzahl beträgt  $\sigma=1/\varphi$  und die interessante Bedingung, dass die Durchmesserzahl  $\delta$  für alle Flusswasserturbinen den Wert  $\delta=1,0$  annimmt [2]

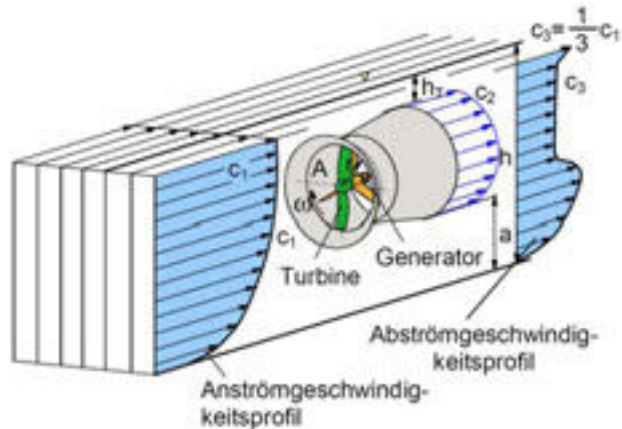


Bild 1 Austrittsgeschwindigkeitsprofil aus der Flusswasserturbine durch Entzug der Strömungsenergie

Damit können die Abmessungen und die Drehzahl von Flusswasserturbinen bestimmt werden.

Aus der Druckzahl  $\psi$  für Flusswasserturbinen folgt mit der spezifischen Nutzarbeit  $Y=c_2^2/2$ :

$$\psi = \frac{2Y}{u_2^2} = \frac{2c_2^2}{2u_2^2} = \frac{c_2^2}{u_2^2} = \frac{c_2^2}{\pi^2 n^2 d_2^2} = \varphi^2 \quad (1)$$

für die Laufraddrehzahl die Gl. 2:

$$n = \frac{c_2}{\pi d_2 \psi^{1/2}} \quad (2)$$

Die Turbinendrehzahl ist also abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit  $c_2$ , von der erreichbaren Druckzahl  $\psi$  und von dem Laufradaußendurchmesser  $d_2$ , der für die deutschen Flüsse im Bereich von  $d_2=1,5 \text{ m}$  bis  $4,5 \text{ m}$  liegt.

Wird die Gl. 2 für die Druckzahl von  $\psi=\varphi^2=0,01$ , die Strömungsgeschwindigkeit  $c_2=1,0 \text{ m/s}$  bis  $2,5 \text{ m/s}$ , für Laufraddurchmesser von  $d_2=1,5 \text{ m}$  bis  $4,5 \text{ m}$  ausgewertet, so ergeben sich Turbinendrehzahlen von  $n=40 \text{ min}^{-1}$  bis  $n=335 \text{ min}^{-1}$ . Im Bild 2 ist das Drehzahlkennfeld  $n=f(c_2, d_2)$  in Abhängigkeit der Meridiangeschwindigkeit im Laufrad und des Laufradaußendurchmessers dargestellt.

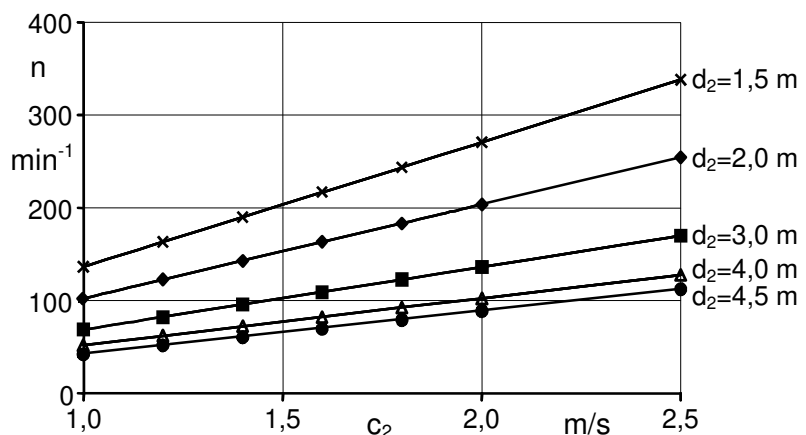


Bild 2 Drehzahl von Flusswasserturbinen in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit  $c_2$  für die Laufraddurchmesser  $d_2=1,5 \text{ m}$  bis  $4,5 \text{ m}$  bei der Schnelllaufzahl von  $\sigma=10$  und dem Nabenverhältnis  $v=d_N/d_2=0,32$



Als Generator für die Flusswasserturbinen können Unterwassergeneratoren als Neben- oder hochpolige Außenringläufergeneratoren eingesetzt werden.

### 3 Design von Flusswasserturbinen

Mobile Flusswasserturbinen können unterschiedlich gestaltet werden. Sie können auf Pontons installiert oder direkt in den Fluss eingetaucht werden. Die direkt eintauchenden Flusswasserturbinen beruhen auf einer österreichischen Erfindung, die Stromboje genannt wird. Im Bild 3 ist eine Flusswasserturbine der Fa. KSB dargestellt.



Bild 3 Axiale Flusswasserturbine mit Schutzrechen, Einlaufdüse und Austrittsdiffusor während der Installation im Fluss [3]

Flusswasserturbinen können als freilaufende oder ummantelte Axialturbinen mit einem Vor- oder Nachleitrad ausgerüstet werden. Es ist auch zweckmäßig die Wasserturbinen mit einer Einlaufdüse und mit einem Austrittsdiffusor auszustatten, um eine höhere Energieausbeute zu erreichen.

Mit Rücksicht auf eine hohe Energieausbeute und einen hohen Gesamtwirkungsgrad ist die Flusswasserturbine nach Bild 4 mit einer elliptischen Einlaufdüse mit Nasenumströmung, mit einem Vorleitrad, das eine große Umfangskomponente der Flussanströmung erzeugt, mit einem profilierten Turbinengehäuse als Diffusor und mit einem geringen Axialspalt zwischen Laufrad und Gehäuse ausgeführt.

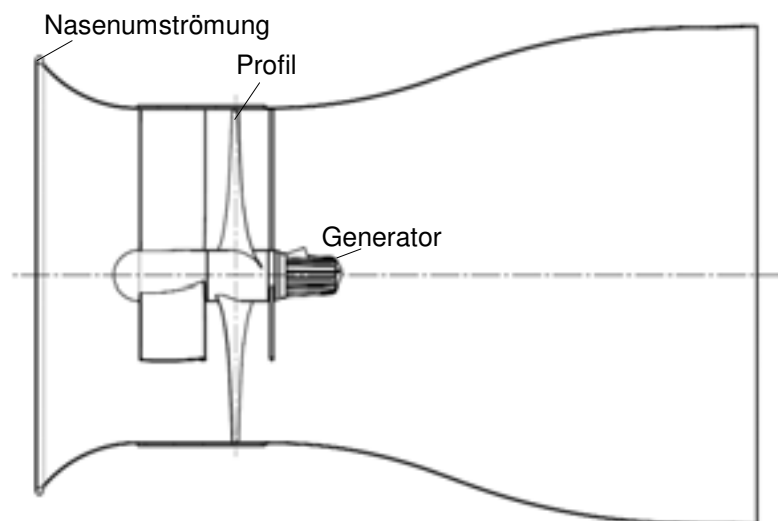


Bild 4 Meridianschnitt einer ummantelten Flusswasserturbine für den Laufraddurchmesser von  $d_2=2,0$  m, die Anströmgeschwindigkeit von  $c_1=1,50$  m/s und die Drehzahl von  $n=120$  min<sup>-1</sup>

### 4 Design des Laufradschaufelgitters

Das Schaufelgitter des Laufrades mit zwei Laufschaufeln ist im Außenschnitt und im äußeren Bereich des Radienverhältnisses  $r/r_2 \geq 0,40$  mit einem großen Teilungsverhältnis  $t/L$  mit Werten von  $t/L=3,33$  bis  $11,11$  ausgeführt. Der Anstellwinkel im Außenschnitt ist mit  $\beta_1=6,86^\circ$  sehr gering und auch die Schaufelprofilwölbung ist sehr klein. Erst im Innenschnitt besitzt die Schaufel infolge des Drallsatzes eine beträcht-

lich größere Schaufelanstellung  $\beta_1$ . Die Profile sind innen auch stärker gewölbt. Im Bild 5 ist das Schaufelgitter mit zwei Schaufeln für den Mittelschnitt des Laufrades dargestellt. Die spätere Schaufelprofilauslegung der Laufschaufeln wird mindestens für 12 Schaufelschnitte von  $r/r_2=0,12$  bis  $r/r_2=1,0$  vorgenommen. Nach dem Vorentwurf der Leit- und Laufschaufeln erfolgt die dreidimensionale Nachrechnung der Schaufelgitter und der gesamten Flusswasserturbine mit einem CFD-Programm. Dafür wird vorteilhaft das ANSYS-Programm CFX benutzt. Die Vernetzung der Turbine erfolgt auf der Grundlage des Parametersatzes der CAD-Konstruktion.

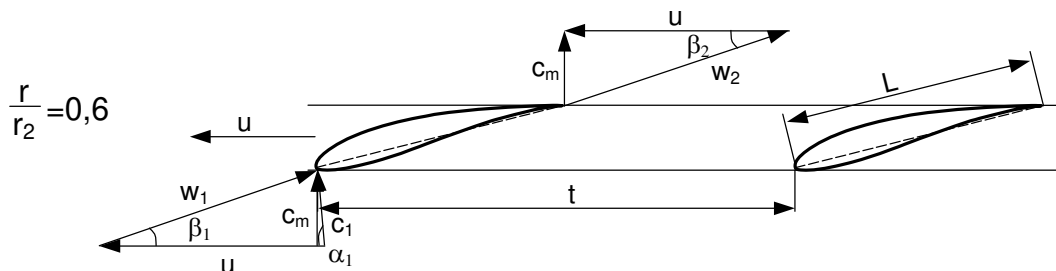


Bild 5 Schaufelgitter des Turbinenlaufrades mit Geschwindigkeitsdreiecken für den Mittelschnitt mit  $t/L=4,34$

## 5 Zusammenfassung

Mobile Flusswasserturbinen, die ohne geodätischem Gefälle arbeiten und nur die Geschwindigkeitsenergie des Flusses nutzen, werden mit geringer Schaufelzahl des Laufrades von zwei oder drei Schaufeln und mit sehr großer spezifischer Drehzahl von  $n_q=500 \text{ min}^{-1}$  bis  $2500 \text{ min}^{-1}$  für Turbinenleistungen von 3,0 bis 140 kW ausgeführt. Die Durchmesserzahl dieser Wasserturbinen liegt bei  $\delta=1,0$ , die gleichzeitig die untere Grenze der Durchmesserzahl für Wasserturbinen darstellt. Flusswasserturbinen werden direkt mit einem Unterwassergenerator gekoppelt und sie tauchen vollständig in den Fluss ein.

## 6 Bezeichnungen

c	m/s	Strömungsgeschwindigkeit	$n_q$	$\text{min}^{-1}$	spezifische Drehzahl
d	m	Laufraddurchmesser	$Y$	J/kg	spezifische Nutzarbeit
H	m	Gefällehöhe	$\beta$	$^\circ$	Schaufelwinkel
h	m	Flussspiegelhöhe	$\delta$	-	Durchmesserzahl
i	-	Gefälle	$\varphi$	-	Durchflusszahl
L	m	Profillänge	$\psi$	-	Druckzahl
n	$\text{min}^{-1}$	Drehzahl	$\sigma$	-	Schnellaufzahl

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Betz, A. (1926) Windenergie und ihre Ausnutzung. Göttingen 1926
- [2] Surek, D.; Stempin, S. (2011) Dimensionslose Kennzahlen und Cordierdiagramm für mobile Flusswasserturbinen. Wasserkraft und Energie 2/2011
- [3] KSB (2010) Flusswasserturbine am Netz  $\Delta p$  5/2010, S. 20

## Grenzen internationaler Institutionalisierung

Heike Fischbach, Phone: ++49.3943-659-119, Fax: ++49.3943-5119, E-Mail: hfischbach@hs-harz.de, Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

**Staaten und Staatengemeinschaften wirken mit gezielten handelspolitischen Maßnahmen auf den Welthandel ein. Auf internationaler Ebene wurde ein Regelsystem geschaffen, insbesondere im Rahmen der multilateralen Zusammenarbeit in der OECD und der WTO, das auf ein kooperatives und wettbewerbsneutrales Verhalten auf dem Gebiet der Exportförderung ausgerichtet ist. Internationale Institutionen helfen, Kosten und Risiken von Exportgeschäften zu reduzieren. Auf dem Gebiet der Exportförderung stehen sich internationale und europäische Regeln nicht entgegen, sondern sind vielmehr komplementär. Auch auf längere Sicht werden Staaten sich jedoch ihren nationalen Handlungsspielraum zur Profilbildung im Exportbereich bewahren.**

**Keywords: Welthandel, Exportförderung, Institutionen, Subventionen**

### 1 Multilaterale Regulierung

Exportgeschäfte sind kostspieliger und riskanter als Inlandsgeschäfte. Staatliche Maßnahmen zur Exportunterstützung bewegen sich auf dem schmalen Grat zwischen wettbewerbsneutraler Exportförderung und wettbewerbsverzerrender Subvention. Durch die Komplexität des Handels und internationaler Transaktionen wird die Unterscheidung zwischen Exportsubventionen und anderen Subventionsformen, wie Forschungsförderung und Regionalbeihilfen, verwischt.<sup>1</sup> Internationale Institutionen der aktuellen Welthandelsordnung wie das *Übereinkommen über Leitlinien für öffentlich unterstützte Exportkredite* der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) sowie das *Übereinkommen über Subventionen und Ausgleichsmaßnahmen* der Welthandelsorganisation (WTO) entsprechen dem internationalen Charakter von Handelsbeziehungen und ordnen diese. Die wichtigsten Funktionen dieser beiden internationalen Institutionen auf dem Gebiet der Exportförderung sind die Senkung der Kosten internationaler Transaktionen und die Vereinfachung der Risikobewertung.

Die gegenwärtige Welthandelsordnung wirkt integrierend, verhaltensorientiert und vertrauensbildend auf die Mitglieder zurück; sie gestattet ihnen keinen kostenlosen Austritt.<sup>2</sup> Dabei hat die WTO als Kernelement der Welthandelsordnung die Verflechtung der Handelsnationen gestärkt und ist damit selbst zu einer Institution geworden, deren Ruin sich keiner der Hauptakteure mehr leisten könnte.<sup>3</sup>

Die Internalisierung der Welthandelsregeln im Sinne der regelkonformen Umsetzung internationaler Absprachen auf nationaler Ebene lassen Probleme von Risiko und Informationszugang nicht verschwinden, sie werden aber in dieser institutionalisierten Form einfacher handhabbar. Für ein aus ökonomischer Sicht optimales Vereinheitlichungsniveau spielen der Grad der Allgemeinheit von Regeln sowie der Rechtsdurchsetzung eine Rolle.<sup>4</sup> Die Welthandelsorganisation muss noch beweisen, ob die Verrechtlichung der Welthandelsregeln zu einem multilateral effizienteren Ergebnis führt. Das WTO-Übereinkommen über Subventionen und Ausgleichsmaßnahmen mit seinen langwierigen Nachweisverfahren im Streitfall und den vielen Ausnahmenrege-

lungen, lässt den Mitgliedsstaaten dennoch Handlungsfreiheit bei der Konzipierung und Durchführung von Exportprogrammen. Eine pragmatischere Methode liegt dem OECD-Übereinkommen über Leitlinien für öffentlich unterstützte Exportkredite zugrunde: Seine Kennzeichnung als Gentlemen's Agreement deutet bereits die Abneigung von Staaten an, sich in einem formellen und allzu rigiden Rahmen zu bewegen. Staaten bevorzugen eine weniger formelle, anpassungsfähige und „weiche“ Handlungsgrundlage, die ihnen ihre Fähigkeit bewahrt, im nationalen Interesse zu agieren.<sup>5</sup> Den OECD-Mitgliedsstaaten ist es gelungen, Exportkreditversicherungspraktiken untereinander auszuschließen und für Exporte in Drittstaaten dauerhaft zu normalisieren. Die Effizienz des Übereinkommens liegt in seinem Pragmatismus und seiner Transparenz begründet: die vereinbarten Regeln werden durch Kompromisse, Konsens und „peer review“ erreicht.

## 2 Vorgehen der Europäische Union

Im Institutionengefüge der Europäischen Union (EU) werden föderative, supranationale und intergouvernementale Elemente kombiniert.<sup>6</sup> Das hohe Maß an vertikaler Koordination in der Mehrebenenstruktur der EU begrenzt sehr stark die Handlungsspielräume der staatlichen, politischen und ökonomischen Akteure für eine horizontale Koordination. Gleichzeitig eröffnet das Mehrebenensystem diesen Akteuren zusätzliche bzw. komplexere strategische Möglichkeiten, um ihre Ziele zu erreichen. Dazu zählen Unterstützungskoalitionen, zusätzliche Kanäle der politischen Einflussnahme ebenso wie das Verschieben von Problemen zwischen den Handlungsebenen, Abschieben von Verantwortung und Ausnutzen institutioneller Bindungen.<sup>7</sup>

Die „Härte“ der europäischen Regeln entspringt deren integrationistischem Anspruch. Die förderlichen und notwendigen Garantien der europäischen Rechtsordnung, die im „inneren“ Rechtsraum angewendet werden, scheinen auf dem ersten Blick dem Charakter der internationalen Institutionen zuwider zu laufen. Mitgliedsstaaten der Europäischen Union könnten also tatsächlich dazu tendieren, sich eher in internationaler Abstimmung zu engagieren, wenn sie befürchten, dass die „Weichheit“ internationaler Vereinbarungen ansonsten zu Gunsten eines „impérialisme juridique communautaire“ aufgegeben wird.<sup>8</sup> Doch bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass sich internationale und europäische Regeln im Bereich der Exportförderung nicht notwendigerweise entgegen stehen, sondern komplementär sind: Internationale Vereinbarungen sind ein bevorzugtes Mittel, die europäische Integration voran zu bringen.<sup>9</sup>

## 3 Nationale Handlungsweise

Eine Detailkoordination der internationalen Zusammenarbeit wäre schon allein mit der Informationsverarbeitung überlastet. Daher bleibt die dezentralere Ebene der Nationalstaaten die entscheidende Steuerungsinstanz.<sup>10</sup>

Die Bewahrung nationalstaatlicher Integrität setzt der europäischen und internationalen Institutionenbildung enge Grenzen. Internationale Regeln werden zudem zum Teil ignoriert: Binnenwirtschaftliche Erwägungen können wichtiger sein als internationale Verpflichtungen; zudem sind Regierungen politischem Druck seitens bestimmter Industriezweige, Interessengruppen und politischen Parteien ausgesetzt.<sup>11</sup> Die bloße

Existenz von internationalen Regeln lässt Exportsubventionen nicht verschwinden. Doch wenn die Politik die Effizienz des gesamten Wirtschaftssystems erhöht, kann ohne den Transfer ökonomischer Ressourcen (Subventionen) die Effizienz von Exporten erhöht werden. Durch die Beseitigung existierender Ineffizienzen technischer, rechtlicher oder politischer Art kann der Ertrag exportierender Unternehmen verbessert werden. Die zusätzlich erzeugten Ressourcen könnten wiederum zur Erhöhung von Exporten führen, ohne dass ein Wirtschaftszweig oder eine soziale Gruppe wegen diskriminierender Subventionierung die Beschneidung ihrer wirtschaftlichen Grundlage hinnehmen müsste.<sup>12</sup>

Wenngleich der gegenwärtige Entwicklungsstand der Welthandelsordnung die Handlungsspielräume der Staaten einschränkt – und diese Einschränkung ist durch die Staaten selbst herbei geführt worden – handeln sie weiterhin und als souveräne Akteure die Rahmenbedingungen für die Handelsbeziehungen aus und ordnen sich in die Weltwirtschaftsordnung ein.<sup>13</sup> Deshalb bleiben die Nationalstaaten der entscheidende Bezugsrahmen für die Exportförderung. Handlungsspielraum ergibt sich für Staaten bzw. Staatengemeinschaften bei der Schaffung geeigneter politischer und institutioneller Arrangements, um Standortqualität und somit Wettbewerbsbedingungen zu verbessern. Auf diese Weise versetzen sich Staaten in die Lage, trotz offener Volkswirtschaften und der vernetzten Weltwirtschaft eigene gesellschaftspolitische Ziele zu verfolgen.<sup>14</sup> Staaten modifizieren ihr Organisationsmuster und verarbeiten Erfahrungen anderer Akteure: Politik und Regeln werden in Frage gestellt und angepasst, nationale Standortprofile und Steuerungsmuster differenzieren sich.<sup>15</sup>

## **4 Fazit**

Das institutionelle Design der Welthandelsordnung bestimmt seine Stabilität: Vor allem die konsequente Transparenz, multilaterale Verhandlungskultur, Kooperation im Netzwerk, Streitschlichtungsverfahren und organisatorische Absicherung sichern seine Beständigkeit. Die „taken-for-grantedness“ internationaler Institutionen lässt sich nicht erzwingen: Eine allzu rigide Sanktionsgewalt ist für Staaten aufgrund ihrer nationalen Interessen nicht akzeptabel. Internationale Institutionen erlangen ihre Wirksamkeit durch einen kontinuierlichen Prozess der Erprobung und Anpassung von Regeln. Die Versuche der Europäischen Union, die nationalen Ausfuhrbeihilfesysteme auf gemeinschaftsrechtlichem Wege zu vereinheitlichen, sind gescheitert, weil zu großer rechtlicher Druck für die Mitgliedsstaaten unannehmbar war angesichts ihrer wirtschaftlichen Zielsetzungen und ihrer politischen Handlungsmöglichkeiten.<sup>16</sup> Während sich die Europäische Union als zu enger Rahmen zur Regelung staatlicher Exportförderungspraktiken erwiesen hat, scheint die WTO zu groß, um „unverzüglich“ auf Veränderungen im internationalen Handel zu reagieren. Als Ursachen lassen sich das notwendige Massenmanagement von 153 Mitgliedsstaaten und die verrechtlichten Verfahren identifizieren.<sup>17</sup> Europäische und internationale Regeln substituieren nationale Regeln. Die Vorteile der regelbasierten Welthandelsvernetzung fördern die Kompromissbereitschaft bei der Einigung über binnenwirtschaftliche Maßnahmen und eignen sich, auch solche Akteure zur Unterstützung einer bestimmten Problemlösung zu bewegen, die ursprünglich eine andere Lösung bevorzugt hatten.<sup>18</sup> Hoher Konsensbedarf setzt jedoch hohe Kompromissbereitschaft der Akteure voraus - trotz aller Verschiedenheit.

- 
- 1 Vgl. Nyahoho, Emmanuel: L'arsenal des subventions à l'exportation et l'OMC, Presse de l'Université de Québec, Sainte-Foy, 1995, S. 99-100.
  - 2 „Exit costs“ entstehen u.a. aufgrund der bereits geleisteten Investitionen, nicht nur durch finanzielle Beteiligung an den Organisationsaufwendungen, sondern durch handelspolitisches Bekenntnis und Rechtsanpassung.
  - 3 Vgl. Rode, Reinhard: Weltregieren durch internationale Wirtschaftsorganisationen, Liberale Internationale Politik Band 2, Münster–Hamburg–London, 2002, S. 85. Rode bezeichnet dort seine These als „normatives Wunschdenken im neoinstitutionalistischen Sinne, hinter der auch ganz real Plausibilität für die Fortdauer eines kooperativen Trends steckt.“
  - 4 Vgl. Schmidtchen, Dieter/Schmidt-Trenz, Hans-Jörg: Neue Institutionenökonomik Internationaler Transaktionskosten, WiSt 4/2003, S. 223.
  - 5 Vgl. Houbé-Masse, Marie-Liesse: La CEE et les crédits à l'exportation – l'intégration en question, Ed. Apogée, Rennes, 1992, S. 204.
  - 6 Vgl. Grande, Edgar: Multi-Level Governance: Institutionelle Besonderheiten und Funktionsbedingungen des europäischen Mehrebenensystems, in: Grande, Edgar/Jachtenfuchs, Markus (Hrsg.): Wie problemlösungsfähig ist die EU? Regieren im europäischen Mehrebenensystem, Baden-Baden, 2000, S.15.
  - 7 Ebenda, S. 18-19.
  - 8 Vgl. Houbé-Masse, Marie-Liesse: La CEE et les crédits à l'exportation – l'intégration en question, Ed. Apogée, Rennes, 1992, S. 200. „Impérialisme juridique communautaire“ bezeichnet die Dominanz des EU-Gemeinschaftsrechtes im Sinne einer Überregulierung.
  - 9 Das „Übereinkommen über Leitlinien für öffentlich unterstützte Exportkredite“ der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (Richtlinie 98/29/EG des Rates vom 7.Mai 1998 zur Harmonisierung der wichtigsten Bestimmungen über die Exportkreditversicherung zur Deckung mittel- und langfristiger Geschäfte, Abl. L 148 vom 19.5.1998) sowie das „Übereinkommen über Subventionen und Ausgleichsmaßnahmen“ der Welthandelsorganisation (WTO) (Beschluss des Rates 94/800/EG vom 22. Dezember 1994 über den Abschluss der Übereinkünfte im Rahmen der multilateralen Verhandlungen der Uruguay-Runde (1986-1994) im Namen der Europäischen Gemeinschaft in Bezug auf die in ihre Zuständigkeiten fallenden Bereiche, Abl. L 336 vom 23.12.1994) sind in das EU-Recht integriert. Auf diese Weise gestaltet die EU die im Artikel 207 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union bestimmte gemeinsame Handelspolitik nach einheitlichen Grundsätzen.
  - 10 Vgl. Bellers, Jürgen/Demuth, Andreas: Außenwirtschaftspolitik im Vergleich: USA, Mexiko, Großbritannien, Frankreich, VR China, Japan; Münster und Hamburg, 1993, S. 304.
  - 11 Vgl. Friedlander, Lara: Lamenting the Disappearance of Pragmatism: Subsidies Law After the Uruguay Round, (1994-95) 25 R.D.U.S, S. 301.
  - 12 Vgl. Annand, Mel/Buckingham, Donald F./Kerr, William A.: Export Subsidies and the World Trade Organization, Estey Centre Research Papers Number 1, Saskatoon, 2001, S. 117.
  - 13 Vgl. Abbas, Mehdi: L'OMC, un essai d'interprétation en termes d'économie politique internationale, Dissertation Université Pierre Mendès France Grenoble, 2000, S. 138.
  - 14 Vgl. Eßer, Klaus: Nationaler Handlungsspielraum durch systemische Wettbewerbsfähigkeit, in: Eßer, Klaus et al.: Globaler Wettbewerb und nationaler Handlungsspielraum – Neue Anforderungen an Wirtschaft, Staat und Gesellschaft, DIE Band 112, Köln, 1996, S. 2. Eßer nennt als Beispiele Kostensenkungsstrategien und zukunftsorientierte Innovationsstrategien.
  - 15 Ebenda, S. 2-4.
  - 16 Vgl. Houbé-Masse, Marie-Liesse: La CEE et les crédits à l'exportation – l'intégration en question, Ed. Apogée, Rennes, 1992, S. 209.
  - 17 Vgl. Heike Fischbach (2006): Nationale Exportförderung im europäischen und internationalen Kontext am Beispiel Deutschlands und Frankreichs, Dissertation, unveröffentlicht, S. 188.
  - 18 Genschel, Philipp: Die Grenzen der Problemlösungsfähigkeit der EU, in: Grande, Edgar/Jachtenfuchs, Markus (Hrsg.): Wie problemlösungsfähig ist die EU? Regieren im europäischen Mehrebenensystem, Baden-Baden, 2000, S. 204.

## HSS gehört beim Bohren noch lange nicht zum „alten Eisen“.

Stefan Scholze, Eckhard Wißuwa, Katja Günther

Tel.: +49 3727 – 58 1511, Fax: +49 3727 – 58 1376, E-Mail: scholze@hs-mittweida.de,  
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

### Abstract

Im Rahmen des Forschungsprojektes LAMIS wurde mittels Laserspulsablation (PLD-Verfahren) tetraedisch gebundenes amorphes Kohlenstoff (ta-C) auf HSS-Wendelbohrern abgeschieden. Bei Bohrversuchen mit Minimalmengenschmierung (MMS) ist der Einfluss der ta-C-Schicht gegenüber unbeschichteten HSS-Wendelbohrern an der Aluminiumgusslegierung G-AlSi12(Cu) untersucht worden.

### Keywords

Aluminium, AlSi12(Cu), Beschichtung, Bohren, DLC (Diamond like Carbon), HSS (Schnellarbeitsstahl), PLD (Laserspulsablation), ta-C (tetraedisch gebundener amorpher Kohlenstoff), Wendelbohrer

## 1 Einleitung

Das spanende Fertigungsverfahren Bohren besitzt mit einem geschätzten Anwendungsanteil von 20 bis 25% eine herausragende Bedeutung in der Fertigungstechnik. [1] Innerhalb des Bohrens ist der Wendelbohrer das am häufigsten eingesetzte Werkzeug. Diese bestehen heutzutage aus den Schneidstoffen Schnellarbeitsstahl (HSS), Vollhartmetall (VHM), Keramik und PKD-bestückte VHM-Bohrer. Zur Eigenschaftsoptimierung werden die Werkzeuge hauptsächlich mittels PVD- oder CVD-Verfahren beschichtet. Typische Beschichtungen sind beispielsweise die im PVD-Verfahren hergestellten TiN-, TiAlN-, TiCN-Schichten und mittels CVD-Verfahren erzeugte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-, TiN- sowie Diamant-Schichten.

Die nach der VDI-Richtlinie 2840 „Kohlenstoffschichten“ eingeordneten `Diamond Like Carbon´ (DLC)-Schicht ta-C ist auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung ebenso wie Diamant hauptsächlich für die Bearbeitung von Nichteisen(NE-)metallen und -werkstoffen geeignet. Für das NE-Metall Aluminium werden von den Werkzeugherstellern unbeschichtete HSS- und VHM-Bohrer sowie diamantbeschichtete oder PKD-bestückte VHM-Bohrwerkzeuge (für hochsiliziumhaltige Aluminiumwerkstoffe) präferiert. Die Abscheidung von ta-C auf Schnellarbeitsstahl bietet die Möglichkeit zur Kombination von unterschiedlichen E-Modulen und Härtegraden, siehe Tabelle 1. Das Potential von ta-C beschichteten gegenüber unbeschichteten HSS-Wendelbohrern wird in dieser Arbeit dargestellt.

Tabelle 1 Eigenschaften ausgewählter Schneidstoffe und Beschichtungen [2, 3, 4, 5, 6, 7]

	HS6-5-2C	HW-K10 [3]	TiN [2]	(Ti,C)N [2]	a-C:H	ta-C [5]	CVD-Diamant [2]
E-Modul	~220 GPa [6]	590 GPa	256 GPa	350 GPa	170 GPa [4]	800-900 GPa	800 GPa
Härte	62 HRC (~760HV) [7]	1580 HV30	2400 HV0,05	3500 HV0,05	≤3500 HV0,05 [3]	55-65 GPa	8000 HV0,05

## 2 Versuchsbedingungen

Auf Basis der Werkzeughersteller-Empfehlung wurde zur Bearbeitung der Aluminiumgusslegierung G-ALSi12(Cu), Tabelle 3, unbeschichtete HSS-Wendelbohrer verwendet. Die zur Verbesserung des Bohrprozesses aufgebrauchte tetraedisch gebundene amorphe Kohlenstoffschicht (ta-C) mit einer Schichtdicke von ca. 4  $\mu\text{m}$  wurde mittels Laserpulsablation (PLD-Verfahren) abgeschieden. Die ta-C-Schicht mit einem  $\text{sp}^3$ -Anteil von 80-85% wird im Beitrag „Tribologische Eigenschaften von mikrostrukturierten tetraedisch gebundenem amorphem Kohlenstoffschichten (ta-C)“ detailliert beschrieben. Die Bohrversuche, Versuchsbedingungen siehe Tabelle 2, wurden auf der 5-Achs-CNC-Fräsmaschine DMU50 der Firma Deckel Maho unter Einsatz

Tabelle 2 Übersicht Versuchsbedingungen

Werkstoff	G-ALSi12(Cu)
Werkzeug	Bohrer DIN 338–8,0-R–N–118–A–HSS
Schneidstoff	HS6-5-2C
Beschichtung	unbeschichtet, ta-C-Schicht
Vorschub $f$	0,19 mm; 0,25 mm; 0,30 mm
Schnittgeschwindigkeit $v_c$	50 m/min; 150 m/min 200 m/min
Bohrtiefe $l_f$	20 mm
MMS-System	LubriLean® Basic
Volumenstrom $\dot{V}_{MMS}$	15 ml/h
Standkriterium	$M_{c,krit.} = 20 \text{ Nm}$

von Minimalmengenschmierung (MMS) durchgeführt. Zur Messung der auftretenden Vorschubkraft  $F_f$  und des Schnittmoments  $M_c$  beim Sacklochbohren wurde der 3-Komponenten-Dynamometer Typ 9255B der Fa. Kistler verwendet. Als Standkriterium wurde ein maximales Schnittmoment  $M_{c,krit.}$  von 20 Nm festgelegt.

Tabelle 3 Legierungsbestandteile des Versuchswerkstoffes G-ALSi12(Cu) [DIN EN 1706]

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Andere	Al
M.-%	10,5 - 13,5	0,8	1,0	0,05 - 0,55	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20	0,25	Rest

## 3 Vergleich von unbeschichteten und ta-C-beschichteten HSS-Wendelbohrer

Zu Beginn wurden die ta-C-beschichteten Bohrer unter den Bedingungen der Richtwertempfehlung für die unbeschichteten Wendelbohrer untersucht (Tabelle 4). Als Ergebnis wurde festgestellt, dass das Standkriterium bei den unbeschichteten Referenzbohrern schon nach der 26. bzw. 40. Bohrung erreicht wurde. Im Gegensatz dazu wurde dieses in den Versuchen C und D mit 4  $\mu\text{m}$  ta-C-Beschichtung nach der 240. bzw. 120. Bohrung nicht überschritten (Tabelle 5). In den nachfolgenden Abbildungen sind das maximale Schnittmoment  $M_{c,max}$  während der Phase des Vollbohrens und die Standmenge  $N$  dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die ta-C beschichteten Bohrer zu Beginn ein ungefähr konstantes Schnittmoment von rund 4 Nm aufweisen, dem gegenüber steigt  $M_{c,max}$  bei den unbeschichteten Bohrern kontinuierlich an und überschreitet das zulässige Schnittmoment und somit



## HSS gehört beim Bohren noch lange nicht zum alten „Eisen“.

das Standkriterium (Abb. 1). Die Standmenge (Abb. 2) wurde von 100% mit unbeschichtetem HSS auf mindestens 600% mit ta-C-beschichtetem HSS erhöht. Dies ist sowohl auf den niedrigen Reibungskoeffizienten der ta-C-Schicht als auch den geringen Verschleiß zurückzuführen.

Tabelle 4 Versuchsbedingungen A, B, C, D

Versuch A	unbeschichtet	$v_c = 50 \text{ m/min}$
Versuch B	unbeschichtet	$f = 0,19 \text{ mm}$
Versuch C	$4 \mu\text{m ta-C}$	$a_p = 4 \text{ mm}$
Versuch D	$4 \mu\text{m ta-C}$	$l_f = 20 \text{ mm}$

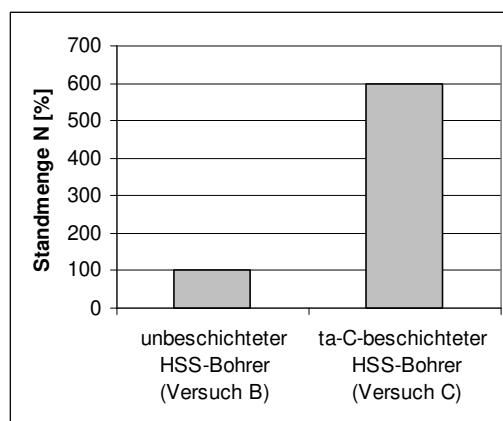
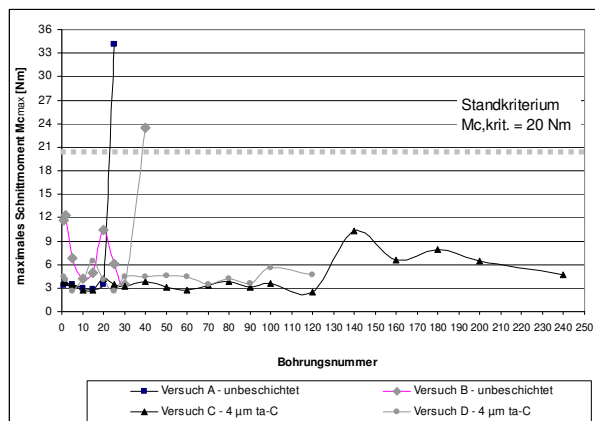


Abbildung 1 max. Schnittmoment  $M_{c,max}$

Abbildung 2 Standmenge

Tabelle 5 Übersicht Standgröße N, Standweg  $L_f$ , Schnittweg  $l_c$  der Versuche A, B, C, D

	Versuch A	Versuch B	Versuch C	Versuch D
Schnittweg $l_c$	68,79 m	105,83m	634,95 m	317,48 m
Standweg in Vorschubrichtung $L_f$	0,52 m	0,8 m	Standkriterium nicht erreicht	Standkriterium nicht erreicht
Standmenge [nach DIN 6583]	$N_{ap 4, Mc 20} = 26$	$N_{ap 4, Mc 20} = 40$	Standkriterium nicht erreicht	Standkriterium nicht erreicht

Auf Grund der positiven Ergebnisse im Vergleich zu den unbeschichteten Wendelbohrern wurde zur Steigerung der Produktivität die Schnittgeschwindigkeit und der Vorschub erhöht (Tabelle 6). Die  $4 \mu\text{m ta-C}$ -Beschichtung, der Werkzeugdurchmesser sowie die Bohrungstiefe der vier Versuche wurden gegenüber den Vergleichsversuchen konstant gehalten. Das Standkriterium  $M_{c,krit.} = 20 \text{ Nm}$  wurde bei einem Vorschub  $f$  von  $0,3 \text{ mm}$  (Versuch F) gleich bei der 1. Bohrung überschritten. Die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit um 300% auf  $v_c = 200 \text{ m/min}$  und die

gleichzeitige Steigerung des Vorschubs von  $f = 0,19 \text{ mm}$  auf  $f = 0,25 \text{ mm}$  (Versuch H) verursachte zwar eine Vorschubkraft- und Schnittmomentenerhöhung, welche aber das Standkriterium nicht überschritten.

Tabelle 6 Versuchsbedingungen E, F, G, H

Versuch E	$v_c = 50 \text{ m/min}$	$f = 0,25 \text{ mm}$
Versuch F	$v_c = 50 \text{ m/min}$	$f = 0,30 \text{ mm}$
Versuch G	$v_c = 150 \text{ m/min}$	$f = 0,19 \text{ mm}$
Versuch H	$v_c = 200 \text{ m/min}$	$f = 0,25 \text{ mm}$

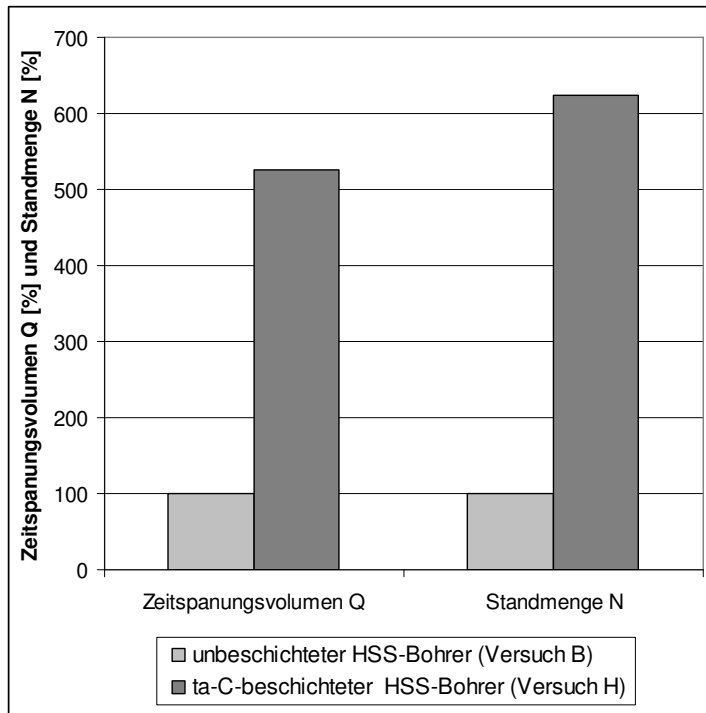


Abbildung 3 Zeitspannungsvolumen und Standmenge von unbeschichteten und ta-C-beschichteten Bohrern

Durch die ta-C-Beschichtung ist somit zum einen ein längerer Werkzeugeinsatz bei gleichen Schnittwerten entsprechend den Richtwerten unbeschichteter HSS-Wendelbohrer möglich.

Zum anderen ist eine Erhöhung der Produktivität durch die Steigerung der Schnittwerte bei gleichzeitiger Maximierung der Standmenge (Abb. 3), das heißt längerem Werkzeugeinsatz gegenüber unbeschichteten HSS-Wendelbohrern ermöglicht worden.

## 4 Zusammenfassung

Das Einsatzverhalten der ta-C-Beschichtung ermöglicht es sowohl die Standmenge N als auch die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und den Vorschub  $f$  gegenüber unbeschichteten HSS-Wendelbohrern signifikant zu erhöhen. Somit konnte das Zeitspannungsvolumens Q von 19 cm<sup>3</sup>/min (Versuch A, B) um mehr als 400% auf 100 cm<sup>3</sup>/min (Versuch H) gesteigert werden.

## 5 Danksagung

Die Autoren danken dem Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) für die finanzielle Unterstützung (Projekt Nummer: 080937862/ PRANO: 1236340295926) sowie der HS Mittweida für die günstigen Rahmenbedingungen.

## 6 Literatur

- |  |  |
|--|--|
| <p>[1] Tikal, F.; Kammermeier, D.: Vollhartmetallbohrer und -fräser: Qualität und Leistungsfähigkeit moderner Schneidstoffe. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1993</p> <p>[2] Pauksch, E. et al.: Zerspantechnik. 12. Auflage – Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2008</p> <p>[3] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren Bohren, Drehen, Fräsen. 8. Auflage – Aachen: Springer-Verlag, 2007</p> <p>[4] Herrmann, M.: Das Konzept des effektiven Indenters für die Ermittlung der</p> | <p>Elastizitätsmoduls und der Fließgrenze dünner Schichten. Chemnitz: Dissertation, 2010 S. 57</p> <p>[5] Weißmantel, S. et al.: Preparation of superhard amorphous carbon films with low internal stress. In: Surface &amp; Coatings Technology – 188-189 (2004) S. 268 – 273</p> <p>[6] Datenbank WIAM®-Metallinfo 2008/2.7/2.2 (Stand: 04.03.2011)</p> <p>[7] DIN EN ISO 4957 : 1999 Seite 24</p> |
|--|--|

## Identifizierung von Mikroorganismen in Ziegenkäse mit MALDI-TOF-MS

Linda Leisering, E-Mail: [linda.leisering@imail.de](mailto:linda.leisering@imail.de), Hochschule Anhalt, Bernburger Straße 55, 06366 Köthen

Dipl.-Ing. (FH) Susann Weinholz, Phone: ++49.3471-355-1198, E-Mail: [s.weinholz@loel.hs-anhalt.de](mailto:s.weinholz@loel.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Prof. Dr. Schellenberg, Email: [i.schellenberg@loel.hs-anhalt.de](mailto:i.schellenberg@loel.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Prof. Dr. Christiana Cordes, Phone: ++49.3496-67-2523, E-Mail: [c.cordes@bwp.hs-anhalt.de](mailto:c.cordes@bwp.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

### Abstract

This study focuses on identification of microorganisms from different kinds of goat cheese by MALDI-TOF-MS (Matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry). Microorganisms from cheese samples will be cultivated and measured with MALDI-TOF-MS. The obtained mass spectra will be compared with database SARAMIS (Anagnostec, Potsdam).

**Keywords:** microorganisms, goat cheese, MALDI-TOF mass spectrometry

Ziel dieser Untersuchungen ist die Identifikation von Mikroorganismen aus Ziegenkäse. Hierbei handelt es sich um unterschiedliche Käsesorten wie Frisch-, Weich- und Hartkäse, deren mikrobielle Zusammensetzung in der Käsureifung untersucht werden sollen. Die Käseproben werden durch Homogenisieren aufgeschlossen und auf Festmedien für 3 Tage bei 30°C kultiviert.

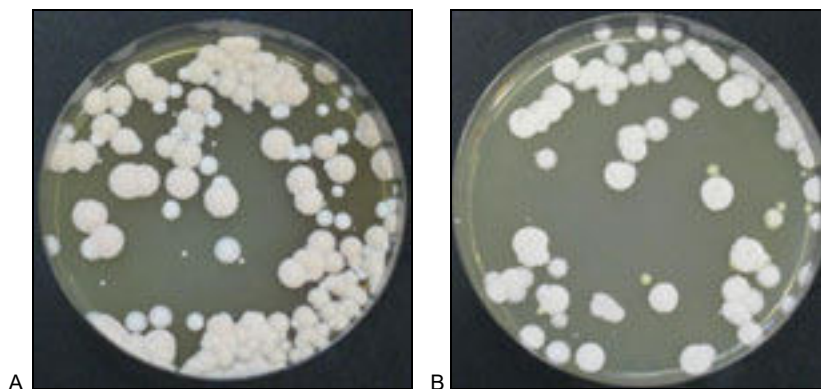


Abb. 1 Wachstum von Mikroorganismen aus Ziegenkäse

(A Weichkäse; B Frischkäse) auf MRS- Agarplatten.

Die Identifikation der Mikroorganismen erfolgt mittels MALDI-TOF-Massenspektrometrie (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionisation time of flight). Hierbei wird Probenmaterial von einer Agarplatte auf ein Target aufgetragen und mit

0,3µl DHB-Matrix (2,5-Dihydroxybenzoesäure) versetzt. Im Massenspektrometer Voyager DE PRO (Applied Biosystems, Forster, USA) werden diese Proben im Hochvakuum angeregt (Abb.3). Die Flugzeiten der Moleküle sind direkt proportional zum Masse-Ladungsverhältnis ( $m/z$ ). Die ribosomalen Proteine der Mikroorganismen können im Masse-Ladungsverhältnis bis 20.000  $m/z$  untersucht werden.



Abb. 2 Probenauftragung bei der MALDI-TOF-MS.      Abb. 3 Massenspektrometer Voyager DE PRO

Die Identifikation der Mikroorganismen im Ziegenkäse ist mittels Abgleich mit der Datenbank SARAMIS (Anagnostec, Potsdam) möglich.

Diese Bachelorarbeit wird in Kooperation mit dem Ziegenhof Pfeiffhausen durchgeführt.

# Integrierte Planung in der frühen Produktentstehungsphase

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Flucke, +49.5361-9-17204, Fax: +49.5361-957-17204,  
Thomas.Flucke@Volkswagen.de, Volkswagen AG, Brieffach 011/13490, 38436 Wolfsburg

## Abstract

Eine Auseinandersetzung mit den Entscheidungsprozessen im Produktentstehungsprozess führt zu einem interessanten Dilemma: Zu Beginn der Produktentstehung können Produkteigenschaften sehr effektiv und in weiten Bereichen beeinflusst werden, es fehlt jedoch an detaillierten Informationen. Zum Ende des Produktentstehungsprozesses stehen die Detailinformationen zur Verfügung, die Beeinflussungsspielräume sind jedoch sehr klein und der Aufwand hierfür sehr hoch.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Entwicklung einer Planungsmethode, die ein Maximum an Entscheidungssicherheit in der Frühen Phase sichert und eine effektive Auswertung verschiedenster zukünftiger Produktvarianten erlaubt. Der Entwurf dieser neuen Planungsmethode orientiert sich dabei eng an den Anforderungen der frühen Phase der Produktentstehung. Die Analyse und Evaluierung der Methode erfolgt am Beispiel einer Demonstrationsanwendung, basierend auf den Daten realer Fertigungsszenarien des automobilen Karosseriebaus.

Besonders die Akzeptanz der neuen Methode ist dabei ein Hauptfokus der Arbeit. Die Ausweisung der Ergebnissicherheit und der zu erwartenden Abweichungen der berechneten Ergebnisse von den realen Planungswerten ist ein Schwerpunkt. Somit wird die notwendige Akzeptanz der Methode im realen Planungsprozess sicherzustellen und ein realer Einsatz ermöglicht.

**Keywords:** Produktentstehungsprozess, Konzeptphase, Digitale Fabrik, Planung, Automobil

## 1 Problemstellung

Die Automobilproduktion stellt eines der wichtigsten wirtschaftlichen Segmente der Bundesrepublik Deutschland dar. Trotz variierender wirtschaftlicher Gesamtsituationen und immer härter werdender Konkurrenz aus dem In- und Ausland, sind die deutschen Automobilhersteller weiterhin ein Garant für innovative, sichere und ökologische Produkte. Der steigende Druck seitens der Märkte lässt sich dabei an vielen Entwicklungen festmachen. Beispielhaft seien die steigende Anzahl von Produkten und Varianten, immer kürzer werdende Entwicklungszeiten und immer anspruchsvollere Kundenprogramme genannt.

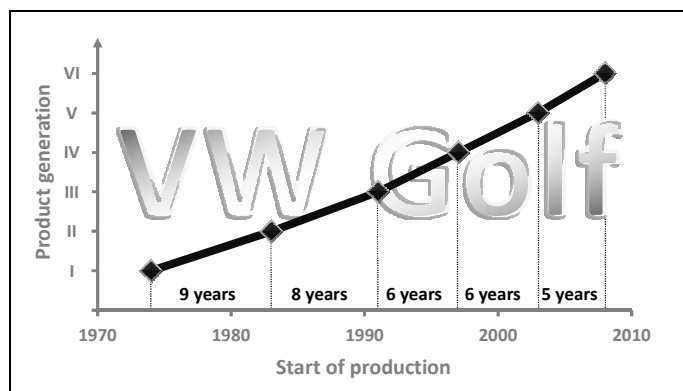


Abbildung 1: Produktanläufe VW Golf

Um auch weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben, ist dabei jeder Volumenhersteller auf eine schnelle und gezielte Reaktion auf absehbare Markterfordernisse angewiesen. Betrachtet man den Produktentstehungsprozess detailliert, so erkennt man zu Beginn dieses Prozesses eine Phase wichtiger Entscheidungen und signifikanter Fest-

legungen - die Konzeptphase. An ihrem Ende ist das zukünftige Produkt konzeptionell beschrieben, auf seine prinzipielle Machbarkeit und seine Wirtschaftlichkeit geprüft wurden.

Bis es soweit ist sind jedoch viele Entscheidungen zu treffen. Für eine richtige Entscheidung benötigt man immer ausreichende und hinreichend richtige Ausgangsinformationen. Besonders in der frühen Produktentstehungsphase beeinflussen die Produktentscheidungen signifikant die Struktur der zukünftigen Fertigungsstätten.

Das Problem erschließt sich, sobald man die Konstellationen der frühen Produktentstehungsphase mit den Anforderungen der nötigen Entscheidungen vergleicht. Es ergibt sich ein Dilemma, dass seit dem Beginn der modernen Produktentstehung Bestand hat:

**Mit undetaillierten Informationen über das zukünftige Produkt müssen möglichst präzise Prognosen der Eigenschaften der zukünftigen Produktionsanlagen ermittelt werden.**

## **2 Zielstellung der Arbeit**

Das Ziel der Forschungsarbeit ist der Entwurf und die Erprobung einer neuen Planungsmethode zur Ermittlung signifikanter Kenngrößen zukünftiger Fertigungsanlagen und Produktionsprozesse. Die Methode soll dabei speziell für die frühen Produktentstehungsphasen aufgebaut und sowohl produkt- als auch branchenneutral sein. Auf Basis der bereits beschriebenen Problemstellung ist dabei besonders auf die undetaillierte und variable Informationslage, sowie eine möglichst flexible Anwendung der Methode zu achten.

Betrachtet man die Vielzahl vorhandener Planungsmethoden für Produktionsprozesse und Fertigungsstätten während des Produktentstehungsprozesses und vergleicht diese mit den tatsächlich im Einsatz befindlichen Methoden, so zeigt sich eine starke Fokussierung auf manuelle und teilautomatisierte Lösungen. Die Ursache für die Ablehnung automatischer Methoden liegt seitens der Fachplaner häufig in einer mangelnden Akzeptanz. Dieser Akzeptanzmangel beruht, nicht zuletzt, auf einer ungeklärten Belastbarkeit der Ergebnisse, da diese in den meisten Fällen durch abstrakte, für den Planer nicht einsehbare, Methoden generiert werden. Der Hauptfokus der zu entwerfenden Planungsmethode muss also in der Absicherung der automatischen Planungsergebnisse und der Ausweisung von Planungsunsicherheiten liegen.

Obgleich die gesamte Arbeit als branchen- und besonders anwenderneutral anzusehen ist, so ist der Bezug zu realen Problematiken und Anwendungsszenarien unabdingbar für den erfolgreichen Entwurf einer verwendbaren Planungsmethode. Besonders für die Aufgabenfelder der Analyse und Evaluierung der Methode ist dieser praktische Bezug unentbehrlich. Der dazu gewählte praktische Bezug bewegt sich im großen Feld der Automobilherstellung. Das Anwendungsfeld beinhaltet Szenarien aus der Produktionsplanung der frühen Produktentstehungsphase. Da ein Planungsszenario der gesamten Fahrzeugproduktion als zu umfangreich anzusehen ist, wurde eine Eingrenzung getroffen. Die exemplarischen Szenarien werden alle im Rahmen des Automobilen Karosseriebaus zu suchen sein. Besonders auf Basis der Vielfältigkeit eingesetzten Fertigungsverfahren und der komplexen Bauteilstruktur wurde als zu untersuchendes Bauteil der Türenrohbau gewählt.

### 3 Methodenentwurf

Basierend auf der Zieldefinition und einer gründlichen Recherchearbeit, wurde die Planungsmethode entworfen. Diese zeichnet sich durch vollständige Automatisierung der Prozessschritte, die Verwendungsmöglichkeit unscharfer Eingangsdaten und die Absicherung der Prognoseergebnisse auf Basis von Realreferenzen aus. Das Ergebnis der Entwurfsarbeit ist das in Abbildung 2 gezeigte Prozessmodell.

Der Kernprozess bestehend aus dem Dateninput, dem Prognosemodell mit angeschlossener Ergebnisvalidierung und dem Datenoutput. Zunächst entspricht er somit in weiten Teilen dem klassischen Modell einer Datenverarbeitung. Besonderheiten liegen im integrierten Ergebnisvalidierungsalgorithmus, der Referenzdatenbank und den beiden Rückkopplungselementen. Besonders diese stellen die Verbindung zwischen der theoretischen Planungsmethode und der realen Planungsarbeit dar. Die Aufgaben der einzelnen Prozesselemente sind dabei wie folgt verteilt:

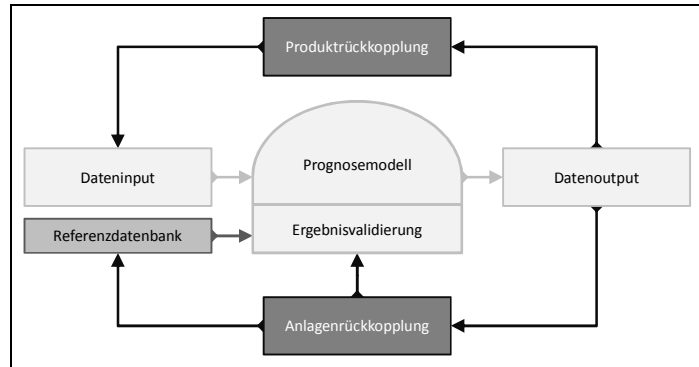


Abbildung 2 - Konzeptentwurf

Die Aufgaben der einzelnen Prozesselemente sind dabei wie folgt verteilt:

#### Dateninput

Aufnahme der Quellinformationen und Zusammenstellung eines integrierten Datenmodells für die Algorithmen des Prognosemodells. Das Hauptaugenmerk liegt wiederum auf der Verwendung unscharfer Daten. Ein geeignetes Produktmodell liefert hierbei die Grundlage zur Erstellung des Datensatzes.

#### Prognosemodell

Umformung der Eingangsinformationen in die Ausgangsinformationen. Hierbei können bestehende Planungs- und Prognosemodell ebenso Verwendung finden, wie neu zu entwickelnde Prognosealgorithmen. Der Dateninput stellt hierzu die passenden Eingangsinformationen über eine Schnittstelle zur Verfügung.

#### Ergebnisvalidierung

Durch Verwendung der Referenzdatenbank und statistischer Methoden, werden sowohl die Güte der Prognosealgorithmen als auch die Konfidenzparameter der berechneten Ergebnisse ermittelt. Zusätzlich können Risiken und Potenziale der prognostizierten Ergebnisse, basierend auf dem Unschärfegrad der Eingangsinformationen, abgeleitet werden. Alle umgeformten Daten werden anschließend dem Datenoutput übergeben.

#### Datenoutput

Es erfolgt eine Aufbereitung der Ausgangsdaten in Form thematisch gegliederter Berichte. Diese werden den Nutzern der Planungsmethode zur Verfügung gestellt und dienen als Arbeitsgrundlage für die Rückkopplungsprozesse.

### **Produktrückkopplung**

Die gewonnenen Erkenntnisse können verwendet werden, um das Produkt nachhaltig positiv zu beeinflussen, indem konsequente Entscheidungen getroffen werden. Diese Änderungen im Produkt führen im Anschluss zu einer Modifikation der Eingangsinformationen. Die somit entstandene erste Rückkopplung schließt den Kreis zwischen der Entscheidungsfindung und den daraus resultierenden Konsequenzen für das Produkt.

### **Anlagenrückkopplung**

Die zweite Rückkopplung schließt eine Lernschleife für den Prognosealgorithmus. Mit jeder realisierten Anlage kann eine Optimierung bzw. Adaption der Berechnungs- und Simulationsparameter durchgeführt werden. Zusätzlich können die Daten realisierter Produkte und Fertigungsanlagen in die Referenzdatenbank eingepflegt werden, um eine Schärfung der Konfidenzparameter zu erreichen.

Eine erste Vorstudie zur Realisierbarkeit der Planungsmethode konnte bereits die prinzipielle Anwendbarkeit nachweisen. Der vollständige Nachweis der Anwendbarkeit unter Verwendung der vollständigen Produkt- und Fertigungsprozesskomplexität erfolgt durch die Umsetzung und Analyse der Planungsmethode in Form einer Demonstrationsanwendung.

## **4 Ausblick**

Die Erstellung der vollständigen Demonstrationsanwendung ist nahezu abgeschlossen. Die folgende Validierung soll die Stabilität der Prozesse und die Aussagekraft der Ergebnisse unter verschiedensten Anwendungsszenarien beweisen. Erfüllt die neue Methode die gesteckten Ziele, so wird ein großer Nutzen für alle Beteiligten der Frühen Phase im Produktentstehungsprozess generiert.

Erkenntnisse für Entwickler: Welche Auswirkungen haben die geplante Fügefolge und Fügeverfahren auf die zukünftige Anlage?

Erkenntnisse für Konzeptplaner: Wie könnte man das Produkt ändern, um eine optimalere Anlagenstruktur oder Auslastung der Betriebsmittel zu erreichen? Welche Parameter kennzeichnen die zukünftige Fertigungsanlage?

Für Entscheidungsträger: Können die gesteckten finanziellen Ziele erreicht werden? Wie wirken sich verschiedene Produkt- und Prämissenszenarien auf die Anlagenstruktur aus?

Entscheidungen in der frühen Produktentstehungsphase können das zukünftige Produkt maßgeblich positiv beeinflussen. Die vorliegende Planungsmethode liefert eine Grundlage für flexible und abgesicherte Entscheidungsprozesse um dieses Ziel zu erreichen.

## **Referenzen**

**Grüning, R. und Kühn, R. 2006.** *Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme*. 2. Auflage. Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2006.

**Pahl, G., et al. 2005.** *Konstruktionslehre*. 6. Auflage. Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2005.

**Pawellek, G. 2008.** *Ganzheitliche Fabrikplanung*. Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2008.



## **Interoperabilitätsanalyse von Transceivern für polymeroptische Fasern**

Stefanie Haupt, Hochschule Harz, Friedrichstraße 57-59, 38855 Wernigerode

Email: s0522425@htw-berlin.de

Matthias Haupt, Email: mhaupt@hs-harz.de

U.H.P. Fischer-Hirchert, Email: ufischerhirchert@hs-harz.de

### *Abstract zum NWK 12*

Polymeroptische Fasern (kurz: POF) halten immer mehr Einzug in optische Kommunikationsnetze, vor allem in Bereichen, in denen nur kurze Distanzen überwunden werden müssen und die Kosten einen entscheidenden Faktor darstellen (z.B. in der Automobilindustrie). Aber auch im Endkonsumerbereich spielt die POF, vor allem im Multimediabereich, eine immer wichtigere Rolle.

Bei den durchgeführten Messungen wurde die effektive Datenrate von fünf unterschiedlichen Transceivern (Medienkonvertern) über wechselnde POF-Übertragungsstrecken ermittelt. Dabei war nicht nur die Übertragungsrate zwischen den Medienkonvertern gleichen Typs von Interesse, sondern auch eine Analyse der Kompatibilitätsmöglichkeiten der verschiedenen Medienkonverter untereinander.

In dem Vortrag werden die Ergebnisse der durchgeführten Messungen für die Medienkonverter der verschiedenen Hersteller verglichen und auf die Interoperabilität der Medienkonverter untereinander eingegangen.

**Keywords:** optische Übertragungssysteme, optische Polymerfaser, optische Messtechnik

## 1 Einführung

Iperf ist ein Kommandozeilenprogramm zum Messen der Performance von Netzwerken. JPerf ist eine in Java entwickelte grafische Oberfläche für iperf. Dieses Programm wird auf zwei PCs gestartet, wobei einem die Funktion des Servers, dem anderen die des Clients zugewiesen ist. Der Server nimmt Verbindungen auf dem TCP-Port 5001 entgegen. Für die Dauer der Messung werden Daten vom Client zum Server übertragen. Es findet also immer eine Art Upload statt.

Jperf bietet für die Durchsatzmessungen unterschiedliche, einstellbare Parameter an. Beispiele dafür sind die Auswahl des Übertragungsprotokolls (TCP/IP oder UDP) sowie die Veränderung der Messdauer. Außerdem kann die Pufferspeichergröße (Buffer Length) umgestellt werden.

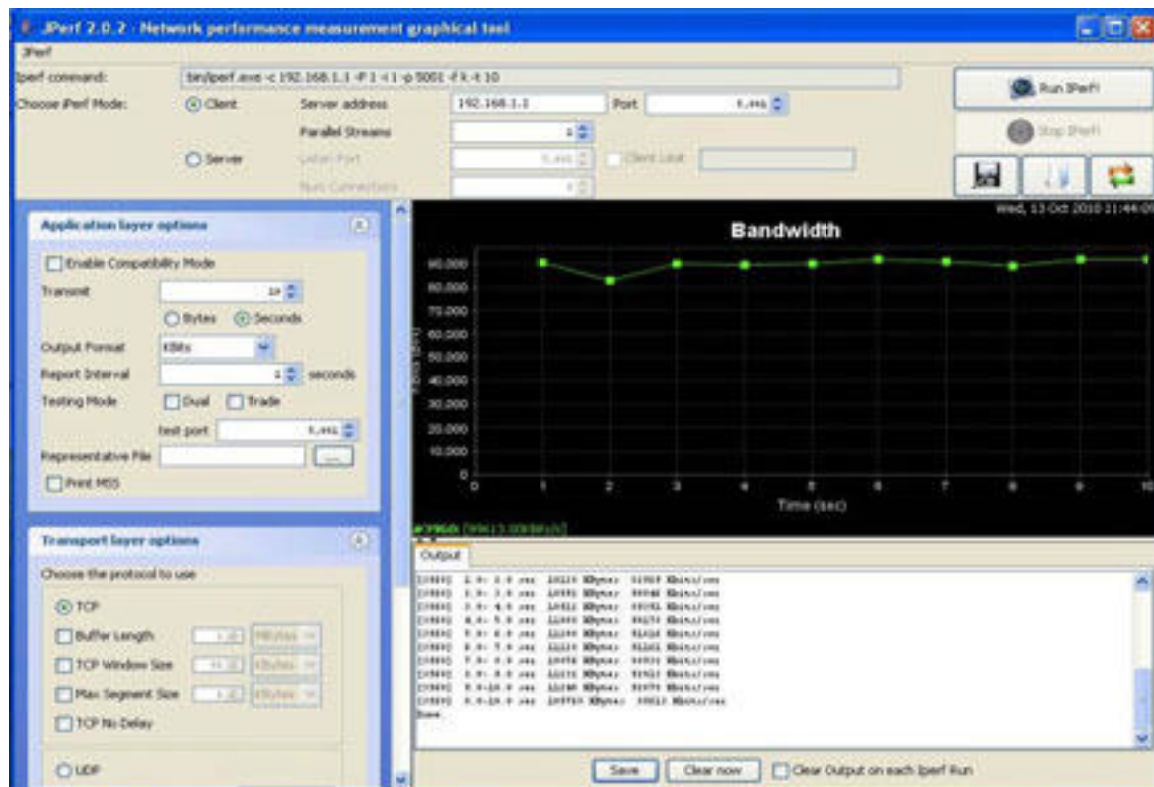
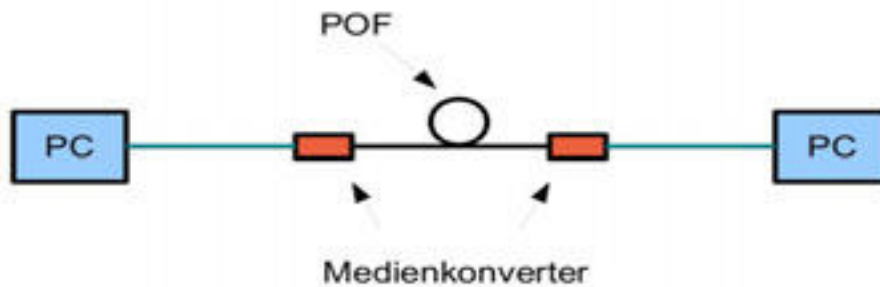


Abbildung 1: JPerf-Ansicht auf der Client-Seite

## 2 Messaufbau



Die Messungen wurden mit einem im Kommunikationstechniklabor entwickelten Zertifizierungs-Aufbau nach der Norm ETSI TS 105 175-1 V1.1.1 (2010-01) durchgeführt, mit dem eine Inhouse-Vernetzung der optischen Polymerfasern simuliert wird. Dabei sind die optischen Polymerfasern mit Hilfe zweier Zylinder aufgewickelt. Diese Zylinder besitzen unterschiedliche Durchmesser und bieten so verschiedene Biegeradien an.

Auf diesen Aufbau werden mehrere optische Polymerfasern gewickelt. Diese unterscheiden sich in Länge und Durchmesser. Alle besitzen ein Stufenindex-Profil. Der Faserdurchmesser variiert zwischen 1,5 mm und 2,2 mm, wobei die 2,2 mm-Fasern nur für simplex Übertragungen aufgebaut sind. Die 1,5 mm-Fasern sind als Duplexfasern ausgelegt. Die Länge der optischen Polymerfasern wird variiert im Bereich von 15 m bis 50 m.

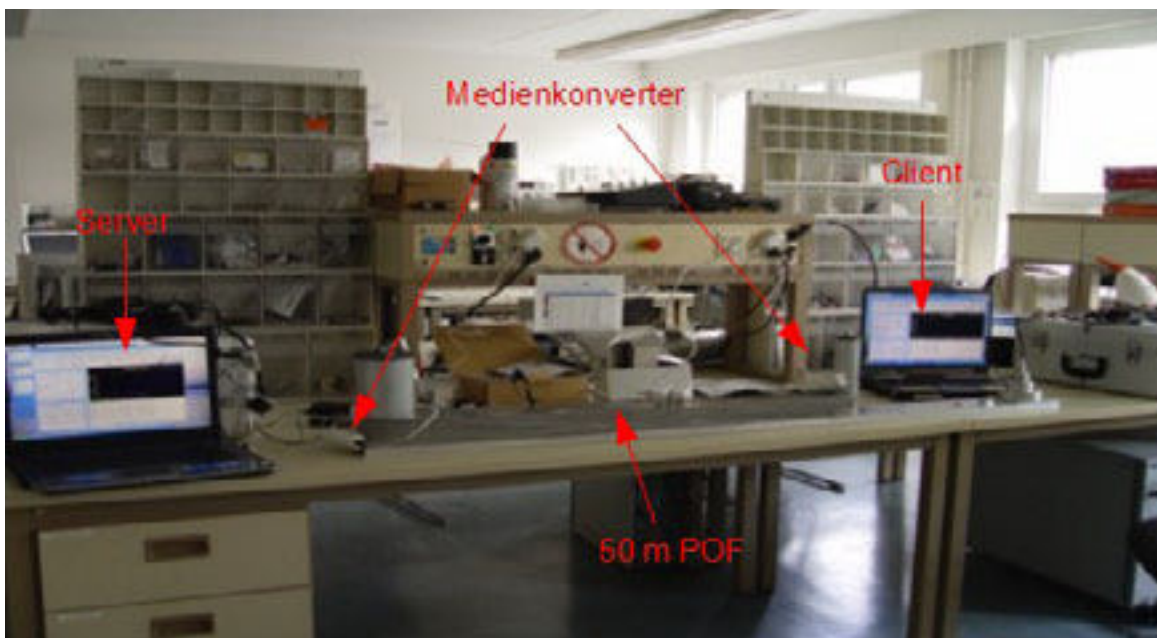


Abbildung 2: Messaufbau mit Jperf

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die fünf getesteten Medienkonverter sind alle ohne Einschränkung in dem Messaufbau (siehe Abb.2) bis zu einer Übertragungslänge von 30 m einsetzbar und bieten Übertragungsraten >90 Mbit/s an, wobei sie ursprünglich eine Übertragungsrate von 100 Mbit/s übermitteln sollten. Ein großer Teil dieser Minderung an Durchsatzrate stimmt mit den Erkenntnissen aus der Back-To-Back-Messung überein. Auffällig ist dort, dass die ursprüngliche Übertragungsrate von 100 Mbit/s auch dann um 7 % abfällt, wenn die beiden PCs mittels Crossoverkabel (CAT 5) direkt miteinander verbunden sind. Nur ein Medienkonverter bietet eine konstante sowie zufriedenstellend hohe Übertragungsrate über eine 50 m-lange Übertragungsstrecke.

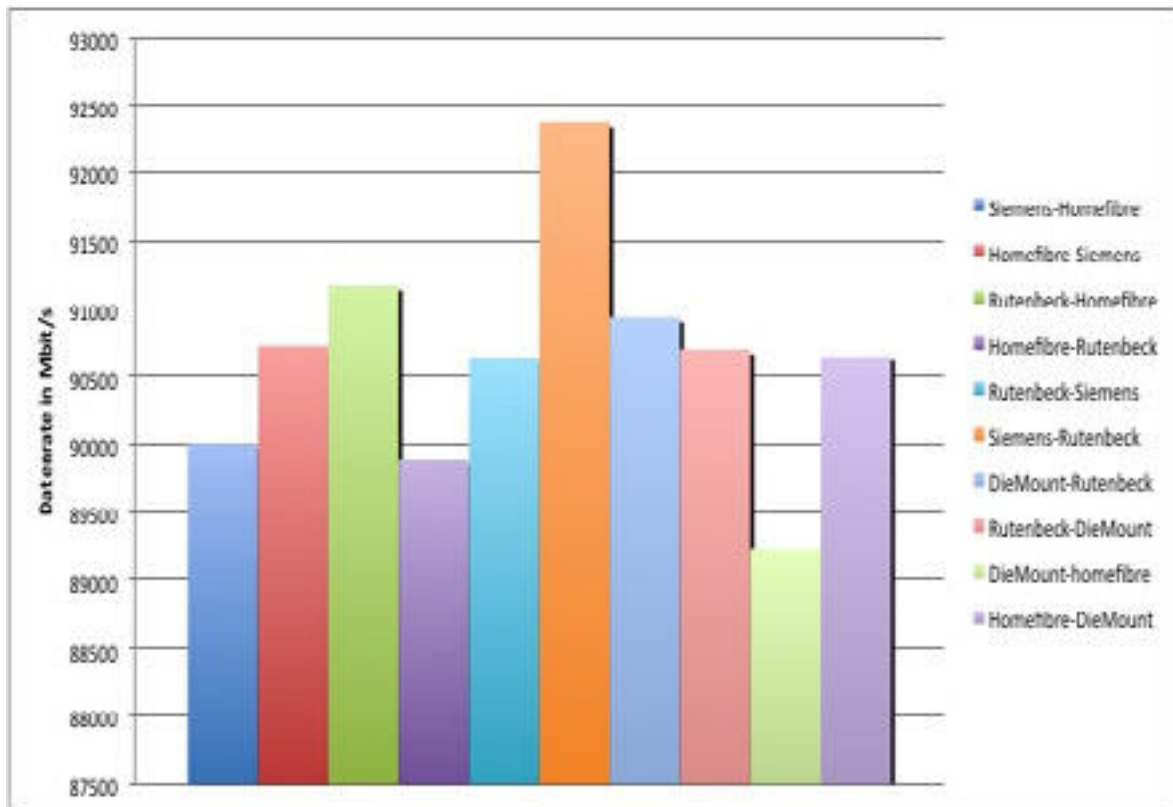


Abbildung 3: Interoperabilitätsanalys für 30 m

Es folgt die Analyse der Interoperabilitätseigenschaften der verschiedenen Transceiver. Dabei wird die Kompatibilität zwischen den Medienkonvertern in allen möglichen Kombinationsmöglichkeiten positiv getestet. Es zeigen sich jedoch Unterschiede in den maximalen Übertragungsraten. Die Messungen lassen erkennen, dass die Gründe dafür einerseits bei der Kombination der gewählten Medienkonverter liegen und zudem damit zusammen hängen, ob z.B. der Medienkonverter A als Sender und der Medienkonverter B als Empfänger eingesetzt wird oder umgekehrt.

# Kernmagnetische $^1\text{H}$ T<sub>2</sub> - Relaxationszeitmessungen zur Kunststoffdiagnostik

Steffen Döhler, Dipl.-Ing. (FH), Phone: +49.3461-46-2810, Fax: +49.3461-46-2192

E-Mail: steffen.doehler@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH), Geusaer Straße 88, 06217 Merseburg

Carsten Schick Tanz, Dipl.-Phys., Phone: +49.3461-46-2941

E-Mail: carsten.schickanz@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH)

Uwe Heuert, Prof. Dr. rer. nat., Phone: +49.3461-46-2189

E-Mail: uwe.heuert@hs-merseburg.de, Hochschule Merseburg (FH)

## Abstract

Kernmagnetische Resonanz, welche auch als NMR (*nuclear magnetic resonance*) bezeichnet wird, kommt vor allem in der medizinischen Diagnostik und der Strukturaufklärung in der Chemie zum Einsatz. Diese Methode eignet sich allerdings auch zur Materialforschung und -untersuchung vor allem auf dem Gebiet der Elastomere. Kernmagnetische Relaxationszeiten korrelieren im Falle von Elastomeren mit der Kettenbeweglichkeit des entsprechenden Werkstoffes. Hierdurch lässt sich NMR z.B. zur Untersuchung der Vernetzungsdichte oder zur Charakterisierung von Alterungszuständen dieser polymeren Materialien einsetzen. In diesem Beitrag wird kurz auf die Grundlagen der NMR-Methode und der T<sub>2</sub>-Relaxation eingegangen. Im Verlauf werden die ersten Ergebnisse von Untersuchungen an ausgelagertem EPDM dargestellt. Die Proben wurden dabei einer Alterung durch Waschlauge unterzogen und mittels der NMR-Relaxationszeitmethode untersucht. Die ersten Ergebnisse zeigen den Zusammenhang zwischen Auslagerungszeit und Relaxationszeit. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen nun in den nächsten Arbeitsschritten mit den Ergebnissen mechanischer Untersuchungen korreliert werden, mit dem Ziel der Entwicklung neuer hybrider Methoden zur Kunststoffprüfung und -diagnostik.

**Keywords:** Kernmagnetische Resonanz, T<sub>2</sub> - Relaxation, EPDM, Kunststoffdiagnostik

## 1 Einleitung

Der Einsatz von Kunststoffen erstreckt sich heutzutage auf fast alle Lebensbereiche und bietet damit ein sehr breites Anwendungsspektrum, welches sich in der Zukunft noch vergrößern wird. Mit einer zunehmenden weltweiten Kunststoffproduktion und einer steigenden Nachfrage nach neuen Einsatzfeldern von Kunststoffen sind die Anforderungen an diesen Werkstoff sehr vielfältig. Die Kunststoffdiagnostik und -prüfung ist dabei ein Instrumentarium zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten und -eigenschaften, welche unterschiedlichste Prüfmethoden bereitstellt. Auch die kernmagnetische Resonanz (*nuclear magnetic resonance*, NMR) eignet sich als eine Methode zur Untersuchung von Kunststoffen. Eine mögliche Untersuchungsvariante sind Relaxationszeitmessungen. Die Relaxationszeit T<sub>2</sub> ist dabei eine wichtige Messgröße zur Charakterisierung von Elastomeren, die mit den Materialeigenschaften gut korreliert. Sie korreliert mit der Segmentsteifigkeit der makromolekularen Ketten, die eine Anisotropie der Molekül- bzw. Segmentbewegungen bedingt. Eine Verteilung der T<sub>2</sub> -Zeiten ist prinzipiell anzunehmen. In der vorgestellten Arbeit wurden derartige Untersuchungen an Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) durchgeführt. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass sich die Methode der kernmagnetischen Resonanz als Untersuchungsmethode für die Kunststoffprüfung und -diagnostik eignet.

## 2 Grundlagen NMR-Methode und $T_2$ - Relaxation

Die Methode der kernmagnetischen Resonanz ist sehr gut in der chemischen Analytik und der medizinischen Diagnostik etabliert. Sie basiert auf der Tatsache, dass eine große Anzahl von Isotopen einen Kernspin besitzt, welcher ein magnetisches Moment bewirkt. Wird eine Probe in ein starkes statisches Magnetfeld  $B_0$  gebracht, drehen sich die Spins in Form eines Doppelpräzisionskegels um die Richtung des magnetischen Feldes. Dieser Effekt wird als Larmor-Präzision bezeichnet und beruht auf dem Kern-Zeeman-Effekt. Neben dem statischen Magnetfeld wirkt während des Experimentes ein oszillierendes Magnetfeld in Form eines Hochfrequenzpulses kurzzeitig auf die Probe ein, welcher die Kernspins um einen bestimmten Winkel kippt. Die resultierende Gesamtmagnetisierung  $M_0$  der Probe befindet sich vor dem Experiment im Gleichgewicht senkrecht zur Richtung des statischen Magnetfeldes. Diese Magnetisierung wird als longitudinale Magnetisierung bezeichnet und im Experiment um  $90^\circ$  in die transversale x,y-Ebene gedreht. Die transversale Magnetisierung  $M_{xy}$  wird nach Abschalten des HF-Impulses als Funktion der Zeit gemessen. Im Zeitsignal kann eine exponentielle Abnahme der Magnetisierung beobachtet werden, welche durch Relaxationsprozesse bedingt wird und durch die Relaxationszeiten  $T_1$  und  $T_2$  beschrieben werden kann.  $T_1$  ist hierbei die longitudinale oder Spin-Gitter-Relaxationszeit.

Ein starker Relaxationsprozess ist die Spin-Spin-Wechselwirkung im Inneren der Probe, die durch die Relaxationszeit  $T_2$  (auch transversale Relaxationszeit genannt) beschrieben wird. Die Relaxationszeit  $T_2$  hängt direkt von der molekularen Beweglichkeit der Probe ab. Eine höhere Mobilität verringert diese Wechselwirkung; die Relaxationszeit  $T_2$  vergrößert sich [1, 2].

Elastomere Compounds enthalten meist eine hohe Anzahl von Wasserstoff-Kernen, die leicht mit der NMR-Methode nachgewiesen werden können. Der Zerfall der transversalen Magnetisierung, als Funktion der Zeit gemessen, bietet Informationen über die Mobilität der Fraktionen von Ketten im Inneren der Probe. Die  $T_2$ -Relaxationszeit ist aus dieser Funktion mit Hilfe von mathematischen Modellen bestimmbar [3, 4, 5]. Von Elastomeren detektierte Zeitsignale können z.B. mit der gestreckten Exponentialfunktion  $a_0 * \exp\{-(t / T_{2\text{eff}})^b / b\}$  [8] gefittet werden, da die Länge der Netzketten einer statistischen Verteilung unterliegen. Diese Verteilung lässt sich gut mit einer derartigen Exponentialfunktion annähern. Bei Raumtemperatur korreliert  $T_{2\text{eff}}$  hierbei mit der Vernetzungsdichte, der Glas temperatur und damit auch dem E-Modul [6].

## 3 $T_2$ - Relaxationszeitexperimente an EPDM

Das Untersuchungsmaterial aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk wurde über einen Zeitraum von 500h in Waschlauge ausgelagert. Zu verschiedenen Zeitpunkten der Auslagerung wurden Proben entnommen und diese in  $3 \times 3 \text{mm}^2$  Stücke mit einer Dicke von 0,5mm geschnitten. Die EPDM-Stücke wurden in ein gläsernes NMR-Probenrohr gegeben und bei einer Temperatur von  $30^\circ\text{C}$  gemessen. Die Messung des transversalen Zerfalls der Magnetisierung wurde unter Verwendung einer Hahn-Spin-Echo-Sequenz mit Variation der Spin-Echo-Zeit  $t_E$ , wurden an einem 300MHz Varian-Spektrometer Gemini 2000 durchgeführt. Die Echozeiten wurden zwischen 200us und 13ms in 32 Schritten variiert, wobei jede Messung 5-mal pro Probe durchgeführt wurde. Der Vergleich verschiedener Relaxationskurven zeigte eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

## 4 Ergebnisse

Die ermittelten  $T_2$ -Relaxationskurven zeigen einen gestreckt exponentiellen Zerfall der transversalen Magnetisierung  $M(t)$  für die unterschiedlichen Auslagerungszeiten von EPDM. Dabei wurden die Kurven auf das Maximum der Magnetisierung genormt und zur besseren Darstellbarkeit mit dem Faktor 1000 multipliziert. Die Ordinatenachse ist logarithmisch eingeteilt, um eine bessere Bewertbarkeit der Kurven bei größeren Echozeiten  $t_E$  zu gewährleisten.

Die Kurven der transversalen Zerfälle wurden mit der gestreckten Exponentialfunktion gefittet und auf diese Weise  $T_{2\text{eff}}$  ermittelt. Der Zusammenhang zwischen der Auslagerungsdauer und den  $T_{2\text{eff}}$ -Werten zeigt Abbildung 1. Zu erkennen ist, dass ausgehend von einer unbehandelten Referenzprobe (EPDM REF), die mit dem Zeitpunkt 0h der Auslagerung angegeben ist, die  $T_{2\text{eff}}$ -Relaxationszeiten ansteigen und im Verlauf der Auslagerung leicht schwanken, allerdings den Wert der Referenzprobe nicht mehr erreichen. Der Anstieg der gemessenen Relaxationszeiten kann mit einem Anstieg der molekularen Beweglichkeit des Probenmaterials begründet werden, die Folge der Auslagerung ist. Durch die Waschlauge wird der Kunststoff mit fortschreitender Zeit geschädigt und es kommt zur Auflösung der Netzknotten und damit zu einer Verringerung der Netzknottedichte im Material. Diese äußert sich in der Zunahme der molekularen Beweglichkeit und einem damit verbundenem Anstieg der  $T_{2\text{eff}}$ -Relaxationszeiten. Die Schädigung des Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk durch die Auslagerung in Waschlauge konnte somit mittels  $T_2$ -Relaxationszeitmessungen nachgewiesen werden und bietet dadurch ein großes Anwendungsspektrum der NMR in der Kunststoffprüfung und -diagnostik.

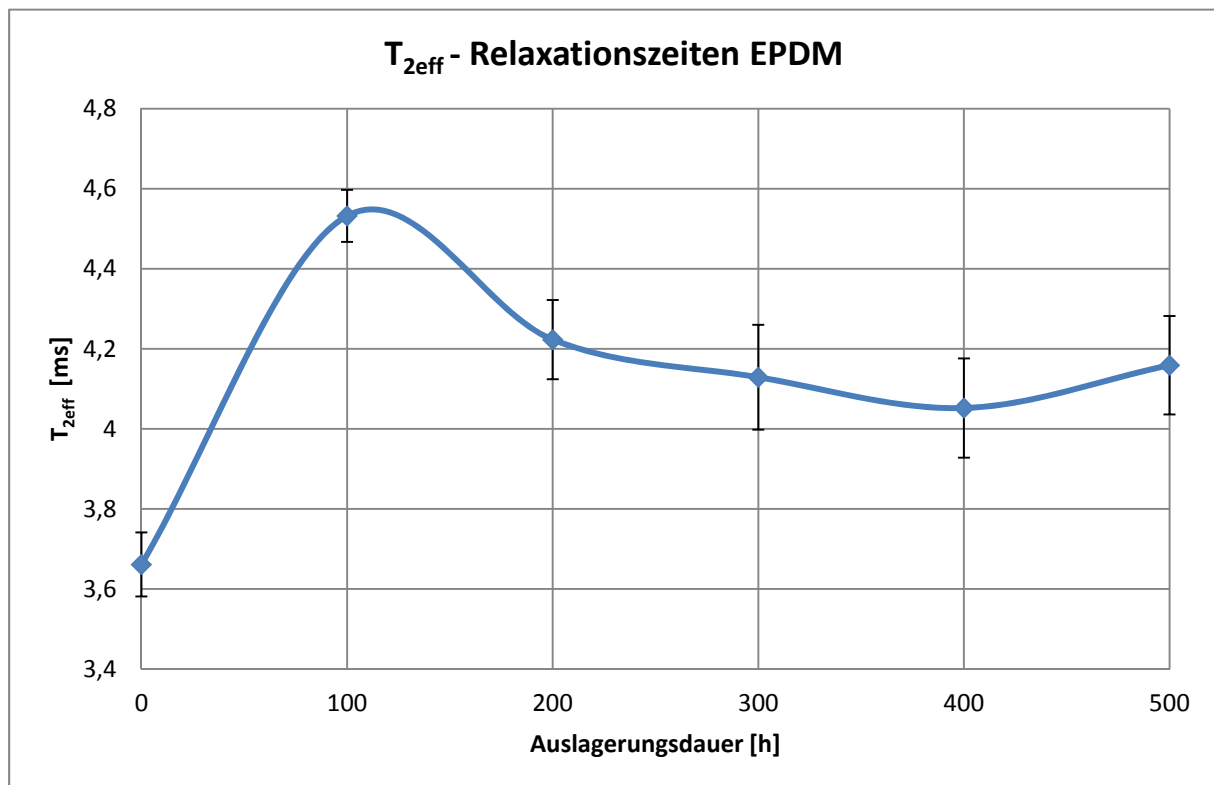


Abbildung 1:  $T_{2\text{eff}}$  - Relaxationszeiten von EPDM in Abhängigkeit von der Auslagerungsdauer

## 5 Ausblick

Diese Arbeit stellt die ersten Teilergebnisse im Hinblick auf die Anwendung dieser Methode in dem speziellen Feld der Kunststoffdiagnostik vor. Folgen sollen weitere Untersuchungen mit Modellsystemen und real eingesetzten Kunststoffprodukten. Ziel der weiteren Arbeiten ist auch die Korrelation der mittels der NMR-Relaxation gewonnenen Ergebnisse mit denen mechanischer Untersuchungen, um neue Erkenntnisse auf dem Sektor der Kunststoffprüfung bzw. -diagnostik zu erlangen und die Methode der Kernmagnetischen Resonanz (NMR) einem breiteren Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten zuzuführen. Hierbei wird vor allem auf mobile „in process“ Anwendungen fokussiert, welche auch zur Qualitätskontrolle von Kunststoffprodukten eingesetzt werden können. Die „in situ“ Kombination von NMR Untersuchungen mit mechanischen Verfahren und damit die Schaffung neuer hybrider Methoden zur Kunststoffprüfung bzw. -diagnostik ist geplant.

## Danksagung

Die Autoren danken der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Wolfgang Grellmann vom Zentrum für Ingenieurwissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Bereitstellung und die Auslagerung des Probenmaterials.

## Literatur

- [1] T.D.W Claridge  
*High-Resolution NMR Techniques in Organic Chemistry Second Edition*,  
Elsevier Science, Oxford, 2009
- [2] B. Blümich  
*NMR Imaging of Materials*, Clarendon Press, Oxford, 2000
- [3] U.Heuert, M. Knörger, H. Menge, G. Scheler, H. Schneider  
*New aspects of transversal <sup>1</sup>H-NMR relaxation in natural rubber vulcanizates*,  
*Polymer Bulletin* 37, 489-496, 1996
- [4] M. Knörger, U. Heuert, H. Schneider, P. Barth, W. Kuhn  
*Spatially resolved and integral NMR investigation of the aging process of carbon filled natural rubber*, *Polymer Bulletin* 38, 101-108, 1997
- [5] V. M. Litvinov  
*Characterization of Chemical and Physical Networks in Rubbery Materials Using Proton NMR Magnetization Relaxation*, V. Litvinov, P. Dee, eds.,  
*Spectroscopy of Rubber and Rubbery Materials*, Rapra Press, Sheffield, 2002
- [6] V. Herrmann, K. Unseld, H.-B. Fuchs, B. Blümich  
*Molecular Dynamics of Elastomers investigated by DMTA and the NMR-MOUSE®*, *Colloid Polym. Sci.* 280, 758-764, 2002



# Lernmöglichkeiten und -beschränkungen in der Freiarbeit am Beispiel einer Montessori-Grundschule in Sachsen

B.A. Melanie Lubke, Phone: ++49.173-9230742, E-Mail: melanie.lubke@googlemail.com, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

## Abstract

In Anlehnung an Holzkamps subjektwissenschaftliche Lerntheorie wurden in der Bachelor-Arbeit die Lernbedingungen in der Freiarbeit einer sächsischen Montessori-Grundschule qualitativ untersucht, und zwar hinsichtlich der Möglichkeiten, die sie zum subjektiven Lernen eröffnen oder beschränken. Der Spielraum zur Verfolgung der eigenen Frage diente als zentrales Bewertungskriterium. In zwei altersheterogenen Schulgruppen wurde während der Freiarbeit je eine bzw. zwei Woche(n) hospitiert. Die Lernbedingungen der Schüler und Lehrkräfte wurden mittels teilnehmender Beobachtung, problemzentrierter Leitfadenterviews mit beiden Gruppenlehrerinnen und der Schulleitung sowie mit einem Kindergruppeninterview erfasst und analysiert. In den Gruppen stellte sich eine unterschiedliche Freiarbeitsgestaltung heraus. Beide Ausprägungen der Freiarbeit hielten Erweiterungen der Lernmöglichkeiten bereit. Die Schüler konnten u.a. mehr als im Regelunterricht über ihre Zeitverwendung und den Gruppenraum verfügen. Die Verfügungserweiterung beinhaltete das Potential zur besseren Bearbeitung subjektiver Lerninteressen. Daneben ermöglichte die Jahrgangsmischung die gegenseitige Hilfestellung unter den Schülern und Anregungen zur Beantwortung eigener Fragen. Beschränkungen des subjektiven Lernens wurden in der Noteneinführung ab der vierten Klasse und in der begrenzten Bearbeitungszeit von Pflichtaufgaben sichtbar.

**Keywords:** Schule, Montessori, Klaus Holzkamp, Lernen, Subjekt, Freiarbeit, Wochenplan, leitfadengestütztes Interview, teilnehmende Beobachtung, Kindheitsforschung, Schulforschung

## 1 Einleitung

Diskussionen darüber, welche Lernbedingungen für Schüler als „gut“ gelten, gibt es nicht erst seit den PISA-Studien und den Reformüberlegungen<sup>1</sup> im Bildungswesen. Dieser Beitrag fokussiert in diesem Zusammenhang bewusst eine bestimmte Facette: die der Lernbegründungen. Warum lernen Schüler? Klaus Holzkamps (1995) subjektwissenschaftliche Lerntheorie zeigt, wie der *Lehrlernkurzschluss*<sup>2</sup> und schulische Strukturen über Raumanordnung, Zeitverwendung, Überwachung und Leistungsbeurteilung *defensiv begründetes Lernen* nahe legen (d.h. dass Schüler nur lernen, um die Einschränkung ihrer Lebensqualität, v.a. durch Noten, abzuwenden). Dabei ist Lernen eine Form, sich selbstständig zu machen und müsste im Interesse der Lernenden liegen. Ich wollte erfahren, welche Bedingungen den Schülern *expansiv begründetes Lernen* ermöglichen (d.h. lernen, um eigene Fragen zu beantworten und die Verfügung über persönliche Lebensbedingungen zu erweitern), wie Schule im Interesse der Lernsubjekte sein sollte.

Inwieweit ist es möglich, die von Holzkamp skizzierten lernbeschränkenden Bedingungen der Regelschule in einer reformpädagogischen Schule aufzuheben? Oder werden die Beschränkungen nur verlagert? Kann eine reformpädagogische Schule eher Raum für *expansiv begründetes Lernen* bieten? Diesen Fragen ging ich in meiner Bachelor-Arbeit (Lubke 2010) nach. Dafür untersuchte ich beispielhaft eine Grundschule in Sachsen, die sich am Montessori-Ansatz orientiert. Speziell die Frei-

---

1 Der Film „Treibhäuser der Zukunft“ (Kahl 2004) veranschaulicht, wie Schüler in alternativen Schulen selbstständig und mit Freude lernen. Dabei erbringen sie auch noch bessere Leistungen.

2 Übliche Annahme: was gelehrt wird, wird auch automatisch gelernt. Laut Holzkamp ist jedoch zum Lernen die Übernahme der Anforderung als subjektive Lernproblematik nötig.

arbeit wurde daraufhin betrachtet, wie diese besonderen Lernbedingungen die Schüler in der Verfolgung der eigenen Fragen unterstützen oder behindern.

## 2 Forschungsfrage und -design

In der Untersuchung sollte folgende Frage beantwortet werden: Legen die Lernbedingungen den Schülern nahe, eigene Fragen zu entwickeln bzw. zu vertiefen oder raten sie den Kindern an, subjektive Lerninteressen zu vernachlässigen und fremdgesetzte Lernanforderungen nur zu bewältigen? Zur Beantwortung wurde ein qualitatives Forschungsdesign gewählt, das dem Gegenstand mit großer Offenheit begegnen und eher den subjektiven Umgang mit den Bedingungen einfangen konnte.

## 3 Erhebungs- und Auswertungsmethoden

Die Fragestellung im Feld „Montessori-Grundschule“ war explorativer Natur, sodass sich zur Rekonstruktion des Alltagshandelns der Schüler in der Freiarbeit die ethnografische Feldforschung anbot. Während eines Praktikums im Sept. 2009, dem ein Literaturstudium<sup>3</sup> vorgelagert war, führte ich *teilnehmende Beobachtungen* durch. Über Holzkamps (1995) subjektwissenschaftliche Lerntheorie wurde die Fragestellung konkretisiert und der Beobachtungsfokus festgelegt (Raum-/ Zeitgestaltung, Umgang der Schüler mit den Aufgaben, Interaktion Lehrkräfte-Schüler). Die erforschten Gruppen wählte ich gemäß dem Theoretical Sampling aus. Barbara<sup>4</sup>, ehemalige Regelschullehrerin, arbeitete erst ein Jahr an der Montessori-Grundschule und leitete die Gruppe 1 (Begleitung für die ersten zwei Wochen). Petra, seit Jahren im Umgang mit Montessori-Pädagogik erprobt, war Lehrerin der Gruppe 2 (Begleitung für eine Woche). Die verschiedenen beruflichen Voraussetzungen ließen einen differenten Umgang mit der Freiarbeit erwarten. Die Beobachtungsaufzeichnung erfolgte nach dem Protokoll von Przyborski / Wohlrab-Sahr (2008, S. 63). Anfangs wurde alles Auffällige in der Gruppe, später stets ein Kind separat beobachtet, um zu erfahren, warum es sich mit welcher Aufgabe beschäftigte. In *problemzentrierten Experteninterviews* bat ich beide Lehrerinnen und die Schulleiterin um Beschreibung der Lernbedingungen der Freiarbeit. So konnte ich die Hintergründe ihres pädagogischen Handelns erfahren und ein umfassenderes Bild von den Lernbedingungen erhalten. Die zuvor in einem Leitfaden gesammelten Fragen behandelten Zeitressourcen, Jahrgangsmischung, Freiheiten der Kinder, Tests, Bewertungen und den Umgang mit Störungen. Um die Sichtweise der Schüler einzufangen, wurde zudem ein *Kindergruppeninterview* mit der Hälfte aus Barbaras Gruppe durchgeführt. Die Kinder konnten sich aus dem Unterricht (Realgruppe), sodass von einer erhöhten Kommunikationsbereitschaft auszugehen war. Die Interviews wurden mittels Diktiergerät aufgenommen und transkribiert.

Zur Komprimierung der Interviews wurden *inhaltliche Verläufe* (vgl. Nohl 2006, S. 67) angefertigt, die mit Interpretationsansätzen kommentiert wurden. Die Gesprächsstrukturen hob ich durch Schlagwortmarkierungen im Transkript hervor. Aussagen eines Abschnitts wurden am Rand als *Kategorien* zusammengefasst. Zudem wurden

---

<sup>3</sup> Auseinandersetzung mit dem Schulkonzept und mit Montessori (Hedderich 2005, Montessori/Becker-Textor 2006).

<sup>4</sup> Die Namen der Schule, der Lehrkräfte und der Schüler wurden anonymisiert.

die *Beobachtungsprotokolle* digitalisiert, durch weitere Erinnerungen an die jeweiligen Situationen ergänzt und Interpretationsansätze hinzugefügt.

Im nächsten Auswertungsschritt wurde der *Fokus auf* die Hauptfragestellung, die *Freiarbeit*, gelegt. Zur genaueren Analyse wurde das Material mehrmals anhand von Auswertungsfragen durchgegangen, welche v.a. dem Interviewleitfaden entsprachen oder sich aus dem Material ergaben. Alle zu einem Thema gehörigen Textstellen (z.B. Beschreibung der Freiarbeit, Jahrgangsmischung, Bewertungen, Tests etc.) wurden gesammelt und in diesem neuen Zusammenhang gelesen. Der Ablauf der Freiarbeit in beiden Gruppen wurde anschließend in *Falldarstellungen* beschrieben.

Schließlich erfolgte die *Analyse der Lernbedingungen* der Freiarbeit bzgl. der Möglichkeiten und Grenzen für die Schüler, eigene Fragen zu verfolgen. Angelehnt an Holzkamps Lerntheorie legte ich als Auswertungselemente einerseits die „Wochenplanarbeit“ als bestimmendes Element der Freiarbeit fest (mit Verfügung über die Zeit, das Material, den Raum, Jahrgangsmischung sowie Umgang mit Störungen). Andererseits wurde die „Leistungsbewertung“ analysiert, da sie aufgrund der Selektionsprozesse und der Bedrohung der Lebensqualität ein typisches Merkmal zur Förderung defensiv begründeten Lernens darstellt.

## **4 Zentrale Ergebnisse**

Trotz gleicher konzeptioneller Bedingungen beider Gruppen in der Freiarbeit<sup>5</sup>, zeigen die Falldarstellungen verschiedene Ausprägungen. Denn jede Lehrerin, jede Gruppe ging z.T. anders mit diesen Lernbedingungen um. Die Analyse der Lernbedingungen offenbarte eine vielseitige Erweiterung der subjektiven Lernmöglichkeiten in der Freiarbeit beider Gruppen im Verhältnis zum von Holzkamp skizzierten Regelunterricht. So ließ sich allgemein eine *größere Verfügung über die Zeit* für die Schüler verzeichnen. Die größeren Zeitressourcen (3x45 min. als Block, Bearbeitung einer Aufgabe innerhalb eines Zeitfensters) ermöglichten eine Fortführung von unterbrochenen Aufgaben. Zudem konnten sie entscheiden, wann und in welcher Reihenfolge sie zuvor bestimmte Aufgaben erledigten, was eine Bedingung ist, um eigenen Fragen nachzugehen. Die Nutzung von Lernverträgen<sup>6</sup> in Gruppe 2 erweiterte mutmaßlich erneut den zeitlichen Rahmen zur Aufgabenbearbeitung im Vergleich zu Wochenplanaufgaben<sup>7</sup> in Gruppe 1 und ermöglichte so mehr Variationen der freien Zeiteinteilung. Dennoch war die freie Zeitverwendung begrenzt durch Rahmenbedingungen, auf die die Schüler keinen Einfluss hatten (z.B. Pausenregelung, Pflicht zur Beendigung von Aufgaben innerhalb einer bestimmten Zeitspanne). Daneben ergab sich eine *größere Verfügung über das Material und den Gruppenraum*, da sich die Schüler passende Gegenstände nehmen durften und damit potentiell besser eigene Fragen beantworten konnten. Die Lehrperson musste jedoch zunächst das Material bereitstellen und erklären. Eigenes Material von zuhause mitzubringen, war nicht vorgesehen. Damit wurde der *Lehrlernkurzschluss* reproduziert: die Institution behielt sich vor zu wissen, wie die Schüler am besten lernen. Einführungen in neues Material erfolgten alters-

---

<sup>5</sup> Die Freiarbeit stellte eine von zwei weiteren Unterrichtsformen in der untersuchten Ganztagschule in teilweise gebundener Form dar: Fachunterricht und Studienzzeit.

<sup>6</sup> Aufgaben sollten bis zum ausgehandelten Termin, z.B. vor den nächsten Ferien, erledigt sein.

<sup>7</sup> Freiarbeitsaufgaben sollten jeweils bis Freitag erledigt sein.

homogen (Gruppe 1) oder altersheterogen (Gruppe 2), wodurch sie unterschiedlich gut an die Lernproblematiken der Schüler anknüpfen könnten.

Die Jahrgangsmischung und das Patenschaftssystem ermöglichten die *gegenseitige Anregung und Unterstützung beim Lernen*, weil sie die Hemmschwelle herabsetzten, jemanden um Hilfe zu bitten oder Ideen zur Bearbeitung der eigenen Frage liefern konnten. Die befragten Kinder mochten die Freiarbeit und nannten als Vorteile: sich ausruhen können, freie Wahl bei der Reihenfolge von Aufgaben, andere Kinder fragen können. Die Schüler erfuhren jedoch auch *Beschränkungen* ihres subjektiven Lernens, die einerseits auf gesetzlichen Grundlagen beruhten (z.B. Noteneinführung spätestens in der vierten Klasse, Regelungen zur Versetzung in die nächsthöhere Klassenstufe), andererseits von der Schule bzw. den Lehrkräften selbst bewirkt wurden. Hierzu zählte neben der zeitlichen Begrenzung zur Bearbeitung von (Pflicht-) Aufgaben auch die Durchführung von Tests, die über Noten oder die Punktetabelle direkt oder indirekt in die Vergleichbarkeit von Schülern münden konnten.

## 5 Grenzen der Untersuchung

In dieser Bachelor-Arbeit war die Konzentration auf einen theoretischen Zugang möglich: die subjektwissenschaftliche Lerntheorie. Sie strukturierte sowohl das Vorgehen als auch die Analyse des Materials. Dadurch konnte ich die Lernbedingungen in der Freiarbeit aus der Perspektive der Schüler betrachten. Das Hinzuziehen weiterer Theorieansätze hätte die Interpretation aber sicherlich bereichert.

Die Arbeit erlaubte einen Vergleich verschiedener pädagogischer Handlungsweisen in zwei Gruppen. Die Freiarbeitsgestaltung ist jedoch mit den Lehrpersonen konfundiert, sodass hier stärker herausgearbeitet werden müsste, wie die Persönlichkeit der Lehrkraft die Lernmöglichkeiten der Freiarbeit beeinflusst. Daneben wurden bisher zwar Potentiale der Lernbedingungen aufgezeigt, aber nicht ausreichend analysiert, ob sie auch von den Kindern genutzt wurden und wovon diese Nutzung abhängt. Pädagogische Grenzsetzungen sollten nicht nur als „lernbehindernd“ betrachtet werden. Denn gerade im Freiarbeitskonzept nach Montessori können sie im Sinne der Polarisierung der Aufmerksamkeit notwendig für den Lernprozess sein.

Die Untersuchung *einer* Grundschule genügt für das explorative Vorgehen. Für verallgemeinerbare Schlüsse aber müssten mehrere Montessori-Schulen, über Fragebögen oder Leitfadenterviews, untersucht werden. Die Merkmale des Regelunterrichts stützten sich auf Holzkamps Schulanalyse. Zum validen Vergleich von Freiarbeit und Regelunterricht sollte man daneben Regelschulen empirisch untersuchen.

## Literatur

- Hedderich, I. (2005): *Einführung in die Montessori-Pädagogik. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung* (2. Aufl.). München, Basel: E. Reinhardt.
- Holzkamp, K. (1995): *Lernen. Subjektwissenschaftliche Grundlegung* (Studienausg.). Frankfurt a.M.: Campus.
- Kahl, R. (2004): *Treibhäuser der Zukunft. Wie in Deutschland Schulen gelingen*. Eine Dokumentation. 3 DVDs. Weinheim: Beltz.
- Lubke, M. (2010): *Lernmöglichkeiten und -beschränkungen in der Freiarbeit einer Montessori-Grundschule in Sachsen*. Bachelor-Arbeit. Hochschule Magdeburg-Stendal, Standort Stendal.
- Montessori, M./ Becker-Textor, I. (2006): *10 Grundsätze des Erziehens* (4. Aufl.). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Nohl, A.-M. (2006): *Interview und dokumentarische Methode. Anleitungen für die Forschungspraxis*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Przyborski, A. / Wohlrab-Sahr, M. (2008): *Qualitative Sozialforschung. Ein Arbeitsbuch*. München: Oldenbourg.

# Macintosh based iPhone forensics

Thomas Höne, Phone: +49-162-1311096, E-Mail: hoene@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg – University of Applied Sciences, Magdeburger Straße 50, D-14770 Brandenburg, Germany

Reiner Creutzburg, Phone: +49-3381-355442, E-Mail: creutzburg@fh-brandenburg.de, Fachhochschule Brandenburg - University of Applied Sciences, Magdeburger Straße 50, D-14770 Brandenburg, Germany

The aim of this article is to show the usefulness of Mac OS X based open source tools for forensic investigation of modern iPhones. It demonstrates how important data stored in the iPhone is investigated. Two different scenarios of investigations are presented that are well-suited for a forensics lab work in university. This work shows how to analyze an Apple iPhone using open source and freeware tools. Important data used in a forensics investigation, which are possibly stored on a mobile device are presented [8][9].

*Keywords: Apple iPhone, iPhone forensics, mobile forensics, Mac OS X forensics*

## 1 Introduction

Mobile phones are often a part of criminal activity. With an analysis of the data and files on a mobile device it is possible to investigate such criminal activities. It is most important to ensure the integrity of the evidence in such cases. In 2007 Apple revolutionized the market of mobile phones. The company sold 14.1 million iPhones in the last quarter of 2010 [1]. Since 2007 Apple sold 73.732.000 iPhones [2]. The many applications and personal data on an iPhone can be a very important and good source of information for criminal investigations.

## 2 The iPhone

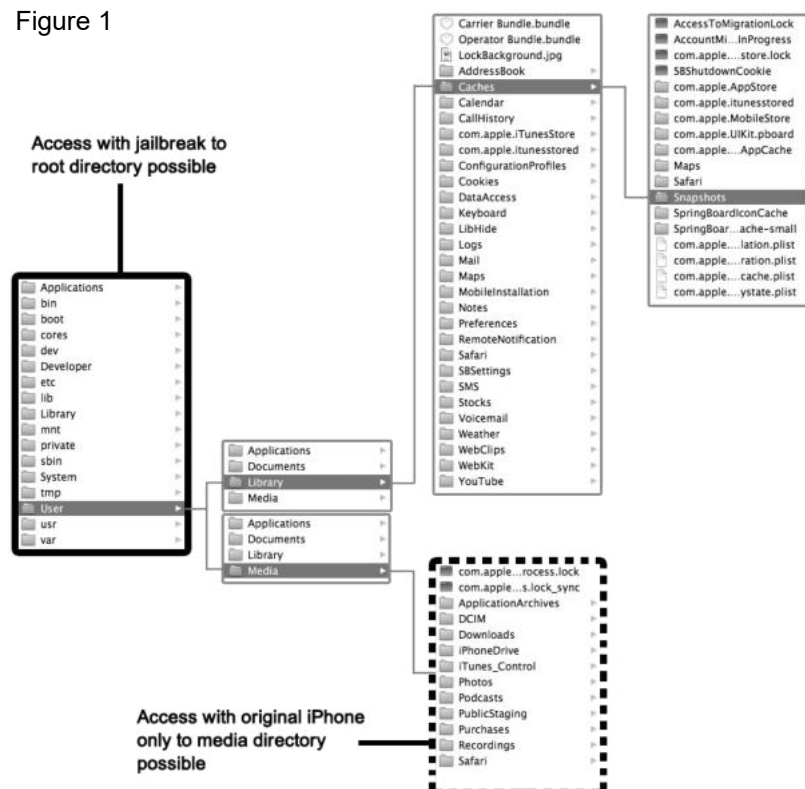
This chapter explains some terms around the iPhone and shows which security leaks exist and how they can be exploited.

The iPhone operating system is based on a special customized Mac OS X. The operating system has different layers [3]: Cocoa Touch (application framework), Media (audio, video und graphics), Core Services, Core OS (kernel and drivers). The integrated NAND flash memory is divided in two partitions. The first one is the Master Boot Record (MBR) and responsible to load the operating system. The second one is the media partition that stores movies, music, photos, contacts and more [4]. Figure 1 shows the access rights of a jailed and jailbroken iPhone, respectively. With a jailed iPhone one has access to the green marked area in figure 1. The red marked area in figure 1 shows the access to the root directory.

**Passcode Lock:** The passcode lock is a security option. If this option is activated the user has to enter a four-digit passcode to unlock the phone. Since iOS 4 the passcode can also contain characters. To prevent a brute force attack the user can activate an option that the iPhone will be completely delete all data after ten times of incorrect passcode input. Since the iPhone OS 2.2 the passcode lock, email passcode and other passcodes of applications are saved in the *Keychain* file.

There exists a method of bypassing the passcode lock. But this method works only with iPhone OS 1.1.2. The procedure is explained in a whitepaper of *Troy Lawrence, iPhone Passcode Work-Around*, 26.02.2008 [5].

Figure 1



Another method to bypass or deactivate the passcode lock only works with jailbroken iPhone. In this method the keychain database is deleted. The path to the keychain database is given by

```
/private/var/Keychains/keychain-2.db
```

With the freeware tool iPhone Explorer the examiner can navigate to this file and copy and delete it. After deleting this file, the device must reboot. Then the passcode is deactivated. The disadvantage of this method is that the other passcodes are deleted too. Certainly the keychain file can be saved so that the passcodes can be restored [6].

**iTunes iPhone Backup:** The iPhone can be managed with the Apple software iTunes. If the phone is synchronized iTunes creates a backup. All the data from the mobile phone are stored in the backup. It is also possible to encrypt the backup. If the backup is not encrypted, it is easy for an examiner to find and use the iPhone backup. Elcomsoft Phone Password Breaker is a tool for easy decryption of the backup.

### 3 Forensic investigation of iPhones - Experiments

#### 3.1 Experiment 1: Forensic analysis of a jailbroken iPhone 3G

In the first experiment a jailbroken iPhone 3G will be analyzed. The jailbreak was made with RedSn0w 0.9.5b5-5. The operating system iOS 4 is installed. The passcode lock and the SIM code are active. The analysis is made on an independent computer. So the computer wasn't synchronized with this device.

**Access with iPhone Explorer:** After the iPhone is connected over an USB cable, the program iPhone Explorer can start. The program has full access after the boot process is finished. After that the whole file structure can be copied. But the copy is no forensic image. That means all the MAC times of files are changed.

**Access with OpenSSH:** This method is coupled on some requirements. The device must have a jailbreak and *Cydia*, *OpenSSH*, and *Netcat* must be installed. Also the user has not changed the root-passcode. All iPhones and iPod Touches were delivered with default root-passcodes which are *apline* or *dottie* [4] [7]. To connect over SSH with the device the user have to create a mobile ad hoc network. If booth devices (iPhone and forensic computer) are connected in the ad hoc network the examiner can use the terminal to get an access to the iPhone. The following listing shows the command.

```
[~] ssh <IP address of iPhone> -l root
```

After that the root-passcode must be entered. As already mentioned now the examiner must enter *apline* or *dottie*. But this will not work if the passcode was edit by the owner. The last option is now a brute-force search. The next listing show how to generate a hash [7].

```
[~] md5 /dev/rdisk0s1
```

Now the examiner has to open a port to transfer files to create the image.

```
[~] nc -l 26000 > iphone.rep
```

The command in the following listing will create the image and will copy it to the forensic computer.

```
[~] dd if=/dev/rdisk0s1 conv=sync,noerror bs=4k | nc -w1
<IP address of forensic computer> 26000
524288000 bytes (524 MB) copied, 501.304 s, 1.0 MB/s
```

After that the image from the media partition will be created.

```
[~] dd if=/dev/rdisk0s2 conv=sync,noerror bs=4k | nc -w1
<IP address of forensic computer> 26000
524288000 bytes (524 MB) copied, 501.304 s, 1.0 MB/s
```

Now multiple examiners can work with the image. In this work the tools *Find Any File* and *FileJuicer* will be applied.

**Searching files with Find Any File:** To search with Find any File the iPhone image must be mounted as a drive. The tool is only useful if the examiner knows which files are important and how the files are named.

**Data sorting with FileJuicer:** Another method for a structured search can be realized with FileJuicer. FileJuicer is a freeware sorting tool. All different data types will be sorted in folders like all .png or all .db files of the image are copied in one folder.

### 3.2 Experiment 2: Forensic analysis of iPhone backup files on a Mac

To make iPhone forensic an examiner do not need an iPhone. In this experiment will analyze an iPhone backup by iTunes. This backup includes some interesting .plist and .db files. If a Macintosh computer is part of a criminal investigation it also can be useful for an iPhone analysis. Particularly if an iPhone was synchronized with the Mac than exist an iPhone backup. An examiner can make an image and copy that on another Mac which is not evidence. This is important to ensure the integrity. Now, on this computer can install some useful applications like iPhoneBackupExtractor, Hex-

Fiend, SQLite Browser and many more. The backup is always stored on following path.

```
/Users/****/Library/Application Support/MobileSync/Backup/
```

If more than one backup are on the confiscated Macintosh computer the examiner can choose this backup which is most useful for the investigation. First of all the examiner has to look at the *iPhone OS Files*. There is the most important information. The backups from the applications are mostly uninteresting. That's why there are no general provisions for a forensic flow.

The SMS database which can be opened with the SQLite Browser shows all saved messages. Under *address* all the telephone numbers are listed. The point *Flag* shows the different between incoming and outgoing calls. The ID 3 means an outgoing call and the ID 2 an incoming call. So the examiner is able to understand connections and relationships between different persons. Also the messages with input times are saved in this file. The time is the Unix time it easy to convert. In the address book the examiner also can find a lot of information like the SMS database. The address book includes telephone numbers, emails and addresses. Also accounts from AIM, ICQ, Skype and many more are saved in the address book. Similar to the SMS database, in the call register can also difference between incoming and outgoing calls. The ID 4 stands for an incoming call and the ID 5 for an outgoing call.

## 4 Conclusion

The most important thing to investigate the iPhone is to know if the device has a jailbreak or not. If an iPhone has a jailbreak and no edit root passcode an examiner is able to perform a post-mortem-analysis. If not, it isn't possible to create a forensic image with the tools from this work. The examiner has performed a live analysis. Disadvantages of open source and freeware tool there mostly not admitted by a law. Because new methods are hard to establish. Also open source and freeware cannot create a report. With commercial software like *Oxygen Forensic Suite* and *Paraben Device Seizure* the examiner is able to create a complete report. The reports from commercial software are mostly accepted by a court.

## 5 References

- [1] Apple Inc., Apple reports fourth quarter results, 2010.
- [2] Wikipedia, Apple iPhone, 2010.
- [3] Forward Discovery, Forensic Solutions for the Digital World, 2008.
- [4] Kubasiak, R. R. and Morrissey, S., Mac OS X, iPod, and iPhone Forensic Analysis DVD Toolkit, 2009.
- [5] Lawrence, T., Apple iPhone Passcode Work-Around, 2008.
- [6] Antoniewicz, B., Defeating the iPhone Passcode, 2009.
- [7] Zdziarski, J., iPhone Forensics, OReilly, 2008.
- [8] Geschonneck, A., Computerforensik - Computerstraftaten erkennen, ermitteln, aufklären, dpunkt.Verlag, 2008.
- [9] Höne, Th., iPhone-Forensik mit Mac OS X basierten Open-Source-Anwendungen, Bachelor Thesis, FH Brandenburg (Germany), 2010.



# **Modellbildung und Untersuchung einer auf der Resonanzschwingungstechnologie basierenden Mischungsanlage**

Henry Adam, Phone: ++491627342815, E-Mail: henryadam@gmx.de, Masterstudent der Hochschule Magdeburg-Stendal, Garbsener Str.9, 39218 Schönebeck

Prof. Dr.-Ing. Yongjian Ding, Phone: ++49.391-886-4806, Fax: ++49.391-886-4126, E-Mail: yongjian.ding@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstr. 2, 39114 Magdeburg

**Abstract:** Im Rahmen eines FHProfUnd-Projektes in Zusammenarbeit mit der Hochschule Merseburg soll eine optimale Regelungstechnik für eine auf der Resonanzschwingungstechnologie basierenden Mischungsanlage entwickelt werden. Um diese Regelung auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen, wurde in einer Bachelorarbeit ein Modell entworfen, welche die Anlage aus Sicht einer Regeleinheit simuliert. Des Weiteren wurden die für die Regelung relevanten Eigenschaften der Anlage untersucht.

**Keywords:** Modellbildung, Regelungstechnik, Resonanzschwingungstechnologie

## **1 Einleitung**

In der Verfahrenstechnik wird seit über 20 Jahren an der sogenannten Resonanzschwingungstechnologie (RST) geforscht /1/. Sie eignet sich vorwiegend zum Mischen oder Dispergieren von Flüssigkeiten und darin enthaltenen festen oder gasförmigen Bestandteilen. Darüber hinaus wird durch einen verbesserten Wärmeaustausch die Reaktionszeit chemischer Prozesse beschleunigt. Nach Untersuchungen der Hochschule Merseburg – Initiator eines FHProfUnd-Forschungsprojekts - kann bei großtechnischer Anwendung mit einer Energieersparnis von 60% bis 90% gegenüber klassischen Rührwerken gerechnet werden /2/.

Die Hochschule Magdeburg–Stendal entwickelt als Kooperationspartner der Hochschule Merseburg eine Regelung für diese neue Technologie. Um diese Regelung auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen, soll zunächst ein Modell entworfen werden, welche die Anlage aus Sicht einer Regeleinheit simuliert. Desweiteren müssen die für die Regelung relevanten Eigenschaften der Anlage untersucht werden.

## **2 Modell einer auf der Resonanzschwingungstechnologie basierenden Mischungsanlage**

### **2.1 Funktionsprinzip**

RST funktioniert nach dem Prinzip periodischer Kompression. Ein Gas, z.B. Luft, wird in den Tank periodisch hinein und wieder herausgepresst. Das Mischgut wird dadurch in Bewegung versetzt und so zu einer Schwingung angeregt. Geschieht das mit der Eigenfrequenz des Mischgutes, führt eine vergleichsweise geringe Erregung zu einer großen Bewegung im Tank. Bildlich gesprochen wird der Inhalt geschüttelt, ohne den Tank selbst zu bewegen.

## 2.2 Anlagenmodell

Die Anlage lässt sich ersatzweise auch als **ein auf beiden Seiten geschlossenes U-Rohr mit je Seite konstantem aber ungleicher Querschnittsfläche** ansehen (Abb. 1).

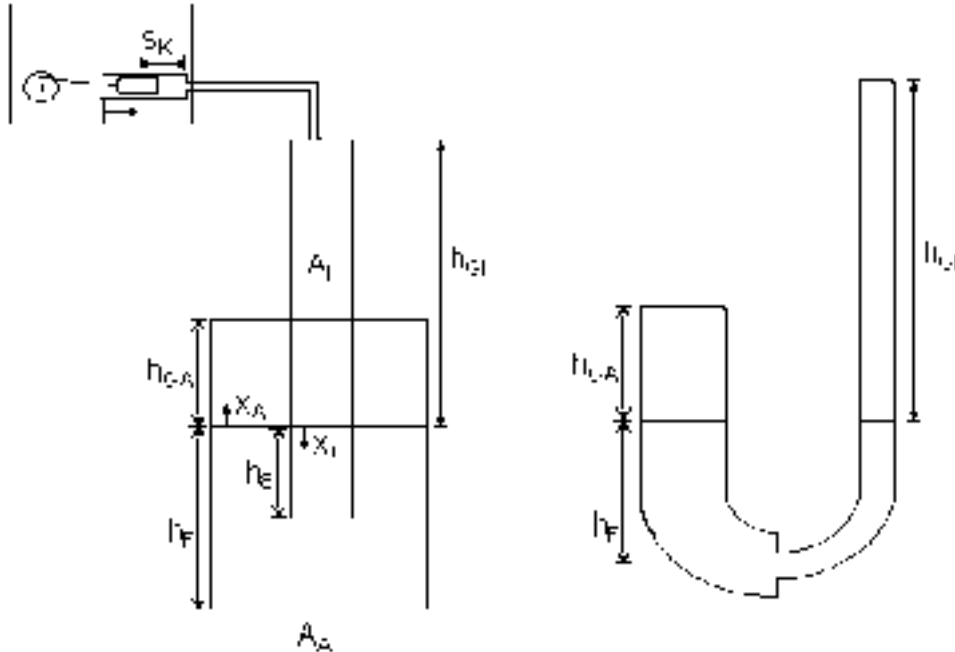


Abbildung 1: Ersatzschaltbild der Mischanlage

Um das Modell aufzustellen, kann die mittlere Bewegung des Mischgutes herangezogen werden. Dessen Verhalten lässt sich mit Hilfe der Bewegungsgleichung beschreiben. Dazu werden die wirkenden Kräfte wie in Gleichung 1 zusammengefasst.

$$\begin{aligned} & \text{Trägheitskraft} + \text{Reibungskraft} + \text{Schweredruck} + \text{Gaskompression Außenrohr} + \\ & + \text{Gaskompression Innenrohr} = \text{äußere Kraft} \end{aligned} \quad (1)$$

Werden die unterschiedlichen Querschnittsflächen von Außenrohr und Innenrohr mit der Kontinuitätsgleichung  $A_A \cdot \dot{x}_A = A_I \cdot \dot{x}_I$  berücksichtigt, lässt sich, mit etwas Physik und Mathematik, das Modell wie in Gleichung 2 darstellen.

$$\begin{aligned} & \left( 2\rho A_I h_F + \rho A_I \left( \frac{A_I}{A_A} - 1 \right) x_I \right) \ddot{x}_I + \left( 8\pi\eta h_E \left( \frac{A_I}{A_A} + 1 \right) \right) \dot{x}_I + \\ & + \left( \rho g (A_I + A_A) + \frac{A_I \cdot p_0}{h_{GA} - \frac{A_I}{A_A} x_I} + \frac{A_I \cdot p_0}{h_{GI} + x_I} \right) x_I = \frac{2p_0 \cdot A_K \cdot r}{h_{GI} + x_I} [1 - \cos \omega t] \end{aligned} \quad (2)$$

### 3 Untersuchung und Ergebnisse

Mit dem Programm Simulink wurde das Modell mit verschiedenen Parametereinstellungen am Computer simuliert. Durch die Berechnung der Reynoldszahl ist es möglich den Bereich turbulenter Strömung zu identifizieren und so in dem auf laminarer Strömung aufbauenden Modell zu berücksichtigen. Wegen dieser Turbulenzen weicht das Verhalten der Anlagen in der Praxis von der Simulation ab. Dies betrifft vor allem die Amplitude, da die Oberfläche des Mischgutes „aufreist“ und sich die Kraft nicht mehr gleichmäßig verteilt. Die dafür verantwortlichen Effekte sind aber erwünscht, weil sie für eine gute Durchmischung sorgen.

Bei den Simulationen zeigte sich, dass es in der Nähe der Resonanz zu einer Schwebung zwischen Anregung und Mischer kommt. Dadurch bildet sich eine „Trägerwelle“ aus. Mit dem Computermodell lassen sich Theorien (z.B. gekoppelte Körper) über die Ursache leicht überprüfen. Nach anfänglichen Fehlschlägen erwies sich jedoch etwas unerwartetes als Grund.

Wenn sich zwei Schwingungen, z.B.  $f_A$  und  $f_M$ , gleicher Phase aber unterschiedlicher Frequenz überlagern und der Fall  $f_A \approx f_M$  eintritt, gilt für die Schwebungsfrequenz  $f_S$  folgende Gesetzmäßigkeit.

$$f_S = |f_A - f_M|$$

Während die Simulation beim vollständigen Modell der Anlage von der Gleichung abweicht, stimmt sie für das vereinfachte Modell genau überein.

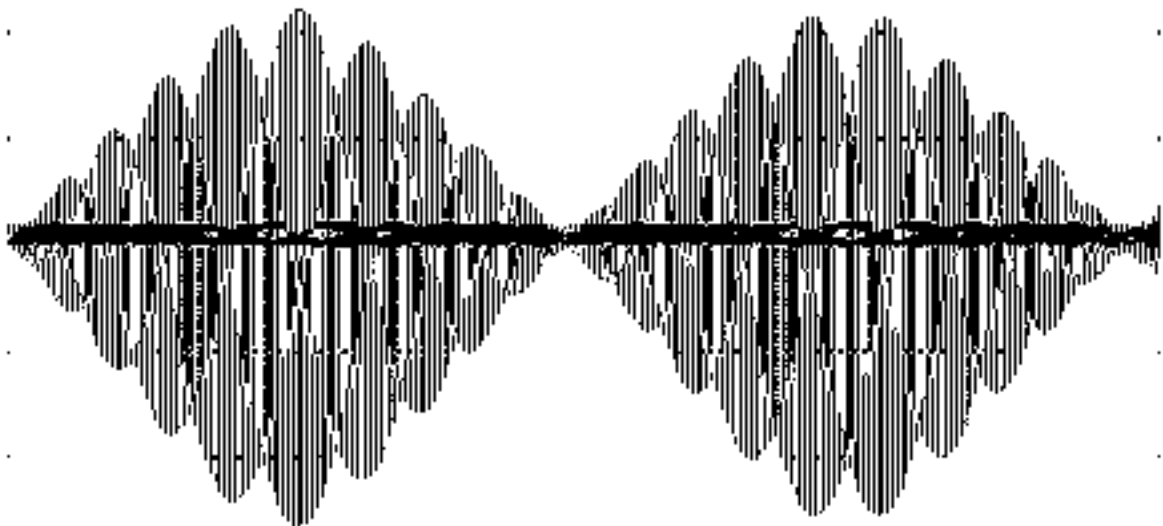


Abbildung 2: Nähert sich die Anregung der Resonanz, bildet sich eine Trägerwelle aus

## 4 Zusammenfassung und neuer „Regelungsvorschlag“

Wird das Mischgut mit einer Frequenz  $f_A$  angeregt, wobei  $0,8 \cdot f_r < f_A < 1,2 \cdot f_r$  ist, versucht es mit seiner Eigenfrequenz  $f_M$  zu schwingen. Diese Schwingung überlagert sich mit der Anregungsschwingung und die resultierende Schwebung bewirkt die Ausbildung einer Trägerwelle mit der Frequenz  $f_S$ . Für diese gilt:  $f_S = |f_A - f_M|$ .

Ist die Mischanlage geschlossen, so dass Gaskomprimiert wird, bzw. aus Konstruktionsteilen mit unterschiedlichen Querschnittsflächen zusammengesetzt, wird diese einfache Gleichung durch einen vorzeichenbehafteten Fehler verfälscht. Der Grund ist, dass im wesentlichen Körper mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen gekoppelt Schwingen.

Auf Basis diese Erkenntnisse lässt sich die ursprünglich geplante Regelung auf eine Steuerung vereinfachen.

### Einstellung der Resonanzfrequenz:

1. Einstellung einer Frequenz unterhalb der Resonanz bei der sich durch die Schwebung eine Trägerwelle ausbildet.
2. Messen der Periodendauer. (Am sinnvollsten wäre es sicherlich die Zeit zwischen zwei gleichen Phasenlagen zu messen.)
3. Die so ermittelte Schwebungsfrequenz wird zu der eingestellten Frequenz hinzu addiert.
4. Die so eingestellte Frequenz entspricht mit einer Genauigkeit von ca. 50 mHz der Resonanzfrequenz.

Die in Punkt 4 genannte Genauigkeit bezieht sich auf das Modell der Versuchsanlage und ist abhängig von der Konstruktion. Für verschiedene simulierte Parameter lag die Bandbreite für eine gute Durchmischung zwischen 200 bis 400 mHz. Dabei wurde als Grenze eine Reynoldszahl von 20000 angenommen. Der Literatur zu folge bilden sich bereits bei einer Reynoldszahl von 10000 turbulente Strömungen.

Da mit dem Einsetzen turbulenter Strömungen die Oberfläche des Mischgutes „aufreist“, sollte die beschriebene schwebungsbasierte Einstellung der Resonanzfrequenz im Allgemeinen genauer sein als eine klassische Amplitudenregelung.

## 5 Literatur

/1/ Ostrovsky, G.M., P.A. Malyschew, E.G. Aksjonowa: Über Pulsationsapparate im Fluid-Resonanzregime, Teortitscheskije Osnovy chimitscheskoj Technologij, 24 (1990), Akademia Nauk SSSR, Moskau

/2/ R. Säuberlich etc.: Einführung der Resonanzschwingungstechnologie (RST) in den Apparatebau, Förderantrag FHProfUnd, 2008

/3/ Henry Adam: Modellbildung und Untersuchung einer auf der Resonanzschwingungstechnologie basierenden Mischungsanlage als Vorbereitung für Regelungsaufgaben. Bachelorarbeit am Institut für Elektrotechnik, Hochschule Magdeburg-Stendal, 2008

# Numerische Untersuchung zur Zylinderspaltströmung mit Seitenfluss

Prof. Dr.-Ing. Peter Stücker, Phone: ++49.375-536-3444, E-Mail: peter.stuecke@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

M.Sc. Marcus Schmidt, Phone: ++49.375-536-3893, E-Mail: marcus.schmidt.1@fh-zwickau.de, Westsächsische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

M.Sc. Matthias Nobis, Phone: ++49.375-536-3893, E-Mail: matthias.nobis@fh-zwickau.de, Forschungs- und Transferzentrum e.V. an der Westsächsischen Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau

## Abstract

Hydrodynamisch geschmierte Gleitlager finden auf Grund ihrer Verschleiß- und Laufeigenschaften in vielen Technologie- und Industriesegmenten ihr Einsatzgebiet. In den letzten Jahren wurden zahlreiche experimentelle sowie numerische Untersuchungen bezüglich der konstruktiven Auslegung, der Belastbarkeit sowie der Lebensdauer durchgeführt. Die numerischen Berechnungen beschränkten sich dabei weitestgehend auf der Lösung der zweidimensionalen Reynolds'schen Differenzialgleichung für die Druckverteilung im Schmierpalt. Für detaillierte Aussagen über die lokalen Strömungsstrukturen ist es notwendig die dreidimensionale Strömung zu betrachten und Gleichungen zur dreidimensionalen Strömungsbeschreibung zu lösen. Diese Vorgehensweise stellt Bedingungen an die numerische Diskretisierung der Modelle bezüglich der numerischen Genauigkeit und der Rechenkapazität, insbesondere an die Anzahl der Berechnungszellen über der Spaltweite zur Auflösung der lokalen Strömungsstrukturen. Im vorliegenden Beitrag werden Ansätze zur Rechenetzgenerierung diskutiert und Berechnungsergebnisse mit experimentellen Daten verglichen und ausgewertet.

**Keywords:** Gleitlager, Numerik, CFD, Strömung, Laser-Doppler-Anemometer

## 1 Einleitung

Hydrodynamisch geschmierte Gleitlager finden in unterschiedlichen Technologie- und Industriesegmenten ihren Einsatz. Unter gewissen Umständen kann es durch Kavitation zum Totalausfall des Lagers kommen. Um diese Fälle zu untersuchen ist eine genaue Kenntnis der dreidimensionalen Strömungsstrukturen in der Umgebung von Nuten und Ölbohrungen notwendig, die weit über die Möglichkeiten der üblicher Weise verwendeten Reynolds'schen Differenzialgleichung hinaus geht. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse aus numerischen Simulationsrechnungen vorgestellt. Es werden weiterhin die Validierung mit experimentellen Ergebnissen und die Diskretisierung des Schmierpaltaltes diskutiert.

## 2 Geometrische Kenngrößen

Das Modell eines Gleitlagers kann durch zwei exzentrisch zueinander angeordnete Zylinder beschrieben werden, deren Höhe die Lagerbreite  $B$  bestimmt. Der äußere Zylinder  $Z2$  ist fest und stellt die Lagerschale dar. Der Innenzylinder  $Z1$  rotiert um seine Mittelachse und beschreibt somit die Welle. Der Spalt zwischen den beiden Zylindern ist mit Schmierflüssigkeit gefüllt. Eine Zulaufbohrung orthogonal zum Außenzylinder versorgt den Schmierpalt mit der Schmierflüssigkeit. In Abb. 1 sind die wichtigsten geometrischen Kenngrößen des Systems dargestellt. In den Gleichungen 1 bis 6 werden charakteristische Parameter definiert.

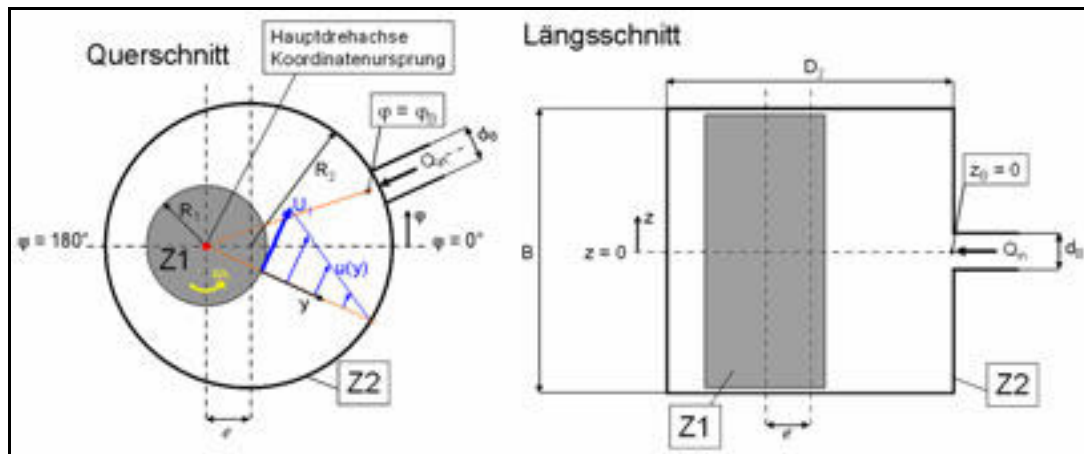


Abb. 1: Geometrische Kenngrößen

$$H_0 = R_2 - R_1 \quad (1) \quad U_l = \omega \cdot R_l \quad (2) \quad \Gamma = \frac{B}{H_0} \quad (3)$$

$$\psi = \frac{H_0}{R_1} \quad (4) \quad Re = \frac{H_0 \cdot R_1 \cdot \omega}{\nu} \quad (5) \quad \varepsilon = \frac{e}{H_0} \quad (6)$$

### 3 Methodik

Die Berechnungen wurden mit dem Programmpaket OpenFOAM durchgeführt. Der 3D-Code basiert auf der Finiten-Volumen-Methode und verwendet die dreidimensionalen, inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen sowie die Massenbilanzgleichung. Gemäß Gleichung 5 liegt eine laminare Strömung vor. In Abb. 2 ist das numerische Gleitlagermodell neben dem blockstrukturierten Hexaedernetz für  $\psi = 10\%$  dargestellt. Durch den strukturierten Aufbau wird ein nahezu orthogonales Netz im Zylinderspalt realisiert, welches mit eindeutigen Zellnachbarschaftsbeziehungen die Effizienz des numerischen Löser fördert. Für die Ölbohrung wird ein übliches Vernetzungsmuster (O-Netz) gewählt, welches eine optimale, wandadaptierte Netzstruktur aufweist. Am Einlassrand der Zulaufbohrung wird eine Dirichlet-Randbedingung mit Geschwindigkeitsbetrag und -richtung vorgegeben.

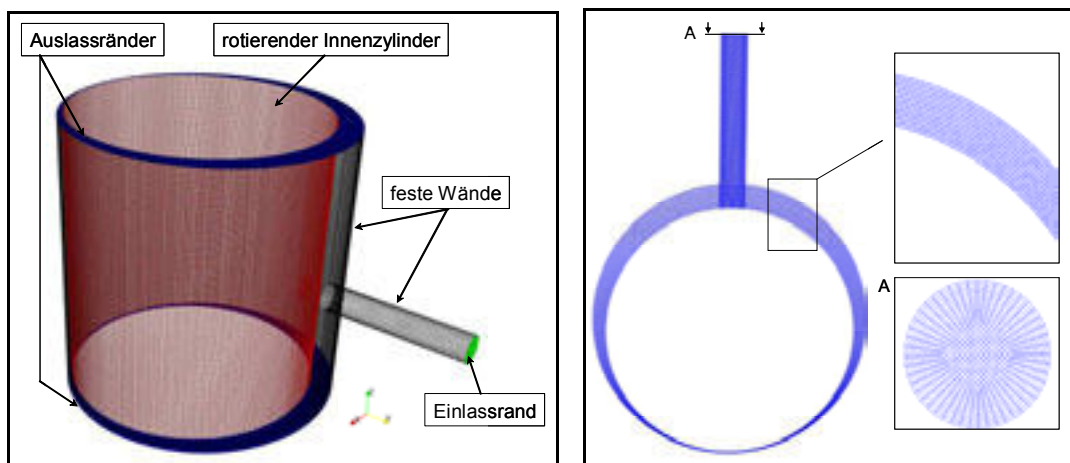


Abb. 2: Rechenmodell und Rechennetz für  $\psi = 10\%$ ,  $\varepsilon = 90\%$ ,  $\varphi_B = 0^\circ$

An den Stirnseiten des Gleitlagermodells wird eine Volumenstromauslassbedingung angesetzt, damit die Kontinuitätsbedingung gewährleistet ist. Auf dem feststehenden Außenzylinder gilt die Haftbedingung. Die Rotation des Innenzylinders wird durch eine drehzahl-proportionale Oberflächengeschwindigkeit aufgeprägt. Für die Druckrandbedingungen gilt die Neumann-Randbedingung, die den Gradienten des Druckes an den Rändern auf Null setzt.

#### 4 Untersuchungsergebnisse

Mittels LDA (Laser-Doppler-Anemometer) gemessene Geschwindigkeitsprofile quer über den Zylinderspalt dienen als Referenz für die numerischen Lösungen. Im Folgenden werden alle Untersuchungen bei dem Winkel  $\varphi=10,5^\circ$  verglichen und erläutert. In Abb. 3 sind normierte Geschwindigkeitsprofile quer über den Zylinderspalt stromab der Zulaufbohrung dargestellt.

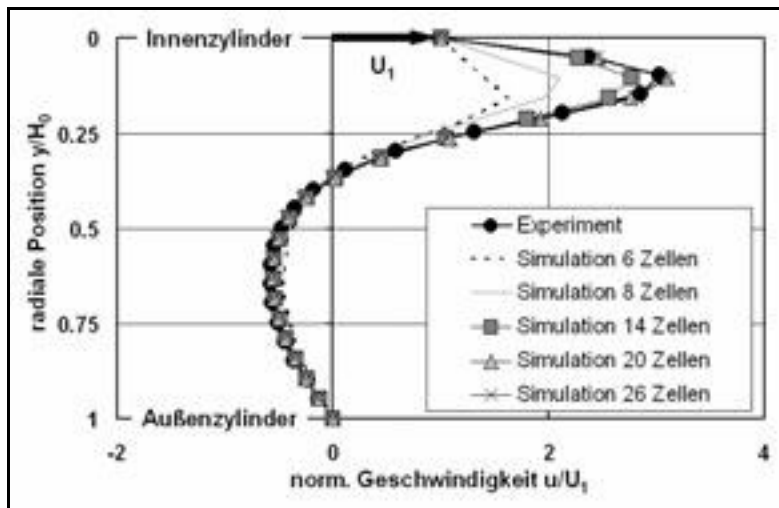


Abb. 3: Geschwindigkeitsprofile bei  $\psi = 10\%$ ,  $Re=20$ ,  $\varepsilon = 90\%$  und  $\varphi=10,6^\circ$

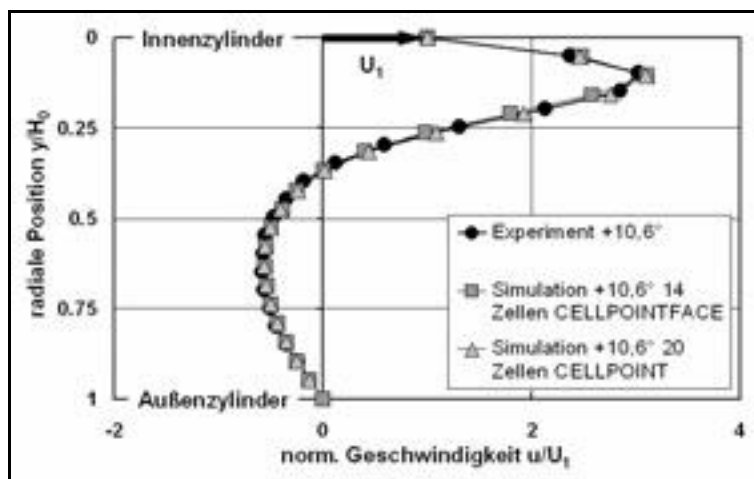


Abb. 4: Vergleich Geschwindigkeitsprofile bei  $\psi=10\%$ ,  $Re=20$ ,  $\varepsilon=90\%$  und  $\varphi=10,6^\circ$

Die Innenzylinderoberfläche rotiert mit einer Umfangsgeschwindigkeit  $U_1$  und der Außenzylinder steht fest. Der durch die Zulaufbohrung eintretende Volumenstrom strömt nahe der Oberfläche des Innenzylinders in den konvergenten Spaltbereich

und erzeugt eine deutliche Geschwindigkeitserhöhung. Am Außenzylinder entsteht typischerweise das Rückströmgebiet hin zum divergenten Spaltbereich. In den numerischen Untersuchungen wurde schrittweise die Zellenanzahl quer über den Schmierpalt erhöht, um eine netzunabhängige Berechnungslösung anzustreben. Ab 20 Zellen über dem Spalt wurden die gemessenen Geschwindigkeiten bestätigt. Dazu gehört ein Berechnungsmodell mit insgesamt 1 Mio. Zellen.

Eine Verringerung der Modellgröße um 30 % wird durch ein verbessertes Auswertungsverfahren realisiert. Dabei werden unter Berücksichtigung der Nachbarzellen, die in den Zellzentren berechneten Strömungsgrößen auf die Eckpunkte und die Flächenmittelpunkte der Zellen interpoliert. Die in Abb. 4 dargestellten Geschwindigkeitsprofile zeigen die Auswertung der ursprünglichen Berechnung mit 20 Zellen über dem Spalt im Vergleich zur Berechnung mit interpolierten Stützstellen und 14 Zellen über dem Spalt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegenden Untersuchungen geben für moderate Spaltweiten die notwendige Diskretisierung des Schmierpalt an. Die numerischen Ergebnisse wurden durch experimentelle Messdaten validiert. Eine optimierte Auswertetechnik reduziert den numerischen Aufwand für die Berechnung der Strömungsstrukturen im Schmierpalt. Weiterführende Untersuchungen haben das Ziel, die Strömungsstrukturen in realen Gleitlagergeometrien mit der notwendigen numerischen Genauigkeit aufzulösen. Dabei stehen die Optimierung der Diskretisierung und die Einhaltung von vertretbaren Rechenkapazitäten im Vordergrund.

## 6 Verwendete Formelzeichen

$B$	Lagerbreite	$Re$	Reynoldszahl	$\psi$	normierte Spaltweite
$H_0$	mittlere Spaltweite	$e$	Exzentrizität	$\varepsilon$	relative Exzentrizität
$H$	lokale Spaltweite	$u$	Geschwindigkeit	$\nu$	kinematische Viskosität
$R_1$	Radius Innenzylinder	$U_1$	Umfangsgeschwindigkeit	$\varphi$	Winkel
$R_2$	Radius Außenzylinder		des Innenzylinders	$\omega$	Winkelgeschwindigkeit

## 7 Literatur

Taylor, G.I., 1923: „Stability of a viscous liquid contained between two rotating cylinders“ Phil. Trans. Royal Soc. London.

P.Stücke, M.Nobis, M.Schmidt, 2009: „3D-Flow Structures in Journal Bearings“ SAE Powertrains Fuels and Lubricants, SAE International, 2009

N. Scurtu, P. Stücke, C. Egbers, 2008: “Numerical and experimental study of the flow in an eccentric Couette-Taylor system with small gap” PAMM, Vol. 8, Issue 1, pp 10641 – 10642.

P.Stücke, M.Nobis, M.Schmidt, 2009: „Three Dimensional Flow Structures in Journal Bearings “ 2nd Micro and Nano Flows Conference, West London, UK

Nobis, M., Schmidt M., 2009: „ Experimentelle und numerische Untersuchung der Schmierpaltströmung“ Masterarbeit, Westsächsische Hochschule, Zwickau



## **Optimierung der Prozessqualität in der medizinisch-orthopädischen Rehabilitation durch den Einsatz einer Rehabilitationspsychologin - Pilotprojekt zur Etablierung der Rehabilitationspsychologie**

Michelle Heinze (1,2) Prof. Dr. habil. Gabriele Franke (1), Simone Struck (2) & Dr. med. Petra Reutermann (2)

(1) Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, Akkreditierte Studiengänge B.Sc. und M.Sc. Rehabilitationspsychologie, Osterburger Straße 25, 39576 Stendal

(2) KMG Elbtalklinik Bad Wilsnack GmbH, Badstraße 5–7, 19336 Bad Wilsnack

**Keywords:** medizinische Rehabilitation, Qualitätssicherung, Rehabilitationspsychologie,

### **Einleitung**

Die Sicherstellung bzw. die Verbesserung einer qualitativ hochwertigen medizinischen Versorgung gewinnt immer mehr an Bedeutung (vgl. Durenburg & Tiefensee, 2000, S. 198). Zugleich haben aber immer mehr Rehabilitationskliniken Probleme, Facharzt-Stellen mit Fachkräften besetzen zu können. Gravierende Folgen des Ärztemangels werden bei der Arbeitszeitorganisation und in der Belastung der beschäftigten Ärzte deutlich. Es kommt zu Beeinträchtigungen in der Patientenversorgung. Die Zeit für Untersuchungen, Patientengespräche und Diagnostik wird immer kürzer. Der Arzt kann sich oft nur auf die medizinische Untersuchung, d.h. auf den körperlichen Bereich konzentrieren. Für die Besprechung der Rehabilitationsziele und die Erwartung des Patienten bleibt nur ungenügend Zeit. Gerade dabei entstehen häufig Diskrepanzen zwischen Arzt und Patient. Dies hat direkte Auswirkungen auf den Rehabilitationserfolg und die Zufriedenheit des Patienten. Zur Verbesserung dieser Situation werden eine neue Aufgabenverteilung und eine bessere Zusammenarbeit des multidisziplinären Teams durch den Einsatz von Rehabilitationspsychologinnen dargestellt.

### **Fragestellung**

- (1) Wie kann der Einsatz einer Rehabilitationspsychologin die Prozessqualität in der medizinisch-orthopädischen Rehabilitation optimieren?
- (2) Unter welchen Bedingungen ist der Einsatz einer Rehabilitationspsychologin möglich und zielführend?
- (3) Welche Auswirkungen hat der Einsatz einer Rehabilitationspsychologin auf die Zufriedenheit der Beteiligten und welche Schwierigkeiten ergeben sich?

### **Methode**

In der orthopädischen Reha-Klinik Bad Wilsnack wird eine Rehabilitationspsychologin zur Unterstützung von Ärzten eingesetzt. Grundlage für die Problemerkennung ist die direkte Beobachtung und Analyse der aktuellen Versorgungssituation. Das Ziel ist die Aufdeckung von Qualitätsproblemen. Zur Identifikation von Problembereichen in der Klinik halfen Interviews mit den dort beschäftigten Ärzten, die Begutachtung und Analyse des Klinikablaufs sowie das Lesen und Auswerten der Patientenbeschwerdebriefe. Im Anschluss an die Analysen erfolgten theoretische Überlegungen zur Optimierung und effektiveren Gestaltung der identifizierten Probleme.

## Ergebnisse

Die Auswertung der 16 Patientenbeschwerdebriefe (siehe Abb. 1) zeigte, dass aus Sicht der Patienten die Behandlungszeit durch den Orthopäden zu kurz ist. Auch kommt es zu Unstimmigkeiten in der Rehabilitationszielfindung und den Erwartungen des Patienten und des Arztes.

Abbildung 1  
Auswertung der Patientenbeschwerden

Beschwerde
<ul style="list-style-type: none"><li>➔ Rehabilitationsziel nicht erreicht</li><li>➔ Diskrepanz zwischen Selbsteinschätzung und Einschätzung der Ärzte über die Arbeitsfähigkeit</li><li>➔ Zu kurze Behandlungszeit des Orthopäden</li></ul>

Zur Verbesserung dieser Situation könnte eine neue Aufgabenverteilung durch den Einsatz von Rehabilitationspsychologinnen beitragen. Das Ziel der Umstrukturierung sollte die Optimierung der Aufgabenverteilung nach den tatsächlichen Fähigkeiten der Professionen sein. Ärzte haben eine behandlungsleitende Funktion bei der Gestaltung der medizinischen Rehabilitation. Sie konzentrieren sich intensiv um die medizinische Versorgung des Patienten. Die Behandlung in der medizinischen Rehabilitation geht über den körperlichen Bereich hinaus. Sie umfasst weiterhin den alltäglichen, psychischen, beruflichen und sozialen Bereich (Gerdes & Weis, 2000). Die Folgen bzw. Funktionseinschränkungen der körperlichen Beeinträchtigung für den einzelnen Patienten werden meist nur kurz in der Anamnese erfasst. Die sind jedoch besonders wichtig für die Rehabilitationszielfindung (Glattacker, Farin & Jäckel, 2006). Genaue und angemessene Rehabilitationsziele sind wiederum wichtig für den Rehabilitationserfolg.

Folgende Aufgaben könnten in den Verantwortungsbereich von Rehabilitationspsychologinnen gehören: Die Vorbereitung (1) der medizinischen Aufnahme und (2) die Vorbereitung der Abschlussuntersuchung. Bisher bekamen die Patienten einen Anamnesebogen nach Hause zugeschickt. Der ausgefüllte Bogen sollte als Grundlage des Aufnahmegesprächs mit dem Arzt dienen. Oftmals wurde dieser vom Patienten jedoch nicht oder nur teilweise ausgefüllt und musste im Aufnahmegespräch gemeinsam mit dem Arzt bearbeitet werden. Dieser zusätzliche Zeitaufwand für den Arzt kann vermieden werden, indem die Rehabilitationspsychologin zukünftig den Anamnesebogen mit dem Patienten bespricht. Der Fokus liegt dabei auf die Beeinträchtigungen in der Teilhabe und Aktivität, welche aus den körperlichen Beeinträchtigungen resultieren. Daraus werden neben den somatischen Rehabilitationsziele, welche vom Arzt erfasst werden, die funktionsbezogenen, psychosozialen und edukativen Rehabilitationsziele abgeleitet und mit dem Patienten besprochen.

Ein häufiges Problem waren bisher die unterschiedlichen Erwartungen hinsichtlich der Rehabilitationsziele einerseits aus der Sicht des Patienten, andererseits aus der Sicht des Arztes. Während des Gesprächs mit der Rehabilitationspsychologin sollen die Motivation und die Erwartungshaltung des Patienten erfasst werden und gegeben

falls aneinander angeglichen und realistisch bewertet werden. Ein Vorteil für die Ärzte ist die Zeitersparnis bei der Dokumentation, da die Dokumentation der Sozial- und Berufsanamnese von der Rehabilitationspsychologin übernommen wird, sodass sie dem Arzt und der Sozialarbeiterin zur Verfügung steht.

Bisher wurden in den Abschlussgesprächen die Rehabilitationsziele bzw. der Klinikaufenthalt ausgewertet. Da zu Beginn die Rehabilitationsziele oftmals unzureichend vereinbart wurden, ist die Auswertung auch mangelhaft ausgefallen. Das Abschlussgespräch mit der Rehabilitationspsychologin beinhaltet nun die Auswertung der Rehabilitationsziele, die zu Beginn mit dem Patienten abgestimmt wurden.

Tabelle 1

*Aufgaben und Arbeitsgebiete einer Rehabilitationspsychologin in der Einrichtung*

<b>Zeitpunkt</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Arbeitsinhalte der Rehabilitationspsychologin</b>
Aufnahme	Aufnahmegespräch	Erarbeitung der Rehabilitationsziele
		Erhebung der Sozial- und Berufsanamnese
		Erfassung der Motivation und Erwartungshaltung
im Verlauf	Gespräch bei Bedarf	Beschreibung des Arbeitsplatzes und der -bedingungen
Entlassung	Entlassungsgespräch	Erfragung der Patientenzufriedenheit
		Auswertung der Rehabilitationsziele

## **Diskussion**

Rehabilitationspsychologinnen können durch organisatorische, informierende sowie dokumentierende Aktivitäten besonders zu Beginn und am Ende der Rehabilitation den Arzt entlasten. Die Vorteile liegen in der Zeitersparnis bei den Ärzten, die sich so besser auf ihr Kernarbeitsgebiet konzentrieren können. Wir erhoffen uns dadurch eine Entlastung des Arztes und eine Verbesserung des Arzt-Patienten-Verhältnisses. In Rahmen der verbesserten Arzt-Patienten Kommunikation wird eine höhere Zufriedenheit der Patienten erwartet.

Für die praktische Umsetzung wird ein Konzept für wichtige organisatorische Abläufe entwickelt. Einige Fragen sind bislang noch offen und müssen mit Hilfe eines Pilotprojekts aktuell in der Klinik praktisch erprobt werden:

- Wie viele Patienten kann in welchem Zeitraum eine Rehabilitationspsychologin betreuen?
- Wie lang sollte ein Gespräch sein?
- Wie erfolgt die Zuweisung der Patienten innerhalb der Klinik?
- Wie findet ein regelmäßiger Austausch zwischen den Teammitgliedern statt?

## **Ausblick**

Nach anfänglicher Skepsis, die hauptsächlich durch Unklarheiten bezüglich der Aufgabenverteilung der Rehabilitationspsychologin hervor gerufen wurde, folgten nach kurzer Zeit durch den Einsatz der Rehabilitationspsychologin erste positive Rückmeldungen. Die Ärzte und Patienten fühlen sich unterstützt. Insgesamt wird das Projekt sehr begrüßt und das Rehabilitationsteam hofft auf eine weitere Erleichterung der Arbeit.

## Literatur

- Dorenburg U. & Tiefensee J. (2000). Qualitätssicherung in der medizinischen Rehabilitation. In J. Bengel & U. Koch (Hrsg.), *Grundlagen der Rehabilitationswissenschaften. Themen, Strategien und Methoden der Rehabilitationsforschung*. Berlin: Springer.
- Glattacker M., Farin E. & Jäckel, W.H. (2006). Rehabilitationsziele aus Patienten- und Arztsicht in der onkologischen Rehabilitation – wie hoch ist die Kongruenz und welchen Einfluss hat dies auf das Outcome? URL: [http://forschung.deutsche-rentenversicherung.de/ForschPortalWeb/ressource?key=tagungsband\\_15\\_reha-kolloqu.pdf](http://forschung.deutsche-rentenversicherung.de/ForschPortalWeb/ressource?key=tagungsband_15_reha-kolloqu.pdf) [Stand: 02.11.2010].
- Gerdes N & Weis J. (2000) Zur Theorie der Rehabilitation. In J. Bengel & U. Koch (Hrsg.), *Grundlagen der Rehabilitationswissenschaften. Themen, Strategien und Methoden der Rehabilitationsforschung*. Berlin: Springer.

# **Optimierung von Modell und Modellierungsmethodik im Vorentwurf von Straßenverkehrsanlagen**

Mark Ritzmann, Michael Bischoff, Martin Golz, Ralf Böse

Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Postfach 10 04 52, 98564 Schmalkalden  
Webseite: [www.fh-schmalkalden.de](http://www.fh-schmalkalden.de), Telefon: 03683 688 0, Telefax: 03683 688 4497

**Abstract** Der Artikel beschreibt einen Ansatz zum interaktiven 3D Entwurf als Teil einer neuen Entwurfsmethodik zur Modellierung der räumlichen Linienführung von Straßenverkehrsanlagen. Das entwickelte Modell der Trasse überführt die konventionelle zweidimensionale Arbeitsweise in Lage- und Höhenplan in die 3D Modellierung einer Trasse. Die Anwendung des neuartigen Modells zusammen mit einer geometrischen Sicherheitsüberprüfung während des Entwurfs sowie die integrierte Fahrsimulation illustrieren den ganzheitlichen Ansatz einer neuen Entwurfsmethodik.

**Keywords** Interaktiver 3D Entwurf, Modellbasierte Optimierung, Entwurfsmethodik Straßenverkehrsanlagen, 3D Visualisierung

## **1 Einleitung**

Der Aufbau und die Sicherung leistungsfähiger Verkehrsinfrastrukturen ist ein immanentes Thema der urbanen Entwicklung. In den Industrieländern stehen vielfältige Ausbau- und Optimierungsmaßnahmen an. In den Schwellenländern sind Aufbaumaßnahmen in sehr hohem Umfang zu erwarten. Im Rahmen der Planungsphase für Straßenverkehrsanlagen besteht die Herausforderung darin, möglichst schnell eine Vielzahl von Varianten zu erzeugen und entsprechend einer Zielfunktion die Vorzugsvariante zu ermitteln. Die Vielfalt der Kriterien, welche die Qualität und Eignung eines Entwurfs im jeweiligen Szenario beeinflussen, gestaltet sich hoch. Neben geometrischen Eigenschaften der Trasse müssen auch Sicherheitsaspekte, ökonomische und ökologische Kriterien sowie die Verkehrswirksamkeit betrachtet werden. Dem Entwurfsingenieur stehen während des Vorentwurfs viele Freiheitsgrade zur Verfügung und es werden zahlreiche intuitive Entscheidungen getroffen, wobei die Qualität eines Entwurfs und der erforderliche Zeitaufwand zur Modellierung einer Variante von der Erfahrung des Planers abhängen. Das bedeutet, dass im Rahmen der Modellierung der räumlichen Linienführung der Entwurfsingenieur mit zahlreichen Aspekten konfrontiert ist, deren Berücksichtigung die Qualität einer Trassierungsvariante beeinflussen und operational bestimmen. Neben der Kriterienvielfalt besteht eine weitere Einschränkung der aktuellen Entwurfsmethodik darin, dass diese auf separierten, jeweils zweidimensionalen, Entwurfsebenen basiert und einen komplexen und iterativen Prozess zur Findung und Optimierung von Entwurfsvarianten erfordert.

Diese Problematik adressierend wurde ein Lösungsansatz erarbeitet, welcher die Effizienz und Qualität der Vorplanung erheblich steigert und die Komplexität besser beherrschbar gestaltet. So wurden z.B. Konzepte zur frühzeitigen Identifikation von sicherheitstechnischen Defiziten und zur Detektion von potenziellen Entwurfsinkonsistenzen entwickelt und die Entwurfsmethodik in ein neues Anwendungsparadigma – den interaktiven, dreidimensionalen Entwurf – überführt.

## 1.1 Konventionelle Trassierung

Der geometrische Entwurf von Straßenverkehrsanlagen ist ein mehrstufiger Prozess, bei dem nacheinander die Achse im Lageplan und die Gradienten im Höhenplan in jeweils eigenständigen zweidimensionalen Entwurfsebenen ausgebildet werden.

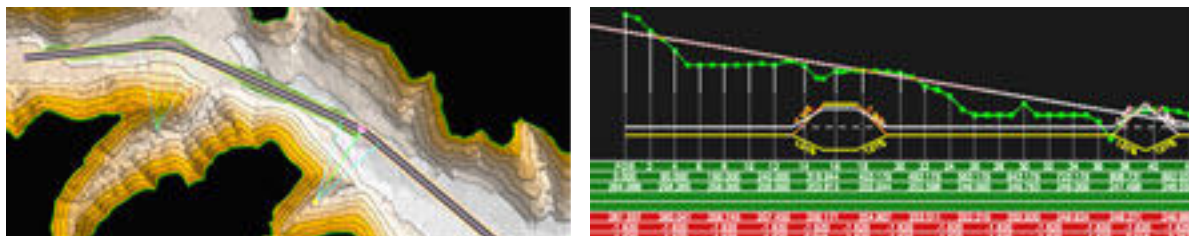


Abbildung 1: Lageplandarstellung zum Entwurf der Achse (links) und Höhenplan zur Darstellung von Gelände- und Trassenhöhe sowie Krümmung an Stationen der Achse (rechts) [3]

Mit der separaten Bearbeitung in Lage und Höhe verknüpft sich ein Zusatzaufwand für die Überprüfung der Trassierungsergebnisse hinsichtlich der räumlichen Trassierung [1]. Erst durch die Überlagerung der Ebenen im Anschluss an die Modellierung kann die räumliche Ausprägung der Trasse im Gelände eingesehen werden. Während des Entwurfs ist die Berücksichtigung topografischer Gegebenheiten entsprechend schwierig und Verschneidungen mit dem Gelände sowie die räumliche Gestaltung können nur sehr eingeschränkt berücksichtigt werden können.

Inkonsistenzen in der Planung oder identifizierte Defizite, bedingt durch eine unbefriedigende räumliche Linienführung, erfordern den Wechsel in die zweidimensionale Arbeitsweise. Dieser iterative Prozess ist gegenwärtig die einzige Möglichkeit, sich richtliniengerecht einem bestmöglichen Gestaltungsergebnis zu nähern. Entsprechend wird die dreidimensionale Trassierungsaufgabe uneinheitlich, auf zweierlei Art überwiegend zweidimensional ausgeführt [1].

## 2 Geometrischer Entwurf

Der Tangentenentwurf wird von erfahrenen Entwurfsingenieuren als intuitiv bedienbar eingeschätzt und ist in etablierter Software zur Straßenplanung abgebildet. Bei diesem Verfahren werden im Lageplan Tangenten festgelegt, welche den Verlauf der Achse in Form eines Stützpolygons grob beschreiben. Um eine stetige Linienführung im Lageplan zu erzeugen, erfolgt in den Tangentenschnittpunkten des Stützpolygons eine Ausrundung mit Lageplankurven, wobei die Notwendigkeit eines positions-, richtungs- und krümmungsstetigen Übergangs zu den benachbarten Entwurfselementen besteht [2].

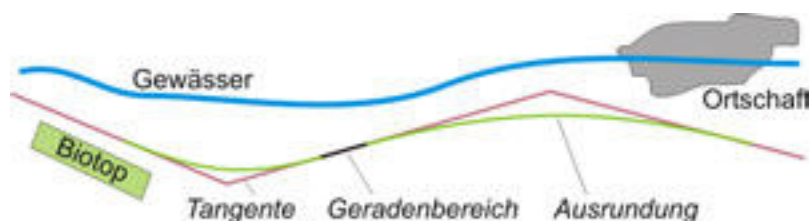


Abbildung 3: Tangentenentwurf zur Modellierung der Achse im Lageplan

## 2.1 Einschränkungen des konventionellen Modells

Einen wesentlichen Nachteil stellt die traditionell angewendete und für den computergestützten Entwurf adaptierte separate Modellierung von Lage- und Höhenplan dar. Die räumliche Linienführung wird hierbei sehr spät sichtbar. Entsprechend können Planungsdefizite entstehen, welche sich als entwässerungstechnisch oder fahrdynamisch ungünstig erweisen oder sogar als sicherheitskritisch einzustufen sind. Beispiele sind verdeckte Kurvenbeginne oder kritische Sichtschatten. Die zwingend notwendige sequenzielle Bearbeitung von Achse und Gradiente erhöht zudem den Arbeitsaufwand im Rahmen der Variantenfindung.

## 2.2 Neuartiges Entwurfsmodell der Achse

Das neuartige Modell der Achse adaptiert den Tangentenentwurf. Ein Stützpolygon im Lageplan beschreibt Tangenten, auf denen explizit Geradenbereiche definiert werden können. Zwischen Geradenbereichen erfolgt automatisiert eine Ausrundung in Form von Verbundkurven zur Gewährleistung krümmungstetiger Übergänge. Die Ausprägung der Ausrundung kann hierbei parametrisiert werden – beispielsweise bezüglich der Bogenlänge und der Symmetrie.

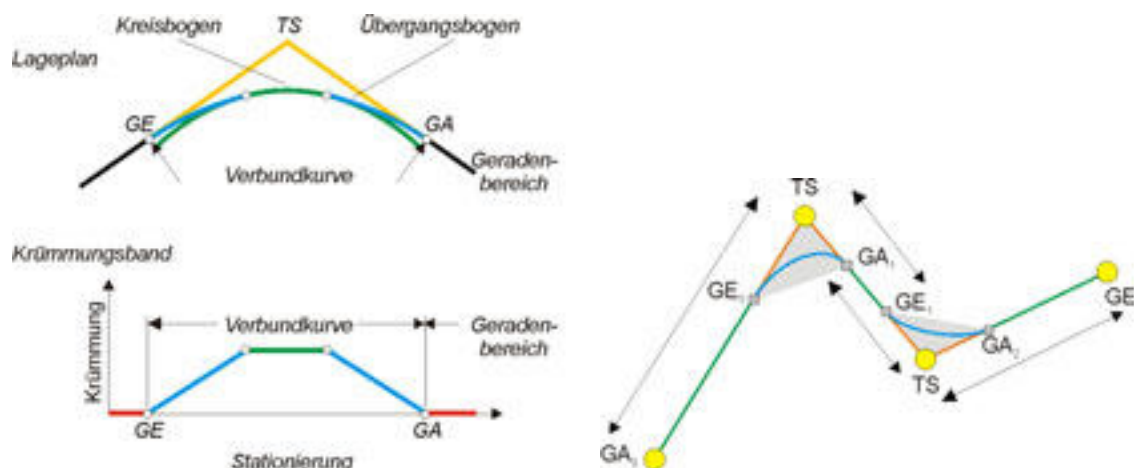


Abbildung 4: Verbundkurve im Lageplan mit zugehörigem Krümmungsband (links). Ausrundung zwischen Geradenbereichen mit Geradenanfang (GA) und Geradenende (GE) als editierbare Entitäten (rechts).

Das neuartige Modell der Achse basiert auf der Definition (Geradenbereiche) und automatischen Erzeugung (Elemente der Verbundkurve: Übergangsbögen und Kreisbögen) standardisierter Entwurfs-elemente und gewährleistet so die Konformität zu geltenden Regelwerken im Straßenbau. Der entwickelte Algorithmus zur Erzeugung von Verbundkurven zwischen Geradenbereichen stellt eine wesentliche Neuerung und qualitative Erweiterung der Entwurfsmethodik dar. Die Trassierung in Zwangslagen wird durch die so verbesserte Kontrollierbarkeit des Achsverlaufs wesentlich vereinfacht.

## 2.3 Modell der Trasse

Zur Realisierung des interaktiven 3D Entwurfs wurde das Modell der Trasse entworfen, welches Achse und Gradiente aggregiert und als Schnittstelle zur Applikation

dient. Das Trassenmodell realisiert die Überlagerung der intern verwendeten 2D-Entwurfsebenen und somit die 3D Manipulation und Visualisierung. Die nachfolgende Grafik zeigt die Benutzerschnittstelle des interaktiven 3D Entwurfs.

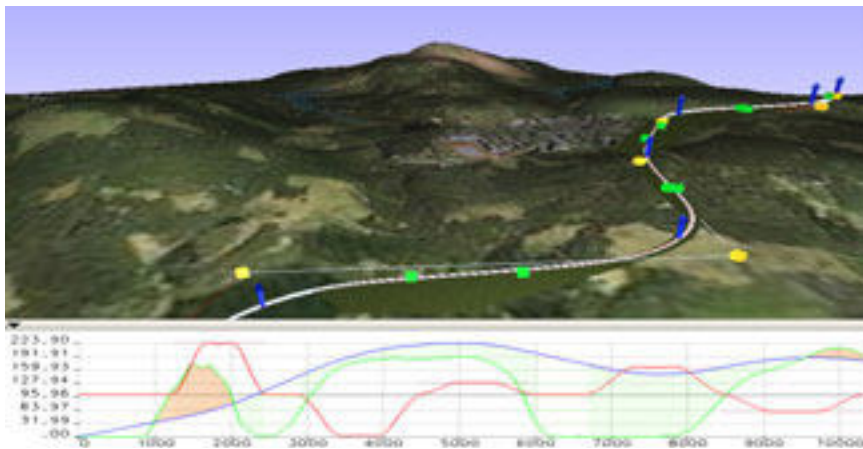


Abbildung 5: Darstellung von digitalem Geländemodell, Trasse, deren Eigenschaftsbändern und Manipulatoren im Szenario des interaktiven 3D Entwurfs

### 3 Resümee und Ausblick

Die Entwicklung eines Algorithmus zum Einfügen parametrisierbarer Verbundkurven in durch angrenzende Entwurfselemente beschriebene Bereiche der Achse stellt eine wesentliche Erweiterung des geometrischen Entwurfs von Straßenverkehrsanlagen dar. Die Anwendung standardisierter Entwurfselemente in Achse und Gradiente garantiert die Konformität mit geltenden Planungsrichtlinien und bildet eine Schnittstelle zu konventionellen Entwurfswerkzeugen. Die Realisierung eines Modells zur Unterstützung der interaktiven Modellierung und Visualisierung in 3D stellt einen Paradigmenwechsel im geometrischen Straßenentwurf dar. Die Erweiterung des 3D Entwurfs um eine geometrische Sicherheitsüberprüfung entsprechend geltender Richtlinien (RAL) sowie die Fahrsimulation und Parametererfassung (z.B. Fahrdynamik) zur Identifikation von Planungsdefiziten oder Inkonsistenzen bereits in der Entwurfsphase sind Bestandteile der neuen Entwurfsmethodik. Zukunftsperspektiven ergeben sich in der multikriteriellen Optimierung von Trassen, um Entwurfsvarianten entsprechend einer individuell definierbaren Zielfunktion objektiv bewerten zu können.

### Danksagung

Diese Untersuchungen erfolgten im Kontext des Projektes “InnoParT – Innovativer Paradigmen-Transfer” und wurden durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Rahmen des Programms “Wirtschaft trifft Wissenschaft” finanziell gefördert.

### Literatur

- [1] GALILÄER (2009) Trassierung von Straßenverkehrsanlagen mit der Finiten Elemente Methode. Kurzfassung und Thesen zur Dissertation, Technische Universität Dresden, Dresden
- [2] WEISE / DURTH (1997) Straßenbau Planung und Entwurf. Verlag für Bauwesen, Berlin
- [3] ANADELTA TESSERA – Road Design Software (2010). Anadelta Software – <http://anadelta.com>



# **Planen mit Multiagentensystemen – Wie Oktokopter selbstständig Aufgaben lösen können**

Florian Ruh M. Sc., Phone: ++49.3943-659-388, E-Mail: fruh@hs-harz.de,  
Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

## **Abstract**

Multiagentensysteme sind Gruppen von selbstständig handelnden Robotern (Agent), die ein gemeinsames Ziel verfolgen. Bislang werden solche Systeme mit vorgefertigten Plänen ausgestattet, nach denen sie Ihre Aufgabe bewältigen können. Dabei wird von Dritten ein fester Rahmen vorgegeben, innerhalb dessen der Agent die Aktionen durchführen kann. Diese Arbeit verfolgt einen abstrakteren Ansatz, bei dem ein Plan dynamisch, d.h. vom System selbst erstellt wird, so dass von außen lediglich die Aufgabe und deren Komposition aus Aktionen definiert werden müssen. Der Ansatz, die Planung und die Durchführung mit Hilfe einer Kombination aus Hierarchischen Task-Netzen und Hierarchischen Hybriden Automaten zu realisieren, wird hier erstmals vorgestellt.

**Keywords:** Künstliche Intelligenz, Agentensysteme, Planen, Automaten.

## **1 Einführung**

### **1.1 Motivation**

Selbstständig tätige, hard- oder softwarebasierte Systeme – so genannte Agenten – sind in unserem Alltag bereits integriert, z.B. in der medizinischen Diagnostik, der Heimautomation und der Kommunikation. Oft sind dies allerdings einzelne Systeme, die sich untereinander nicht absprechen müssen. Ist jedoch Kooperation zwischen den Agenten wünschenswert oder erforderlich, wenn z.B. das Problem nur oder wesentlich effizienter im Team gelöst werden kann, bedarf es weiter reichenden Strategien, um die Einzelsysteme untereinander zu verbinden. Eine solche Gruppe wird auch Multiagentensystem genannt. Das Labor Mobile Systeme an der Hochschule Harz kann auf einige Forschungs- und Wettbewerbserfolge in Gebiet der Multiagentensysteme zurückblicken. Für diverse Hardwareplattformen wurde eigene Software erstellt, speziell für das Verhalten von Multiagentensystemen. Zum praktischen Einsatz kommen dabei eigene Theorien in der Automatentheorie.

### **1.2 Aufgabenstellung**

Viele Aufgaben für Multiagentensysteme erfordern kooperatives Verhalten für die effiziente Lösung eines Problems. Aus begrenzten Ressourcen gilt es den größtmöglichen Nutzen zu ziehen. Im Szenario mit Robotern können die Begrenzung durch die Akkuleistung und der Nutzen durch die benötigte Zeit definiert sein. Jeder Agent löst daher nur einen Teil der Aufgabe. Dabei sollen sie gemeinsam selbstständig ihren Plan erstellen und die Teilaufgaben untereinander zuordnen. Kommunikation, Kooperation sowie Koordination werden dabei zu notwendigen Eigenschaften. In diesem Artikel soll untersucht werden, welches Wissen im System vorhanden sein muss, wie das Problem auf mehrere Agenten verteilt werden kann und wie die Absprache zwischen den einzelnen Agenten erfolgt.

Ein Algorithmus zur automatischen Planerstellung soll so abstrakt definiert und implementiert werden, dass er auch auf Flugrobotern in konkreten, ganz verschiedenar-

tigen Szenarien einsetzbar ist. Wesentliche Vorteile, die diese Roboter bieten, sind die Möglichkeiten, für Menschen schwer zugängliche Orte zu erreichen und für einen einfachen und kurzfristigen Überblick zu sorgen. Dabei gelten sie als günstige Alternative zu echten Flugzeugen und Hubschraubern. Einsatzgebiete sind daher Baustellen (für den Baufortschritt), Gebäude (Schadensbericht), Biotope (Waldbrandgefahr), im Tourismus (Werbefilme) und bei Rettungsmissionen (Suche nach Verunglückten, kurzfristige Wiederherstellung der Kommunikation).

Im Beispiel-Szenario für diese Arbeit kommen drei Flugroboter (Oktokopter) zum Einsatz mit der Aufgabe, Sturmschäden an einem Haus zu erkennen und diese per Fotokamera zu dokumentieren. Dieses Problem soll aus drei Teilen (mit unterschiedlicher Priorität und Kapazität) bestehen. Der den Plan erstellende Agent muss also zunächst wissen, wie die Teilaufgaben aufgebaut sind, welcher Roboter welche Eigenschaften besitzt und wer welche Teilaufgabe am besten lösen kann.



Abbildung 1: Oktokopter der Hochschule Harz

Oktokopter sind Hubschrauber-Modelle mit acht Rotoren, die auf einem Gestell von etwa 90 cm Durchmesser kreisförmig angeordnet sind. Die gesamte Masse dieser Modelle beträgt etwa 1,5 kg, da zusätzlich zur Basis-Hardware noch ein

Rechner im Mini-ITX-Format nebst Kamerasystem verbaut ist.

Im Beispiel-Szenario (s. Abb. 2) befinden sich zum Zeitpunkt  $t=0$  alle Oktokopter am Ausgangspunkt HQ. Die Aufteilung, welche Positionen (A, B, C) von zu lösenden Aufgaben von welchem Roboter angefliegen werden soll, ist bereits geschehen: Die Roboter M1 und M3 sind der Aufgabe an Punkt A zugeteilt. Der Roboter M2 wird den Aufgaben an den Punkten B und C zugewiesen. Diese Zuweisungen hängen von den unterschiedlichen Fähigkeiten der Oktokopter und den verschiedenen Anforderungen der Aufgaben ab. Dabei werden zum erfolgreichen Bearbeiten der Aufgabe bei A zwei Flugroboter benötigt. Die Aufgabe mit der höchsten Priorität befindet sich dagegen am Punkt B. Zum Zeitpunkt  $t=b$  schwebt der Roboter M2 am Punkt B und hat die dortige Aufgabe gelöst, während die anderen beiden noch Richtung A fliegen. Zum Zeitpunkt  $t=a > b$  befinden sich die Roboter M1 und M3 am Punkt A, während M3 die Aufgabe bei B vollendet hat und nun auf dem Weg zum Punkt C ist. Es wird angenommen, dass zum Zeitpunkt  $t=c > a$  die Aufgabe bei C erfolgreich

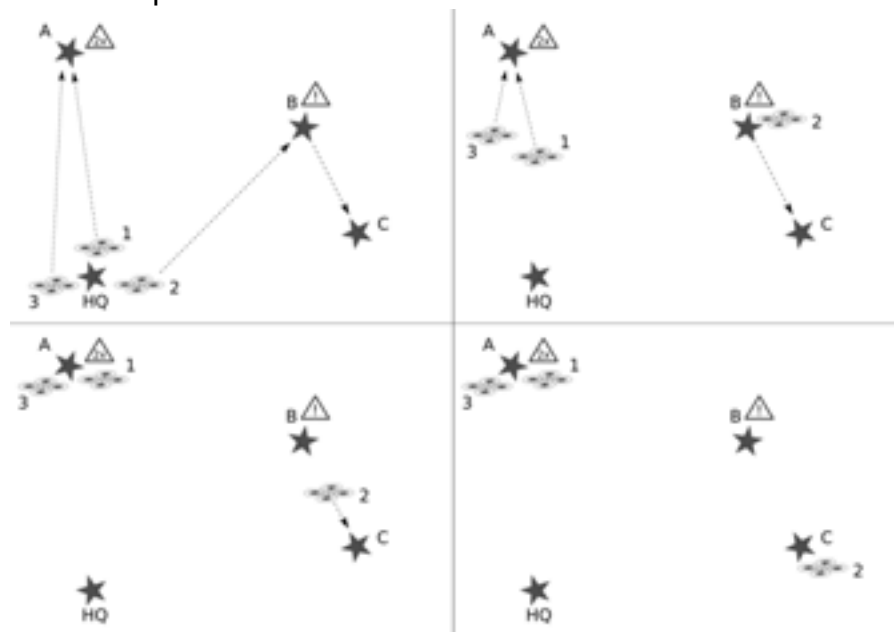


Abbildung 2: Beispiel-Szenario bei  $t=0$  (li. o.),  $t=b$  (re. o.),  $t=a > b$  (li. u.),  $t=c > a$  (re. u.)

abgeschlossen und damit die übergeordnete Aufgabe in allen Teilen gelöst ist. Eine Rückkehr zur Basis ist in diesem Beispiel-Szenario der Einfachheit halber nicht vorgesehen.

## 2 Grundlagen

Ein Agent im Themengebiet der Künstlichen Intelligenz wird definiert als ein System, welches seine Umgebung mittels Sensoren wahrnimmt und darauf autonom und rational mit Effektoren reagiert. Ein Multiagentensystem wird verstanden als Menge von Agenten, die – entweder gleichartig (homogen) oder verschiedenartig (heterogen) aufgebaut – ein Ziel entweder gemeinsam oder konkurrierend verfolgen.

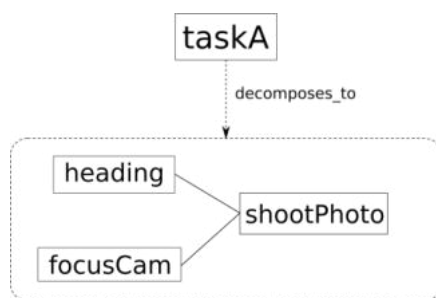


Abbildung 3: Beispiel eines Hierarchischen Task-Netzes, Aufteilung der Task „taskA“ in primitive Aktionen

Hierarchische Task-Netze (HTN) bieten eine bekannte Methode zum Planen von Aufgaben (vgl. [Sa74]). Dabei wird ein bestehendes Problem in kleinere Probleme aufgeteilt, indem die erforderlichen Aktionen solange zerlegt werden, bis nur noch „primitive Aktionen“ im Plan verbleiben. Diese können dann vom Agenten selbstständig ausgeführt werden. Dies erfordert vom System eine Wissensbasis in Form einer Aktionen-Bibliothek („Plan Library“) als Grundlage für die Ausführung der primitiven Aktionen. Zusätzlich muss noch das Wissen um die Zusammensetzung der einzelnen Teilaktionen definiert sein. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel, bei dem die Aufgabe „taskA“ in die Teilaktionen „heading“ „focusCam“ und „shootPhoto“ zerlegt wird. Diese stellen gleichzeitig primitive Aktionen für den Oktokopter dar.

Sobald der Plan erstellt ist, gilt es, diesen gleichzeitig auf allen Agenten auszuführen. Ein geeignetes Modell, welches sowohl die Zuweisung, welcher Agent welche Aktionen ausführt, als auch die in der Natur stetig verlaufende Zeit darstellen kann, sind Hierarchische Hybride Automaten (HHA) [FM08]. Sie stellen das Gesamtsystem dar und verdeutlichen seinen zeitlichen Verlauf durch parallele Prozesse und Synchronisation, sofern diese sich Ressourcen teilen müssen. Dies ist der Fall, wenn jeder Agent einen bestimmten nebenläufigen Prozess (d.h. eine bestimmte Rolle) übernimmt. Abbildung 4 zeigt einen solchen Automaten für das o.g. Beispielszenario.

## 3 Implementation

Um eine erste Implementation zu ermöglichen, wird die Komplexität des Problems reduziert. Dabei wird angenommen, dass sich die Umgebung während der Ausführung des Plans nicht ändert. Sie ist also statisch, deterministisch und vollständig beobachtbar. In diesem vereinfachten Szenario kann der Plan „sicher“ ausgeführt werden, ohne auf unvorhergesehene Änderungen zu stoßen, d.h. unabhängig vom Zeitpunkt der Plan-Erstellung.

Zunächst müssen die einzelnen Module implementiert werden: Die Aktionen-Bibliothek muss definiert und das Problem sowie die Aufgaben-Struktur beschrieben werden. Aus diesen Informationen wird dann das Hierarchische Task-Netz erstellt,

welches wiederum auf einen Hierarchischen Hybriden Automaten abgebildet wird. Zuletzt wird dieser Automat auf dem Agenten interpretiert.

Dieses Vorgehen beschränkt sich nicht allein auf die Oktokopter der Hochschule Harz, die in der ersten Stufe der Implementation benutzt werde, sondern es soll anwendbar auf alle Arten von Multiagentensystemen sein. Zudem soll es sich auch für einzelne Agenten eignen, wenn die Aufgabenplanung möglichst autonom sein soll.

## 4 Schlussbemerkungen

In diesem Artikel wird geschildert, wie das Verhalten eines Multiagentensystems vom System selbstständig geplant werden kann. Dazu ist das Wissen um primitive Aktionen und deren Bezug untereinander notwendige Voraussetzung. Die Kooperation der einzelnen Agenten erfolgt dann durch Aufgabenteilung mittels Hierarchischen Task-Netzen, welche wiederum in Hierarchischen Hybriden Automaten abgebildet und simuliert werden. Jeder nebenläufige Prozess kann durch einen einzelnen oder mehrere Agenten ausgeführt werden. Eventuell erforderliche Absprachen unter den einzelnen Agenten erfolgt durch die Synchronisation in den Automaten selbst.

Diese Arbeit stellt die ersten Schritte dar, die zur Implementation eines Algorithmus führen sollen. Die darauf folgenden Untersuchungen sollen sich mit einer Evaluierung der Aufgabenzuweisung auf die einzelnen Agenten und die Verifikation des Algorithmus' befassen. Ferner ist eine Applikation auf einem Oktokopter zu implementieren. Idealerweise soll das Planen zuletzt dynamische Effekte berücksichtigen können, d.h. eine veränderliche Umgebung mit nicht-deterministischem Verhalten.

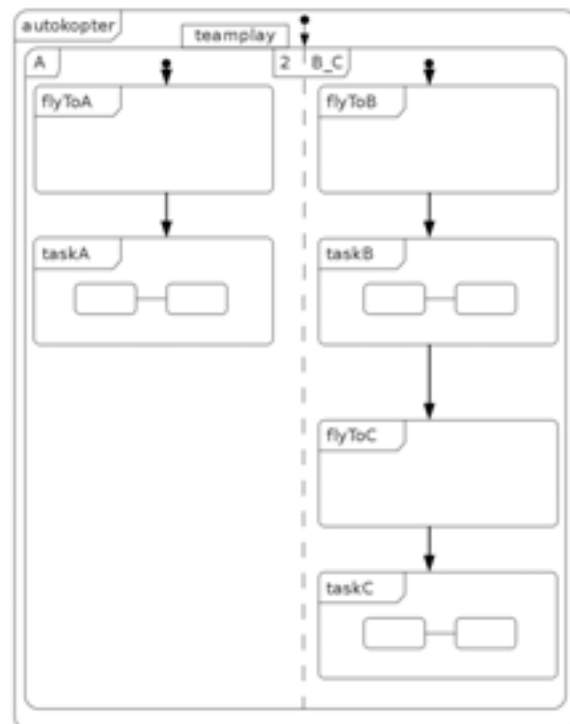


Abbildung 4: Beispiel eines Hierarchischen Hybriden Automaten

## Literatur

**[FM08]** Furbach, U., Murray, J., Schmidsberger, F. und Stolzenburg, F.: Hybrid Multiagent Systems with Timed Synchronization – Specification and Model Checking. In Dastani, El Fallah Seghrouchni, Ricci und Winikoff: Post-Proceedings of 5<sup>th</sup> International Workshop on Programming Multi-Agent Systems at 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Honolulu, 2008. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2008.

**[Sa74]** Sacerdoti, E.: Planning in a hierarchy of abstraction spaces. In Artificial Intelligence 5, 1974, S. 115–135.

## **Projekterfolg durch den Einsatz von Social Software – eine literaturbasierte Analyse**

Dipl-Medienwirt (FH) Andreas M. Carjell, Phone: ++49. 3683-688-4219, Fax: ++49. 3683-688-4499,  
E-Mail: a.carjell@fh-sm.de, Fachhochschule Schmalkalden, Fakultät Informatik, Postfach 10 04 52,  
98564 Schmalkalden

**Abstract** Im vorliegenden Beitrag wird literaturbasiert der Einfluss von Social Software auf anerkannte Erfolgsfaktoren des Projektmanagements untersucht. Der Beitrag zeigt am Beispiel von fünf klassischen Social Software-Elementen, welche erklärenden Variablen des Projekterfolgs jeweils unterstützt werden können und gibt im abschließenden Fazit einen Überblick über Voraussetzungen und Potentiale des Einsatzes von Social Software im Projektmanagement.

**Keywords:** Erfolgsfaktorenforschung, Projektmanagement, Informations- und Kommunikationssysteme, Social Software, Web 2.0, Projektmanagement-Software (PMS)

### **1 Einleitung**

In vielen Bereichen ist heute eine optimale Kundenorientierung und die Fähigkeit, in angemessener Zeit flexible Lösungen für komplexe Probleme anzubieten, erfolgsentscheidend. Diese Anforderungen versuchen Unternehmen in vielen Fällen durch den Einsatz von Projektmanagement zu erfüllen. Wie verschiedene Untersuchungen zeigen, sind für den Erfolg von Projekten u. a. Planung, Teamarbeit und Kommunikation entscheidend. Oft werden diese Faktoren heute durch Software unterstützt.<sup>1</sup>

In den vergangenen Jahren sind hierfür die Softwarelösungen des Projektmanagements angepasst worden. Einzelplatzlösungen für den Projektmanager wurden dabei zu komplexen Anwendungen, die einen unternehmensweiten Einsatz und eine Vielzahl von Projektmanagementprozessen unterstützen, weiterentwickelt.<sup>2</sup> Gleichzeitig beginnen sich in Unternehmen Paradigmen und Technologien des Web 2.0 durchzusetzen.<sup>3</sup> Nach wie vor besteht jedoch im Bereich der Erfolgsfaktoren sowie des Softwareeinsatzes im Projektmanagement Forschungsbedarf.<sup>4</sup> Vor diesem Hintergrund verknüpft der Beitrag anerkannte Erfolgsfaktoren des Projektmanagements mit neueren Web 2.0-Konzepten. Auf Basis einer Literaturanalyse wird überprüft, welches Potential zur Unterstützung der Erfolgsfaktoren dem Einsatz von Web 2.0 im Projektmanagement aus heutiger Sicht beigemessen werden kann. Zur Beurteilung des Potentials der unterschiedlichen Lösungen werden diese mit ihren möglichen Einflüssen auf anerkannte Erfolgsfaktoren in Beziehung gesetzt.

---

1 Für eine umfassende empirische Untersuchung zum Thema „Erfolgsfaktoren im Projektmanagement“ vgl. z. B. LECHLER (1997). Zum aktuellen Stand des Einsatzes von Projektmanagement in deutschen Unternehmen vgl. z. B. KERN/NAGENGAST (2008) und SCHMIDT (2006), zum Softwareeinsatz im Projektmanagement insb. auch MEYER (2007).

2 Vgl. AHLEMANN et. al. (2008), S. 35.

3 Deren Einsatz im unternehmerischen Kontext wird teilweise auch als „Enterprise 2.0“ umschrieben, vgl. hierzu KOCH/RICHTER (2009) sowie BACK/GRONAU/TOCHTERMANN (2009) u. a.

4 Vgl. dazu CARJELL (2010) sowie die dort referenzierten Quellen.

## 2 Erfolgsfaktorenforschung im Projektmanagement

Grundannahme der betriebswirtschaftlichen Erfolgsfaktorenforschung ist, dass nur einige wenige Variablen mit herausragender Bedeutung wesentlich über Erfolg oder Misserfolg eines Vorhabens entscheiden.<sup>5</sup> Zum Thema Erfolgsfaktoren im Projektmanagement liegen bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungen<sup>6</sup> vor. Dabei sind einige Erfolgsfaktoren in unterschiedlichen Untersuchungen und über unterschiedliche Branchen hinweg immer wieder zu finden.<sup>7</sup> LECHLER entwickelte in seiner Untersuchung basierend auf den Auswertungen von 44 empirischen Studien ein aus acht Faktoren<sup>8</sup> bestehendes Modell zur Erklärung des Projekterfolgs.

Sein vielfach zitiertes, unter Einsatz der Faktor- und der Clusteranalyse entwickeltes Modell, wurde auf einer breiten Datenbasis<sup>9</sup> überprüft. Viele der gefundenen Faktoren wurden auch in späteren Studien bestätigt. Dieses Modell wird deshalb auch hier im Weiteren verwendet. Bemerkenswert ist dabei, dass die beiden Faktoren „Konflikt“ ( $\beta = -0,21$ ) und „Zieländerung“ ( $\beta = -0,20$ ) den im Betrag größten direkten Einfluss auf den Projekterfolg haben. Diese Faktoren wirken sich negativ auf den Projekterfolg aus. Die weiteren positiv wirkenden Faktoren sind: Information/Kommunikation, Partizipation, Planung/Steuerung, Projektleiter, Projektteam sowie Unterstützung des Top-Managements.

## 3 Erfolgseinfluss von Social Software im Projektmanagement

Seit einigen Jahren werden verschiedene Softwaresysteme unter dem Begriff „Social Software“ als Teilmenge des Web 2.0<sup>10</sup> zusammengefasst. Social Software umfasst dabei „webbasierte Anwendungen, die für Menschen den Informationsaustausch, den Beziehungsaufbau und die Kommunikation in einem sozialen Kontext unterstützen“<sup>11</sup>. Die Übertragung bzw. der Einsatz von Social Software im Rahmen von Projekten liegt nahe. Dafür kann die Disziplin des Projektmanagements als das Lösen einer neuartigen, komplexen Aufgabenstellung<sup>12</sup> im Team verstanden werden, bei der u. a. Wissen und kollektive Intelligenz des Teams wesentlich für den Erfolg des

---

<sup>5</sup> Vgl. ZIEGENBEIN (2002), S. 205.

<sup>6</sup> Vgl. z. B. LECHLER (1997), S. 309ff.: 44 Studien zwischen 1967 und 1992 oder SODEIK (2008), 371ff.: 20 Primäranalysen mit Ergebnissen zu Erfolgsfaktoren des Projektmanagements bei M&A zwischen 1999 und 2007.

<sup>7</sup> Siehe z. B. GPM (2008) S. 8, SCHMIDT (2006), ZHRNT (2002), S. 5ff. und die dortige Darstellung der Untersuchung der Standish Group 1995.

<sup>8</sup> Vgl. auch Spalte *Einflussfaktoren* in Tabelle 1 sowie LECHLER (1997), S. 265f.

<sup>9</sup> Aufgrund der Datenbasis (257 erfolgreiche und 191 erfolglose Projekte), der Vielzahl empirischer Studien die in die Entwicklung des Modells eingeflossen sind und der Bestätigung durch nachfolgende Untersuchungen, kann hier von einem validen Ansatz allgemein gültiger Erfolgsfaktoren gesprochen werden.

<sup>10</sup> Der Begriff des Web 2.0 wurde im Jahr 2005 durch TIM O'REILLY geprägt. Neben technischen Rahmenbedingungen beschreibt O'REILLY „Netzwerkeffekte durch Nutzerbeteiligung“ als einen „wesentlichen Erfolgsfaktor“ im Web 2.0 O'REILLY (2005).

<sup>11</sup> HIPPER (2006).

<sup>12</sup> Für eine ausführliche Darstellung verschiedener, in der Literatur verwendeter Definitionen und Abgrenzungskriterien des Projektbegriffs vgl. MADAUSS (2000) S. 519ff.

Gesamtvorhabens sind.<sup>13</sup> Dabei sind im sozialen Kontext des Projektteams die Elemente „Beziehungsaufbau und –pflege“ sowie „Kommunikation“ und „Informationsaustausch“ unerlässliche Faktoren. Im Nachfolgenden werden deshalb fünf klassische Social Software-Elemente auf ihr Potential bezüglich des Einsatzes im Bereich des Projektmanagements hin untersucht.

*Microblogs*: BÖHRINGER UND RÖHRBORN beschreiben das Potential von *Microblogs* in Projekten an Hand von sechs Merkmalen. Den Hauptnutzen sehen die Autoren in einer deutlich gesteigerten Transparenz des Projektgeschehens, welche durch die strukturierte Aufzeichnung informeller Kommunikation im Projekt ermöglicht wird. Nach Meinung der Autoren können so Ereignisse frühzeitig und strukturiert sichtbar gemacht werden, die ansonsten nur wenigen direkt beteiligten Akteuren bekannt wären. Durch die so gesteigerte Transparenz kann schneller auf Ereignisse (z. B. Änderungen) reagiert werden und die Selbstorganisation des Teams wird unterstützt, was insgesamt zu einer Entlastung des Projektleiters führen kann.

*Social Networks* lassen sich im Projektmanagement für das Kompetenzmanagement nutzen und bieten außerdem das Verwalten von Kontakten und Kontaktinformationen.<sup>14</sup> Sie unterstützen damit den Erfolgsfaktor Planung/Steuerung.

*Instant-Messaging*<sup>15</sup> bieten einerseits technische Unterstützung verschiedener Formen der synchronen Kommunikation (Text-, Audio-, Videokonferenzen, File- und Desktopshareing) unterstützen aber auch asynchrone Kommunikation durch Textnachrichten und Präsenzinformationen. BÄCHEL UND DAURER sehen dabei den Nutzen dieser Tools vor allem in der Reduzierung der Kommunikationskosten. Für die Arbeit in Projekten ermöglichen diese Tools Kommunikationsformen wie etwa die Videokonferenz, die vor dem Web 2.0 nur mit umfangreicher technischer Ausstattung und großen Kommunikationsbudgets möglich waren.

*Weblogs* sind zu verstehen als „relativ regelmäßig aktualisierte Webseiten, auf denen Beiträge rückwärts chronologisch angeordnet und in der Regel separat kommentierbar sind“<sup>16</sup>. Mitarbeiter können damit „ihre Expertise und ihre Erfahrungen in bestimmten Projekten dokumentieren, wodurch Wissen gleichermaßen kodifiziert wie personalisiert wird.“<sup>17</sup> Sie erleichtern so den Austausch mit anderen Teammitgliedern oder Projektstakeholdern die spezifische Informationen suchen.

*Wikis* bieten zentrale Funktionen des Wissensmanagements. Inhalte können verknüpft und auf einfache Weise durchsucht werden, im Wiki hinterlegte Informationen bleiben personen- und projektunabhängig im Unternehmen erhalten. Außerdem erleichtern Wikis wie Weblogs die Einarbeitung neuer Teammitglieder im Projekt.

Die nachfolgende Tabelle 1 systematisiert noch einmal das Potential der hier betrachteten Social Software zur Unterstützung des Projektmanagements.

---

<sup>13</sup> Vgl. hierzu z.B. KOMUS/WAUCH (2008), S. 193ff.

<sup>14</sup> Vgl. hierzu auch AHLEMANN et. al. (2008), S. 38f.

<sup>15</sup> Zur Einordnung von Instant-Messaging-Tools als Social Software Vgl. ALBY (2008), S. 90f.

<sup>16</sup> SCHMIDT (2008), S. 122.

<sup>17</sup> SCHMIDT (2008), S. 127f.

## 4 Fazit

Wie Tabelle 1 zeigt, sind für alle hier betrachteten Social Software-Elemente positive Einflüsse auf den Projekterfolg zu erwarten. Auffällig ist jedoch, dass für die beiden stärksten und negativ wirkenden Faktoren „Konflikte“ und „Zieländerung“ kein Einfluss auf Basis der Literatur belegt werden konnte. Auch der Erfolgsfaktor „Top-Management-Unterstützung“ lässt sich durch Social Software nicht unterstützen.

Tabelle 1: Einfluss von Social Software auf Variablen des Projekterfolgs

<b>Social Software Tool</b>	Micro-blogging	Social Networks	Instant Messaging	Weblogs	Wikis
<b>Einflussfaktor</b>					
Information/ Kommunikation	•		•	•	•
Konflikte					
Partizipation	•		•	•	
Planung/Steuerung		•			
Projektleiter	•				
Projektteam	•			•	•
Top-Management-Unterstützung					
Zieländerungen					

Auf Basis der durchgeführten Analyse bleibt daher zu konstatieren, dass den verschiedenen Social Software-Elementen zwar ein Erfolgsbeitrag für Projekte zugeschrieben werden kann, dieser ist jedoch nur als „ein Werkzeug unter vielen“ zu verstehen. Festzuhalten bleibt bei Social Software Systemen außerdem, dass diese über „einen hohen Grad an Selbstorganisation“<sup>18</sup> verfügen. Die klassische Sichtweise des Projektmanagements ist allerdings weniger selbstorganisierend angelegt, sondern relativ zentriert auf Führungspersönlichkeiten (Top-Management und Projektmanager etc.). Sie geben die Ziele, den Arbeitsablauf und die –organisation, die Kommunikationswege usw. vor. Inwiefern daher Social Software überhaupt nutzbringend in Projekten eingesetzt werden kann, wird damit auch wesentlich von der Bereitschaft des Projektmanagers abhängen, diese Konzepte der Selbstorganisation in seinem Team zuzulassen, zu fördern und zu unterstützen. Nicht zuletzt ist der Einsatz von Social Software im Unternehmen generell nur sinnvoll, wenn auch die Konzepte der Unternehmenskommunikation intern wie extern bereits für entsprechende Aktivitäten angelegt sind.

---

Hinweis: Aus Platzgründen wird an dieser Stelle auf die Wiedergabe der bibliographischen Angaben zur verwendeten Literatur verzichtet. Die Angaben sind dafür online verfügbar unter: [www.multi-media-marketing.org/dateien/carjell\\_nwk2011.pdf](http://www.multi-media-marketing.org/dateien/carjell_nwk2011.pdf)

---

<sup>18</sup> AHLEMANN et. al. (2008), S. 36.



## **Psychische Belastung, Lebensqualität und Krankheitsverarbeitung bei stationär behandelten gynäkologischen Patientinnen**

Jagla, M.<sup>1,4</sup>, Parchmann, O.<sup>2</sup>, Kumbier, E.<sup>2</sup>, Zirkenbach, B.<sup>3</sup> & Franke, G.H.<sup>4</sup>

- (1) Universität Flensburg, Institut für Psychologie, Abteilung für Gesundheitspsychologie & Gesundheitsbildung
- (2) Krankenhaus am Rosarium Sangerhausen, Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe
- (3) Johanniter Zentren für medizinische Versorgung in der Altmark GmbH; Praxis für Frauenheilkunde und Geburtshilfe Osterburg
- (4) Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften

### **Einleitung**

Der Begriff „Psychogynäkologie“ oder der sich mehr durchsetzende Begriff „gynäkologische Psychosomatik“ (Rohde & Dorn, 2007) impliziert eine Verbindung der Fachrichtungen Psychologie und Gynäkologie. Dabei werden neben den somatischen Aspekten auch die psychischen Komponenten, wie Lebensqualität, psychische Belastung und Krankheitsverarbeitung, der Patientinnen mit gynäkologischen Erkrankungen berücksichtigt und maßgeblich in die Forschung einbezogen (Schultz-Zehden, 2001, 2005). Die Forschungsschwerpunkte in der gynäkologischen Psychosomatik fokussieren häufig die gesundheitsbezogene Lebensqualität und die psychische Beeinträchtigung von gynäkologischen Patientinnen mit onkologischen Erkrankungen (Dorn & Rohde, 2008; Neises, 2007; Schneider, 2007; Schuth, 2004) bzw. deren Nachsorge- oder psychosozialen Betreuungsmaßnahmen (Berger & Klein, 2000; Siedentopf, 2005).

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die gesundheitsbezogene Lebensqualität und die psychische Belastung, vor allem aber die Krankheitsverarbeitung in einer anfallenden Stichprobe von Patientinnen in der stationären Gynäkologie zu untersuchen und Implikationen für die Praxis abzuleiten.

### **Methode**

Die vorliegenden Daten wurden in zwei Wellen (10/03-12/03 und 08/07-12/07) im Krankenhaus Am Rosarium GmbH Sangerhausen erhoben. Die insgesamt 123 Patientinnen wurden präoperativ bezüglich ihrer psychischen Belastung mit dem Brief Symptom Inventory (BSI; Franke, 2000), hinsichtlich ihrer gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36; Bullinger & Kirchberger, 1998) und bezüglich ihrer Coping-Strategien mit Essener Fragebogen zur Krankheitsverarbeitung (EFK; Franke, Mähner, Reimer, Spangemacher & Esser, 2000) untersucht. Alle verwendeten Verfahren erfüllen die Hauptgütekriterien.

Das BSI erfasst die subjektive psychische Beeinträchtigung einer Person innerhalb der letzten sieben Tage mit Hilfe von 53 Items und beschreibt neben den drei globalen Kennwerten GSI, PSDI und PST die Skalen Somatisierung, Zwanghaftigkeit, Unsicherheit im Sozialkontakt, Depressivität, Ängstlichkeit, Aggressivität/ Feindseligkeit, Phobische Angst, Paranoides Denken und Psychotizismus.

Der SF-36 erfasst die subjektiv wahrgenommene gesundheitsbezogene Lebensqualität mit Hilfe der Skalen Körperliche Funktionsfähigkeit, Körperliche Rollenfunktion, Körperliche Schmerzen, Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, die der Körperlichen Summenskala zugeordnet werden und den Skalen Vitalität, Soziale Funktionsfähigkeit, Emotionale Rollenfunktion und Psychisches Wohlbefinden, die zur Psychischen Summenskala gehören.

Der EFK ist ein 45 Items umfassendes Verfahren, das sich in die neun Bereiche: Handelndes, problemorientiertes Coping (HPC), Abstand und Selbstaufbau (AUS), Informationssuche und Erfahrungsaustausch (IUE), Bagatellisierung, Wunschenken und Bedrohungsabwehr (BWB), Depressive Verarbeitung (DV), Bereitschaft zur Annahme von Hilfe (BAH), Aktive Suche nach Sozialer Einbindung (ASS), Vertrauen in die ärztliche Kunst (VIÄ) und Erarbeiten eines inneren Haltes (EIH) gliedert.

## **Ergebnisse**

### *Stichprobenbeschreibung*

Die 123 Patientinnen waren durchschnittlich 48,2 Jahre alt (SD=12, min=17, max=78). Annähernd die Hälfte der Patientinnen machte Angaben zum Familien- und Ausbildungsstand. Fast ein Drittel (31.7%) war verheiratet, 8.9% waren geschieden und je 4.1% waren ledig oder verwitwet; 41.5% hatten Kinder. 62.2% hatten ihre Schullaufbahn mit einem Haupt-/ oder Realschulabschluss beendet, 28.5% berichteten von einem abgeschlossenen Studium.

Die Patientinnen wurden entsprechend ihrer selbstberichteten gynäkologischen Erkrankungen in vier Gruppen (Karzinom/ Verdacht auf Karzinom [n=21]; Zyklusstörungen und Schmerzen [n=59]; Lageveränderungen und Inkontinenz [n=25]; unbekannt [n=18]) differenziert.

### *Psychische Belastung*

Zur Beurteilung der psychischen Belastung wurden die drei globalen Kennwerte sowie die neun Skalen des BSI herangezogen. Der T-Wert des GSI lag bei 51,9 (SD=12,9; Range: 21-80), des PSDI bei 55,1 (SD=11,9; Range: 21-80) und des PST bei 50,3 (SD=12,1; Range: 28-80). Die T-Werte der neun Skalen schwankten zwischen 47,1 (SD=10,5; Range: 35-80) für die Skala Zwanghaftigkeit und 56,4 (SD=10,6; Range: 39-80) bei der Skala Somatisierung. Insgesamt zeigte sich, dass für die Gesamtstichprobe die Kriterien für eine psychische Auffälligkeit gemäß Falldefinition ( $T_{\text{GSI}} \geq 63$  und/ oder  $T_{2 \text{ Skalen}} \geq 63$ ; Franke, 2000) nicht erfüllt waren. Die weiterführende Datenanalyse zeigte, dass 43 Patientinnen (35%) die Kriterien erfüllten und auffällig psychisch belastet waren. Bei diesen Patientinnen lag der T-Wert des GSI bei 66,1 (SD=6,5), des PSDI bei 64,5 (SD=8,4) und des PST bei 62,4 (SD=8,9). Die Skalen Somatisierung (T=64,9; SD=9,2), Ängstlichkeit (T=62,4; SD=11), Phobische Angst (T=61,8; SD=12), Depressivität (T=61,6; SD=8,7) und Psychotizismus (T=61,5; SD=9,8) lagen im Bereich einer leichten Belastung, die restlichen Skalen lagen im unauffälligen Bereich. Zwischen den gebildeten klinischen Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede im Belastungsniveau gezeigt werden.

### *Lebensqualität*

Die T-Werte der beiden Summenskalen des SF-36 lagen mit 40,6 (SD=9,6; Range: 17,5-60,3) für die Psychische und 49 (SD=10,3; Range: 19,5-66,4) für die Körperliche Summenskala im Normbereich. Für die acht Subskalen lagen die transformierten Werte zwischen 54,1 (SD=20,2; Range: 0-95) bei der Skala Vitalität und 75,7 (SD=23,6; Range: 12,5-100) bei der Skala Soziale Funktionsfähigkeit, wobei 0 den schlechtesten und 100 den besten Gesundheitszustand angibt. Im Vergleich zur Normstichprobe wiesen die gynäkologischen Patientinnen bei allen Subskalen und der Körperlichen Summenskala statistisch signifikante Unterschiede im Sinne einer deutlich eingeschränkten gesundheitsbezogenen Lebensqualität auf. Weiterhin zeigte sich, dass die laut BSI psychisch auffällig belasteten Patientinnen im Vergleich zu den nicht belasteten Patientinnen, außer bei der Skala Körperliche Funktionsfähig-

keit, einen wesentlich schlechteren Gesundheitszustand beschrieben. Zwischen den gebildeten klinischen Gruppen konnten keine Mittelwertdifferenzen gezeigt werden.

### *Krankheitsverarbeitung*

Die Analyse der Krankheitsverarbeitungsstrategien in der Gesamtstichprobe zeigte, dass die Patientinnen ein stark ausgeprägtes „Vertrauen in die ärztliche Kunst“ aufwiesen und den Einsatz von „Handelndem, problemorientiertem Coping“ beschrieben; eher selten wurde „Depressive Verarbeitung“ als Bewältigungsstrategie eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Patienten mit verschiedenen somatischen Erkrankungen (N=1434) wiesen die Patientinnen statistisch signifikant mehr „Vertrauen in die ärztliche Kunst“ auf, wobei sie sich eher weniger einen inneren Halt erarbeiten (EIH) konnten, weniger nach sozialen Kontakten suchten (ASS), insgesamt weniger bagatellisierten (BWB) und weniger depressive Mechanismen (DV) einsetzten. Zwischen den klinischen Gruppen zeigten sich signifikante Mittelwertdifferenzen beim „Handelnden, problemorientierten Coping“; hier erreichten die Patientinnen mit Lageveränderungen und Inkontinenzbeschwerden die höchsten Werte. Der Bewältigungsmechanismus „Bagatellisierung, Wunschdenken und Bedrohungsabwehr“ wurde von den Patientinnen mit Krebserkrankungen oder Verdacht auf Krebserkrankungen am häufigsten, von Patientinnen mit Zyklusbeschwerden und Schmerzen am wenigsten eingesetzt. Die weitere Analyse zeigte, dass sich statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des Umgangs mit der Erkrankung zwischen psychisch belasteten und nicht belasteten Patientinnen nachweisen ließen. Die nach Falldefinition psychisch belasteten Patientinnen (n=43) setzten deutlich häufiger die „Depressive Verarbeitung“ ein, hatten ein geringeres „Vertrauen in die ärztliche Kunst“ und neigten eher zum Bagatellisieren (BWB).

### **Diskussion**

Die vorliegende Studie untersuchte psychologische Aspekte bei gynäkologischen Erkrankungen. Im Vergleich zu den Norm- bzw. Vergleichsstichproben der eingesetzten psychometrischen Verfahren zeigte die Gesamtstichprobe der gynäkologischen Patientinnen bei geringerer gesundheitsbezogener Lebensqualität keine ausgeprägte psychische Belastung. Bei Anwendung der Falldefinition stellte sich dar, dass 35% der Patientinnen auffällig psychisch belastet waren, was sich auch negativ auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität und die Krankheitsverarbeitung auswirkte. In Bezug auf ihre Krankheitsverarbeitung zeigten die Patientinnen vor allem ein großes „Vertrauen in die ärztliche Kunst“ und setzten, unabhängig von ihrer gynäkologischen Erkrankung, oft handlungsbasierte Strategien und wenig maladaptive Mechanismen ein. Weiterhin konnten Unterschiede in der Krankheitsverarbeitung zwischen den gebildeten klinischen Gruppen analysiert werden.

Zusammenfassend ist zu berichten, dass die Patientinnen zur Verbesserung ihrer gesundheitsbezogenen Lebensqualität im Vergleich zur Referenzstichprobe eher weniger adaptive Bewältigungsmechanismen aktivieren. Rehabilitationspsychologische Interventionen zur Krankheitsverarbeitung sowie psychoedukative Maßnahmen sollten hier ansetzen, um die Anpassung an die Erkrankung zu fördern, psychische Belastung zu reduzieren und die Lebensqualität zu steigern.

### **Literatur**

Berger, D. & Klein, H.O. (2000). Stationäre Rehabilitationsmaßnahmen bei gynäkologischen malignen Erkrankungen. *Der Gynäkologe*, 33, 494-502.

- Bullinger, M. & Kirchberger, I. (1998). *SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand: Handanweisung*. Göttingen: Hogrefe.
- Dorn, A. & Rohde, A. (2008). Krebs und Psyche: am Beispiel des Mammakarzinoms. *Psychiatrie*, 5, 83-90.
- Franke, G.H. (2000). BSI. *Brief Symptom Inventory - Deutsche Version. Manual*. Göttingen: Beltz.
- Franke, G.H., Mähner, N., Reimer, J., Spangemacher, B. & Esser, J. (2000). Erste Überprüfung des Essener Fragebogens zur Krankheitsverarbeitung (EFK) an sehbeeinträchtigten Patienten. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 21, 166-172.
- Jagla, M. & Franke, G.H. (2010). Wer bewältigt wie? Krankheitsbewältigung bei verschiedenen somatischen Erkrankungen. In: Arbeitskreis Klinische Psychologie in der Rehabilitation BDP (Hrsg.). *Trends in der medizinischen Rehabilitation* (S. 71-86). Berlin: dpv.
- Neises, M. (2007). Posttraumatische Belastungsstörung nach Krebs – Krebs als Trauma? *Der Gynäkologe*, 40 (2), 139-147.
- Rohde, A. & Dorn, A. (2007). *Gynäkologische Psychosomatik und Gynäkopsychiatrie*. Stuttgart: Schattauer.
- Schneider, C. (2007). Psychologische Aspekte bei gynäkologischen Malignomen. *Der Gynäkologe*, 40 (11), 865-871.
- Schultz-Zehden, B. (2001). Menstruation und Lebensqualität. *Psychomed*, 2, 112-118.
- Schultz-Zehden, B. (2005). *Lust, Leid, Lebensqualität von Frauen heute – Ergebnisse der deutschen Kohortenstudie zur Frauengesundheit*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schuth, W. (2004). Gynäkologische Psychoonkologie – Die Patientin mit Krebs und ihr Arzt. *Der Onkologe*, 9, 10: 1007-1018.
- Siedentopf, F. (2005). Psychoonkologie in der Mammakarzinom-Nachsorge. *Frauenarzt*, 46 (10), 886-888.

## **Psychopathie –**

### *Aktuelles Verständnis eines historischen Störungsbegriffs in der deutschen Psychiatrie*

Anke Schmiedeberg B. Sc., Phone: 0160-98606513, E-Mail: anke.schmiedeberg@gmx.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

Prof. Claudia Wendel, Phone: 03931-2187-4817, E-Mail: claudia.wendel@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

Robert Jantke M. Sc., Phone: 03931-2187-3823, E-Mail: robert.jantke@hs-magdeburg.de, Hochschule Magdeburg-Stendal, Osterburger Str. 25, 39576 Stendal

#### **Abstract**

Hintergrund: In der angloamerikanischen Forensik erlebt das Konstrukt *psychopathy* aktuell eine bemerkenswerte Renaissance, die sich auch auf die deutsche Psychiatrielandschaft auswirkt. Innerhalb des deutschen Sprachraums wurde in den letzten Jahrhunderten eine *Psychopathie*-Auffassung vertreten, die sich essentiell von den aktuellen angloamerikanischen Konzepten, die *psychopathy* vor allem durch antisoziale Verhaltenstendenzen beschreiben, unterscheidet. Das historisch deutsche *Psychopathie*-Verständnis ist hingegen deutlich breiter angelegt und fokussiert weniger auf die Verhaltenstendenzen als auf grundlegende Persönlichkeitsmerkmale.

Fragestellung: Im Folgenden soll die Frage geklärt werden, welches Konstruktverständnis sich aktuell im Spannungsfeld zwischen historischen *Psychopathie*-Konzepten und gegenwärtigen *psychopathy*-Modellen in Deutschland etabliert.

Methodik: Bei der vorliegenden Literaturarbeit erfolgte die Recherche mit Hilfe der Suchmaschine *Google Scholar*, den Literaturverwaltungsprogrammen *psycontent* und *springerlink* sowie dem Bibliothekskatalog *OPAC* der Hochschule Magdeburg-Stendal. Dabei fanden folgende Suchbegriffe einzeln und in Kombination Verwendung: *psychopathy*, *Psychopathie*, *psychopathic disorder*, *psychopathische Persönlichkeit*, *psychopath*, *Psychopath*

Ergebnisse: Die Auswertung dieses Informationsmaterials legt eine zunehmende Replizierung des angloamerikanischen *psychopathy*-Verständnisses in Deutschland nahe, die insbesondere im forensischen Kontext deutlich spürbar ist.

Diskussion: Erst zukünftige Entwicklungen werden zeigen, ob sich diese angloamerikanischen Vorstellungen endgültig durchsetzen und die historischen *Psychopathie*-Konzepte verdrängen werden.

Keywords: *psychopathy*, *Psychopathie*, *psychopathic disorder*, *psychopathische Persönlichkeit*, *psychopath*, *Psychopath*

## 1 Historischer Abriss

Mit seinem Konzept einer „*manie sans deliré*“ (Stompe, 2009, S. 3) legte der französische Psychiater Philippe Pinel Anfang des 19. Jahrhunderts den Grundstein für das moderne *Psychopathie*-Verständnis. Er charakterisierte dieses Störungsbild durch antisoziale Verhaltenstendenzen, die unabhängig von Intelligenzdefiziten und Psychosen auftraten. Konträr zu diesem fortschrittlichen Ansatz etablierten sich im 19. Jahrhundert zunehmend die Degenerationsstufen Jaques Joseph-Valentin Magnans und Benedict Augustin Morels, die eine anthropologische, teilweise auch religiös geprägte Sichtweise auf *Psychopathie* propagierten.

Unter dem Einfluss dieser Degenerationstheorien erhielt die *Psychopathie* eine erste Spezifizierung innerhalb Deutschlands. Entscheidenden Einfluss hatte in diesem Zusammenhang Julius Ludwig Koch mit seinem Konzept der „psychopathischen Minderwertigkeiten“ (Baumann, 2006, S. 43). Durch Emil Kraepelin gelang Anfang des 20. Jahrhunderts eine erste Ablösung vom starken Einfluss der Degenerationstheorien hin zu „Verursachungshypothesen“ (Fiedler, 2007, S. 14). Diese Abkehr wurde durch Kurt Schneider, der *Psychopathie* als eine Variante normaler menschlicher Psyche ansah, forciert. Allerdings fand diese fortschrittliche Entwicklung in Zeiten des Nationalsozialismus ein jähes Ende.

Innerhalb der deutschen Tradition wurde *Psychopathie* in den Grenzbereich zwischen Gesundheit und Krankheit (Koch und Kraepelin) angesiedelt oder als Spielart der menschlichen Psyche angesehen (Schneider). Kontrastierend zu diesem Verständnis fand innerhalb des angloamerikanischen Sprachraums bereits zu Anfang des 19. Jahrhunderts durch das Konzept der „*moral alienation of mind*“ (Fiedler, 2007, S. 20) von Rush eine Vereinseitigung des *psychopathy*-Verständnisses zu Gunsten der sozialen Devianz statt.

## 2 Aktuelle *psychopathy*-Konzepte in der kritischen Betrachtung

1941 veröffentlichte Hervey Cleckley in seinem Hauptwerk „*The mask of sanity*“ ein erstes Klassifikationssystem für *psychopathy*. Obwohl diese Systematisierung, die mittlerweile mehrfach modifiziert wurde, bereits annähernd 60 Jahre alt ist, hat sie nach wie vor nicht an Aktualität verloren, wie der Einfluss auf aktuelle *psychopathy*-Konzepte, beispielsweise das *Modell von Robert Hare*, beweist. In den USA gilt Hare als der namhafteste Erforscher des Störungsbegriffs *psychopathy*. Die von ihm entwickelte *Psychopathy-Checklist Revised (PCL-R)* findet als *Diagnostikinstrument* internationale Anwendung. Allerdings sind Hares Modellvorstellungen nicht unumstritten. Persönlichkeitsorientierte Wissenschaftler wie Lilienfeld werfen ihm vor, verhaltensbezogenen Merkmalen einen zu hohen Stellenwert innerhalb des *psychopathy*-Konzepts einzuräumen und konzipierten ein entsprechendes Gegenmodell. Abseits dieser klinischen Sichtweise auf *psychopathy* entwickelte Levenson eine sozialpsychologische Auffassung, in der diese nicht als eine psychische Störung, sondern viel mehr als ein gesellschaftsbedingter Lebensstil verstanden wird. Abschließend sei auf das *psychopathy*-Modell von Blackburn verwiesen, das sich durch seine starke An-

lehnung an die Denktradition Schneiders ebenfalls von den vorherrschenden anglo-amerikanischen *psychopathy*-Konzepten abhebt.

### **3 Allgemeine Darstellung des Störungsbildes *psychopathy***

Von den aktuellen *psychopathy*-Konzepten übt zweifellos Hares Modell den größten Einfluss auf die allgemeine Charakterisierung des Störungsbildes aus. Meist stehen bei der Beschreibung des Störungsbildes die antisozialen Verhaltensweisen, unter denen die Gesellschaft leidet, im Fokus. Deutlich weniger Beachtung wird dem subjektiven Erleben der Psychopathen geschenkt. Dieser Umstand ist durch die forensische Relevanz des Störungsbildes *psychopathy* zu erklären, da sich dieses Konstrukt als ein wichtiger Prädiktor zur Vorhersage zukünftigen kriminellen Verhaltens etabliert hat. Auf ihre Mitmenschen wirken sie zumeist äußerst charmant und einfühlsam, obwohl sie über ein äußerst eingeschränktes Empathievermögen verfügen und zum pathologischen Lügen neigen. Intrapersonell haben Psychopathen ein übermäßiges Selbstwertgefühl und einen oberflächlichen Affekt. Epidemiologisch wurde für forensische Populationen eine Prävalenzrate von 25-30% ermittelt. Für die Allgemeinbevölkerung liegt diese Rate deutlich niedriger, schätzungsweise bei einem Prozent (Ullrich et al., 2003; Walter; 2005).

Zurzeit findet der Störungsbegriff *psychopathy* in den gängigen Klassifikationssystemen für psychische Störungen wie ICD-10 (WHO, 1994) der World Health Organisation und DSM-IV (APA, 1994) der American Psychiatric Association keine Erwähnung. Allerdings ist eine gewisse Nähe von *psychopathy* zum DSM IV-Konzept der antisozialen Persönlichkeitsstörung sowie dem ICD 10-Konzept der dissozialen Persönlichkeitsstörung feststellbar.

Bezüglich der Ätiologie von *psychopathy* wird die Bedeutung verschiedenster hirnfunktioneller, -morphologischer, genetischer und umweltbezogener Korrelate diskutiert. Hinsichtlich der hirnfunktionellen Korrelate haben sich insbesondere die „somatic marker hypothesis“ (Weber et al., 2008, S. 11) von Damasio sowie Blairs Modell des „violence inhibition mechanism“ (Weber et al., 2008, S.11) etabliert. Das Zusammenspiel beider Theorien erklärt die Furchtlosigkeit, die fehlenden Schuld- und Reuegefühle sowie die Unfähigkeit von Psychopathen, aus negativen Verhaltenskonsequenzen zu lernen.

Komorbiditätsstudien deuten darauf hin, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen *psychopathy* und Substanzabhängigkeitsstörungen besteht (Taylor & Lang, 2006). Bezüglich der Behandlung von *psychopathy* mittels Psycho- und Pharmakotherapie muss bilanzierend festgestellt werden, dass bisher keine effektiven störungsspezifischen Therapieprogramme existieren (Kastner, 2009). Die Frage der Schuldfähigkeit im Kontext von *psychopathy* ist stark umstritten.

### **4 Aktuelle Bedeutung des Störungsbegriffs *Psychopathie* in der deutschen Psychiatrie**

Die Bedeutung des historischen *Psychopathie*-Begriffs kann für die deutsche Psychiatrie in Hinblick auf seine Verwendung in gängigen Klassifikationssystemen als trivial angesehen werden. Allerdings wird das Konstrukt durch einzelne Autoren wie Huber in seinem Werk „Psychiatrie: Lehrbuch für Studium und Weiterbildung“ (2005) nach wie vor in seiner neutralen, persönlichkeitsorientierten Ursprungsbedeutung repliziert. Tendenziell ist jedoch vor allem im forensischen Kontext eine Abkehr von diesem Ursprungsverständnis hin zu einer Rezeption des primär verhaltensbezogenen angloamerikanischen *psychopathy*-Verständnisses zu beobachten, was durch die hohe Relevanz antisozialer Verhaltenstendenzen für die Forensik erklärt werden kann. In diesem Zusammenhang sei exemplarisch auf Nedopil's Lehrbuch „Forensische Psychiatrie: Klinik, Begutachtung und Behandlung zwischen Psychiatrie und Recht“ (2007) verwiesen: „Bei der heutigen Anwendung sollte man sich bewusst bleiben, dass stets der angloamerikanische Psychopathy-Begriff gemeint ist und nicht jener, der der deutschen Psychiatrie entspringt“ (Nedopil, 2007, S.182). Ob dieser Trend zu einer vollkommenen Übernahme des angloamerikanischen *psychopathy*-Verständnisses und somit zum Verschwinden des historischen *Psychopathie*-Begriffs führen wird, oder ob auch andere alternative Szenarien, wie die Aufgabe des negativ konnotierten *Psychopathie*-Begriffs durch einen neutralen Fachterminus Realisierung finden, kann erst durch zukünftige Entwicklungen abgeschätzt werden (Möller & Hell, 2001; Nedopil, 2007).

## Literaturverzeichnis

- Baumann, I. (2006). *Dem Verbrechen auf der Spur. Eine Geschichte der Kriminologie und Kriminalpolitik in Deutschland 1880 bis 1980*. Göttingen: Wallstein.
- Cleckley, H. M. (1988). *The mask of sanity*. (5. Aufl.). Emily S. Cleckley, Augusta, Georgia.
- Fiedler, P. (2007). *Persönlichkeitsstörungen* (völlig neu bearbeitete 6. Aufl.). Weinheim: Beltz-PVU.
- Hare, R. D. (1991). *Hare Psychopathy Checkliste-Revised manual*. Toronto: Multi-Health Systems.
- Huber, G. (2005). *Psychiatrie. Lehrbuch für Studium und Weiterbildung*. Stuttgart: Schattauer.
- Kastner, H. (2009). Psychotherapie bei Psychopathie. *Neuropsychiatrie*, 23,18-24.
- Möller, A. & Hell, D. (2001). Das gegenwärtige Verständnis des Psychopathiebegriffs in der forensischen Psychiatrie. Literaturübersicht und eigene Befunde. *Fortschritte der Neurologie- Psychiatrie*, 69, 603-610.
- Nedopil, N. (2007). *Forensische Psychiatrie. Klinik, Begutachtung und Behandlung zwischen Psychiatrie und Recht*. Stuttgart: Thieme.
- Taylor, J. & Lang, A. R. (2006). *Psychopathy and substance use disorders*. In C. J. Patrick (Ed.), *Handbook of Psychopathy* (pp.495-511). New York: Guilford.
- Walter, H. (2005). Emotionale Dysfunktion, Psychopathie und kognitive Neurowissenschaft. Was gibt es Neues und was folgt daraus?. *Nervenarzt*. 76, 557-568.
- Weber, S., Habel, U., Amunts, K. & Schneider, F. (2008). Structural Brain Abnormalities in Psychopaths- a Review. *Behavioral Sciences and the Law*, 26, 7-28.



# **Sicherheitsüberprüfungen – Ein Spagat zwischen Kosten und Nutzen?**

Dipl. WI (FH) Martin Rahnefeld, E-Mail: martin@rahnefeld.net

Dipl. WI (FH) Maximilian Scharsich, E-Mail: max@scharsich.info

**KMU haben besondere Anforderungen an die Umsetzung der vom BSI geforderten Sicherheitsmaßnahmen zur Erreichung des IT-Grundschutzes. Das BSI kann mit seinen Vorgaben darauf jedoch nicht eingehen, weshalb die Umsetzbarkeit des Grundschutzes im KMU-Bereich als problematisch zu bezeichnen ist. Dementsprechend gilt es, Methoden zu entwickeln und aufzuzeigen, wie solche Unternehmen bei der Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen unterstützt werden können. Hierbei bietet sich an, die Schutzmaßnahmen gestaffelt umzusetzen und dabei das PDCA-Modell mit Sicherheitsüberprüfungen als Check-Komponente anzuwenden, um ein angemessenes Schutzniveau zu erreichen.**

## **1. Einleitung**

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) definiert seit Jahren Vorgaben für Unternehmen, die die Unternehmenssicherheit steigern sollen. Zusammengefasst werden diese Vorgaben in den BSI IT- Grundschutzkatalogen.

Unternehmen können sich zertifizieren lassen, nachdem sie die relevanten Vorgaben umgesetzt haben. Durch Realisierung von Maßnahmen kann von einer Risikominimierung ausgegangen werden, so dass mögliche Schäden verringert wurden. Dieses schlägt sich auch in geringeren Versicherungsprämien nieder. Des Weiteren erfüllt die Geschäftsführung eines Unternehmens auf diese Weise die gesetzlichen Vorgaben, welche sich u. a. aus dem AktG, GmbHG und dem KonTraG ergeben.<sup>1</sup>

Für kleine & mittlere Unternehmen (KMU) stellen die Vorgaben des BSI jedoch eine hohe Hürde dar, da hierfür oft nicht genug technische, organisatorische und personelle Ressourcen zur Verfügung stehen. Dementsprechend gilt es, eine für KMU realisierbare Lösung zu schaffen.<sup>2</sup>

## **2. Anforderungen der KMU**

KMU sind in Bezug auf IT-Risiken ebenso gefährdet wie große Unternehmen. Dennoch können die Risiken und Schadenshöhen als ungleich höher angesehen werden, da in KMU meist nicht die gleichen Präventivmaßnahmen realisiert werden können. Bedingt durch limitierte Budgetrahmen und die Aufgabenvielfalt der Mitarbeiter sind die Ressourcen der KMU zu begrenzt, um sich umfassend über Risiken zu informieren und entsprechende Maßnahmen zu planen und umzusetzen. Die in diesem Zusammenhang durchgeführten Studien ermittelten die Bereiche Wissen, Budget, Awareness und Zeit als kritische Indikatoren.<sup>3</sup>

Hieraus lassen sich aus unserer Sicht fünf Kernthesen bezüglich der Anforderungen von KMU an Sicherheit formulieren:

---

<sup>1</sup> AktG §91 hat Ausstrahlungswirkung auf andere Gesellschaftsformen

<sup>2</sup> Vgl. Abs. BSI (2011) und NEG; MR&S (2004) S. 50

<sup>3</sup> Vgl. Abs. Symantec (2010b), Ludwig (2011) S. 10, Symantec (2009) und NEG; MR&S (2004) S. 20 sowie S. 47

### **These 1: Sicherheit muss verständlich sein**

Eine der Eigenschaften von KMU ist, dass viele Aufgaben und Geschäftsprozesse auf wenige Mitarbeiter im Unternehmen verteilt sind. Aus unserer Sicht resultiert hieraus, dass Aufgaben möglichst leicht verständlich sein müssen, um diese effizient erfüllen zu können.<sup>4</sup>

So gilt es, bei der Planung der Sicherheitsmaßnahmen von Beginn an komplexe Strukturen zu vermeiden. Wir gehen daher davon aus, dass gleichsam mit der Verringerung der Komplexität ein hoher Grad an Akzeptanz der Beteiligten geschaffen wird, sodass sich neue Maßnahmen in die vorhandenen Strukturen nahtlos integrieren lassen.

### **These 2: Sicherheit muss erreichbar sein**

Die geplanten Maßnahmen müssen in einzelnen Schritten umsetzbar sein, da KMU aufgrund ihrer limitierten Ressourcen keine großen Investitionen tätigen können. Dementsprechend bedürfen die Maßnahmen einer Aufteilung in Bausteine, sodass gestaffelte Investitionen ermöglicht werden. Die gewählten Sicherheitsmaßnahmen müssen zudem immer dem Ziel angemessen sein. Es gilt, die bestmögliche Mischung aus Komfort, Kosten und Sicherheit anzustreben, welche durch die Kontrolle und Steuerung von Unternehmensrisiken erreicht werden kann. Wir gehen davon aus, dass dies zu geringeren Investitionskosten führt. Somit kann, durch optimierte Organisation, eine Reduzierung des technischen und indirekt auch des personellen Aufwandes erreicht werden.<sup>5</sup>

### **These 3: Sicherheitsmaßnahmen müssen einen hohen Wirkungsgrad bieten**

Um auf zukünftige Bedrohungen angemessen reagieren zu können, ist es unserer Meinung nach unabdingbar, dass die eingesetzten Sicherheitsmaßnahmen einen Investitionsschutz bieten. Dementsprechend gehen wir davon aus, dass diese so gewählt werden sollten, dass sie in technischer als auch struktureller Hinsicht einen Ausgangspunkt für mögliche Erweiterungen darstellen. Durch die Modularisierung der Maßnahmen sind diese bestmöglich an das Unternehmen angepasst. Dieses lässt sich z. B. durch offene Schnittstellen und regelmäßige Aktualisierungen gewährleisten.<sup>6</sup>

### **These 4: Sicherheit wird benötigt, um gesetzliche Vorgaben zu erfüllen**

Um den aus AktG, GmbHG und KonTraG entstehenden Vorgaben zu entsprechen, muss die Geschäftsführung eines Unternehmens nachweisen, dass sie alle angemessenen Maßnahmen zur Sicherung des Unternehmens getroffen hat.<sup>7</sup>

### **These 5: Sicherheit ist Business-Treiber**

Wurden Sicherheitsmaßnahmen umgesetzt und implementiert, können diese auch zur Verbesserung der geschäftlichen Situation, unter anderem zur Steigerung des Umsatzes beitragen. Oftmals fordern potenzielle Geschäftspartner Nachweise über das Sicherheitsniveau. Durch Zertifizierungen lässt sich nachweisen, dass die Prozesse im Unternehmen einen höheren Reifegrad und damit ein höheres Sicherheits-

---

<sup>4</sup> Vgl. Ludwig (2011) S. 10

<sup>5</sup> Vgl. Abs. NEG; MR&S (2004) S. 33 und Ludwig (2011) S. 9, 11-13, 90

<sup>6</sup> Vgl. BSI (2010) S. 93

<sup>7</sup> Vgl. AktG §91 Abs. 2

niveau erreicht haben. Wird dies entsprechend kommuniziert, gehen wir davon aus, dass sich dies vertrauensbildend und damit geschäftsfördernd auswirkt.<sup>8</sup>

### **3. Vorgaben des BSI**

Das BSI stellt Unternehmen und Behörden mit dem IT-Grundschutz ein Rahmenwerk zur Verfügung, anhand dessen sich die benötigte Sicherheit auf eine angemessene Basis steigern und zertifizieren lässt. Das Rahmenwerk des BSI ist mit den ISO 2700x-Standards kompatibel, wobei im Rahmenwerk eine Konkretisierung der Maßnahmen dargestellt wird.<sup>9</sup>

Wird eine Zertifizierung nach IT-Grundschutz angestrebt, ist es notwendig, alle zutreffenden Maßnahmen der Kataloge umzusetzen. Der Ausschluss von Maßnahmen, welcher dann sinnvoll ist, wenn die betreffenden Strukturen im Unternehmen nicht vorhanden sind, bedarf immer einer dokumentierten Begründung.

### **4. Ausblick: Sicherheit als Geschäftsprozess**

Aus den vorherigen Kapiteln ergibt sich für uns, dass die Umsetzung der BSI-Standards für KMU meist nicht realisierbar ist. Hierbei stehen die hohen finanziellen und personellen Hürden im Vordergrund. Gleichzeitig erfolgt auch eine Steigerung des organisatorischen Aufwands durch die Anforderungen des BSI.<sup>10</sup>

Eine vollständige Ablehnung des Standards ist jedoch nicht sinnvoll, da ohne seine Nutzung den möglichen Gefährdungen der unternehmerischen Prozesse nicht adäquat begegnet werden kann. Aus unserer Sicht sollten deshalb nur die effektivsten Maßnahmen der Grundschutzkataloge ausgewählt und in Etappen umgesetzt werden.

Um abschließend den Grad der Zielerfüllung sowie die Güte der Implementierung bewerten zu können, bedarf es der Nutzung geeigneter Kennzahlensysteme. Eines der Kernargumente für die Nutzung von Kennzahlen ist der Aspekt der Vergleichbarkeit, so lassen sich Unternehmen und deren Prozesse effizienter steuern und überwachen.<sup>11</sup>

Ein aus unserer Sicht wesentlicher Ansatz sind dabei Sicherheitsüberprüfungen. Mögliche Instrumentarien zur Überprüfung der erreichten Sicherheit sind Vulnerability Analysis (VA) und Penetrationstests (Pentest). Eine VA versucht alle Sicherheitsrisiken eines Systems aufzudecken. Bei einem Pentest wird dagegen versucht, mit den Mitteln eines Angreifers kontrolliert in ein System durch das Ausnutzen bestehender Schwachstellen einzudringen.<sup>12</sup> Eine der Hauptunterscheidungen der Vorgehensweisen liegt darin, dass VA automatisiert werden können, wohingegen Pentests immer Expertenwissen voraussetzen.<sup>13</sup> Dies bedeutet für KMU, dass Pentests wegen der im eigenen Unternehmen fehlenden Fachkompetenz an externe Dienstleister verge-

---

<sup>8</sup> Vgl. NEG; BMWi (2010) S. 57

<sup>9</sup> Vgl. BSI (2011)

<sup>10</sup> Vgl. Ludwig (2011) S. 11

<sup>11</sup> Vgl. Siegart (2002)

<sup>12</sup> Vgl. Abs. Ruef (2007) S. 54 ff., ISACA (1999), BSI (2003) S. 4

<sup>13</sup> Vgl. Wilhelm (2010) S. 3

ben werden müssen, was mit hohen Kosten verbunden ist, eine VA kann dagegen auch mit geringerem Aufwand intern durchgeführt werden.

Da das Umsetzen der Maßnahmen zum Verbessern der Sicherheit gemäß unserer Thesen schrittweise erfolgen sollte, ist eine regelmäßige Erfolgskontrolle unabdingbar. Aus unserer Sicht kann anhand der Nutzung des PDCA-Modells gezeigt werden, wann welche Kontrollmaßnahmen effizient eingesetzt werden können.<sup>14</sup> Eine Umsetzung im Kontext einer Sicherheitsüberprüfung kann wie folgt aussehen:

<b>Plan</b> – Welche Maßnahmen müssen umgesetzt werden, um die gewählten Ziele zu erreichen?	<b>Do</b> – Implementierung der geplanten Maßnahmen.
<b>Check</b> – Durchführung einer Sicherheitsüberprüfung und anschließender Auswertung der Ergebnisse.	<b>Act</b> – Optimierung und Verbesserung der implementierten Maßnahmen aufgrund der Ergebnisse.

Um den Anforderungen von KMU zu entsprechen, empfehlen wir, die Check-Komponente in taktische und operative Elemente aufzuteilen. Aus unserer Sicht wird hierdurch eine Einbindung in die Geschäftsprozesse vereinfacht. Unter Beachtung unserer Thesen muss eine getrennte Durchführung von VA und Pentest erfolgen. Dementsprechend wird die VA als operatives und der Pentest als taktisches Instrument angewendet.

Die dadurch entstehenden Aufwände werden durch einen hohen Return on Investment relativiert: Findet der kostenintensive Pentest nur als taktisches Element statt, so lässt sich der Aufwand auf einen längeren Zeitraum verteilen. Der hohe Nutzen ergibt sich aus der Überprüfung der getroffenen Maßnahmen unter Realbedingungen. Dieses Niveau kann durch eine VA nicht erreicht werden.

So sind wir der Überzeugung, dass durch die operative Durchführung von VA sowohl die Qualität der Maßnahmen als auch der daraus resultierende Nutzen für das Unternehmen steigen werden. Des Weiteren ergibt sich aus der Wiederholung der Prozesse ein Anstieg der Mitarbeiterkompetenz, wodurch die Qualität zukünftiger Sicherheitsüberprüfungen steigt.

<p><b>Ruef, Marc (2007):</b> Die Kunst des Penetration Testing, C&amp;L, 2007</p> <p><b>Sieewart, Hans (2002):</b> Kennzahlen für die Unternehmensführung, 2002</p> <p><b>Wilhelm, Thomas (2010):</b> Professional Penetration Testing, Syngress, 2010</p> <p><b>BSI (2003):</b> BSI   Studie - Durchführungskonzept für Penetrationstests, <a href="https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Penetrationstest/penetrationstest_pdf.pdf?__blob=publicationFile">https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Penetrationstest/penetrationstest_pdf.pdf?__blob=publicationFile</a></p> <p><b>BSI (2010):</b> BSI   IT-Grundschutz-Profil Anwendungsbeispiele für den Mittelstand, <a href="https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Hilfsmittel/Profile/it-grundschutz_profil_mittel.pdf">https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Hilfsmittel/Profile/it-grundschutz_profil_mittel.pdf</a></p> <p><b>BSI (2011):</b> BSI   IT-Grundschutz, <a href="https://www.bsi.bund.de/cln_183/DE/Themen/ITGrundschutz/StartseiteITGrundschutz/startseiteitgrundschutz_node.html">https://www.bsi.bund.de/cln_183/DE/Themen/ITGrundschutz/StartseiteITGrundschutz/startseiteitgrundschutz_node.html</a></p> <p><b>ISACA (1999):</b> ISACA   Sicherheitsüberprüfung von IT Systemen mit Hilfe von "Tiger Teams", <a href="http://www.isaca.ch/files/">http://www.isaca.ch/files/</a></p>	<p>DO6_Arbeitsgruppen/tigerteam.pdf</p> <p><b>Ludwig, B. P. (2011):</b> Global IT-Security   Ein GRC-Modell für die IT von KMU, <a href="http://www.global-it-security.de/GRC-Modell_fuer_KMU_V1.0.pdf">http://www.global-it-security.de/GRC-Modell_fuer_KMU_V1.0.pdf</a></p> <p><b>NEG; BMWi (2010):</b> Electronic Commerce Network   Netz- und Informationssicherheit in Unternehmen 2010, <a href="http://www.ecc-handel.de/download/110612801/Studie+Netz-+und+Informationssicherheit+2010.pdf">http://www.ecc-handel.de/download/110612801/Studie+Netz-+und+Informationssicherheit+2010.pdf</a></p> <p><b>NEG; MR&amp;S (2004):</b> DLR   IT-Sicherheit - eine Herausforderung für den Mittelstand und das Handwerk?, <a href="http://www.dlr.de/pt/Portaldata/45/Resources/dokumente/mm/Erg_ebnisse_IT-Sicherheit_NEG.pdf">http://www.dlr.de/pt/Portaldata/45/Resources/dokumente/mm/Erg_ebnisse_IT-Sicherheit_NEG.pdf</a></p> <p><b>Symantec (2009):</b> Symantec   SMB Protection Gap, <a href="http://eval.symantec.com/mktginfo/enterprise/other_resources/b-SMB-Protection-Gap_WP_20094842.en-us.pdf">http://eval.symantec.com/mktginfo/enterprise/other_resources/b-SMB-Protection-Gap_WP_20094842.en-us.pdf</a></p> <p><b>Symantec (2010b):</b> Symantec   2010 SMB Protection Survey, <a href="http://www.symantec.com/content/de/de/about/downloads/PressCenter/smb_information_protection_2010_ppt_emea.pdf">http://www.symantec.com/content/de/de/about/downloads/PressCenter/smb_information_protection_2010_ppt_emea.pdf</a></p>
--	--

<sup>14</sup> Vgl. Wilhelm (2010) S. 161

## **Title: Sodium Reduction in a Smoky Bacon Seasoning for Potato Chips**

Ina Trumpf (B.Sc.), Phone: (+49) 176-22652432, E-Mail: Ina.Trumpf@gmail.com, Hochschule Anhalt, Address: Kasseler Straße 4, 37217 Klein Almerode

Prof. Dr. Dietlind Hanrieder, E-Mail: d.hanrieder@loel.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Address: Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Heinz Kivelitz, E-Mail: Heinz.Kivelitz@symrise.com, Symrise Pty. Ltd. Australia, Address: 168 South Creek Road, Dee Why, NSW 2099, Australia

**Abstract:** The aim of this study was to reduce the sodium content of a smoky bacon snack seasoning by 25 % while maintaining the level of saltiness and the consumer acceptance. To achieve this goal, the original seasoning was modified in various ways. The modified versions were applied on a potato chips base and tasted by trained technical staff. The saltiness of promising versions was evaluated by a trained sensory panel using an interval measurement scale. Three versions with saltiness scores close to the original seasoning were finally chosen to be subjected to a consumer preference ranking test in comparison to the original. It was found that the reduction of salt did not lead to a decrease in consumer acceptance.

**Keywords:** Sodium reduction, Salt enhancement, Salt replacement, Potassium Chloride, Snacks, Saltiness

### **1. Introduction**

The negative effects of high sodium intake have been proven and widely discussed in the literature (Cailar et al. 2002; Nowson et al. 2009; Rodgers et al. 2004). Dietary sodium consumption has shown to be a significant factor in the cause of high blood pressure and, as a consequence, it contributes to cardiovascular diseases (He et al. 2009; Rodgers et al. 2004). Consumers already suffering from such ailments as well as those being interested to maintain a healthy lifestyle are looking for low or lower sodium content in their food. Surveys have shown that the majority of consumers would choose a low sodium version of food if all other properties remain the same (Purdy and Armstrong 2005).

The food industry being aware of these consumer interests has made many efforts in cutting down the salt and with it the sodium content of processed foods either by enhancing the salty taste or by replacing the salt partly or completely.

Snack seasonings are an important branch of business of SYMRISE Australia and were therefore chosen as subject of this study. The goal of this study was to develop an optimized recipe to achieve a 25 % sodium reduction in a smoky bacon snack

seasoning for potato chips. This reduction should neither significantly change the taste or other properties of the seasoning nor negatively affect the health image of the snack.

## **2. Sensory Functions of Salt in Snack Products**

Salt is often the first and only consciously perceived taste component for the consumer. Together with the other basic tastes, it is the foundation of the flavour profile (Purdy and Armstrong 2005). But salt contributes more to the flavour than its own taste:

- It also enhances the taste of other flavour giving compounds in a seasoning. Consequently, the whole flavor profile of a seasoning will be decreased if the salt content is reduced (Hutton 2002).
- Salt helps to balance out the overall flavour profile and makes the perception of sweetness given by sugar more pleasant. Accordingly, it is important for flavours that work with sweet/sour notes (Kilcast and Ridder 2007, p. 203).

Therefore, many foods lose their typical character and become tasteless and unappetizing without salt. If the saltiness of a product is reduced, it often comes to a higher perception of bitterness. This is due to either the loss of bitter inhibition by salt or to the initial bitterness of some salt replacers. This bitterness is an undesired attribute, and needs to be taken in consideration if the salt content has to be decreased (Kilcast and Ridder 2007, p. 203).

## **3. Method**

To achieve the goal of this study, the original seasoning was modified in various ways. To compensate for the change in taste, 3 different approaches were tested:

- Increasing the perception of saltiness by replacing fine grained salt with extra fine salt
- Enhancing the saltiness by using salt and umami enhancers
- Replacing the sodium chloride by potassium chloride while using bitter maskers

All of the modified versions were applied on a potato chips base and firstly tasted by trained technical staff. In a second step, the saltiness of promising versions was

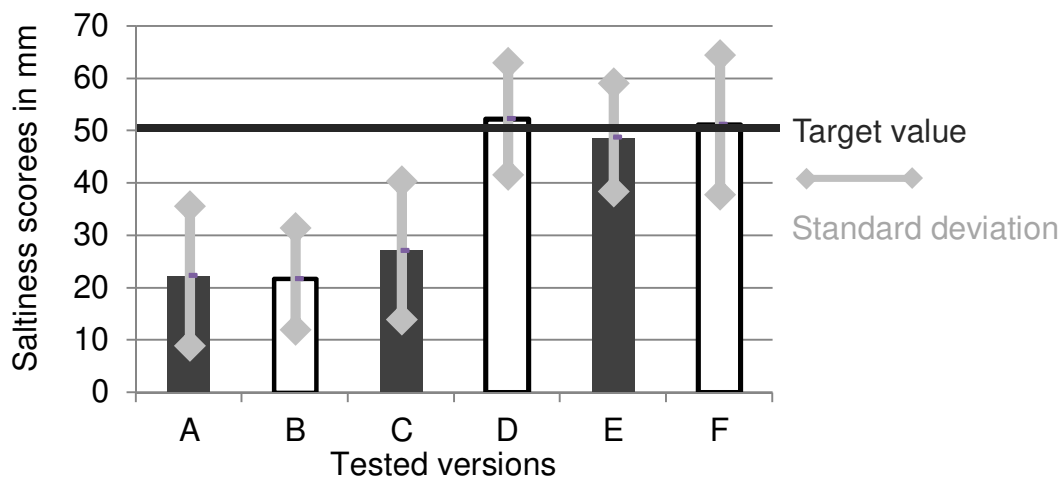
evaluated by a trained sensory panel (7 persons) using a 100mm interval measurement scale. To help the panel to make an accurate decision about the saltiness of the modified versions, reference samples were served together with the scale. The results were measured in mm.

Three versions reaching saltiness scores close to the original seasoning were finally chosen to be subjected to a consumer preference ranking test (63 persons) in comparison to the original snack.

## 4. Results

### Sensory evaluation of saltiness

Picture 1 shows the results of 6 of the modified seasoning versions tested by the trained sensory panel.



- A - 50% salt extrafine
- B - Increased content of 5' ribonucleotides
- C - 50% salt extrafine + increased content of 5' ribonucleotides
- D - Salt enhancer IV
- E - Salt enhancer I + yeast extrakt
- F - Potassium chloride + bitter masking flavour

Picture 1: Results of Evaluation of Saltiness (n=7)

### Ranking Test for Preference

The versions D, E and F as well as the original seasoning were tasted by the consumer panel. It was found that there is no significant difference in the consumer acceptance.

## **5. Conclusions**

The addition of 5'ribonucleotides and the partial replacement of fine salt with extra fine salt were both found as very cost effective solutions leading to a significant increase of saltiness. Furthermore, it was possible to achieve a saltiness level statistically not different to the original version by enhancing salt and umami notes and by replacing the salt with potassium chloride. A problem was the bitterness imparted by potassium chloride. Therefore a masking of its undesirable sensory attributes by means of a special masking flavour was required. Neither the panellists who contributed to the scaling nor the panellists who participated in the ranking test remarked on an unusual sensation when they tasted the versions containing potassium chloride. This is evidence that there was no negative effect on taste. To confirm this further sensory testing is required.

The ranking test for preference confirmed that there were no significant differences between the tested samples. Conclusively the reduction of salt, and with it the loss of its flavour modifying properties, did not result in a decreased consumer acceptance. The enhancement of salt perception and the replacement of salt enabled a sodium reduction of 25% with no detriment to taste.

## **Bibliography**

1. Cailar G., Ribstein J. and Mimran A. (2002): Dietary Sodium and Target Organ Damage in Essential Hypertension. *American Journal of Hypertension*. 15:222–229.
2. He F. J., Gu D., Chen J., Jaquish C.E., Rao D.C., Hixson J.E., Chen J., Duan X., Huang J., Chen C.-S., Kelly T.N., Bazzano L.A. and Whelton P.K. (2009): Gender Difference in Blood Pressure Responses to Dietary Sodium Intervention in the GenSalt Study. *Journal of Hypertension*. 27(1):48–54.
3. Hutton T. (2002): Technological functions of salt in the manufacturing of food and drink products. *British Food Journal*. 104(2): 126-152.
4. Kilcast D. and Ridder C. D. (2007): Sensory issues in reducing salt in food products.in: Kilcast D., Angus F. (edt): *Reducing salt in foods*. Abington (UK): Woodhead Publishing Limited, pp.201-220.
5. Nowson C. A., Patchett A. and Wattanapenpaiboon N. (2009): The effects of a low-sodium baseproducing diet including red meat compared with a high-carbohydrate, low-fat diet on bone turnover markers in women aged 45 – 75 years. *British Journal of Nutrition*. 102:1161–1170.
6. Purdy J. and Armstrong G. (2007): Dietary salt and the consumer: reported consumption and awareness of associated health risks. In: Kilcast D., Angus F. (edt.): *Reducing salt in foods*. Abington (UK): Woodhead Publishing Limited. pp. 99-123.
7. Rodgers A., Ezzati M., Van der Hoorn S., Lopez A.D., Lin R.B. and Murray C.J. (2004): Distribution of major health risks: findings from the global burden of disease study. *PLoS Medicine*. 1(1): e27.



## Testentwicklung zur Lebensfähigkeit granulierter Starterkulturen

Dipl.-Ing. (FH) Susann Weinholz, Phone: ++49.3471-355-1198, E-Mail: [s.weinholz@loel.hs-anhalt.de](mailto:s.weinholz@loel.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Dipl.-Ing. Magdalena Wassermann, Phone: ++49.3471-355-3537, E-Mail: [magdalena.wassermann@gmx.de](mailto:magdalena.wassermann@gmx.de), VTA GmbH, Wilfried- Pergande- Platz 1, 06369 Weißandt-Gölzau

Prof. Dr. Christiana Cordes, Phone: ++49.3496-67-2523, E-Mail: [c.cordes@bwp.hs-anhalt.de](mailto:c.cordes@bwp.hs-anhalt.de), Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

### Abstract

Aim of this study is to develop new methods for testing the viability of granulated microbial starter cultures. Within the framework alternative assays for biomarkers are developed by means of MALDI-TOF-MS (Matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry) and protein analysis (1D- and 2D-electrophoresis). These assays will then be used to test different batches of granulated microorganisms to determine viability in routine process control.

**Keywords:** 2D gel electrophoresis, protein, MALDI-TOF mass spectrometry

Dieses Projekt ist Teil des Wachstumskerns WIGRATEC, welcher sich mit der Wirbelschichtgranulierung von Mikroorganismen befasst. Die Wirbelschichtgranulierung gewinnt zunehmend an Bedeutung in Bereichen wie Pharmazie, Lebensmittel- und Biotechnologie.

Üblicherweise wird die Viabilität von Bakterien durch Zählung der lebenden Zellen bestimmt. Dies kann einige Tage dauern. Daher ist es sinnvoll, neue Tests zur Detektion der bakteriellen Lebensfähigkeit, zu entwickeln, die in viel kürzerer Zeit Aussagen ermöglichen.

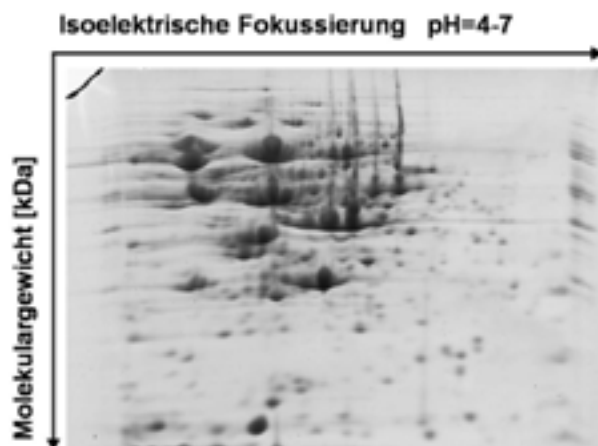


Abb. 1 2D-Gelelektrophorese des Modellstammes *Lactobacillus plantarum* (DSM 20174)

Mittels proteinanalytischer Methoden (2D-Elektrophorese) und MALDI-TOF-MS (Matrix-assisted laser desorption/ionization time of flight mass spectrometry) sollen Biomarker gefunden werden, die eine Bestimmung der Lebensfähigkeit der in unterschiedlichen Produktionschargen hergestellten Starterkulturen ermöglichen. Ein Beispiel der jeweiligen Untersuchung sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt.

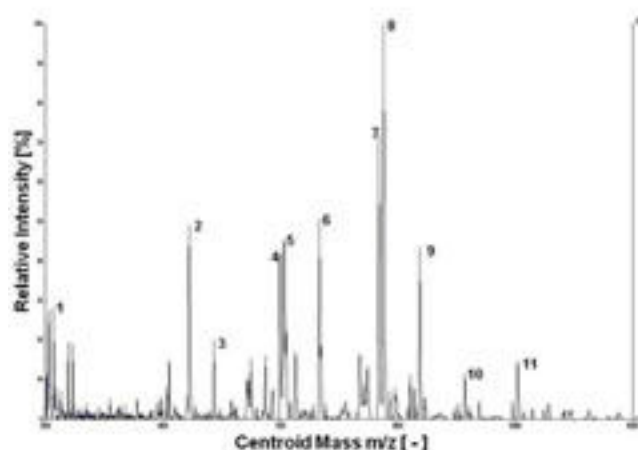


Abb. 2 MALDI-TOF-Massenspektrum von DSMZ 20174

Bei der Produktion von Starterkulturen kommt neben der möglichst schnellen Kontrolle der Lebensfähigkeit der Kulturen im Prozess auch der Test der Lebensfähigkeit nach einer Lagerfrist hinzu. Die neu entwickelten Methoden sollen daher zur Qualitätskontrolle und Überwachung von Produktionschargen granulierter Mikroorganismen angewendet werden.

**WIGRATEC ist vom BMBF gefördert (FKZ 03WKBQ04C).**

## **Theoretical and experimental analysis of single mode fiber-to-fiber joint loss due to lateral misalignment**

Mladen Joncic, Phone: ++49.3943-659-895, E-Mail: mjoncic@hs-harz.de, Harz University of Applied Sciences, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

Matthias Haupt, Phone: ++49.3943-659-368, E-Mail: mhaupt@hs-harz.de, Harz University of Applied Sciences, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

U. H. P. Fischer, Phone: ++49.3943-659-351, E-Mail: ufischerhirschert@hs-harz.de, Harz University of Applied Sciences, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode

### **Abstract**

Nowdays, optical fibers present a key component of global and local high-capacity telecommunications networks. One of the most important requirements when designing an optical fiber link is to interconnect fibers in a low-loss manner. Coupling losses that may occur at fiber-to-fiber joints can be fiber-related (intrinsic) and connector-related (extrinsic). A main source of extrinsic coupling loss in fiber-to-fiber connections is poor fiber mechanical alignment, owing to their microscopic size. Three possible types of mechanical misalignment which may occur when joining optical fibers are lateral, angular and longitudinal offset. Optical fiber joints are most sensitive to lateral offsets.

This paper shows the calculated losses due to lateral misalignment in single mode fibers with basic wave functions. The transverse field distribution of the fundamental mode in a single mode fiber can be well approximated by a Gaussian profile. This results in a simple analytical expression for loss at joint between two single-mode fibers due to lateral misalignment in the absence of others. In addition, the experimental setup for measuring loss due to lateral misalignment is developed and used for loss measurement. The basic idea is to use a six-degree of freedom movable platform, supported by computer software, to bring in misalignment between two fibers and then record signal levels. Finally, measured values and the results obtained by the formulas are compared.

**Keywords:** Single mode fiber, Gaussian distribution, lateral misalignment

## **1. Introduction**

Nowdays, optical fibers present a key component of global and local high-capacity telecommunications networks. One of the most important requirements when designing an optical fiber link is to interconnect fibers in a low-loss manner. Coupling losses that may occur at fiber-to-fiber joints can be fiber-related (intrinsic) and connector-related (extrinsic). A main source of extrinsic coupling loss in fiber-to-fiber connections is poor fiber mechanical alignment, owing to their microscopic size. Three possible types of mechanical misalignment which may occur when joining optical fibers are lateral, angular and longitudinal offset. Optical fiber joints are most sensitive to lateral offsets.

When predicting the characteristics of a single mode fiber, such as coupling losses, the geometrical distribution of light in the fundamental mode is of the most significant importance.

## **2. Gaussian distribution**

The transverse field distribution of the fundamental mode in a single mode fiber can be well approximated by a Gaussian profile. The normalised Gaussian distribution can be represented by

$$\psi(x, y) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\omega} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\omega^2}\right) \quad (1)$$

where  $\omega$  is mode field radius. The coupling efficiency between two identical single mode fibers is given by the overlap integral in which the field emitted from a sending fiber is multiplied by a field of a receiving fiber and is integrated over the whole cross-section of the second fiber:

$$T(u) = \left[ \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x, y) \psi(x - u, y) dx dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^2(x, y) dx dy} \right]^2 \quad (2)$$

where

$$\left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x, y) \psi(x - u, y) dx dy \right|^2$$

is the fractional power that is coupled to the fundamental mode of the second fiber, and  $u$  is the magnitude of lateral misalignment. After solving the overlap integral we have

$$T(u) = \exp\left(-\frac{u^2}{\omega^2}\right) \quad (3)$$

which gives the loss in percentage as

$$Loss_{lat} [\%] = 100 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{u^2}{\omega^2}\right) \right] \quad (4)$$

and the loss in decibels as

$$Loss_{lat} [dB] = 4.343 \left(\frac{u}{\omega}\right)^2 \quad (5)$$

In literature, loss due to lateral misalignment is usually given by Eq. 5. In this paper, we are analyzing the loss given in percentage (Eq. 4), so that the fraction of power that is lost at joint can easily be observed.

### 3. Experiment

The experimental setup for measuring loss due to lateral misalignment between two single mode fibers is shown in *Figure 1*. The basic idea is to use a six-degree of freedom movable platform, supported by computer software, to bring in controlled misalignment between the fibers. The end of the fiber, which is connected to the laser diode, is fixed to the immovable part of the micro-stage, while the end of the fiber, which is connected to the optical power meter, is fixed to the movable platform of the micro-stage.

First, the ends of the fibers that are to be jointed are blanked (released from cable jacket, strengthening fibers and coating). The end faces of the fibers must be cut at right angle and cleaned from dirt. After being fixed to the micro-stage, fibers are automatically aligned, so that the maximal power is coupled from one fiber into another. Automatic alignment is performed by HexControl software. It is assumed that lateral, longitudinal and angular misalignment do not exist after fibers have been aligned. Then, scan is performed. Scan parameters are entered via the controller. We have performed the scan along  $y$  axis, although the scan along  $x$  or  $z$  axis would give the same result due to circularly symmetric field distribution along the cross section of the single mode fiber. During the scan, lateral offset is introduced between the fibers in increments of  $0.1 \mu\text{m}$ , and signal levels are recorded.

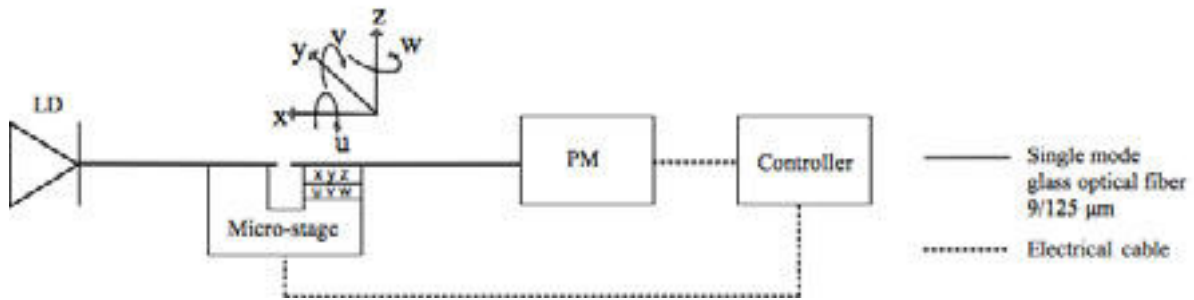
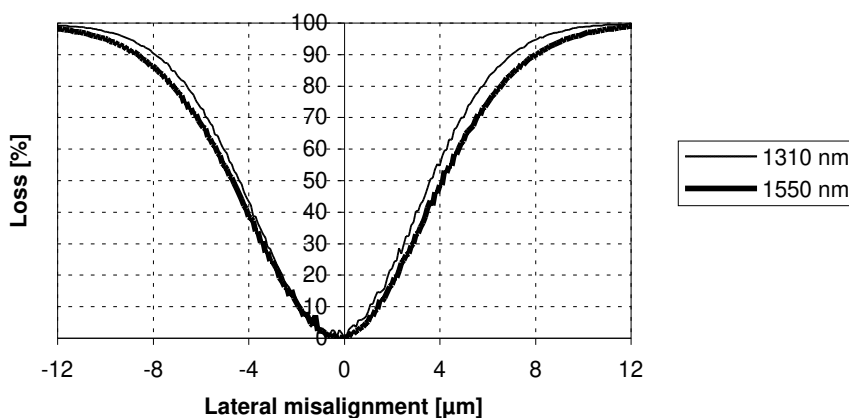
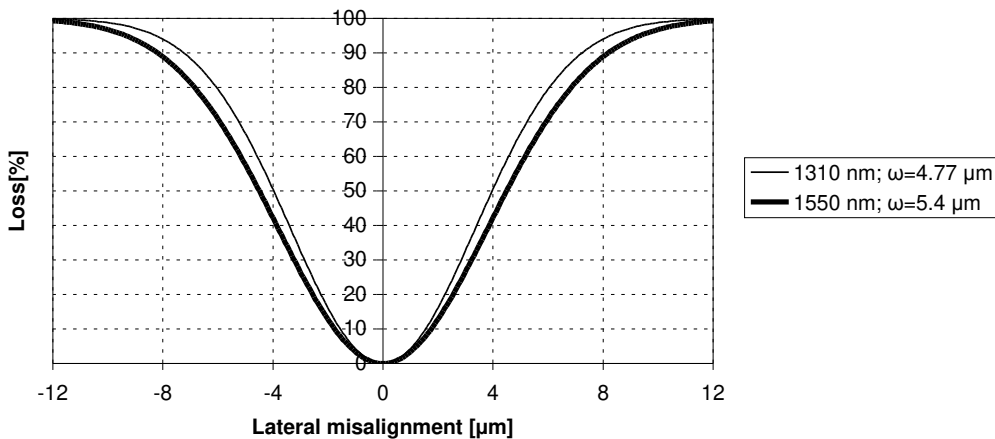


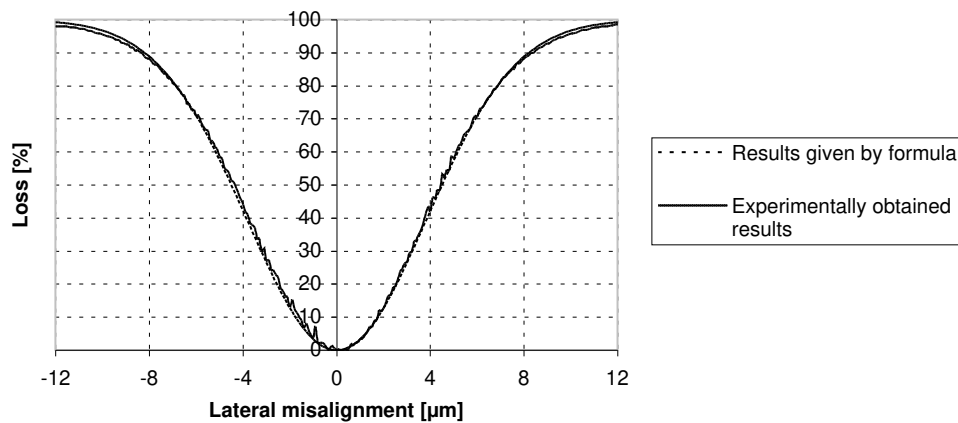
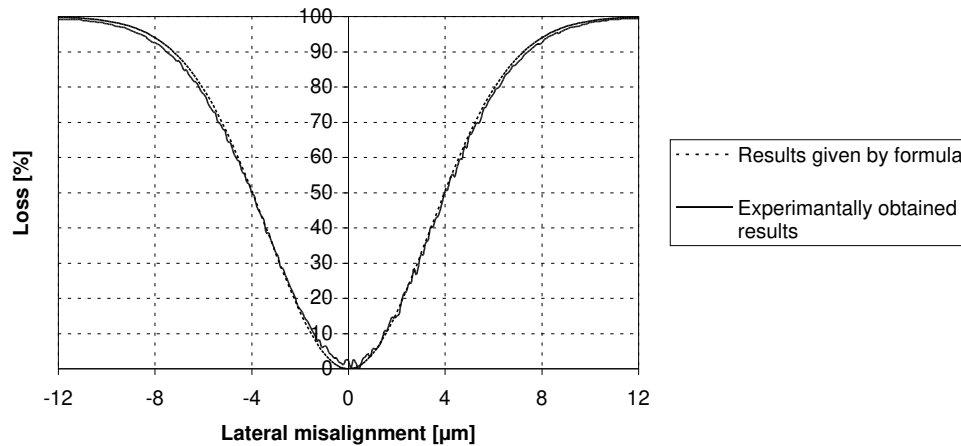
Figure 1. Experimental setup for measuring loss due to lateral misalignment. **LD** – Laser diode (1310 nm / 1550 nm); **Micro-stage** – Six-degrees of freedom movable platform (minimum incremental motion: x,y,z - 0.1  $\mu\text{m}$ ; u, v, w - 2  $\mu\text{rad}$ ); **PM** – Optical power meter; **Controller** – HexControl F-206 host software.

#### 4. Results

Analysis of results obtained by Eq. 4 and experiment is given in Figures 2. to 5. Mode field radius (MFR),  $\omega$ , is wavelength dependant. Single mode fiber with radius of 4.5  $\mu\text{m}$  has MFR of approximately 4.77  $\mu\text{m}$  at wavelength of 1310 nm, and MFR of approximately 5.4  $\mu\text{m}$  at wavelength of 1550 nm. Figure 2. shows loss caused by lateral offset, calculated by Eq. 4, at 1310 nm and 1550 nm. Figure 3. shows loss due to lateral misalignment obtained from experiment results, also at two different wavelengths.



Figures 4. and 5. show comparison of theoretical and experimental values at 1310 nm and 1550 nm.



## 5. Conclusion

As can be seen from *Figures 2. and 3.*, single mode fiber joint is less sensitive to lateral offset at 1550 nm than at 1310 nm. This is because of wider Gaussian field distribution at 1550 nm, which results in larger MFR. However, even very small offsets between fiber's axis will cause great loss. For example, lateral offset of 4 μm will cause loss of 50% at 1310 nm, and loss of 40% at 1550 nm. This is why very high mechanical precision is required when joining two single mode fibers.

We can see from *Figures 4. and 5.* that there is only negligible difference between theoretical and experimentally obtained results. This difference is primary caused by imperfection of experimental conditions and setup. Equations 4 and 5 are widely used in coupling calculations, and as we can see, they provide high precision data.

## 6. References

1. U. H. P. Fischer, "Optoelectronic packaging"
2. Gerd Keiser, "Optical fiber communications"
3. Ajoy Ghatak, K. Thyagarajan, "Introduction to fiber optics"

## **Universal Benchmark and Compare System – Vorstellung, aktueller Entwicklungsstand und Ausblick**

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Stolze, Phone: ++49.3943-659-310, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: [tstolze@hs-harz.de](mailto:tstolze@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode, Microcontroller Application Center

B. Eng. Alexander Oppelt, Phone: ++49.3943-659-305, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: [aoppelt@hs-harz.de](mailto:aoppelt@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode, Microcontroller Application Center

Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dietrich Kramer, Phone: ++49.3943-659-317, Fax: ++49.3943-659-399, E-Mail: [kkramer@hs-harz.de](mailto:kkramer@hs-harz.de), Hochschule Harz, Friedrichstr. 57-59, 38855 Wernigerode, Microcontroller Application Center

### **Abstract**

Der Systementwurf als Teil des Softwareentwicklungsprozesses entscheidet maßgeblich über den Erfolg eines Projektes. Insbesondere bei technischen Projekten muss eine Entscheidung für eine geeignete Hardwarearchitektur getroffen werden, um das gewünschte System zu realisieren. Jedoch ist es aufgrund der Vielzahl am Markt vertretener Systeme und mangelnder Kenntnis über deren Leistungsfähigkeit sehr schwierig für Entwickler, ein Zielsystem auszuwählen. UBCS – das Universal Benchmark and Compare System - setzt an diesem Entscheidungspunkt an und soll Entwickler bei der Wahl eines geeigneten Systems unterstützen, so dass ein unnötiger Testaufwand eingespart, eine korrekte Auswahl getroffen und die Zeit bis zur Produkteinführung verkürzt werden kann. Der Beitrag thematisiert daher UBCS mit seinen Eigenschaften, dem aktuellen Entwicklungsstand und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

**Keywords:** Mikroprozessor, Mikrocontroller, Digital Signal Processor, Benchmark, Vergleich

## **1 Einleitung und Stand der Technik**

Die Hardwareentwicklung aus heutiger Sicht bewirkt immer weiter steigende Systemleistungen und eine starke Zunahme der Zahl zur Verfügung stehender Systeme. Aufgrund der fortschreitenden Parallelisierung gilt nach wie vor das Gesetz von Moore, nachdem sich die Hardwareleistungsfähigkeit etwa alle 18 Monate verdoppelt. Was zunächst durchaus vorteilhaft erscheint, lässt jedoch gerade für Entwickler ein großes Problem entstehen. Sie müssen, wenn es darum geht, für ein Projekt eine geeignete Hardware auszuwählen, eine schwerwiegende Entscheidung für den weiteren Projektverlauf treffen. Dabei ist nicht nur eine Pro- oder Contra-Entscheidung bzgl. einer bestimmten Hardware zu treffen, sondern es sind eine ganze Reihe von verschiedenen Fragen zu berücksichtigen:

- Erfüllt das System die spezifizierten Anforderungen?
- Lässt es Raum für mögliche Erweiterungen?
- Welche Leistungsfähigkeit besitzt das System im Vergleich mit anderen, ähnlichen Systemen?
- Welche Kosten wird die Auswahl verursachen (Hardware, Software, Lizenzen)
- Gibt es bereits Erfahrungen, zusätzliche Software, Dokumentationen oder Beispielprogramme?

Diese Fragen sind aus Sicht des Entwicklers nur schwer zu beantworten, insbesondere dann, wenn keine Erfahrungen mit der geplanten Hardware vorliegen. Oftmals gibt es nur wenige Optionen bei der Entscheidungsfindung. Entwickler wählen auf Basis von Datenblättern und Herstellerangaben über die Leistungsfähigkeit geeignet erscheinende Systeme aus, oder führen eigene Tests durch. Beide Lösungen haben jedoch entscheidende Nachteile. Hersteller geben zwar in Datenblättern genaue Spezifikationen für Hardware vor, oftmals ist aber die Angabe der Leistungsfähigkeit wenig aussagekräftig, da zum einen der Marketing-Aspekt in den Vordergrund gerückt wird, zum anderen die durchgeführten Tests nicht zwangsweise die Art von Software widerspiegeln, die letztlich auf dem System laufen soll. Eine Entscheidung auf Basis von Algorithmen, die später wirklich zum Einsatz kommen sollen, sowie faire Vergleiche mit Produkten der Mitbewerber sind nur bedingt zu finden. Wird ein anderer Weg eingeschlagen, und Entwickler evaluieren geplante Systeme selbst, so erzeugt dieser Weg hohe Kosten, einerseits durch die Beschaffung von Testsystemen und Entwicklungssoftware, andererseits durch Personalkosten, die durch aufwändige Inbetriebnahmen und Tests verursacht werden.

Bisher gibt es kein System, das den Entwickler ausreichend in der skizzierten Projektphase unterstützt. Insbesondere konkrete, algorithmenbezogene Vergleiche der Leistungsfähigkeit von Systemen verschiedener Hersteller wären wünschenswert, die in Form schnell abrufbarer, validierter Ergebnisse den Entscheidungsprozess unterstützen.

## **2 Vorstellung des Systems „UBCS“**

Die im vorherigen Abschnitt thematisierten Probleme erfordern den Einsatz eines unterstützenden Systems, welches entsprechendes Expertenwissen bereithält, um eine bestimmte Hardware aufgrund von Anforderungen gezielt zu finden. UBCS wird genau zu diesem Zweck entwickelt. Ziel ist es, den Entwickler bei der Auswahl der geeigneten Hardware zu unterstützen, indem einerseits ermöglicht wird, aus einer breiten Auswahl an Spezifikationen den Kreis in Frage kommender Hardware einzuschränken, andererseits aber auch Aufwand durch die Evaluierung von Hardware abzunehmen, indem auch Vergleiche der Leistungsfähigkeit herstellerübergreifend durchgeführt werden können.

Damit UBCS dies leisten kann, besteht es aus verschiedenen Komponenten. Den Kern von UBCS bildet eine Datenbank, welche sämtliche Informationen über verschiedene Hardwaresysteme so ablegt, dass eine möglichst hohe Vergleichbarkeit erzielt werden kann. Die Datenbank wird auf einem entsprechend performanten Server betrieben, so dass auch komplexe Abfragen schnell realisiert werden können.

Die Pflege von Daten erfolgt mittels eines Administratorenfrontends. Hiermit werden Daten in die Datenbank eingepflegt, vervollständigt und aktualisiert. Die Datenpflege ist jedoch nur herstellerunabhängig durch das Microcontroller Application Center der Hochschule Harz möglich, so dass ein hohes Maß an Objektivität, insbesondere bei der Bereitstellung der Leistungsdaten der Hardware, gewahrt bleibt.



Der Nutzerzugriff erfolgt mittels eines Webinterfaces. Nutzer haben so nach Anlegen eines Accounts die Möglichkeit, gezielt nach geeigneter Hardware zu suchen und Systeme untereinander zu vergleichen. Der Vergleich erfolgt auf Basis bekannter Parameter und der Leistungsfähigkeit der Hardware. Diese wird für die eingepflegten Hardwaresysteme anhand modulbasierter Benchmarks ermittelt, so dass sowohl die Vergleichbarkeit gewährleistet ist, als auch ein Bezug zu der geplanten Software hergestellt werden kann. Nutzer können die Auswahl bestimmter Module treffen, deren Algorithmen auch in der geplanten Anwendung genutzt werden.

Ist die Eingabe der Suchparameter erfolgt, erstellt UBCS automatisch die passende Suchanfrage an die Datenbank. Der Datenbankserver führt diese Suche aus und übermittelt die Ergebnisse in Form von geeigneten Hardwaresystemen zurück an das Webinterface. Dem Nutzer werden diese Daten in Form von vergleichenden Darstellungen wie Tabellen und Diagrammen zur Verfügung gestellt. Somit ist eine Entscheidungsfindung auf Basis dieser Ergebnisse deutlich einfacher und schneller möglich und die Auswahl kann auf Basis fundierter Kriterien erfolgen.

### **3 Aktueller Entwicklungsstand**

UBCS befindet sich derzeit noch im Entwicklungsstadium, wobei das System jedoch mit den Grundfunktionen lauffähig ist. Datenbank und Administratorenfrontend sind bereits implementiert. Das Webinterface ist in einer Grundversion ebenfalls online und kann getestet werden. Die Suche auf Basis von bestimmten, bereits implementierten Parametern, wie z.B. Eigenschaften von Analog-Digital-Wandlern, Taktraten oder Benchmarkergebnissen, ist möglich. Auch einige Hardwaresysteme, vor allem Mikrocontroller, sind bereits in der Datenbank mit ihren Eigenschaften abgelegt.

An dieser Stelle sei aufgrund der Einschränkungen bzgl. des Umfangs des Artikels auf die Homepage des Projektes, <http://ubcs.hs-harz.de>, verwiesen. Nach dem Anlegen eines Nutzeraccounts („Account - Register“) können dort Suchkriterien spezifiziert werden („Search – Specify Search“). So kann u. a. die Mindestleistung bei einem der bereits vorhandenen Benchmarkmodule, zusammen mit anderen Kriterien, eingetragen werden. Ist die Suchfunktion hinreichend parametrisiert, kann die Suche durch UBCS gestartet werden (Button „Search“). Das System sucht nun anhand der Kriterien in Frage kommende Systeme und stellt, sofern geeignete Hardware gefunden wurde, diese einerseits als Überblick, aber auf Wunsch auch detailliert dar (Button „Show Details“). UBCS verwendet dabei eine vergleichende Darstellung, und zeigt Nutzern auch grafisch aufbereitete Benchmarkergebnisse, so dass eine Systemauswahl leichter getroffen werden kann.

## 4 Zusammenfassung, zukünftige Entwicklungen und Ausblick

Erste Tests mit UBCS haben gezeigt, dass eine gezielte Suche aufgrund von spezifizierten Anforderungen möglich ist. Das System arbeitet wie geplant und stellt die Suchergebnisse in unterschiedlichem Detaillierungsgrad, je nach Wunsch des Nutzers, dar, so dass eine Entscheidung hinsichtlich einer geeigneten Zielhardware getroffen werden kann.

Problematisch anzusehen ist der Anwendungsfall, wenn bei Projektbeginn nur unzureichende Spezifikationen bekannt sind, und so eine Einschränkung der Ergebnisse nur sehr schwer möglich ist. UBCS soll auch hier den Nutzer unterstützen, beispielsweise durch Klassifizierung der Anforderungen, etwa in low-level, medium und high-end. Hier ist der Einsatz einer unscharfen Entscheidungsfindung zu bedenken.

Weiterhin ist das System in seiner Form weiterzuentwickeln und die Spezifikation von Hardwaremerkmalen weiter zu verfeinern. Durch den konsequenten Ausbau der Datenbasis wird eine genauere Systemauswahl ermöglicht. Werden auch aktuelle Hardwarekosten mit eingepflegt, verfügt das System über ein weiteres, sehr wichtiges Entscheidungskriterium.

### Literaturverzeichnis:

- [1] Oppelt, Alexander: „Performanceuntersuchungen ausgewählter Mikroprozessorsysteme“, Bachelor-Abschlussarbeit Hochschule Harz, 2010
- [2] Lojewski, Dariusz: „Benchmarking und Systemvergleich von Mikrocontrollern“, Diplomarbeit Hochschule Harz, 2007
- [3] Stolze, Thomas, Kramer, Klaus-Dietrich, Fengler, Wolfgang: “Benchmarking: Classic-DSPs vs. Microcontrollers”, Proceedings IMCIC, Orlando (Fl.), 2010
- [4] Kramer, Klaus-Dietrich, Stolze, Thomas, Banse, Thomas: “Benchmarks to find the optimal Microcontroller-Architecture”, Proceedings CSIE09, Los Angeles (Ca.), 2009
- [5] Kramer, Klaus-Dietrich, Stolze, Thomas: “Benchmarking – Leistungsbewertung von Mikrocontrollern”, Beitrag AALE, 6. Fachwissenschaftliches Kolloquium, Berlin, 2009

## Untersuchungen zur Elektronenstrahlmodifizierung von Polylactid

Petra Morgenstern<sup>1</sup>, Kathrin Harre<sup>1</sup>, Gert Heinrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.

### 1 Einleitung

Biopolymerwerkstoffe haben in den letzten Jahren eine zunehmende Bedeutung in verschiedenen Anwendungsgebieten wie z.B. der Verpackungs- und der Medizintechnik erfahren. Sie zeichnen sich durch attraktive Eigenschaften wie Bioabbaubarkeit und Biokompatibilität aus. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zur ihrer Herstellung ermöglicht eine Reduktion von klimawirksamem CO<sub>2</sub> und schont so die Umwelt. Des Weiteren kommt es zur Schonung von fossilen Rohstoffen. Biokunststoffe sind mit den herkömmlichen Maschinen der Kunststofftechnik (Extrusion, Spritzguss, Schmelzespinnen) sehr gut verarbeitbar [1; 2]. Die thermischen, mechanischen und optischen Eigenschaften sind teilweise mit Massenkunststoffen wie PP und PE vergleichbar. Die Biopolymerwerkstoffe stellen somit eine sinnvolle Ergänzung zur bisherigen Kunststoffpalette dar.

Für unsere Arbeiten wurde das thermoplastische und teilkristalline Polylactid gewählt, da es kommerziell verfügbar ist und es erste Anwendungen in der Medizin- (z.B. als Zellkulturträger) und Verpackungstechnik gibt. Für die breite Anwendung besitzt es jedoch auch problematische Eigenschaften. Die Hauptprobleme wie z.B. geringe Wärmeformbeständigkeit und Gasdurchlässigkeit lassen sich mit der Glasübergangstemperatur dem Schmelzbereich und der Hydrophilie erklären. Der Einsatz als Verpackungsmaterial ist so durch die schlechten Barriereigenschaften von PLA beschränkt. Die Durchlässigkeit für kleine Moleküle, wie Wasser, Kohlendioxid, Sauerstoff ist verglichen mit dem vielfach verwendeten PET acht- bis zehnmal höher [6]. Einige dieser Eigenschaften können mit einer Oberflächenbehandlung verbessert werden.

Elektronenstrahlgestützte Verfahren sind grundsätzlich bekannt und Stand der Technik [4,5]. Seit 2009 können an der HTW Dresden Kunststoffe durch Elektronenstrahlbehandlung bei Beschleunigungsenergien bis 150kV in verschiedenen Gasatmosphären modifiziert werden [6]. Die Anlage der HTW zeichnet sich durch seine multifunktionelle Betriebsweise aus. Sie ermöglicht es sowohl thermisch als auch nicht-thermisch zu arbeiten.

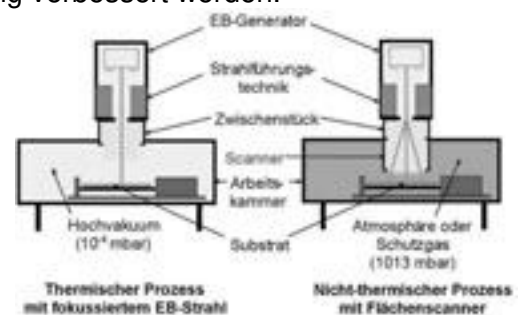


Abbildung 1: Arbeitsprinzipien der Elektronenstrahlanlage der HTW Dresden

Durch Elektronenstrahlbehandlung können bei Kunststoffen gezielt Eigenschaften verändert werden wie Lösemittelbeständigkeit, Wärmeformbeständigkeit, Reibungs- und Verschleißvermögen, Kerbschlagzähigkeit oder Härte. Im Polymeren vermögen die beschleunigten Elektronen zwei grundsätzliche und stets parallel ablaufende Reaktionen auszulösen. Treffen Elektronen auf eine kovalente Bindung, kann es zum Bindungsbruch kommen. Dadurch werden Radikale erzeugt. Diese Radikale können nun entweder mit weiteren Radikalen reagieren oder weitere Bindungen angreifen. Daher kommt es entweder zu einer Vernetzung oder zu einem Abbau der Polymerketten. Das Ziel der Arbeiten ist es eine solche Vernetzung im PLA auszulösen [3].

### 2 Experimentelles

Sämtliche Versuche wurden vorerst im Bulk-Material durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen anschließend auf die oberflächennahe Randschicht übertragen werden.

#### 2.1 Materialien

Es wurde handelsübliches Granulat (Typ: 3751D) der Firma NatureWorks verwendet. Als

Vernetzungshilfsmittel wurde Triallylisocyanurat (TAIC) eingesetzt.

## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörper wurden nach zwei Verfahren hergestellt. Zum einen wurden mittels Spritzguss Formteile mit dem Abmaß 40\*40\*1mm erzeugt und zum anderen wurden dünne Filme mittels Rotationsbeschichter (Firma SPS Europe Spin 150) präpariert. TAIC wurde nur in die Folien eingearbeitet. Dafür wurde das PLA in Chloroform gelöst. Dieser Lösung wurden verschiedene Masseanteile (1 %, 3 % und 10 %) an TAIC zugeben. Die Proben wurden bei 40°C im Trockenschrank für 30 Stunden getrocknet.

### 2.2.2 Elektronenbehandlung

Die Bestrahlung der Proben wurde an der Niedrigenergie-Anlage (150kV) der HTW Dresden und einer Hochenergie-Anlage (1,5MV) des IPF Dresden mit verschiedenen Dosen (11, 25, 33, 50, 66, 75, 100 kGy) durchgeführt. Als Bestrahlungsatmosphäre diente Stickstoff und Luft.

### 2.2.3 Charakterisierungsmethoden

Alle Proben wurden nach der Bestrahlung mittels ATR-IR-Spektrometrie, Kontaktwinkelmessung, Größenauschlusschromatografie (GPC) und mittels REM, DSC und TGA untersucht.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Größenauschlusschromatografie (SEC; GPC)

Mittels GPC wurde die Molmassenmittelwerte der Proben vor und nach der Bestrahlung bestimmt. Erste Versuche zeigten, dass es zu einem Abbau der Molmasse unter der Einwirkung von Elektronenstrahlung kommt. Dieser Abbau lässt sich durch eine rein exponentielle Abbaufunktion nicht hinreichend beschreiben. Daher ist anzunehmen, dass es auch teilweise zu einer Vernetzung im Polymer kommt. Festzustellen ist, dass der Abbau unter Luftatmosphäre stärker ausgeprägt ist. Daher wurden alle weiteren Bestrahlungen ausschließlich unter Stickstoff durchgeführt. Eine alleinige Elektronenbestrahlung führt also nicht zu dem gewünschten Ziel. Daher wurde den Proben TAIC zugemischt. Im Diagramm 2 wird der Einfluss von dem Vernetzer TAIC auf die Molmasse deutlich. Es kommt nachweislich zu einem Anstieg der zahlenmittleren Molmasse und zu einer geringen Abnahme der gewichtsmittleren Molmasse. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die Kombination von TAIC und Elektronenbestrahlung eine wirksame Möglichkeit ist, um eine Vernetzung zu erzielen.

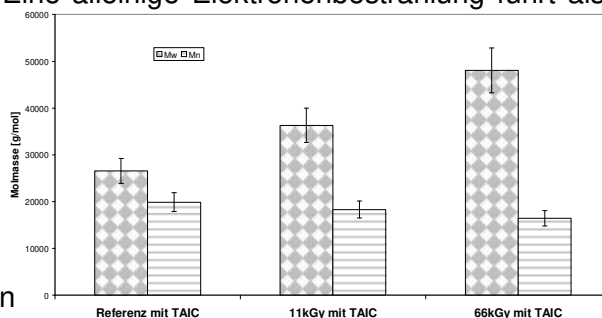


Abbildung 2: Einfluss der Kombination von TAIC und Elektronenbestrahlung auf die Molmasse

### 3.2 IR- Spektroskopie

Mittels IR-Spektrometrie wurden die Proben auf strukturelle Veränderungen in einem Wellenzahlbereich von 4000-550  $\text{cm}^{-1}$  untersucht. Es finden sich die mit der Literatur übereinstimmenden Banden [8,9]. Die Carbonylbande (1748  $\text{cm}^{-1}$ ) wurde als Maß für Bindungsbrüche bzw. für Vernetzung näher betrachtet (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Eine Abnahme der Intensität deutet auf einen Bindungsbruch hin. Die Experimente zeigen, dass mit steigender Bestrahlungsdosis die Intensität leicht abnimmt. Im Wellenzahlbereich zwischen 2700-3100  $\text{cm}^{-1}$  (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) kommt es durch die Elektronenbestrahlung zur Ausbildung zwei neuer Banden bei 2850  $\text{cm}^{-1}$  und bei 2923  $\text{cm}^{-1}$ .

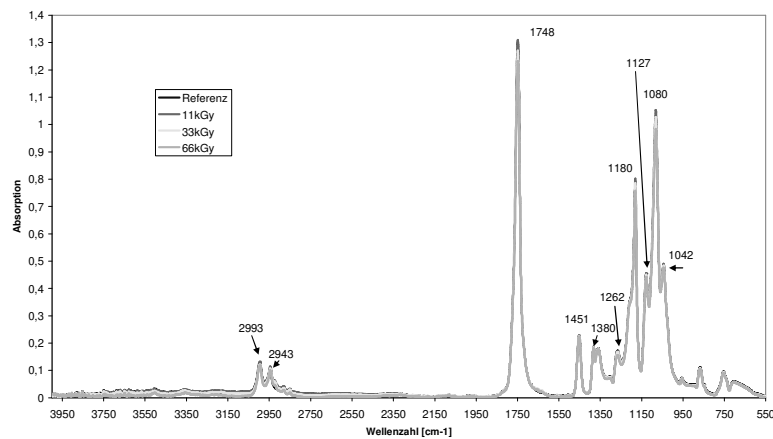


Abbildung 3: IR-Spektrum von bestrahltem PLA (Platten). Die Bestrahlung fand unter Stickstoff statt.

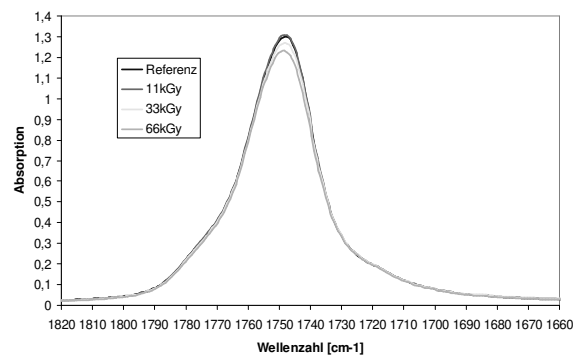


Abbildung 4: IR-Spektrum von bestrahltem Polylactid in Spektralbereich von  $1660\text{-}1820\text{cm}^{-1}$ .

Diese IR-Banden sind für eine  $\text{-C-CH}_2\text{-C-}$  Bindung charakteristisch. Man kann annehmen, dass die neue Bindung durch eine Vernetzung zu erklären ist. Als möglicher Reaktionspartner kann nur die  $\text{CH}_3$ -Gruppe am PLA dienen. Durch die Elektronenbestrahlung entsteht an der  $\text{CH}_3$ -Gruppe ein  $\text{CH}_2^*$ -Radikal. Durch Paarung dieser  $\text{CH}_2^*$ -Radikale kann es zu der neuen  $\text{C-CH}_2\text{-C-}$  Bindung kommen. Die Peaks bei  $2994\text{ cm}^{-1}$ ,  $2944\text{ cm}^{-1}$ ,  $2880\text{ cm}^{-1}$  sind der  $\text{CH}_3$ -Gruppe zuzuordnen. Es ist deutlich zu erkennen, dass durch die Bestrahlung diese Banden abnehmen und sich so die oben aufgeführte Annahme festigen lässt. Diese Erkenntnis der nachweisbaren Vernetzung deckt sich mit den Ergebnissen der Molmassenbestimmung. Ohne Vernetzerhilfsmittel finden somit die zwei Prozesse Vernetzung und Abbau statt.

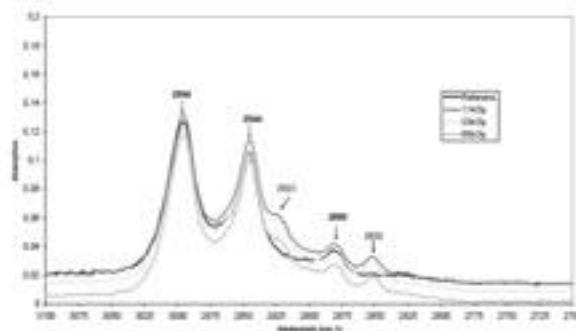


Abbildung 5: IR-Spektrum von bestrahltem PLA (Platten). Die Bestrahlung fand unter Stickstoff statt. Betrachtet wird der Wellenzahlbereich von  $2700\text{-}3100\text{ cm}^{-1}$ . Zwei neue Banden sind erkennbar.

Die Elektronenstrahlbehandlung stellt ein wirksames Verfahren zur Modifikation von Polymeren und deren oberflächennahen Randschichten dar. In der Anwendung bei Polylactid muss die Elektronenbehandlung mit Vernetzern wie TAIC kombiniert werden. Die Verarbeitung von TAIC und PLA gelingt über ein Lösungs- und anschließendes Spincoatverfahren unproblematisch. Es wurden geeignete Analysemethoden wie die IR-Spektroskopie und die GPC gefunden. Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination von Elektronenbestrahlung und TAIC eine Erhöhung der Molmasse bewirkt und daher eine Vernetzung anzunehmen ist. Eine alleinige Bestrahlung von PLA führt zu einem nicht rein exponentiell beschreibbaren Molmassenabbau. Die IR-Spektroskopie zeigt passend dazu, dass es teilweise auch zu einer Vernetzung kommt. Es konnte eine neue  $-C-CH_2-C$ -Gruppe nachgewiesen werden. Damit diese Erkenntnis gefestigt werden kann, werden Löslichkeitsversuche, Versuche zu thermischen Eigenschaften (DSC, TGA) und mechanische Prüfungen durchgeführt und weitere Vernetzersubstanzen getestet. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch eine kombinierte Elektronenbestrahlung die Eigenschaften des Biopolymerwerkstoffes Polylactid beeinflusst und unter den gegebenen Versuchsbedingungen verbessert werden können.

## Danksagung

Unsere Forschungsarbeit wird gefördert vom Europäischen Sozialfond (ESF) und dem Freistaat Sachsen im Rahmen der Förderung von Nachwuchsforscherguppen. Wir danken dem Leibniz Institut für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF Dresden) und dem Fraunhofer Institut für Elektronenstrahltechnologie für die umfassende fachliche und technische Unterstützung.



## Referenzen

- [1] Tänzer: Biologisch abbaubare Polymere. Dt. Verl. für Grundstoffindustrie. 2000
- [2] Enders, Raths: Technische Biopolymere. Carl-Hanser-Verlag
- [3] Morgenstern, P et. al.: 1st International Symposium POLYWHEEL, Dresden (2010).
- [4] Heger A., H. Dorschner, L. Dunsch, B. Ihme, K. Lunkwitz, Strahlenchemie von Polymeren, Wien, Carl Hanser Verlag, 1990
- [5] Menges G., Werkstoffkunde Kunststoffe, 5. Auflage, Wien, Carl Hanser Verlag, 2005.
- [6] Streiber M., Eckart G., Klose J., Harre K., Vortag zur 8. Internationalen Konferenz Strahltechnik, Halle (2010).
- [7] 1. PLA-Bottle Conference, Zukunft für die Bioflasche; 11; 2007
- [8] Pamula, E. et. al.: FTIR study of degradation products of aliphatic polyesters- carbon fiber composites. Journal of Molecular Structure 596 (2001) 69-75
- [9] Quynh et. al.: Properties of a Poly(L-lactic acid)/Poly(D-lactic acid) stereocomplex and the stereocomplex crosslinked with triallyl isocyanurate by irradiation. Journal of Applied Polymer Science, 110 (2008) 2358-2365

# **Wasserökonomie - Bewertungsansätze für Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Steven Radtschenko, Phone: ++49.3683-688-5203, E-Mail: S.Radtschenko@fh-sm.de, Fachhochschule Schmalkalden, Blechhammer, 98574 Schmalkalden

## **Abstract:**

Das Forschungsprojekt „Wasserökonomie - Bewertungsansätze für Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen“ untersucht den Markt der Wasserver- und Abwasserentsorgung, um einen Ansatz zur Unternehmensbewertung zu entwickeln. Für eine korrekte Unternehmensbewertung ist es jedoch notwendig die Branchenbesonderheiten zu kennen.

Das wissenschaftliche Gebiet der Unternehmensbewertung kann als weitgehend erforscht betrachtet werden. Es wurden bereits zahlreiche Ansätze für unterschiedliche Branchen entwickelt, jedoch bildet der Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung einen weißen Fleck in der wissenschaftlichen Literatur.

Deshalb soll die Frage beantwortet werden inwiefern die bereits bekannten Bewertungsverfahren modifiziert werden müssen, um eine branchenspezifische Bewertung zu ermöglichen. Dazu müssen zum einen die allgemeinen aber auch die spezifischen Bewertungsanforderungen berücksichtigt werden.

Unter den allgemeinen Besonderheiten werden dabei die zentralen und wichtigsten Grundsätze ordnungsmäßiger bzw. funktionsgemäßer Unternehmensbewertungen verstanden.

Die speziellen Bewertungsanforderungen ergeben sich insbesondere aus der Sonderstellung des Marktes. Das natürliche Monopol bedingt rechtliche Reglementierungen. Die hohe gesellschaftliche Bedeutung des Trinkwassers und die Bedeutung des Abwassers für die Umwelt ergeben weitere Branchenbesonderheiten.

Inwiefern diese Eigenheiten widerspruchsfrei in eine Bewertungsmethodik integriert werden können steht noch aus und setzt weitere Untersuchungen voraus.

## **Keywords:**

**Wasserversorgung, Abwasserentsorgung, Wasserversorger, Abwasserentsorger, Unternehmensbewertung, Wasserökonomie, Valuation**

## **1 Problemstellung**

Die Dissertation mit dem Rahmenthema: „Wasserökonomie – Bewertungsansätze für Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen“ stellt auf dem bisher kaum wissenschaftlich bearbeiteten Feld des Wassermanagements Forschungen an. Der zukunftssträchtige Markt der Versorgung der Bevölkerung mit dem „Erdöl des 21. Jh.“ – Wasser – sowie die Entsorgung des Abwassers sollen dabei genauer untersucht werden. Sowohl die Wasserversorgung als auch die Abwasserentsorgung stehen aufgrund der Liberalisierungsdiskussionen unter erheblichen Druck der Öffentlichkeit. Gefordert wird von der Branche effiziente, kundenorientierte und wettbewerbsgerechte Dienstleistungsunternehmen zu schaffen. Doch mindestens ebenso wichtig wie die wirtschaftliche Sichtweise ist auch die Betrachtung der Branchen aus Sicht des Gesundheits- und Umweltschutzes, denn Wasser stellt keine übliche Handelsware dar. Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen und ist nicht substituierbar. Abwasser muss nach strengen hygienischen Vorschriften gereinigt werden, um es den natürlichen Kreislauf wieder zufügen zu können ohne Umweltschäden hervorzurufen. Damit übernehmen die Wasserver- und Abwasserentsorger eine erhebliche gesellschaftliche Verantwortung, welche stets berücksichtigt werden muss.

Aktuell ist ein Wandel der Branchen hin zu privatrechtlichen Organisationsformen festzustellen [vgl. Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V., u.a., 2005, S. 14; Ebenda, 2008, S. 11]. Allein 25% der Wasserversorger sind demnach gemischt öffentlich-privatrechtlich organisiert, d.h. öffentliche Wasserversorger mit Beteiligungen von privaten Unternehmen. Damit einher geht die Frage, welchen Wert ein solches Unternehmen oder ein Unternehmensanteil hat bzw. welcher Preis beim Kauf oder Verkauf gerechtfertigt ist.

Um jedoch eine korrekte Aussage über den Wert einer Unternehmung treffen zu können, ist es unabdingbar, die Besonderheiten der Unternehmensbranche zu berücksichtigen. Nur wer Kenntnisse über die Branche hat und in der Bestimmung der Unternehmenswerte diese Einflussfaktoren berücksichtigt, kann plausible und nachvollziehbare Bewertungsergebnisse liefern [vgl. Krag, J., Kasperzak, R., 2000, S. 45ff.]. Wenn dies nicht berücksichtigt wird, können falsche Prognosen entstehen und dadurch Unternehmen zu hoch bewertet werden [vgl. Drukarczyk, J., Ernst, D., 2006, S. VI, in Bezug auf eine Studie des Institute of Mergers & Acquisitions (IMA)]. Häufige Gründe für misslungene Unternehmensbewertungen sind nach Drukarczyk und Ernst zum einen die über-optimistischen Einschätzungen bezüglich des Marktpotenzials und zum anderen die Überschätzung von Synergien. Beide Punkte sind eng verbunden mit den Besonderheiten der Unternehmensbranche.

## **2. Forschungsstand**

Die Theorie der Unternehmensbewertung ist ein von vielen Autoren gründlich untersuchtes Themengebiet [siehe 6. Ausgewählte Literatur – Allgemeine Unternehmensbewertung]. Es existieren zwar unter den Autoren teilweise verschiedene Ansichten, dennoch kann man die grundsätzliche Methodik der Unternehmensbewertung als weitgehend erforscht betrachten.

Allerdings ist die Umsetzung der allgemeinen Methodik der Unternehmensbewertung weder für jede Unternehmensbranche noch für jede beliebige Unternehmung identisch. Die Berücksichtigung des branchenspezifischen Wissens in der Unternehmensbewertung ist unbedingt erforderlich. In der Vergangenheit sind diesbezüglich zahlreiche Arbeiten veröffentlicht worden (siehe 6. Ausgewählte Literatur – Branchenorientierte Unternehmensbewertung). Das Themengebiet der Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen wurde bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht. Somit können keine fundierten Aussagen darüber getroffen werden, wie der Unternehmenswert für Ver- und Entsorger zu bestimmen ist.

## **3. Fragestellung**

Die Kernfrage der Arbeit ist: Wie setzt sich der Unternehmenswert zum einen für Wasserversorgungsunternehmen und zum anderen für Abwasserentsorgungsunternehmen zusammen?

Dabei ist zu untersuchen, welche Besonderheiten des Marktes bei der Bewertung einen signifikanten Einfluss haben. Um einen fundierten Unternehmenswert ermitteln zu können, sollen deshalb die bestehenden Bewertungsansätze auf Ihre Eignung für die Bewertung von Ver- und Entsorgern hin untersucht werden. Um jedoch auch einen praxistauglichen Ansatz bereit zu stellen ist des Weiteren die Frage zu beant-



worten, wie die erkannten branchenspezifischen Besonderheiten in das Bewertungsverfahren eingegliedert werden können.

Die Dissertation soll deshalb einen wissenschaftlichen Beitrag dazu leisten, den Unternehmenswert von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen wissenschaftlich fundiert und zugleich praxisnah und verständlich zu ermitteln.

#### **4. Allgemeine Bewertungsanforderungen**

Unter den allgemeinen Bewertungsanforderungen werden die in der Literatur etablierten „Grundsätze ordnungsmäßiger Unternehmensbewertung“ verstanden. [Vgl. Matschke/Brösel, 2007, S. 718ff.] Die Grundsätze ordnungsgemäßer Unternehmensbewertung (GoU) sind als ein System von Bewertungsnormen definiert. Ziel ist es eine Anleitung für die Unternehmensbewertung unter Berücksichtigung des Bewertungszwecks zu geben. Der Bewertende soll vor „Kunstfehlern“ und die von den Bewertung betroffenen sollen vor wirtschaftlichen Nachteilen, aufgrund von fehlerhaften Bewertungsmethoden, geschützt werden [vgl. Moxter, A., 1991, S. 1]. Neben Moxter untersuchte auch das Institut der Wirtschaftsprüfer [vgl. Stellungnahme HFA 2/1983 „Grundsätze zur Durchführung von Unternehmensbewertungen“] und Pooten [vgl. Pooten, H., 1999, S. V] das Themengebiet genauer. Auf Basis der funktionalen Unternehmensbewertung wurden die „Grundsätze funktionsgemäßer Unternehmensbewertung“ von den Autoren Matschke und Brösel entwickelt [vgl. Matschke, M.J., Brösel, G., 2007, S. 755]. Als Schnittmenge der in der wissenschaftlichen Literatur aufgeführten Grundsätze können die folgenden Prinzipien benannt werden:

- Zweckadäquanzprinzip
- Stichtagsprinzip
- Subjektivitätsprinzip
- Gesamtbewertungsprinzip
- Zukunftsbezogenheitsprinzip
- Chancen-Risiken-Prinzip

Bei den wichtigsten Bewertungsmethoden zeigt sich, dass lediglich die Barwertverfahren und das Zustandsgrenzpreismodell diese Anforderungen erfüllen. Sowohl die Barwertverfahren (Kapitalwertmethode und Discounted Cashflow Methode) als auch das Zustandsgrenzpreismodell haben individuelle Vor- und Nachteile die näher untersucht werden müssen. Hier steht insbesondere die Anwendbarkeit auf Wasserver- und Abwasserentsorger sowie die Praxistauglichkeit im Vordergrund.

#### **5. Spezifische Bewertungsanforderungen**

Die spezifischen Bewertungsanforderungen gilt es widerspruchsfrei in ein neues bzw. modifiziertes Bewertungsmodell mit einzubinden.

Prinzipiell besitzt der Markt ein natürliches Monopol [vgl. Egerer, M., Wackerbauer, J., 2006, 86ff.]. Dieses liegt gemäß § 28 Abs. 2 GG bei den Kommunen (kommunales Selbstverwaltungsrecht). Aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes besitzt dieser Markt eine Sonderstellung. Einen hohen Einfluss haben deshalb die gesetzlichen Rahmenbedingungen auf die Ver- und Entsorger. Vom Europäischen Recht, über das nationale Recht, bis hin zu landesspezifischen Rahmenbedingungen müssen zahlreiche Vorschriften erfüllt werden. Eine weitere spezifische Besonderheit stellen die irreversiblen Investitionskosten (sunk costs) dar. Damit einher geht die hohe Fixkostenbelastung der Versorgungsunternehmen. So sind rund 70 – 80 % der Gesamtaufwendungen Fixkosten. [vgl. Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.

V., u.a., 2008, S. 17]. Zudem sinkt die Netzabgabe seit Jahren kontinuierlich. Des Weiteren sollten spezielle Einflussfaktoren, wie z.B. Gesamtlänge der Rohrleitungen, Alter der Leitungen, geographische Lage der Ver- und Entsorger, Zusammensetzung des Abwassers und die Qualität des Rohwassers berücksichtigt werden.

## **6. Ausgewählte Literatur**

### **Allgemeine Unternehmensbewertung**

IDW – Institut der Wirtschaftsprüfer (2008): IDW Standard: Grundsätze zur Durchführung von Unternehmensbewertungen (IDW S1 i.d.F. 2008), Düsseldorf, IDW-Verlag GmbH

Krag, J., Kasperzak, R. (2000): Grundzüge der Unternehmensbewertung, München, Verlag Franz Vahlen GmbH

Matschke, M.J., Brösel, G. (2007): Unternehmensbewertung: Funktionen – Methoden – Grundsätze, 3. Auflage, Wiesbaden, Gabler Verlag

Moxter, A. (1991): Grundsätze ordnungsmäßiger Unternehmensbewertung, 2. Auflage, Nachdruck, Wiesbaden, Gabler Verlag

Pooten, H. (1999): Grundsätze ordnungsmäßiger Unternehmensbewertung: Ermittlung und Inhalt aus Käufersicht, Büren, Fachbibliothek Verlag

### **Branchenorientierte Unternehmensbewertung**

Dreyer, D. (2004): Bewertung personalintensiver Dienstleistungsunternehmen: Die Integration von intellektuellem Kapital in die Unternehmensbewertung, Wiesbaden, Gabler Verlag

Drukarczyk, J., Ernst, D. (2006): Branchenorientierte Unternehmensbewertung, München, Verlag Franz Vahlen GmbH

Fox, A. (2010): Die Bewertung von Content-Anbietern unter besonderer Berücksichtigung von Web 2.0, Wiesbaden, Gabler Verlag

Ruh, H. (2006): Unternehmensbewertung von Krankenhäusern – Grundlagen, Analysen und Bewertung von Krankenhäusern unter besonderer Berücksichtigung der materiellen Privatisierung, München, Herbert Utz Verlag GmbH

### **Wasser- und Abwasserwirtschaft**

Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. et al. (2005): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft, Bonn, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH

Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. et al. (2008): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft, Bonn, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH

Egerer, M., Wackerbauer, J. (2006): Strukturveränderungen in der deutschen Wasserwirtschaft und Wasserindustrie 1995 – 2005, Studie im Auftrag des Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft (Hrsg.), Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung, Umwelt, Regionen und Verkehr, Endbericht, Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe

# Wirbelschichtcoating von Pellets mit hoher Wirkstoffbeladung

Florian Priese, Dipl.-Ing. (FH), Phone:++49 3496-67-2587, E-Mail: f.priese@bwp.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Prof. Dr. Bertram Wolf, Phone:++493496-67-2584, E-Mail: b.wolf@bwp.hs-anhalt.de, Hochschule Anhalt, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

## Abstract

Inerte Pellets aus mikrokristalliner Cellulose wurden erfolgreich und reproduzierbar mit der dreifachen Menge Modellwirkstoff (Natriumbenzoat) in einem Labor-Wirbelschichtgranulierer mit Wursterrohr und Bottom-Spray-Technik überzogen. Verluste an Natriumbenzoat aus dem Überzug entstanden durch gegenseitige Reibung der Pellets und Reibung an der Behälterwand des Granulierers. Um die Festigkeit und Stabilität des Films zu erhöhen, wurden die aus der Coating-Technik bekannten Filmbildner HPMC und PVP in die Coatinglösung gegeben. Die Zugabe der hydrophilen Filmbildner erhöhte die mechanische Stabilität und reduzierte Verluste durch Reibung, die Klebrigkeit der Polymerlösungen förderte aber das nicht beabsichtigte Zusammenkleben der Pellets. Der Modellwirkstoff bildete einen stabilen Film auf den Pellets, die maximale Polymerkonzentration betrug 3%. In weiterführenden Untersuchungen werden die Pellets mit funktionellen Filmbildnern überzogen, um retardierte Freisetzung bzw. Magensaftresistenz zu erhalten.

**Keywords:** Pellets, Coating, Wurster-Technik

## 1 Einführung

Pellets wurden mit der dreifachen Menge Natriumbenzoat als Modellwirkstoff überzogen und der Einfluss von hydrophilen Filmbildnern auf die Festigkeit des Überzugs untersucht. Talkum wurde als Antiklebemittel eingesetzt. Der Wirbelschicht-Coatingprozess sollte reproduzierbar sein und akzeptable Ausbeuten erreichen, Agglomeration der Pellets sollte ausgeschlossen werden. Forderungen an die überzogenen Pellets waren hohe mechanische Festigkeit, Gleichmäßigkeit des Filmüberzugs und geringer Abrieb. Von den Produkten wurden Korngröße und Korngrößenverteilung, Rundheit, Schüttdichte, Stampfdichte, Form und Oberfläche untersucht.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Materialien

Als Trägerstoff wurden Pellets aus mikrokristalliner Cellulose (Cellets<sup>®</sup> 200, IPC, D-Dresden) verwendet, die chemisch inert und physiologisch unbedenklich sind und sich durch enge Korngrößenverteilung, Unlöslichkeit in Wasser und hohe mechanische Festigkeit auszeichnen. Für die Coatingsuspension wurden Natriumbenzoat als Modellwirkstoff, die wasserlöslichen Polymere HPMC (Pharmacoat 606<sup>®</sup>, Syntapharm, D-Mülheim) und PVP (Kollidon 25<sup>®</sup>, BASF, D-Ludwigshafen), Talkum (Chemie Vertrieb, D-Magdeburg) und gereinigtes Wasser verwendet.

### 2.2 Herstellung der Coatingsuspension

Die Feststoffe (Tabelle 1) wurden in gereinigtem Wasser bei 80°C gelöst bzw. dispergiert. Beim Einsatz von Talkum wurde die Suspension 2 min mit dem Ultra-

Turrax T50 bei 4500 U/min dispergiert. Die Suspension wurde abgekühlt und bei Raumtemperatur versprüht.

Tab. 1 - Zusammensetzung Coatingsuspension

Substanz	Menge
Natriumbenzoat	420 g (30%)
Polymer (PVP oder HPMC)	7-21 g (0,5-1,5%)
Talkum	7-14 g (0,5 - 1%)
gereinigtes Wasser	945-980 g (67,5-70%)
Gesamtmenge	1400 g

## 2.3 Coating der Pellets

Die Pellets wurden im Labor-Wirbelschichtgranulierer GPCG 1.1 (Glatt, D-Binzen) mit Wurster-Rohr und Bottom-Spray-Technik unter konstanten Bedingungen überzogen (Tab. 2, Prozessparameter), die Coatingsuspension wurde in der Zusammensetzung variiert. Die Ansatzmenge an Pellets betrug 150 g, der Verbrauch an Sprühlösung 1400 g.

Tab. 2 - Prozessparameter Wirbelschichtcoating

Zulufttemperatur	90 °C	mittlere Produkttemperatur	48-52 °C
Volumenstrom	45±5 m <sup>3</sup> /h	Lochplatte	Typ C
Sprührate	20 g/min	Einsatzhöhe Wursterrohr	20 mm
Sprühdruck	1,9 bar	Länge Wursterrohr	200 mm
Düsendurchmesser	1,0 mm	∅ Wursterrohr	74 mm

## 2.4 Prüfung der überzogenen Pellets

Die Korngrößenverteilung wurde mit einem optischen Verfahren mit digitaler Bildverarbeitung gemessen (Camsizer®, Retsch, D-Haan). Die Ausgabe der Ergebnisse aus der softwaregestützten Einzelbildauswertung erfolgt in Form von Tabellen und Graphiken ( $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{90}$ , Dichte und Summenverteilung). Für die relative Standardabweichung der Messmethode wurde mit Cellets 200 ein Wert <0,15% ermittelt (6 Messungen). Der Natriumbenzoat-Gehalt der überzogenen Pellets wurde mit UV-Spektroskopie (Spekol 1300, Analytik Jena, D-Jena) bei einer Wellenlänge von 220 nm gemessen, Schütt- und Stampfvolumen mit einem Stampfvolumeter (SVM, ERWEKA, D-Heusenstamm), der Kompressibilitätsindex CI wurde daraus berechnet. Die Filmhomogenität wurde mit einem Stereo-Lichtmikroskop (Stemi 2000-C, Carl Zeiss, D-Jena) überprüft.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Die mechanisch festen Cellets konnten im Wirbelschichtverfahren mit der relativ hohen Menge an Feststoff überzogen werden. In Abwesenheit von polymeren Filmbildnern oder bei niedriger Konzentration war der Wirbelschichtprozess stabil, es kam weder zu größeren Produktablagerungen noch zu Agglomeratbildung.

### 3.1 Natriumbenzoat

Beim Überziehen von Pellets mit reiner Natriumbenzoat-Lösung ohne Polymerzusatz war der Wirbelschichtprozess stabil. Durch Abrieb des Natriumbenzoat-Films betrug die Ausbeute 88-90%, und es kam zu Staubablagerungen an der Behälterwand.

### 3.2 Natriumbenzoat / PVP / Talkum

Durch die Zugabe von 1% PVP zur Coatinglösung wurde eine höhere Ausbeute im Vergleich zur reinen Natriumbenzoat-Lösung erzielt (93,7%). Die mechanische Festigkeit der Pellets nahm in Gegenwart von PVP zu, der Überzug haftete besser, und die Verluste durch Reibung der Pellets untereinander oder an der Behälterwand wurden kleiner. Nachteilig war die Agglomeratbildung, ein Gehalt an 2% PVP in der Coatinglösung führte zu Prozessabbruch. Durch Zusatz des Antiklebmittel Talkums konnte Agglomeratbildung bei 2% PVP vermieden werden. Bei Talkum-Konzentrationen über 1% kam es zu Sedimentation im Sprühsystem (Schlauch, Düse), was zu geringerer Ausbeute und letztendlich zu verstopfter Düse führte. Erwartungsgemäß nimmt die Korngröße beim Coaten deutlich zu. Die Dichteverteilungskurven der überzogenen Pellets sind im Vergleich zu den unbehandelten Pellets zu deutlich höherer Korngröße verschoben. Unterschiedliche Mengen PVP und Talkum (Tab. 1) haben nur geringen Einfluss auf die Lage der Kurven, weil die viel größere Menge Natriumbenzoat im Vergleich zu PVP und Talkum die Dicke des Films und damit den Durchmesser der überzogenen Pellets bestimmt.

### 3.3 Natriumbenzoat / HPMC / Talkum

Der Coatingprozess war möglich mit HPMC-Konzentrationen bis 2% ohne und bis 3% mit Talkum, höhere HPMC-Konzentration führte zu Instabilität des Prozesses infolge Agglomeratbildung. Während mit Natriumbenzoat und HPMC ohne Talkum hohe Ausbeuten erzielt wurden (>90%), führte Talkum-Zusatz zu Verlusten (Ausbeute 84,5%).

## 4 Zusammenfassung

### 4.1 Coating Prozess

Die hochkonzentrierte Sprühsuspension bestehend aus maximal 33 Masse% gelöste Substanzen (Natriumbenzoat und Polymer) und maximal 1% suspendiertes Talkum konnte bei hoher Zulufttemperatur (90°C) und relativ hoher Sprühdüse (20 g/min) mit einem Labor-Wirbelschichtapparat versprüht werden, ohne dass signifikante Mengen Feststoff an der Behälterwand oder dem Wurster-Rohr abgeschieden wurden, auch die befürchtete Verstopfung der Sprühdüse blieb aus. Wirbelbett- und Sprühprozess waren über den Zeitraum von 70 min konstant. Das für die Kombination aus Wirbelbett und zentral installiertem Wurster-Rohr typische elliptische Strömungsverhalten mit wechselnder Geschwindigkeit der Partikel (Beschleunigung im Wurster-Rohr im Zuluftstrom, Abbremsung nach Verlassen des Wurster-Rohrs und Abwärtsbewegung infolge der Gravitationskraft) konnte gewährleistet werden, der Zuluftstrom musste nur sehr geringfügig nachreguliert werden, um die zunehmende

Feuchte der Pellets und die damit verbundene Massezunahme zu kompensieren und den Zusammenbruch des Wirbelbettes zu vermeiden. Beim Coating mit reiner Natriumbenzoat-Lösung 30% trat überhaupt keine Agglomeration auf, diese relativ hochkonzentrierte Salzlösung hat keine Klebeeigenschaften. Ganz andere Wirkung hatten die zur Erhöhung der physikalischen Festigkeit des Natriumbenzoat-Films zugesetzten Polymere PVP und HPMC, die sehr wohl zu klebriger Oberfläche der Pellets und zu unerwünschter Agglomeration führten. Der Zusatz des Antiklebe-mittels Talkum ließ maximale Konzentrationen von 2% PVP und 3% HPMC zu.

## 4.2 Qualität der überzogenen Pellets

Die inerten Startpellets wurden mit einer relativ großen Menge an Modellwirkstoff Natriumbenzoat und Hilfsstoffen überzogen (dreifache Masse). Der Filmüberzug war gleichmäßig, die Partikelgröße der überzogenen Pellets war deutlich höher als die der Startpellets. Die experimentell bestimmte Partikelgröße ( $d_{50}$ -Wert) der überzogenen Pellets stimmte sehr gut mit theoretisch berechneten  $d_{50}$ -Werten unter Berücksichtigung der Dichte der Komponenten und Annahme ideal sphärischer Partikel überein. Die Standardabweichungen der  $d_{50}$ -Werte streuen für die überzogenen Pelletchargen nur geringfügig und entsprechen den Werten der Startpellets; demzufolge wurden alle eingesetzten Partikel beim Coating gleichmäßig überzogen. Ein weiterer Beleg für die Homogenität des Überzugs war die Verbesserung der Werte für die Rundheit von 0,93 für Cellets auf 0,94-0,96 für die überzogenen Pellets.

Die hohen Wiederfindungsraten für Natriumbenzoat von 92-101% bestätigen, dass beim Coatingprozess nur geringe Materialverluste aufgetreten sind. Insbesondere konnten keine signifikanten Verluste an Natriumbenzoat infolge Reibung, Bildung von Feinstaub und Entfernung mit der Abluft verzeichnet werden. Solcherart Verluste würden in erster Linie die Komponenten des Films betreffen und nicht die Startpellets, die ja beim Coating zunehmend geschützt sind.

## 4.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Im Labormaßstab wurden mit Wirbelschicht- und Wurster-Technologie inerte Pellets erfolgreich mit der dreifachen Menge eines Modellwirkstoffs überzogen. Wirkstoffe mit ungünstigen Verarbeitungseigenschaften wie z.B. schlechtes Fließen, niedriger Schmelzpunkt oder zu geringe Korngröße können zu überzogenen Pellets verarbeitet werden, die gute Fließeigenschaften aufweisen und sich problemlos in Hartkapseln abfüllen oder in Mischung mit geeigneten Hilfsstoffen tablettieren lassen. Die mit Wirkstoff beladenen Pellets können in einem zweiten Coatingschritt mit funktionellen Filmen überzogen werden, z.B. mit magensaftresistenten oder retardierenden Eigenschaften. Bei Verteilung des Wirkstoffs in unterschiedliche Räume der überzogenen Pellets, z.B. ein Teil in den Startpellets, ein zweiter Teil in der Pellethülle, ist gestaffelte Wirkstofffreisetzung möglich. Das nochmalige Überziehen hochbeladener Pellets kann auch dem Schutz des Wirkstoffs vor äußeren Einflüssen dienen (Licht, Feuchte, Sauerstoff aus der Luft) oder die mechanische Festigkeit erhöhen und Abrieb verringern.

# Index

- Adam, H., 391  
Alexander, M., 41
- Bär, K. J., 159  
Börsch, A., 293  
Böse, R., 403  
Backes, S., 309  
Bade, S., 261  
Barucki, T., 91  
Bauer, M., 53  
Bergmann, J. P., 203, 209  
Beyer, H., 321  
Biniok, D., 321  
Bischoff, M., 403  
Bliedtner, J., 203, 209  
Bodach, M., 91  
Brehm, N., 329  
Brumm, R., 349  
Burkhardt, T., 305  
Bzdok, C., 191
- Carjell, A., 411  
Cordes, C., 7, 369, 431  
Creutzburg, R., 85, 313, 387
- Döhler, S., 379  
Dahms, S., 301  
Ding, Y., 391  
Dummert, S., 325
- Eckart, M., 305  
Eriksen, H. R., 267
- Fehr, K., 153  
Felinks, B., 11  
Felser, G., 235  
Feuerstein, B., 7  
Fischbach, H., 361  
Fischer, A., 59, 115  
Fischer-Hirschert, U., 5, 375, 433  
Flucke, T., 371  
Franke, G. H., 235, 255, 261, 267, 399, 415  
Franke, K., 53
- Göbel, A., 299  
Günther, K., 23, 35, 365  
Gall, C., 261  
Germer, K., 341  
Goldau, H., 191, 215  
Golz, M., 41, 61, 73, 79, 153, 403  
Grüttner, H., 17  
Griehl, C., 133  
Guttke, S., 135
- Höhndorf, T., 109  
Höne, T., 387  
Hahs, M., 281  
Hanfeld, M., 185  
Hanitsch, S., 147  
Hanrieder, D., 427  
Harre, K., 441  
Haug, F., 73  
Haupt, M., 375, 433  
Haupt, S., 375  
Heilmann, A., 47  
Heimbach gen. Göthe, H., 97  
Heinke, F., 349  
Heinrich, G., 441  
Heinze, C., 41, 153  
Heinze, M., 399  
Henning, M., 329, 333  
Herzog, M., 273  
Heuert, U., 97, 103, 109, 379  
Hilber, S., 203  
Hild, M., 209  
Hoffmann, J., 237  
Hofmann, M., 29, 179, 321  
Honekamp, W., 59
- Irmeler, F., 313  
Iltner, A., 293, 301
- Jäger, S., 255  
Jagla, M., 415  
Jantke, R., 419  
Jaritz, S., 317  
Joncic, M., 433  
Junge, C., 243

Kahl, M., 61  
 Kahnt, H., 317  
 Kievelitz, H., 427  
 Kirbs, J., 171  
 Koch, M., 275  
 Kramer, K.-D., 437  
 Krenz, K., 11  
 Kußmann, P., 329, 333  
 Kubessa, M., 53  
 Kullmann, R., 115  
 Kumbier, E., 415  
  
 Lückmann, R., 221  
 Langner, H., 301  
 Laukner, M., 135  
 Lauterbach, G., 223  
 Leisering, L., 369  
 Lie, S. A., 267  
 Lohr, T., 299  
 Lubke, M., 383  
 Luttenberger, S., 85  
 Lux, H., 29  
  
 Müller, H., 353  
 Marquardt, F., 23  
 Mehr, W., 29, 321  
 Meißner, K., 59  
 Meiner, K., 179  
 Michalke, N., 305  
 Miersch, S., 305  
 Morgenstern, P., 441  
 Mugele, J., 171  
  
 Nobis, M., 197, 395  
 Nowik, D., 267  
  
 Oesing, U., 121  
 Oettler, M., 293  
 Oppelt, A., 437  
  
 Pätz, R., 165  
 Parchmann, O., 415  
 Patschger, A., 209  
 Pfeiffer, M., 23, 35  
 Polomski, B., 179  
 Priese, F., 449  
 Punk, O., 97, 103  
  
 Radehaus, P., 35  
 Rademacher, W., 141  
 Radtschenko, S., 445  
 Rahnefeld, M., 423  
  
 Rellin, S., 345  
 Reme, S. E., 267  
 Reuter, M., 337  
 Reutermann, P., 399  
 Richter, V., 345  
 Richter-Listewnik, J.-H., 165  
 Rietz, S., 353  
 Ritzmann, M., 403  
 Romberg, D., 147  
 Ruh, F., 407  
  
 Sabel, B. A., 261  
 Schöbel, M., 173  
 Scharsich, M., 423  
 Schellenberg, I., 369  
 Schenka, A., 41  
 Schicktanzen, C., 379  
 Schiepan, O., 179  
 Schirmer, S., 153  
 Schmidberger, F., 67  
 Schmidt, H., 215  
 Schmidt, M., 197, 395  
 Schmiedeberg, A., 419  
 Schnupp, T., 41, 79  
 Scholze, S., 365  
 Schrader, S., 29, 179, 321  
 Schultze, M., 281  
 Schulz, S., 159  
 Seeck, A., 141  
 Seifarth, O., 29, 321  
 Siegemund, S., 281  
 Slawinski, S., 91  
 Sommer, D., 73  
 Spessert, B., 5  
 Sprengholz, P., 121  
 Stücke, P., 197, 395  
 Stieler, T., 309  
 Stolze, T., 437  
 Stolzenburg, F., 67, 299  
 Strack, H., 329, 333  
 Struck, S., 399  
 Surek, D., 357  
  
 Tögel, C., 255  
 Teichmann, A.-C., 35  
 Thiericke, C., 357  
 Trumpf, I., 427  
  
 Urban, U., 47, 133  
 Uri, C., 287  
  
 Villringer, C., 29



Voigt, R., 353  
Voss, A., 141, 159  
  
Wüstenhagen, D., 299  
Wartmann, A., 249  
Wassermann, M., 431  
Weißmantel, S., 17, 23, 35  
Weinholz, S., 369, 431  
Wendel, C., 237, 419  
Werner, H., 329  
Wißuwa, E., 365  
Wild, K., 353  
Witt, A., 229  
Wittmann, M., 147  
Wolf, B., 341, 449  
Wolf, M., 127  
  
Zöllner, C., 73  
Zacharias, L., 91  
Zirkenbach, B., 415  
Zwanzig, J., 7