



**FACHHOCHSCHULE TRIER**

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung  
University of Applied Sciences

# FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG



# 2005

# einloggen

## Im WIP-Wissenschaftspark Trier

Der dynamische Büro- und Dienstleistungsstandort in der Region Trier-Luxemburg mit kreativem, menschlichem Umfeld.

[www.petrisberg.de](http://www.petrisberg.de)



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1	Dokumentenerfassung und Dokumentenmanagement	51
Grußwort	3	Intelligente elektronische Handelsbörsen für Gebrauchsgüter	53
Vorwort	5	Die MBA-Deponie – Änderung der Inventareigenschaften und Auswirkungen auf den Deponiebetrieb	55
<b>  Technik und Informatik</b>		Hochwasserrückhaltmaßnahmen in Waldgebieten	60
Untersuchung des Haftvermögens von Kunststoffbeschichtungen auf Kolben- stangen hydraulischer Komponenten – Entwicklung eines anwendungs- bezogenen Prüfverfahrens	6	<b>  Wirtschaft und Recht</b>	
Numerische Simulation von Leistungs- daten und Wirkungsgraden hydrostatischer Verdrängereinheiten	10	Stoffstrommanagement als Werkzeug für einen nachhaltige Entwicklung	63
Durchbruchverhalten magnetischer Filter für die Bioverfahrenstechnik	19	„Rheinland-Pfalz gewinnt an Boden“ – Bausteine einer Strategie zur Reduktion der Flächenneuanspruchnahme	72
Schadstoffreduzierung bei Dieselmotoren	22	Fiskalisches Controlling von Baulandneuausweisungen	74
Forschung zu Stirlingmotoren und Bionik im Fachbereich Maschinenbau der FH Trier	25	Konzeptionelle Grundlagen von Investitionskontrollen	76
Rapid Prototyping und 3-D-Bildverarbeitung	28	Qualifikation von Mitgliedern der Aufsichtsgremien öffentlicher Unternehmen	81
Robotersägen von Waschtisch- Armaturen mit Bildverarbeitung	32	Interdisziplinäre Patienten- versorgung im Team	83
Messmethoden für die zerstörungsfreie Qualitätssicherung	35	Schaffung eines Instrumentariums zur Messung von Leistungen im und durch das Militär	85
Strömungs- und wärmetechnische Optimierung eines EDV-Baugruppenträgers	37	<b>  Gestaltung und Medien</b>	
Forschungsprojekt „Optimierung von Niederspannungs-Transformatoren“	38	Zur Synthese von Didaktik und Design	87
Verfahren zur Auswertung von MR-Tomografiebildern für die Planungs- unterstützung bei der stereotaktischen tiefen Hirnstimulation (DBS)	40	E-Learning – Potentiale medienbasierter Lehre und Kommunikation für Hochschule und Weiterbildung	91
Automatisierte Auswertung hochauflösender Daten der Fernerkundung im Umweltmonitoring	46	Entwicklung einer E-Learning-Umgebung	95
Automatische Informationsextraktion aus Dokumenten	48	BODY-POLITICS	97
		Images – auf der Suche nach der Idee „schön“ – Oder wie „schönes“ Design funktioniert	100





**Heizung**



**Klima**



**Lüftung**



**Elektro**



**Sanitär**

# HELMUT SCHNEIDERS

DIPL.-ING. FH, BERATENDER INGENIEUR  
BERATUNG – PLANUNG – BAULEITUNG

HEIZUNG – KLIMA – LÜFTUNG – SANITÄR – ELEKTRO

Röntgenstr. 4 – 54292 Trier – Tel. 06 51/9 38 37-0 – Fax 9 38 37 20

Mitglied der Kammer der Beratenden Ingenieure des Landes Rheinland-Pfalz



Die Wirtschaftsförderung im Landkreis Trier-Saarburg GmbH bietet Unternehmen und Existenzgründern:

- Unterstützung bei der Suche nach geeigneten Standorten im Landkreis
- Übernahme von Koordinierungsaufgaben in Genehmigungsverfahren
- Informationen über öffentliche Fördermittel, Beratung bei Antragstellung
- Pflege und Vermittlung von Kontakten

*Wir helfen weiter!*



Landkreis Trier-Saarburg

Wirtschaftsförderung im Landkreis Trier-Saarburg GmbH  
Willy-Brandt-Platz 1 • 54290 Trier • Tel. 0651/715-437 • Fax 0651/715-200  
WFG@Trier-Saarburg.de • www.Trier-Saarburg.de



Eichenstr. 45  
54516 Wittlich  
Tel.: (0 65 71) 90 25 -0  
Fax: (0 65 71) 90 25 -29  
e-mail: info@reihnsner.de  
www.reihnsner.de

Wasserwirtschaft

Wasserbau

Abwassertechnik

Wasserversorgung

Leitungskataster

Ing.-Vermessung

Bauleitplanung

Straßenbau

Konstr. Ingenieurbau

Industriebau

SiGe-Koordination



Homologation - TÜV - ISO

Diese Begriffe stehen stellvertretend für die Bemühungen, die bei VOGEL-SITZE unternommen werden, sichere und hochwertige Sitze für Fahrgäste in Bussen und Bahnen zu entwickeln.

Dabei sind unsere Ingenieure immer einen Schritt voraus. In Zusammenarbeit mit der FH Trier werden Konstruktionen getestet und aktuelle Produkte weiter optimiert.

VOGELSITZE GmbH  
Kleinsteinbacher Str. 44  
76228 Karlsruhe

Tel: 0721 - 4702 - 0  
Fax: 0721 - 4702 - 170  
info@vogelsitze.de  
www.vogelsitze.de

## Grußwort

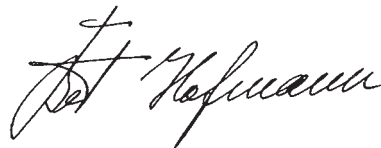
Die Forschung in den Hochschulen dient der Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie der wissenschaftlichen Grundlegung und Weiterentwicklung von Lehre und Studium. Forschungsvorhaben und Forschungsschwerpunkte liegen – der Aufgabenstellung der Fachhochschule Trier entsprechend – dann auch eher im Bereich der angewandten Wissenschaften, also konkret auf den Gebieten von Technik einschließlich Informatik, Wirtschaft und Gestaltung. Dem besonderen Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkt des Umwelt-Campus Birkenfeld entsprechend konzentrieren sich die dortigen Forschungsprojekte auch auf eher umweltrelevante Gebiete.

In den ganz überwiegenden Fällen bringen sich die forschenden Kolleginnen und Kollegen in Institute oder Kompetenzzentren ein, in denen das Forschungspotenzial mehrerer Forscherinnen und Forscher unterschiedlicher Schwerpunkte organisatorisch gebündelt wird. Besonders erfreulich ist die zunehmende Durchführung gemeinsamer For-

schungsvorhaben mit unseren benachbarten Universitäten.

So werden mit der Universität Trier zwei Forschungscluster, mit den Universitäten Koblenz-Landau und Trier ein Schwerpunktgebiet im Rahmen des Sonderprogramms „Wissen schafft Zukunft“ gefördert. Im gleichen Programm werden drei Promotionsvorhaben mit Absolventen unserer Hochschule gefördert, die an der TU Kaiserslautern bzw. an der Universität Trier durchgeführt werden. Diese zukunftsweisende Kooperation zeigt eindrucksvoll den Nutzen interdisziplinärer und hochschulübergreifender Forschungsprojekte; sie ist nach Kräften zu fördern und auszubauen.

Trier, im November 2005



Präsident Prof. Dr. Bert Hofmann

Große Erfahrung und das Know-how vieler Geschäftsjahre haben uns zu dem gemacht, was wir heute sind:

## Ihr kompetenter Service-Spezialist für Sauberkeit und Hygiene

Das Streben nach Perfektion treibt uns an, Geräte ständig zu verbessern und weiter zu entwickeln, beziehungsweise neue innovative und sinnvolle Produkte in unser umfangreiches Lieferprogramm aufzunehmen.

Eines wissen unsere Kunden nach all den Jahren erfolgreicher Zusammenarbeit mit unserem Unternehmen zu schätzen: die Qualität der Geräte und die Zuverlässigkeit im Service.

Nicht zuletzt deshalb steht der Name **ILLE** für Sauberkeit und Hygiene!

### ILLE Papier-Service GmbH

Industriestraße 28 · 63674 Altenstadt

www.ille.de · 06047 880-0



Die ILLE Papier-Service GmbH ist ein modernes, mittelständisches Dienstleistungsunternehmen, das über 20.000 Kunden Spendersystemen für Waschaumhygiene zur Verfügung stellt. Unser Vertriebsnetz erstreckt sich über das gesamte Bundesgebiet und das europäische Ausland.

## Solide Planung + Bauleitung in der technischen Gebäudeausrüstung

Das Ingenieurbüro Rittgen übernimmt die Planung und Bauleitung für Projekte jeder Art und Größe in den Bereichen technische Gebäudeausrüstung und Bauphysik unter besonderer Berücksichtigung umwelttechnischer Belange. (Gründung 1968)

In den Bereichen Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär, Elektro und Bauphysik werden optimale wirtschaftliche, energiesparende und nach ökologischen Gesichtspunkten orientierte Lösungen gesucht und gefunden.

Bei allen Planungen wird auf eine optimale Abstimmung von Bautechnik und gewählter Anlagentechnik besonderer Wert gelegt. Das kommt im Besonderen der Konzeption von modernster Technik für denkmalgeschützte Gebäude und der Sanierung von bestehenden Gebäuden zugute.

Seit 1997 wird die Planung unterstützt durch ein dynamisches Computersimulationsprogramm für:

1. Dynamische bauphysikalische Gebäudesimulation
2. Dynamische Anlagensimulation für Heizung, Lüftung, Klima, künstliche Beleuchtung, natürliche Beleuchtung
3. Behaglichkeitsanalysen einschließlich Strömungssimulation

Dabei werden zur Energiedeckung in erster Linie natürliche Bauteile wie Fassaden, Decken, Fußböden und funktionsbezogene

Energiequellen über die Simulationsberechnung herangezogen. Die mechanischen Anlagen werden auf ein Minimum reduziert und erst in zweiter Linie umweltverträgliche Technologien bekannter Art zur Abdeckung der Energiespitzen eingesetzt.

Die Sachbearbeiter verfügen über ein hochmodernes Mess- und Aufnahmesystem mit EDV-Auswertung für Kurz- und Langzeitmessungen bei Pilotprojekten, Abnahmen und Gutachten im Bereich der Techn. Gebäudeausrüstung, Bauphysik und Umwelttechnik.

22 Ingenieure, Techniker und techn. Zeichner stehen auch zur Lösung von nicht alltäglichen Ingenieuraufgaben zur Verfügung.

So wird mit unserer Mitwirkung und nach unserer Planung neben vielen Projekten mit neuen, innovativen Elementen in der Gebäude- und Anlagentechnik im Jahre 2005 die **erste MCFC-Brennstoffzelle** nach deutscher Entwicklung und ausschließlich mit deutschen Komponenten in Betrieb genommen mit den Zielwerten: Elektr. Netzleistung: 245 kW  
Therm. Leistung: 180 kW  
(MTU CFC Solutions GmbH) sowie einige **Großprojekte mit geothermischer Heizung und Kühlung.**

Zur optimalen Beurteilung von Energiedaten verfügt das Ing.-Büro über eine eigene meteorologische Messstation mit Anbindung an die EDV-Anlage für folgende Parameter:

- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Rel. Luftfeuchte
- Lufttemperatur
- Niederschlag
- Globalstrahlung
- Direktstrahlung
- Sonnenschein
- Diffusstrahlung

Am 23.02.1998 wurde das Ingenieurbüro unter der Zertifikatsnummer 2071 von der European Installation Bus Association, s. c., Brüssel, zum EIB-Partner ernannt.

Das Büro kann auf 36 Jahre intensive Erfahrung und ein umfangreiches Volumen erfolgreich abgewickelter Projekte zurückblicken. Im Interesse einer optimalen Projektabwicklung verfügt das Team über modernste EDV und 3D-CAD-CAE-Technik.

**RITTGEN**   
Dipl.-Ing. (FH)

**Beratende Ingenieure**

54296 Trier, Am Weidengraben 7  
Telefon: 06 51/2 70 89-0  
Telefax: 06 51/2 70 89-24  
e-mail: [info@rittgen-trier.de](mailto:info@rittgen-trier.de)  
homepage: <http://www.rittgen-trier.de>  
99425 Weimar  
Belvederer Allee 23

## Vorwort

Forschung und Entwicklung an der Fachhochschule Trier sind gekennzeichnet durch ein breites und vielfältiges Themenspektrum in den Gebieten Technik, Wirtschaft, Recht und Gestaltung. Inhaltlich zeigt sich dies an elf Kompetenzzentren oder Schwerpunktgebieten, die sich spezifischen Themenbereichen widmen. Strukturell wird das ergänzt durch zehn Institute, die Technologie- und Wissenstransfer in Form anwendungsbezogener Forschung und Entwicklung angebots- und nachfrageorientiert betreiben.

Die FH Trier zählt hier zu den aktivsten und erfolgreichsten Fachhochschulen des Landes. So lagen in 2004 die Drittmiteinnahmen der beiden Standorte Trier und Umwelt-Campus Birkenfeld bei zusammen ca. 2.300.000 Euro, was einer Steigerung um ca. 28 % gegenüber 2003 entspricht. Darüber hinaus betreibt die FH Trier Technologie-transfer zum Beispiel in Form von kooperativen Diplom- und Projektarbeiten.

Die FH Trier kann sich bereits als ein attraktiver und wertvoller Partner für Wirtschaft, Industrie und Behörden betrachten. Wir möchten den Technologie- und Wissenstransfer jedoch als Leistungs- und Innovationsbeitrag in und über die Region hinaus weiter ausbauen und nachhaltig verstärken. Hierzu sind Maßnahmen zur Förderung der angewandten Forschung und Entwicklung geplant, die sowohl die internen FuE-Tätigkeiten als insbesondere auch die Zusammenarbeit mit externen Partnern unterstützen und verstärken sollen.

Der vorliegende Bericht soll Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, Beispiele aktueller Forschungs- und Entwicklungstätigkeit an den Standorten der FH Trier geben. Er liefert ein eindrucksvolles Bild der thematischen Breite und fachlichen Qualität der durchgeführten Projekte.

Die Beiträge sind fachlich gegliedert in die drei Gebiete

- Technik und Informatik,
- Wirtschaft und Recht, sowie
- Gestaltung und Medien.

Die Beiträge kommen von allen drei Standorten der FH Trier, also aus Trier, vom Umwelt-Campus Birkenfeld und aus Idar Oberstein. Ebenso sind alle sieben Fachbereiche der Hochschule vertreten, was aus den Kontaktangaben zu entnehmen ist. Wir würden uns nun freuen, wenn die vorgestellten Beiträge Ihr Interesse wecken und wenn sich vielleicht der ein oder andere Kontakt bzw. Initiativen für Technologie und Wissenstransfer hierbei ergäben.

Trier, im November 2005



Vizepräsident Prof. Dr. Peter Gemmar





## Untersuchung des Haftvermögens von Kunststoffbeschichtungen auf Kolbenstangen hydraulischer Komponenten – Entwicklung eines anwendungsbezogenen Prüfverfahrens

Martin Hahnefeld, Stefan Trapp

### Einführung:

Die Verwendung von Wasser als Betriebsmedium in hydraulischen Anlagen verlangt besondere konstruktive Lösungen. So zwingen die physikalischen Eigenschaften dieses Mediums, wie die reduzierte Schmierfähigkeit oder die um den Faktor dreißig geringere Viskosität im Vergleich zum Öl zu leckagefreien Konstruktionen mit engen Toleranzfeldern und guten Gleiteigenschaften zwischen den Reibpartnern in Kolben-Zylinder-einheiten. Auch der passive Korrosionsschutz der Komponenten wasserhydraulischer Anlagen muss in besonderer Weise berücksichtigt werden und dies nicht nur in konstruktiver, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht: Während kleinere Ventile und Zylinder durch Zerspannung aus korrosionsbeständigen Werkstoffen gefertigt werden können, scheidet diese Möglichkeit bei großen Hochleistungskomponenten aus Kosten- und Verfügbarkeitsgründen aus; diese Komponenten werden überwiegend aus Baustählen gefertigt und anschließend beschichtet.

Gerade aber beim passiven Korrosions- und Verschleißschutz von Stempeln und Zylindern, die unter widrigen Umgebungsbedingungen arbeiten – im internationalen Bergbau, in der Schwerindustrie sowie an Einsatzorten in Meeresnähe – wurde bislang überwiegend auf Standardlösungen aus der Ölhydraulik zurückgegriffen. Die Funktionsflächen von Stempeln und Zylindern werden in der Regel galvanisch beschichtet, wobei Systeme wie Ni/Cr, Zn/Fe, Bronze u. ä. vorherrschend sind. Werden diese galvanisch beschichteten Funktionsflächen im rauen Alltagsbetrieb mechanisch beschädigt,

so bilden sich Mikrorisse, in die Wasser eindringt, welches als Elektrolyt wirkt. So entsteht ein Korrosionselement zwischen dem unedlen Untergrund und der in der Regel edleren Beschichtung, wobei Eisen in Lösung geht. – Es entsteht Lochfraß. Genau das gleiche Resultat erhält man durch die Langzeiteinwirkung von korrosionsbegünstigenden Atmosphären (untertägige Wässer, Salzwasser, schwefelhaltige Luft usw.). In diesem Fall dringt der Elektrolyt durch die Mikroporen der Beschichtung (Cr: bis zu 600 Poren pro cm) bis zum Untergrund vor. Durch Lochfraß oder durch partielles Abplatzen keramischer Schichten werden Dichtungen und Führungsbänder der Zylinder zerstört und das Bauteil fällt aus.

Seit 1996 werden von der Fa. Esser & Co. Saar GmbH in Zusammenarbeit mit S. Trapp Polymerbeschichtungssysteme für den Einsatz in der Schwerhydraulik entwickelt und untertägig eingesetzt. Im Gegensatz zu galvanischen Schichten können diese nicht als Korrosionspartner zum Grundmaterial fungieren. Dadurch wird im Falle einer Beschädigung Lochfraß vermieden. Eine chemische Reaktion des Grundmaterials mit der Umgebung kann weitgehend unterbunden werden. Die Elastizität polymerer Schichten ist sehr viel größer als die von spröden Cr, Ni oder keramischen Schichten. Risse in der Schicht durch Spannungen im belasteten Bauteil werden vermieden. Die Beschichtung erfolgt durch Erwärmen der Bauteile auf ca. 200 °C mit anschließendem Aufsprühen der Ausgangspulver, die thermisch dreidimensional vernetzen. Es werden keine entsorgungspflichtigen chemischen Substanzen eingesetzt. Der gesamte Beschichtungsprozess ist sehr umweltfreundlich.

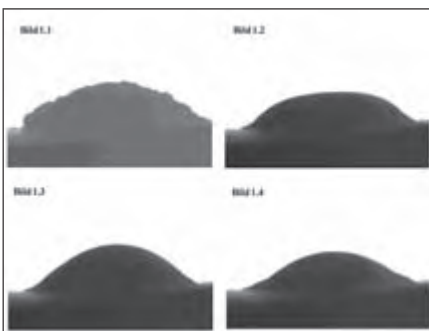


## Problemstellung:

Im rauen Alltagsbetrieb treten allerdings bei manchen Einsätzen großflächige Abplatzungen der Beschichtung nach einer gewissen Betriebsdauer auf. Ziel der Forschung des vergangenen Jahres war es daher im Rahmen einer Diplomarbeit die Beanspruchungsarten des Alltagsbetriebs im Labor zu simulieren und Ausfälle zu produzieren, um so ein praxisorientiertes Prüfverfahren zu entwickeln. Dadurch können Neuentwicklungen schon im Labor auf die Anwendbarkeit überprüft werden.

## Versuche:

Zunächst wurde untersucht, welchen Einfluss die mechanische Vorbehandlung sowie die Vorwärmtemperatur der Kolbenstange auf das Beschichtungsergebnis hat. Hierzu wurde mittels der Kontaktwinkelmessung das Vernetzungsverhalten und der Kontaktwinkel zur Substratoberfläche in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt.



*Bild 1: Vernetzen einer HYDCO-Pulverprobe. Das Pulver (Bild 1.1) schmilzt auf (Bilder 1.2, 1.3) und vernetzt zu einem fest haftenden Tropfen auf der Substratoberfläche (Bild 1.4)*

In Bild 1 ist die Abfolge einer Vernetzung des Pulvers über die Flüssigphase zum dreidimensional vernetzten Polymer zu sehen.

Bei den Untersuchungen der Tropfenentwicklung konnte eine Abhängigkeit der sich ausbildenden

Tropfenform von der Beschichtungstemperatur nachgewiesen werden. So stellt sich im Laufe der Tropfenbildung ein maximaler Kontaktwinkel ein, der mit steigender Substrattemperatur zunimmt. Der Einfluss unterschiedlich vorbehandelter Substratoberflächen durch Drehen bzw. Sandstrahlen ist vernachlässigbar gering.

In weiteren Versuchsreihen wurde eine Abhängigkeit der Vernetzungszeit von der Substrattemperatur ermittelt. Je höher die Temperatur für die Beschichtung gewählt wird, desto geringer fällt der Zeitraum für die Vernetzung des Beschichtungsmaterials aus. Temperaturen über 230 °C führen zwar zu einer schnellen Vernetzung des Pulvers, allerdings ist die Gelierzeit, in der das flüssige Material an die Substratoberfläche anbinden kann und in der Luftblasen aus der Flüssigphase austreten können, zu kurz. Durch die eingeschlossenen Luftblasen können perkolierende Poren in der Beschichtung zurückbleiben. Durch diese kann dann korrosives Medium an die Grenzfläche Substrat-Beschichtung gelangen und zu Ablösungen im Belastungsfall führen.

Für die weiteren Untersuchungen wurden HYDCO-beschichtete Kolbenstangen definierten Belastungen ausgesetzt. Die Kolbenstangen wurden bei unterschiedlichen Temperaturen (180–230 °C) beschichtet und dann radial geviertelt, um gleiche Ausgangsbedingungen für die folgenden vier Versuchsreihen zu schaffen:

### Versuchsreihe 1:

Die Proben blieben wie hergestellt. Auf die Beschichtung wurden Probekörper angeklebt und nach dem Aushärten mittels der Zugmaschine abgerissen. Die Abreißkraft und das Bruchbild waren die Kriterien für die Schichtqualität. (Bild 2, Bild 3)



*Bild 2: Zugmaschine. Von einer radial geviertelten Kolbenstange wird der aufgeklebte Prüfkörper abgerissen.*



*Bild 3: Beschichtungstemperatur 180 °C. Adhäsionsbruch Beschichtungs-Substrat. Die hellgrauen Stellen ist Metall der Kolbenstange.*

## Versuchsreihe 2:

Die Proben wurden mehreren Belastungszyklen aus Salzsprühnebeltest, Trocknungsphase und Kondenswasserprüfung (Bild 4) ausgesetzt, um dann wie in Reihe 1 die Abreißkraft zu ermitteln.



*Bild 4: Proben in der Kammer für Salzsprüh- und Kondenswassertest nach fünf Zyklen.*

## Versuchsreihe 3:

Die Proben wurden einem Walktest auf einer eigens konstruierten Versuchsvorrichtung (Bild 5) unterzogen, wobei die Parameter Anpressdruck und Belastungsdauer durch Berechnungen und Simulationen aus den praxisbezogenen Daten über die Kraftüberleitung durch Führungsbänder und Laufzeiten der Zylinder-Kolbeneinheiten ermittelt wurden. Nach dieser Belastung wurden die Proben dem Abreißtest unterzogen.



*Bild 5: Walkvorrichtung auf eine Drehmaschine montiert. Simulation der Kräfte von Führungsbändern und Dichtungen auf die Beschichtung.*

## Versuchsreihe 4:

Nach dem Walktest wie in Serie 3 werden die Proben dem kombinierten Klimawechseltest wie in Reihe 2 und dann dem Abreißtest unterzogen.

## Ergebnisse:

Aus den Versuchen zum Vernetzungsverhalten sowie den Abreißversuchen nach unterschiedlichen Belastungen konnten wichtige Ergebnisse für den Fertigungsprozess – die Pulverbeschichtung von Pleuellstangen für Schwerhydraulik – gewonnen werden. Die Beschichtungstemperaturen müssen, um eine optimale Haftung zu erzielen, zwischen 210 und 220 °C liegen. Die kombinierte Belastung aus Walken, Salzsprüh- und Kondenswassertest führt zu Adhäsionsbrüchen zwischen Beschichtung und Substrat (Bild 3). Jede Einzelbelastung für sich bedingt keine signifikante Erhöhung der Ausfälle. Damit steht jetzt auch ein praxisorientiertes Prüfverfahren (in Anlehnung an die Versuchsserie 4) für die Qualität der Beschichtungen zur Verfügung.

Zusammen mit dem Hersteller der Ausgangspulver, der Fa. Esser als Anwender, und dem Fachgebiet Oberflächentechnik des Umwelt-Campus werden speziell angepasste Beschichtungssysteme entwickelt, die den besonderen Anforderungen an Pleuellstangeneinheiten im untertägigen Einsatz sowie unter Seewasserbelastung gerecht werden. Die Prüfverfahren wie in Versuchsreihe 4 werden standardisiert und fertigungsgerecht weiterentwickelt. Ein weiteres Anwendungsgebiet für die Oberflächenbehandlung mittels der speziellen Polymerschichten sind Komponenten von Windkraftanlagen in Meeresnähe.

## Kontakt:

Prof. Dr. Stefan Trapp  
Institut für Mikroverfahrenstechnik und Partikeltechnologie (IMiP)  
s.trapp@umwelt-campus.de

# Technologie-Entwicklung und Produktions-Automatation



Konzeptionelle  
technische Planung  
Produkt- und  
Prozess-Entwicklung  
Mechanische Konstruktion  
Steuerungsplanung  
Softwareentwicklung  
Einzelteilherstellung  
Anlagenmontage  
Test und Optimierung  
Internationale  
Qualitätsstandards  
Weltweiter Kundendienst

Komplettlösungen für die  
Automobil-Industrie  
Telekommunikations  
Konsumer-Elektronik  
Biotechnologie  
Pharma-Industrie

Grohmann Engineering GmbH, 54595 Prüm / Deutschland

Mail: [Mailservice@Grohmann.com](mailto:Mailservice@Grohmann.com)  
Telefon: 06551-68-0, [www.grohmann.com](http://www.grohmann.com)

## Arbeitgeberzentrum Trier

Suchen Sie qualifizierte Mitarbeiter/  
-innen?

Dann teilen Sie bitte jede offene Stelle  
dem Arbeitgeberzentrum mit, auch  
wenn Sie daneben noch auf anderen  
Wegen versuchen, Mitarbeiter/-innen  
zu gewinnen.

Es lohnt sich, die Agentur für Arbeit zu fragen!

**Agentur für Arbeit Trier**

Dasbachstraße 9

54292 Trier

Tel. 06 51/2 05-55 55

Fax 06 51/2 05-55 56

E-Mail: [Trier.Stellen@arbeitsagentur.de](mailto:Trier.Stellen@arbeitsagentur.de)

[www.arbeitsagentur.de](http://www.arbeitsagentur.de)



**Bundesagentur für Arbeit**

Agentur für Arbeit Trier

## VOLVO-BAUMASCHINEN



Das breit gefächerte, bewährte Bau-  
maschinenprogramm von Volvo mit den  
vielseitig verwendbaren Geräten für jeden  
Einsatz: servicefreundlich, zuverlässig,  
unermüdlich, komfortabel, wirtschaftlich.

More care. Built in.

Volvo Construction Equipment Europe GmbH

Max-Planck-Straße 7  
54329 Konz

Tel.: 0 65 01 / 84 02  
Fax: 0 65 01 / 84 560

Testen Sie doch einmal „Ihren“ Volvo!  
Mehr Infos unter [www.volvoce.com](http://www.volvoce.com)

**VOLVO**





## Numerische Simulation von Leistungsdaten und Wirkungsgraden hydrostatischer Verdrängereinheiten

Harald Ortwig

Im Fachgebiet Fluidtechnik der FH Trier ist ein neues Berechnungsverfahren für Verluste und Wirkungsgrade von Hydraulikpumpen und -motoren in hydrostatischen Getrieben erarbeitet worden. Das Verfahren fußt im Gegensatz zu früheren nicht auf der physikalisch-technischen Analyse einer bestimmten Bauart. Stattdessen wird mit Hilfe rein mathematisch-numerischer Ansätze ein allgemeingültiges Rechenverfahren entwickelt, mit dem komplette mehrdimensionale Kennfelder beliebiger Bauarten hydrostatischer Maschinen auf der Basis einer möglichst geringen Anzahl von Messdaten berechnet werden können. Durch Vergleich gemessener und berechneter Leistungsdaten und Wirkungsgrade wird die Genauigkeit des Verfahrens nachgewiesen.

### 1. Bisherige Methoden zur Verlust- und Wirkungsgradbestimmung

Aufgrund der in hydrostatischen Getrieben auftretenden volumetrischen und hydraulisch-mechanischen Verluste ist es zur sicheren Auslegung erforderlich, das Wirkungsgradverhalten von Hydraulikpumpen und -motoren genau beschreiben zu können [1]. Da andererseits die Wirkungsgrade hydraulischer Komponenten, insbesondere verstellbarer Axialkolbeneinheiten, von zahlreichen Parametern abhängen, wie z. B. Drehzahl, Druck, Schwenkwinkel, Viskosität, um nur die wichtigsten zu nennen, ergeben sich für die einzelnen Komponenten mehrdimensionale Kennfelder, die analytisch nicht explizit beschreibbar sind und deren genaue Vermessung mit großem Aufwand verbunden ist. Zur Bestimmung der Verluste und daraus resultierend der Wirkungsgrade hydrostatischer Maschinen stehen bislang mehrere Verfahren zur Verfügung.

### 1.1 Experimentelle Verfahren

#### *Konventionelle Methode*

Messen der Leistungsgrößen Drehmoment  $M$  und Drehzahl  $n$  für die Eingangsleistung sowie Druckdifferenz  $\Delta p$  und Volumenstrom  $Q$  für die Ausgangsleistung auf einem Prüfstand in Abhängigkeit diverser Betriebsparameter zur Ermittlung der Verlust- und Wirkungsgradkennfelder.

#### *Thermodynamische Methode*

Ermittlung der Verlustleistung aus einer Wärme-Strombilanz durch Messen von Temperaturdifferenz und Massenstrom des Hydraulikmediums. Die Wärmekapazität der Druckflüssigkeit muss bekannt sein, um die einzelnen Wärmeströme berechnen zu können. Beide Methoden ermöglichen nur die punktuelle Bestimmung des Wirkungsgrades in singulären Betriebspunkten, führen also zu mehrdimensionalen Wertetabellen für die Verlust- und Wirkungsgradfunktionen.

### 1.2 Verlustmodelle

Um für beliebige Kombinationen von Betriebsparametern die zugehörigen Wirkungsgrade ermitteln zu können, ist es erforderlich, das Verlust- und Wirkungsgradverhalten von Hydraulikkomponenten in geschlossener Form darzustellen. Mit Hilfe der in einem entsprechenden Modell festgelegten Gesetzmäßigkeiten können dann Verluste und Wirkungsgrade für beliebige Parameterkombinationen interpoliert werden. Bei der Bildung von Verlustmodellen wird allgemein wie folgt vorgegangen:

- Analyse einer speziellen Maschine
- Mathematische Beschreibung der Verluste
- Formulierung eines Verlustmodells
- Berechnung der Verluste
- Ermittlung der Wirkungsgrade

Hierzu wurden Ansätze in verschiedenen Formen vorgestellt. Ein Vergleich diverser aktueller Ansätze wird in [2] vorgenommen. Ein gängiges Verfahren,



welches aufgrund seiner hohen Genauigkeit bisher zur Wirkungsgradberechnung hydrostatischer Getriebe [3] verwendet wurde, ist das Verfahren von BAVENDIEK [4]. Basis der Berechnungen ist die Untersuchung einer verstellbaren Schrägachsen-Axialkolbenmaschine. Die hydraulisch-mechanischen Verluste  $M_v$  analysiert er wie folgt:

- Strömungsverluste hydraulisch laminar und hydraulisch turbulent
- Impulsverluste
- Planschverluste
- Reibung Steuerspiegel; Kolben/Kolbenring; Wälzlager; Dichtungen
- Mischreibung hydrodynamische und hydrostatische Lager; Festkörperreibung

Aus diesen Verlustanteilen werden folgende Ansatzgleichungen für die hydraulisch/mechanischen Verluste formuliert:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= V_{\max} \cdot n \cdot \eta \\
 A_2 &= V_{\max} \cdot n \cdot \eta \cdot z \cdot \sin^3 \alpha \\
 A_3 &= V_{\max} \cdot n \cdot \eta \cdot z \cdot \sin^2 \alpha \\
 A_4 &= V_{\max}^{\frac{5}{3}} \cdot n^2 \cdot \rho \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \\
 A_5 &= V_{\max} \cdot n^3 \left( \frac{\eta}{\rho} \right)^{\frac{2}{3}} \\
 A_6 &= V_{\max} (\Delta p + 2p_{ND}) \cos \alpha \\
 A_7 &= V_{\max} (\Delta p + 2p_{ND}) \sin \alpha \\
 A_8 &= V_{\max} \cdot n \cdot \eta \left( \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \right)^2 \\
 A_9 &= V_{\max}^{\frac{5}{3}} \cdot n^2 \cdot \eta \left( \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \right)^3 \\
 A_{10} &= (p_{ND} + \Delta p) \left( \frac{1}{n} \right)^{\frac{3}{2}}
 \end{aligned} \tag{1-13}$$

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= V_{\max} \cdot p_{ND} \\
 A_{12} &= V_{\max} \cdot \Delta p \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \cdot e^{-C_{10} \frac{\eta \cdot n}{p_{ND}}} \\
 A_{13} &= V_{\max} \cdot \Delta p \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \cdot e^{-C_9 \frac{\eta \cdot n}{\Delta p}}
 \end{aligned}$$

Volumetrische Verluste  $Q_v$  resultieren nach dieser Analyse aus

- Leckagen an Kolben und Zylinderbuchse; Kolbenkugel und Triebflansch; Kolben und Kolbenstange; Steuerspiegel und Zylindertrommel; Kanälen zur Schmierung und hydrostatischen Druckentlastung
- Kompressionsverlusten.

Zur mathematischen Beschreibung der volumetrischen Verlustanteile werden folgende Ansatzgleichungen aufgestellt:

$$\begin{aligned}
 B_1 &= V_{\max} \cdot p_{ND} \cdot \frac{1}{\eta} & B_5 &= V_{\max} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} \cdot n \cdot \frac{\Delta p}{p_{ND}} \\
 B_2 &= V_{\max}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{p_{ND}}{\rho}} & B_6 &= n \cdot z \cdot \beta \cdot \Delta p \cdot V_z \\
 B_3 &= V_{\max} \cdot \Delta p \cdot \frac{1}{\eta} & B_7 &= V_{\max} \frac{\Delta p^2}{p_{ND}} \frac{1}{\eta} \\
 B_4 &= V_{\max}^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} & B_8 &= V_{\max} \frac{\Delta p^3}{p_{ND}^2} \frac{1}{\eta} \\
 & & B_9 &= V_{\max} \frac{\Delta p^4}{p_{ND}^3} \frac{1}{\eta}
 \end{aligned} \tag{14-22}$$

Alle geometrischen Größen werden dabei auf das Verdrängungsvolumen bezogen, um die Berechnungsmethode auf verschiedene Baugrößen übertragen zu können. Um das Ausmaß der Beeinflussung des Gesamtverlustes durch die einzelnen Verlustanteile individuell an eine bestimmte Hydroeinheit anpassen zu können, werden die einzelnen Verlustanteile mit Koeffizienten versehen. Dadurch



kann der Ansatz auch für andere Axialkolbenmaschinen verwendet werden, bei denen sich der Gesamtverlust aus unterschiedlichen Anteilen der einzelnen Verlustursachen zusammensetzt. Es ergeben sich also folgende Gleichungen zur Beschreibung des Verlustmomentes bzw. Leckvolumenstroms:

$$\sum M_V = \sum_{i=1}^{13} K_i \cdot A_i \quad (23)$$

$$\sum Q_L = \sum_{j=1}^9 K_j \cdot B_j \quad (24)$$

Es liegt auf der Hand, dass die Ermittlung der Verlustkoeffizienten für die Berechnung des Wirkungsgradverhaltens einer nach dieser Methode analysierten Hydraulikeinheit von zentraler Bedeutung ist. Die Ermittlung der Koeffizienten erfolgt mit Hilfe von Messwerten. Auf dem Prüfstand werden die Größen Drehmoment  $M$ , Drehzahl  $n$ , Druckdifferenz  $\Delta p$ , Hochdruckvolumenstrom  $Q_{HD}$ , Niederdruck  $p_{ND}$ , Niederdrucktemperatur  $\vartheta_{ND}$  und Schwenkwinkel  $\alpha$  aufgenommen. Die Auswahl der Messpunkte erfolgt nach festgelegten Kriterien, um ein umfassend repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Die Messwerte werden in die Ansatzgleichungen eingesetzt und daraus die Verlustanteile berechnet. Dieser Vorgang wird für jeden Messpunkt wiederholt. Zusätzlich können aus theoretischen und gemessenen Werten Verlustmoment und Leckvolumenstrom berechnet werden. Unter Berücksichtigung der Gleichungen aller Messpunkte ergeben sich zwei Gleichungssysteme in Matrixschreibweise:

$$\underline{M}_V = \underline{A} \cdot \underline{K}_M \quad (25, 26)$$

$$\underline{Q}_V = \underline{B} \cdot \underline{K}_Q$$

$\underline{K}_M$ : Lösungsvektor der Konstanten für die hydraulisch-mechanischen Verluste.

$\underline{K}_Q$ : Lösungsvektor der Konstanten für die volumetrischen Verluste.

$\underline{A}, \underline{B}$ :  $(N \times m)$  Matrizen mit  $N$  Messwerten und  $m$  Ansatzgleichungen.

Bei der hier vorgeschlagenen Methode zur Bestimmung des Wirkungsgrades wird also in der Weise vorgegangen, dass aus den technisch-physikalischen Zusammenhängen Ansatzgleichungen gebildet werden. Diese Ansatzgleichungen repräsentieren den Verlust, verursacht von bestimmten Effekten. Zur Bestimmung des Gesamtverlustes werden die einzelnen Verlustarten mit Gewichtungsfaktoren versehen, die die Größe des Einflusses auf den Gesamtverlust berücksichtigen. Die Zuordnung der Einzelverlustwerte zu ihrer physikalischen Ursache ist nach Bestimmung der Koeffizienten jedoch nicht mehr möglich, da weder die Koeffizientenberechnung dies berücksichtigt noch eine Kontrolle der Ergebnisse zu diesem Schluss führt. Im Gegenteil zeigt sich bei genauerer Betrachtung, dass die Werte der Einzelverluste mit sehr großen Fehlern behaftet sind und nur der Gesamtverlust einen brauchbaren Wert darstellt. Löst man sich nun von der physikalisch-technischen Vorgehensweise, so kann die geschilderte Methode zur Wirkungsgradberechnung aus mathematischer Sicht als Approximation der durch diskrete Werte gegebenen mehrdimensionalen Wirkungsgradfunktionen betrachtet werden, die natürlich auch nicht mehr nur für eine Bauart Gültigkeit hat:

1. Reduzierung des Argumentebereiches, da mehr Messwerte als gesuchte Koeffizienten vorhanden sind (Ausgleichung)
2. Vorgabe der anzunähernden Funktion in Form von parametrisierten Verlustansätzen (Polynom bestehend aus rationalen Funktionen)
3. Bestimmen der Koeffizienten mittels Messdaten (Experimentell gestützte Parametrierung)
4. Möglichkeit zur geschlossenen Berechnung von Wirkungsgraden im gesamten Kennfeld (Interpolation)

## 2. Neues Mathematisches Modell des Wirkungsgradverhaltens beliebiger hydraulischer Energiewandler

Im Folgenden soll nun untersucht werden, inwiefern sich das Problem der Wirkungsgradermittlung beliebiger hydrostatischer Energiewandler im Allgemeinen mit einem rein mathematisch-numerischen Approximationsansatz lösen lässt, ohne dass erst aufwändig die Verlustanteile für eine bestimmte Bauart von Hydraulikpumpe oder -motor analysiert werden müssen.

Der aufzufindende Berechnungsansatz soll zum einen möglichst einfach sein, d. h. mit einer möglichst geringen Anzahl an zu ermittelnden Verlustparametern und einer möglichst geringen Anzahl an erforderlichen Messwerten auskommen, und zum anderen eine möglichst große Genauigkeit aufweisen, so dass sein Einsatz zur umfassenden Berechnung der Wirkungsgradkennfelder diverser hydrostatischer Energiewandler ohne Einschränkungen möglich ist. Die Erarbeitung und Verifizierung des Berechnungsverfahrens erfolgte unter Zuhilfenahme umfangreicher Messdatenreihen. Werden aus vorhandenen Messwerten mit Hilfe von Ansatzgleichungen der mehrdimensionalen Interpolation nach HAYES [5] für jeden Messpunkt Werte ermittelt, so ergibt sich für jeden Messpunkt je eine Gleichung für Volumenstrom und Moment:

$$\begin{aligned} Q_n &= q_1 \cdot Q_{n,1} + q_2 \cdot Q_{n,2} + q_3 \cdot Q_{n,3} + \dots + q_m \cdot Q_{n,m} \\ M_n &= d_1 \cdot M_{n,1} + d_2 \cdot M_{n,2} + d_3 \cdot M_{n,3} + \dots + d_m \cdot M_{n,m} \end{aligned}$$

$n = \mathbb{K} \quad N \quad N = \text{Anzahl Meßwerte}$

(27, 28)

In diesen Gleichungen werden alle  $m$  Ansatzterme mit Koeffizienten versehen und in einer Matrix zusammengefasst. Die Bestimmung der Koeffizienten ist Kernaufgabe des Berechnungsverfahrens:

$$\begin{aligned} \underline{Q}_{eff} &= \underline{Q} \cdot \underline{q} \\ \underline{M}_{eff} &= \underline{M} \cdot \underline{d} \end{aligned} \quad (29, 30)$$

Das Gleichungssystem wird nach der Methode der kleinsten Quadrate normiert und mit dem Gaußalgorithmus gelöst. Ergebnis der Rechnung sind die Koeffizienten zu jedem Ansatzterm, mit denen sich dann die Gleichungen für den effektiven Volumenstrom bzw. das effektive Moment als Funktion von Schwenkwinkel  $\alpha$ , Drehzahl  $n$  und Druckdifferenz  $\Delta p$  aufstellen lassen. Um die Aufgabe zu lösen, sollen die drei folgenden Bedingungen berücksichtigt werden:

1. *Der effektive Volumenstrom bzw. das effektive Moment und nicht die Verluste sollen als Grundlage der Approximation dienen*

Bei der Rechnung nach BAVENDIEK kommt zur Bestimmung des gemessenen Verlustes die Differenzenbildung zur Anwendung.

<u>Pumpe:</u>		<u>Motor:</u>
$Q_V = Q_{th} - Q$	(31, 32)	$Q_V = Q - Q_{th}$
$M_V = M - M_{th}$		$M_V = M_{th} - M$

(33, 34)

Bei der Differenzenbildung von fehlerbehafteten Größen kann jedoch bekanntlich ein sehr großer relativer Fehler entstehen [6]. Dieser relative Fehler ist um so größer, je näher die Werte der beiden Größen beieinander liegen. Dies ist bei der Bestimmung der Verluste immer dann gegeben, wenn der Wirkungsgrad in der Nähe von 1 liegt. Hier kann sich der Fehler bei schlechten Messungen so stark auswirken, dass es sogar zu Vorzeichenfehlern kommt. Um diese Problematik zu umgehen, soll die Approximation den effektiven Volumenstrom bzw. das effektive Moment betreffen. Auf diese Weise lässt sich auch der absolute Fehler des Wirkungsgrades im Vergleich zur Approximation des Verlustes verringern, weil der Fehler der theoretischen Größe nur einmal eingeht. Wie eine



Fehlerbetrachtung zeigt, verringern sich durch die Approximation des effektiven Volumenstromes (effektiven Momentes) bei gleicher statistischer Genauigkeit wie bei der Approximation der Verluste die Fehlergrenzen des Wirkungsgrades deutlich. Dieser Spielraum kann zur Erarbeitung einfacher Interpolationsansätze bzw. zur Reduzierung der Anzahl erforderlicher Messwerte genutzt werden.

## 2. Ausgleichung (Normierung) zur Verringerung des Einflusses von Messfehlern

Die Ausgleichung ist notwendig, da das Gleichungssystem überbestimmt ist. Es sind mehr Gleichungen (Anzahl Messpunkte) als Unbekannte (Anzahl Ansatzgleichungen) vorhanden. Aufgabe der Ausgleichung oder Normierung ist es, aus der Vielzahl von Messwerten eine definierte Anzahl von Wertepaaren zu bilden, die später als Stützstellen für den Polynomansatz dienen. Für die Ausgleichung von Messfehlern eignet sich besonders gut die Methode der kleinsten Fehlerquadrate nach GAUSS, die auch in dem hier beschriebenen Rechenverfahren verwendet wird.

## 3. Finden von Ansätzen auf Basis der mehrdimensionalen Interpolation

### 2.1 Berechnung von Volumenstrom und volumetrischem Wirkungsgrad

Von zentraler Bedeutung für die Qualität des mehrdimensionalen Interpolationspolynomes, welches durch die Approximation entstehen soll, ist die Vorgabe von Kurvenverläufen in Form von Ansatzgleichungen. Um mit einer möglichst geringen Zahl von Messwerten ein möglichst genaues Ergebnis zu erhalten, ist es erforderlich, das Rechenverfahren mit hinreichenden Informationen zu versorgen. Dies kann entweder in Form von Messpunkten oder durch die Vorgabe möglicher Kurvenverläufe in das System gegeben werden. Da die bisherigen Ansätze, die sich auf physikalisch-technische Zusammenhänge stützen, sehr komplex sind, sol-

len die neuen Ansätze eine möglichst einfache Form haben. Um diese Ansätze zu finden, werden Messreihen ausgewertet und jeweils der Volumenstrom als Funktion einer Einflussgröße dargestellt. Die beiden anderen Einflussgrößen bleiben konstant. Aus den Messdaten kann auf den Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom  $Q$  und der jeweiligen Einflussgröße  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\Delta p$  geschlossen werden. Folgende Ansätze werden aufgestellt:

$\alpha$ : linearer Zusammenhang

$$P_1(\alpha) = a_0 + a_1\alpha \quad (35)$$

$n$ : linearer Zusammenhang

$$P_1(n) = b_0 + b_1n \quad (36)$$

$\Delta p$ : Polynom dritten Grades

$$P_3(\Delta p) = c_0 + c_1\Delta p + c_2\Delta p^2 + c_3\Delta p^3 \quad (37)$$

Hier kann eine Parallele zu den Ansätzen von BAVENDIEK gesehen werden, bei denen die Druckdifferenz  $\Delta p$  unter anderem auch in den Potenzen 1 bis 3 eingeht und die Größen  $\alpha$  und  $n$  untergeordnete Rollen spielen. Um nun ein Polynom zu erhalten, welches alle Einflussfaktoren beinhaltet und in ausreichendem Maße vertritt, werden die einzelnen Ansatzpolynome nach den Methoden der mehrdimensionalen Interpolation zusammengefasst [5][7]:

$$Q(\alpha, n, \Delta p) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \sum_{k=0}^3 q_{ijk} \cdot \alpha^i n^j \Delta p^k \quad (38)$$

Aus Gleichung 38 ergeben sich 16 Ansatzterme. Zur Reduzierung der Zahl von Ansatztermen kann das Polynom nach HAYES auch in einer zweiten Form geschrieben werden:

$$Q(\alpha, n, \Delta p) = \sum_{i=0}^{i+j+k \leq 3} \sum_{j=0} \sum_{k=0} q_{ijk} \cdot \alpha^i n^j \Delta p^k \quad (39)$$

Aus dieser Ansatzgleichung ergeben sich 12 Ansatzterme. Die Qualität der Ansätze nach Glg. 38 und 39 wurde anhand zahlreicher Messpunkte überprüft. Dazu wurden aus sehr umfangreichen,



experimentell ermittelten Messreihen für verschiedene hydraulische Pumpen und Motoren mehrere Listen mit einer jeweils repräsentativen Auswahl von Messwerten gebildet. Die Auswahl erfolgte willkürlich über den gesamten Messbereich. Nach dem oben beschriebenen Rechenschema wurden die Polynome aus verschiedenen vielen Messpunkten gebildet und gemessene und berechnete Volumenströme verglichen. Es zeigte sich, dass es nicht sinnvoll ist, bei einer Auswahl von wesentlich weniger als 100 Messpunkten einen Polynomansatz zu wählen, bei dem die Standardabweichung der Fehler zwischen Messung und Rechnung möglichst klein ist. Vielmehr muss ein Polynom gefunden werden, welches eine möglichst kleine Standardabweichung der Grundgesamtheit  $\sigma$  hat. Das Problem liegt nun darin, dass die Koeffizientenbestimmung mit möglichst wenigen Messwerten auskommen soll, also keine Grundgesamtheit im eigentlichen Sinne zur Verfügung steht. Es muss daher ein Kompromiss gefunden werden zwischen einer möglichst kleinen Standardabweichung und einer möglichst geringen Zahl von Termen. Aufgrund der durchgeführten Variationsrechnungen erwiesen sich in den meisten Fällen ähnliche Ansatzkonstellationen als besonders sinnvoll. So taucht zum Beispiel der Ansatzterm

$$q_{110} \cdot \alpha \cdot n \quad (40)$$

in jeder der gefundenen Ansatzvariationen sowohl bei verschiedenen Messpunktzusammenstellungen als auch bei verschiedenen Hydroeinheiten auf. Der Term

$$q_{011} \cdot n \cdot \Delta p \quad (41)$$

ist fast ebenso häufig zu finden. Außerdem fällt auf, dass in den meisten Fällen drei Ansatzterme ermittelt werden. Hier kann leider kein besonders häufig auftretender Term ausgemacht werden. Allen Termen, die außer den oben genannten in Fra-

ge kommen, ist jedoch gemein, dass in ihnen die Druckdifferenz  $\Delta p$  vorkommt. Um eine einheitliche Aussage zu treffen, wird zur Bildung des neuen Ansatzes der Term

$$q_{001} \cdot \Delta p \quad (42)$$

hinzugezogen. Hieraus ergibt sich nun ein erster möglicher Ansatz zur Volumenstromberechnung

$$Q(\alpha, n, \Delta p) = q_1 \alpha n + q_2 n \Delta p + q_3 \Delta p \quad (43)$$

Mittels dieses sehr einfachen Ansatzes können nun die Interpolationspolynome zur Berechnung des Volumenstromkennfeldes aus Messdaten gebildet werden. Nun muss untersucht werden, wie groß die Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten volumetrischen Wirkungsgraden ist. Eine Fehlerberechnung anhand von Glg. 43 zeigte starke Abweichungen besonders in den Bereichen von kleinen Schwenkwinkeln und kleinen Drehzahlen. Auffällig war jedoch, dass die größten Abweichungen im positiven Bereich liegen, also der berechnete Wirkungsgradwert größer ist als der gemessene. Diese Regelmäßigkeit lässt die Überlegung zu, dass die Abweichung mit einem weiteren Term in diesen Bereichen verringert werden kann. Der zusätzliche Term für die Ansatzgleichung muss für kleine Schwenkwinkel und kleine Drehzahlen einen bestimmten Betrag aufweisen, der dann mit Hilfe des Koeffizienten an die jeweilige Hydroeinheit angepasst werden kann. Bei großen Schwenkwinkeln und Drehzahlen darf der Term dagegen nur wenig Einfluss nehmen, da hier die Fehlerwerte schon klein genug bzw. im negativen Bereich liegen und durch einen zusätzlichen Term nur nachteilig beeinflusst würden. Also liegt es nahe, den Term zur Fehlerkorrektur degressiv in Form einer e-Funktion anzusetzen:

$$q \cdot e^{-\frac{\alpha}{K\alpha}} \cdot e^{-\frac{n}{Kn}} \quad (44)$$



Die Krümmung der e-Funktion ist natürlich von entscheidender Bedeutung. Sie kann durch Verändern der Konstanten angepasst werden. Mit dem ermittelten Korrekturterm kann nun der zuvor gefundene Ansatz nach Glg. 43 erweitert werden zur endgültigen **Gleichung zur Volumenstrominterpolation:**

$$Q(\alpha, n, \Delta p) = q_1 \alpha n + q_2 n \Delta p + q_3 \Delta p + q_4 \cdot e^{-\frac{\alpha}{K\alpha}} e^{-\frac{n}{Kn}} \quad (45)$$

Berechnet man nun auf oben beschriebene Weise die Koeffizienten für diesen Ansatz, so wird der Wirkungsgradfehler von zuvor bis zu 35 % auf unter 5 % verringert.

## 2.2 Berechnung von Drehmoment und hydraulisch-mechanischem Wirkungsgrad

Allgemein gelten hier die gleichen Bedingungen wie für die Ermittlung des Volumenstromansatzes. Um Ansatzgleichungen zu finden, werden wieder Messreihen ausgewertet. Das Drehmoment wird in Abhängigkeit einer Einflussgröße dargestellt. Die beiden anderen Einflussgrößen werden konstant gehalten. Anhand von Messreihen kann wiederum auf den Zusammenhang zwischen dem Drehmoment  $M$  und der jeweiligen Einflussgröße  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\Delta p$  geschlossen werden. Es werden zwei Polynome erster Ordnung sowie ein Polynom zweiter Ordnung angesetzt:

$\alpha$ : linearer Zusammenhang

$$P_1(\alpha) = a_0 + a_1 \alpha \quad (46)$$

$n$ : Polynom zweiten Grades

$$P_2(n) = b_0 + b_1 n + b_2 n^2 \quad (47)$$

$\Delta p$ : linearer Zusammenhang

$$P_1(\Delta p) = c_0 + c_1 \Delta p \quad (48)$$

Die einzelnen Ansatzpolynome werden auch hier mit den schon genannten Methoden aus der mehrdimensionalen Interpolation zu einem einzigen Polynom zusammengefasst, welches alle Einflussgrößen berücksichtigt [5][7]. Bei der Berechnung mit den Drehmomentansätzen zeigte sich der

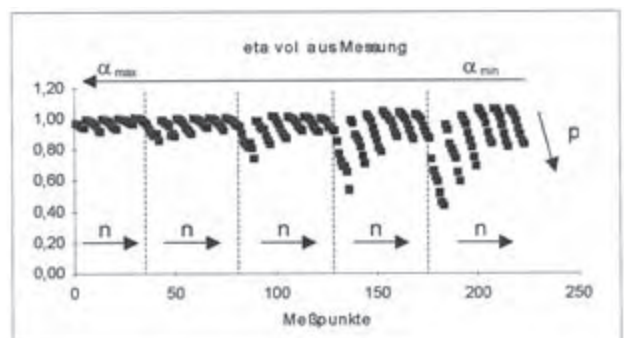
gleiche Effekt wie schon bei der Volumenstromberechnung. Wenn das Interpolationspolynom mit einer Auswahl von möglichst wenigen Messpunkten berechnet wird, ist die statistische Genauigkeit um so besser, je weniger Terme der Ansatz hat. Die eingehende Untersuchung der statistischen Genauigkeit verschiedener Ansatzvarianten führt zur endgültigen **Gleichung zur Drehmomentinterpolation:**

$$M(\alpha, n, \Delta p) = d_1 + d_2 \Delta p + d_3 n + d_4 n \Delta p + d_5 n^2 + d_6 \alpha + d_7 \alpha \Delta p + d_8 \alpha n \quad (49)$$

Der Vergleich gemessener und berechneter Drehmomente zeigte, dass Glg. 49 im Grenzbereich nicht ganz so effektiv ist wie Glg. 45, jedoch liegt der Fehler auch hier weitestgehend unter 5 %.

## 3. Vergleich von Rechnung und Messung

Um die Genauigkeit der neu entwickelten Volumenstromberechnung beurteilen zu können, werden nun in Bild 1 gemessene und berechnete volumetrische Wirkungsgrade einer Axialkolbenmaschine sowie der Fehler zwischen beiden als Funktion der Betriebsparameter Schwenkwinkel, Drehzahl und Drucks dargestellt. Wie man leicht erkennt, wird durch den entwickelten Berechnungsansatz das Wirkungsgradverhalten über den gesamten Parameterbereich hervorragend abgebildet.



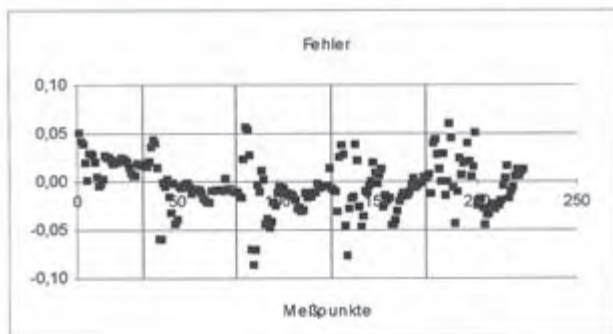
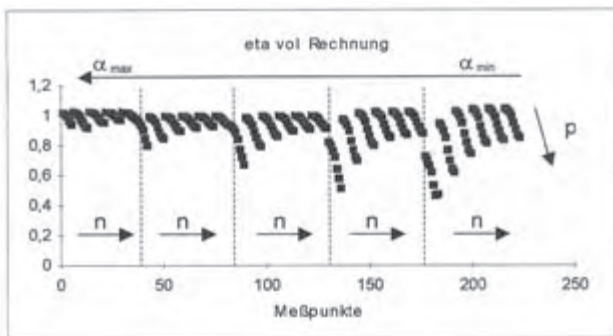


Bild 1: Vergleich gemessener und berechneter volumetrischer Wirkungsgrade

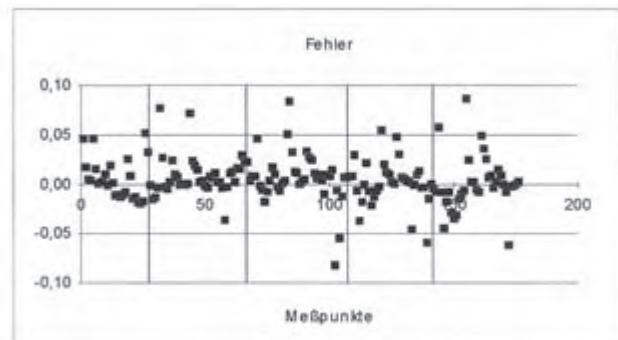
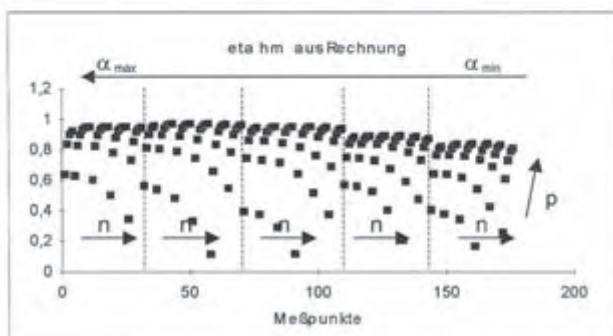
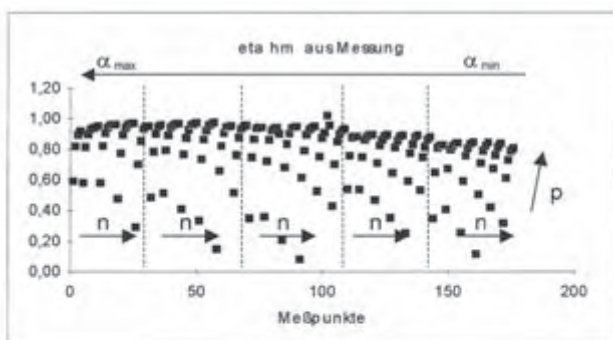


Bild 2: Vergleich gemessener und berechneter hydr.-mech. Wirkungsgrade

Zur Bewertung des Berechnungsverfahrens für das Drehmoment sind in Bild 2 daraus abgeleitete hydraulisch-mechanische Wirkungsgrade einer Axialkolbenmaschine als Funktion von Schwenkwinkel, Drehzahl und Druck aufgetragen. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung, insbesondere in den für die Berechnungen ungünstigen Bereichen mit steilen Gradienten der Betriebsparameter. Man sieht des Weiteren bei genauer Betrachtung der Messergebnisse leicht ein, dass die Grenzen des Verfahrens offensichtlich eher von der Messunsicherheit limitiert werden als von der Genauigkeit der Berechnungen.

#### 4. Zusammenfassung

Im Fachgebiet Fluidtechnik der FH Trier wurde ein neues Rechenverfahren entwickelt, mit dem Volumenstrom und Drehmoment sowie die Wirkungsgrade hydrostatischer Verdrängereinheiten in Abhängigkeit gemessener Leistungsdaten ermittelt werden können.

Im Gegensatz zu den bisher bekannten Verfahren fußen die neu entwickelten Berechnungsansätze nicht auf der physikalisch-technischen Analyse einer singulären Bauart von Hydraulikpumpe oder -motor, sondern auf rein mathematisch-numerischen



Grundlagen. Basis des Verfahrens ist die Approximation und Regression einer möglichst geringen Anzahl von Messdaten und darauf aufbauend die vollständige Interpolation kompletter mehrdimensionaler Wirkungsgradkennfelder.

Nach Festlegung der grundsätzlichen Vorgehensweise wurde zunächst untersucht, inwieweit die Approximation durch geschickte Wahl der zu berechnenden Größen in ihrer Genauigkeit gesteigert werden kann bzw. die Ansatzgleichungen bei gleich bleibender Präzision vereinfacht werden können. Mit Hilfe allgemeiner Regressions- und Interpolationsansätze, die durch geeignete Korrekturterme erweitert wurden, konnten Gleichungen gefunden werden, mit denen Volumenstrom und Drehmoment sowie daraus abgeleitet volumetrische und hydraulisch-mechanische Wirkungsgrade hydrostatischer Maschinen mit großer Genauigkeit berechnet werden können.

Das Rechenverfahren soll dazu dienen, im Rahmen von Antriebssimulationsprogrammen das Wirkungsgradverhalten rotatorischer Energiewandler beliebiger Bauart in hydrostatischen Getrieben z. B. für selbstfahrende Bau- und Arbeitsmaschinen mit der erforderlichen Präzision zu bestimmen. Hierzu liegen alle Komponenten des Berechnungsverfahrens als fertig programmierte Berechnungsmodule für übergeordnete Simulationssysteme vor.

## 5. Literatur

- [1] Backé, W., Murrenhoff, H., Grundlagen der Ölhdraulik, RWTH Aachen
- [2] Ortwig, H., Auslegung und Dimensionierung mobilhydraulischer Antriebe; Konstruktion 46 (1994) Nr. 2
- [3] Huhtala, Vilenius, Comparison of Steady-State Models of Hydraulic Pumps; 5th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Linköping (SWE) 1997
- [4] Bavendiek, R., Verlustkennwertbestimmung am Beispiel von hydrostatischen Maschinen in Schrägachsenbauweise; VDI Fortschrittsberichte Reihe 7 Nr. 122, VDI Verlag, Düsseldorf 1987
- [5] Hayes, J. G., Numerical Approximation to Functions and Data; University of London, The Athlon Press, 1970
- [6] Brauch, Dreyer, Haacke, Mathematik für Ingenieure; Teubner Verlag, Stuttgart 1990
- [7] Hämmerlin, Hoffmann, Numerische Mathematik; Springer Verlag, Berlin 1994

## Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Harald Ortwig  
Fachbereich Technik  
ortwig@fh-trier.de



## Durchbruchsverhalten magnetischer Filter für die Bioverfahrenstechnik

Percy Kampeis

In vielen Bereichen der Produktion und Behandlung von Stoffen gewinnen biotechnische Verfahren zunehmend an Bedeutung. Die Entwicklung der Gentechnik hat in den letzten Jahren zu tiefgreifenden Änderungen in der Stoffproduktion geführt. Heute werden in biotechnologischen Prozessen eine Vielzahl von Produkten – von einfachen Grundchemikalien über technische Enzyme bis zu Pharmawirkstoffen – produziert. Mit biotechnologischen Herstellungsverfahren, i. d. R. Fermentationen, gewonnene Produktströme enthalten neben dem gewünschten Produkt einen hohen Anteil fester Bestandteile (Zellfragmente), Nährsalze, Puffersubstanzen sowie eine Vielzahl von Nebenprodukten. Eine der komplexesten und wichtigsten Fragestellungen in der Bioverfahrenstechnik ist demnach die nach geeigneten Aufbereitungstechniken („Downstream Processing“).

Zur Aufarbeitung des Produktes sind i. d. R. mehrere Schritte notwendig, die Fest-Flüssig-Trennungen beinhalten. Wirtschaftliche Aspekte verbieten bei der Feststoffabtrennung einen hohen Produktverlust. Dies verursacht einen beträchtlichen Kostenanteil am Gesamtprozess. Diese Kosten können durch neuartige Verfahrensweisen verringert werden, die das gewünschte Produkt (Zielmolekül) durch so genannte Affinitätsorption direkt aus der Fermentationsbrühe („Whole Broth Processing“) oder aus dem Zellhomogenisat abtrennen.

Die Verwendung von magnetischen Affinitätsorbentien erlaubt eine selektive Abtrennung von weiteren, nicht magnetisierbaren Feststoffen, wie z. B. den Zellen oder den Zelltrümmern, da die beim Einsatz der Magnetseparation eingesetzten Kräfte eines Magnetfelds nur auf magnetisierbare Partikel wirken und daher hoch spezifisch sind. Somit sind hohe Trennschärfen erreichbar. Einer

der außergewöhnlichen Vorteile der Magnetseparation liegt zudem in den hohen erzielbaren Kräften in einem Magnetfeld, die auch auf kleinste magnetisierbare Substanzen wirken. Aufgrund dessen können magnetische Sorbentien im Vergleich zu herkömmlichen Sorbentien wesentlich kleiner sein (ca. 1  $\mu\text{m}$ ) und damit eine sehr viel größere äußere Oberfläche anbieten. Die Magnetseparation, bei der durch Wahl geeigneter magnetischer Sorbentien ein weites Anwendungsfeld möglich erscheint, könnte demnach einen Beitrag zur Kostenoptimierung im „Downstream Processing“ leisten.

Am Umwelt-Campus Birkenfeld ist im Labor „Bioaufbereitung“ ein Hochgradienten-Magnetseparator HGF 10 der Firma Steinert Elektromagnetebau GmbH in Betrieb. Es handelt sich hierbei um einen „schaltbaren“ Permanentmagneten, bei dem der Ein- und Ausschaltvorgang durch Drehung der Permanentmagnete in einem Eisenjoch erfolgt. Die Abtrennung eines Wertstoffes mittels magnetischer Affinitätsorbentien, den so genannten Magnetobeads, verläuft wie folgt: Die Magnetobeads werden zu der Fermentationsbrühe oder dem Zellhomogenisat gegeben. Der geeignet gewählte Affinitätsligand auf deren Oberfläche zeigt über das Schlüssel-Schloss-Prinzip vorwiegend nur Wechselwirkung mit dem gewünschten Zielmolekül. Die Suspension wird dann durch den Hochgradienten-Magnetseparator geleitet. Durch die magnetischen Kräfte werden nur die Magnetobeads mit dem sorbierten Produkt im Filter zurückgehalten. Alle anderen Suspensionsbestandteile (auch die festen Bestandteile) fließen mit dem Lösungsmittel ungehindert ab. In einem zweiten Schritt folgt bei ausgeschaltetem Magnetfeld die Elution aus dem Magnetfilter und die Desorption des Zielmoleküls durch entsprechend gewählte Lösungsmiteleeigenschaften (z. B. pH-Wert). Diese Elution kann



so ausgeführt werden, dass eine Anreicherung des Produktes im Vergleich zur ursprünglichen Suspensionskonzentration erreicht wird. Die Magnetobeads werden dann von neuem in einer Sorption verwendet.

Eine technisch wichtige Frage ist die, inwieweit sich die Filter mit den Magnetobeads beladen lassen. Nach erfolgter Maximalbeladung kommt es zu einem Filterdurchbruch, d. h. weiterhin zufließende Magnetobeads werden nicht mehr im Filter zurückgehalten und gehen damit verloren. Ziel der am Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführten Untersuchungen ist, das Durchbruchverhalten des Magnetfilters zu bestimmen und mit theoretischen Modellen zu vergleichen. Ebenso soll das Rückspülverhalten der Filtermatrix nach dem Beladungsvorgang untersucht werden.

Zur Durchführung der Untersuchungen kam neben dem Hochgradienten-Magnetseparator ein Trübungsmessgerät (AN 2100, Firma Hach-Lange) zur Erfassung der Partikelkonzentrationen nach dem Filterdurchgang zum Einsatz. Als Abscheidematrix im Magnetfilter wurde ein Drahtgewebe aus ferritischem, nichtrostendem Stahl (1.4016) mit einem Drahtdurchmesser von 0,125 mm und einer Maschenweite von 0,5 mm verwendet. Als Magnetobeads wurden Magnetitpartikel eingesetzt, die im Labor aus Fe(II)-Hydroxid synthetisiert wurden. Als Mikroorganismus wurde handelsübliche Trockenhefe gewählt. Zur mathematischen Modellierung diente ein aus der Modellierung von Tiefenfiltern bekannter Zusammenhang (Formel 1), wonach die Beladungszunahme proportional zu der pro Zeiteinheit in ein Filterelement eintretenden Partikelmenge ist.

$$\frac{dq}{dt} = \lambda \cdot u_0 \cdot c_0 \quad (1)$$

( $q$  = Beladung,  $u_0$  = Filtergeschwindigkeit,  $c_0$  = Zulaufkonzentration,  $\lambda$  = Filterkoeffizient)

Der Filterkoeffizient  $\lambda$  ist hierbei keine Konstante, sondern von der Beladung der Matrix abhängig (Formel 2).

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left(1 - \frac{q}{q_s}\right) \quad (2)$$

( $q_s$  = Sättigungsbeladung)

Als Lösung der Differentialgleichung ergibt sich für die Partikelkonzentration  $c_{\text{aus}}$  am Ende des Filters folgender Zusammenhang („Filtergleichung“, Formeln 3 und 4):

$$\frac{c_{\text{aus}}}{c_0} = \frac{e^{\tau_0 \cdot t}}{e^{\tau_0 \cdot t} + e^{\lambda_0 \cdot L} - 1} \quad (3)$$

$$\tau_0 = \frac{c_0 \cdot u_0 \cdot \lambda_0}{q_s} \quad (4)$$

( $c_{\text{aus}}$  = Konzentration nach dem Filter,  $L$  = Länge des Filters)

Bild 1 zeigt eine Durchbruchkurve, die bei einer Zulaufkonzentration von 1,1 g/L und einer Filtriergeschwindigkeit von 6,3 m/h erhalten wurde.

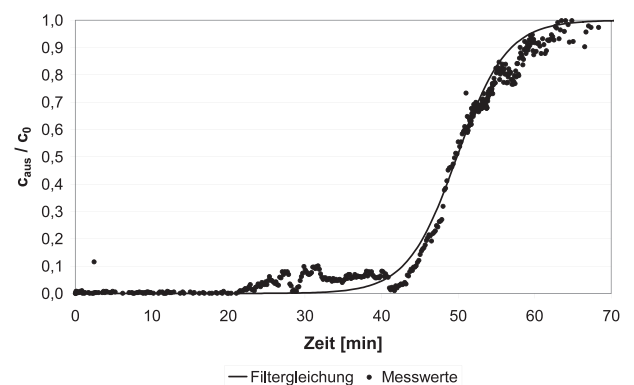


Bild 1

Mit dem mathematischen Modell wurde ein Filterkoeffizient von 220  $\text{m}^{-1}$  und eine Sättigungsbeladung von 75 g/L bestimmt.

Mikroskopische Aufnahmen der unbeladenen, teilweise und vollständig beladenen Matrix zeigten deutlich den Aufbau des Filterkuchens und die dadurch bedingte Abnahme des Filterkoeffizienten (Bild 2a–2c).

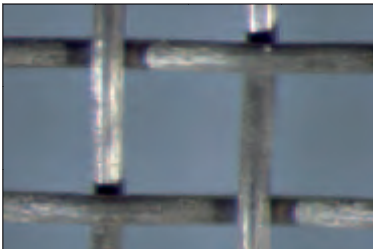


Bild 2a

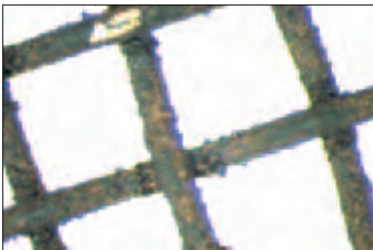


Bild 2b



Bild 2c

Eine Reinigung der Filtermatrix nach abgeschlossenem Beladungsvorgang wurde sowohl durch ein einfaches Durchleiten von deion. Wasser als auch durch Entfernen des Filtergehäuses und anschließender mechanischer Reinigung durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass eine mechanische Reinigung nach Ausbau des Filtergehäuses wesentlich effektiver war und ein einfaches Spülen mit deion. Wasser nur zu einer unvollständigen Regenerierung führte (Bild 3).

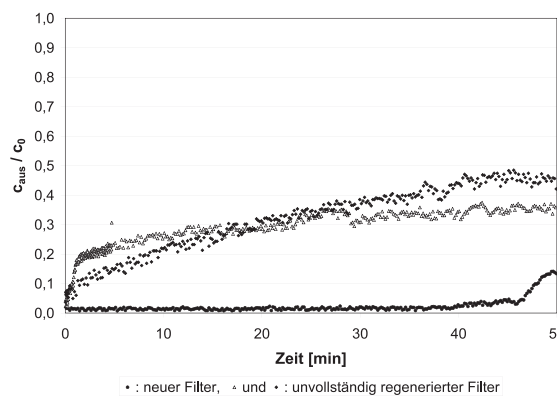


Bild 3

Dass der Filter für die Mikroorganismen vollständig durchlässig ist, konnte bei Versuchen mit Hefezellen bestätigt werden (Bild 4). Der Filter lässt somit unmagnetische Festkörper wie die Biomasse ungehindert passieren.

Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für weiterführende Untersuchungen. Die Rückspülung des Magnetfilters mit einer möglichst hohen Effizienz wird dabei im Fokus stehen, da das Wertprodukt auf der Oberfläche der Magnetobeads gebunden ist und nur durch eine effektive „Reinigung“ des Magnetfilters vollständig gewonnen werden kann.

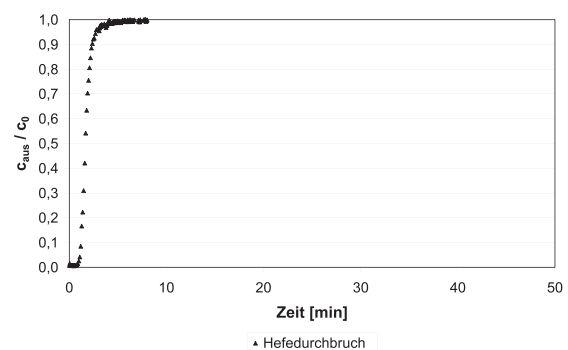


Bild 4

## Kontakt:

Prof. Dr. Percy Kampeis  
Fachbereich Umweltplanung/-technik  
p.kampeis@umwelt-campus.de



## Schadstoffreduzierung bei Dieselmotoren

Christof Simon

Dieselmotoren gehören mit spezifischen Kraftstoffverbräuchen in der Größenordnung um die 200 g/kWh mit zu den wirtschaftlichsten Kraftfahrzeugantriebsmaschinen.

Als problematisch erweist sich beim Dieselmotor allerdings der Ruß- und Stickoxid-Ausstoß.

Zur Schadstoffreduzierung bieten sich grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten an. Das sind auf der einen Seite die Abgasnachbehandlungssysteme, wie Rußfilter, SCR-/NO<sub>x</sub>-Katalysatoren, und auf der anderen Seite die innermotorischen Maßnahmen wie beispielsweise die Abgasrückführung, Einspritzzeitpunktvariation, Einspritzdrücke usw. Die innermotorischen Maßnahmen haben gegenüber den Abgasnachbehandlungssystemen den großen Vorteil, dass sie die Schadstoffentstehung weitgehend unterbinden.

Dass Problem bei diesen Methoden der Schadstoffreduzierung liegt in dem so genannten Ruß/NO<sub>x</sub>-Trade-Off oder dem Dieseldilemma. Ergreift man eine Maßnahme zur Reduzierung der Rußbelastung, steigt damit der NO<sub>x</sub>-Anteil im Abgas an und umgekehrt führt eine Maßnahme zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung zu einem Anstieg der Rußkonzentration. Im Fachgebiet Kolben- und Strömungsmaschinen der FH Trier werden im Rahmen verschiedener staatlich und industriell geförderter Projekte Möglichkeiten zur Reduzierung der Ruß- und NO<sub>x</sub>-Emission bei Dieselmotoren untersucht.

Hierbei handelt es sich um kraftstoffseitige, innermotorische Maßnahmen, wie die geschichtete Diesel/Wassereinspritzung, Diesel/Wasser-Mikroemulsionen und die Wassereindüsung.

### a) Geschichtete Diesel/Wassereinspritzung.

Bei der geschichteten Diesel/Wassereinspritzung handelt es sich um ein Drittmittelprojekt, das von der AiF (**A**rbeitsgemeinschaft **i**ndustrieller **F**or-

schungsvereinigungen) gefördert wurde.

Dieses Projekt baut auf den Untersuchungen aus einem bereits zuvor durch die „Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation“ geförderten Projekt auf. Hierbei wird in einer entsprechend den Erfordernissen angepassten Einspritzdüse (siehe Bild 1), gleichzeitig Dieselkraftstoff und Wasser in den Brennraum des Motors eingespritzt.

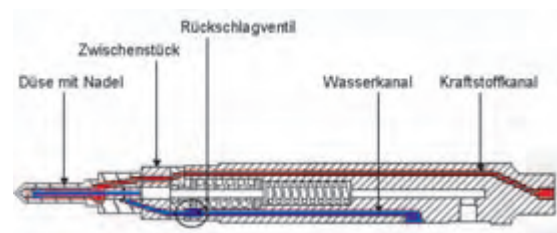


Bild 1: Zweistoff-Einspritzdüse

Aufgrund der lokalen Temperaturabsenkung während der Verbrennung infolge des mit eingespritzten Wassers, wird die thermisch bedingte Stickstoffmonoxid-Bildung zum Teil um mehr als 50 % reduziert (siehe Bild 2).

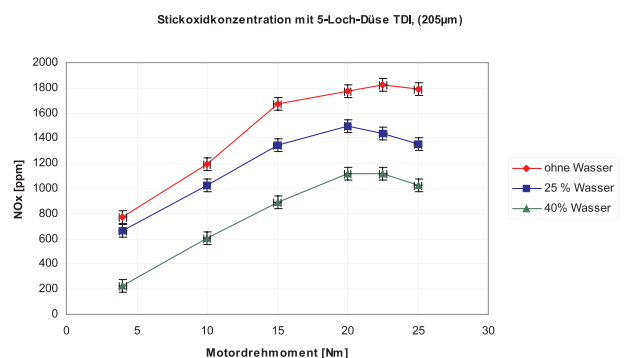


Bild 2: Zusammenhang zwischen NO<sub>x</sub>-Konzentration und Motordrehmoment mit und ohne H<sub>2</sub>O-Einspritzung

Die speziell in dem AiF-Projekt untersuchte vorgelagerte Kraftstoffmenge (Kraftstoffmenge, mit der die Verbrennung einleitet wird und die dem einzuspritzenden Wasser vorgelagert ist) scheint



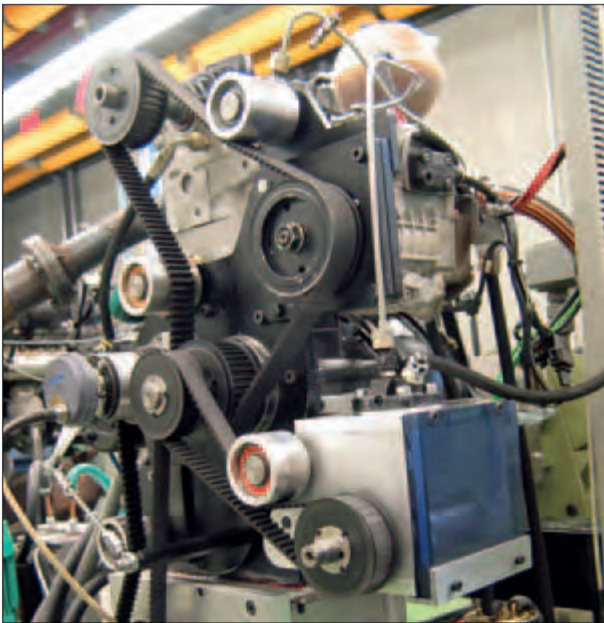


Bild 3: Einzylinder-Forschungsmotor

dabei eher eine untergeordnete Rolle zu spielen. Die Messungen wurden an einem Einzylinder-Forschungsmotor (Bild 3) durchgeführt.

## b) Mikroemulsion

Bei der Diesel-Wasser-Mikroemulsion handelt es sich um eine thermodynamisch stabile Mischung aus Diesel, Wasser und Tensiden, die im Institut für Physikalische Chemie an der Uni Köln entwickelt wurde. Das Besondere ist, dass der Wassergehalt beliebig variierbar ist und die Mikrostruktur der Mikroemulsion ähnlich einem flüssigen Schwamm aufgebaut ist.

Mikroemulsionen haben gegenüber konventionellen Emulsionen eine Reihe von Vorteilen. Sie bilden sich spontan ohne kräftiges Scheren, sie sind beliebig lagerstabil. So ist denkbar, Mikroemulsionen im Fahrzeug kurz vor dem Motor zu mischen oder wie konventionellen Diesel an der Zapfsäule zu tanken. Messungen zur Abgaszusammensetzung beim Betrieb von Dieselmotoren mit verschiedenen

Diesel-Wasser-**Mikroemulsionen** wurden im Fachbereich Maschinenbau/Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Trier an einem ATL-aufgeladenen, 4-Zylinder-Motor durchgeführt.

Untersucht wurden Diesel-Wasser-**Mikroemulsionen** mit 9/18/27/36 und 45 Gew.% Wasseranteil im Diesel-Wasser-Treibstoff bei verschiedenen Motordrehzahlen und Lastpunkten.

Exemplarisch sind in Bild 4 nur die Ergebnisse einer Messreihe bei der Motordrehzahl  $n = 2100 \text{ min}^{-1}$  mit den Wasseranteilen 9 bis 36 Gew.% dargestellt. Aufgetragen ist die Rußbelastung (FSN) und die NO<sub>x</sub>-Konzentration über dem Motordrehmoment. Aus der Darstellung wird deutlich sichtbar, dass sowohl die Rußbelastung als auch die NO<sub>x</sub>-Konzentration mit zunehmendem Wasseranteil merklich abnehmen.

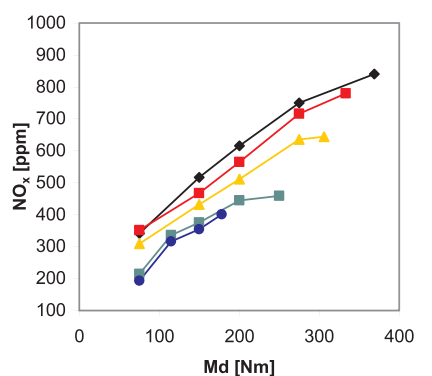
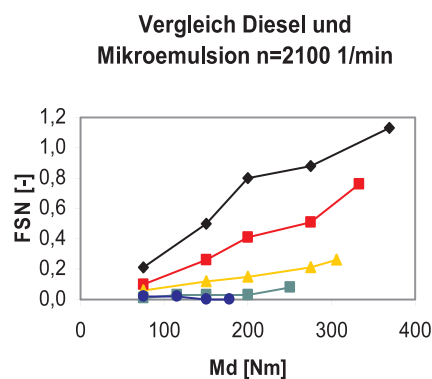


Bild 4:  
NO<sub>x</sub>- und Ruß-  
konzentration bei  
verschiedenen  
Wasseranteilen  
im Dieselmotoren-  
stoff



Aufgrund der Tatsache, dass der Kraftstoffverbrauch beim Einsatz der Mikroemulsion nicht zunimmt (im günstigsten Falle nimmt er sogar ab), stellt die Mikroemulsion in jedem Falle eine verbrauchsneutrale Maßnahme zur merklichen Abschwächung des Ruß-NOx-Trade-Offs bei Dieselmotoren dar.

Die Tatsache, dass mit zunehmendem Wasseranteil im Kraftstoff der Lastbereich des Motors eingeschränkt wird, hängt damit zusammen, dass die Fördermenge der Einspritzanlage des verwendeten Motors aufgrund des zusätzlich im Kraftstoff enthaltenen Wassers nicht ausreicht. Dieser „Mangel“ kann durch den Einsatz einer entsprechend größer dimensionierten Einspritzeinheit jedoch behoben werden.

### **c) Wassereindüsung**

Bei diesem Projekt handelt es sich um ein von der Automobilzulieferindustrie gefördertes Projekt.

Ähnlich wie bei den beiden zuvor beschriebenen Projekten wird auch in diesem Fall Wasser als NOx-reduzierendes Mittel eingesetzt. Im Unterschied zu diesen beiden Methoden, bei denen das Wasser gleichzeitig mit dem Kraftstoff in den Brennraum eingebracht wird, wird das Wasser bei der Wassereindüsung in den Frischluftansaugkanal des Motors eingespritzt (ingedüst). Es ist zu erwarten, dass die Auswirkungen auf die NOx-Bildung den beiden Verfahren a) und b) ähnlich sein wird. Ergebnisse hierzu liegen allerdings noch nicht vor.

### **Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Christof Simon  
Fachbereich Technik  
simon@fh-trier.de

## Forschung zu Stirlingmotoren und Bionik im Fachbereich Maschinenbau der FH Trier

Frank Schleder, Hartmut Zopke

Die Wahl von Forschungsschwerpunkten steht immer im Spannungsfeld zwischen Vision und Anwendungsnähe. Ein Forschungs-Engagement in visionäre Themen birgt für Unternehmen oft hohe, schwer kalkulierbare unternehmerische Risiken. Bleiben durch wirtschaftliche Zwänge „die Schritte weg vom eingetretenen Pfad“ sehr klein, verhindert dies wesentliche Neuanfänge und Neuausrichtungen. So werden nicht selten *prinzipiell* schlechte, aber bekannte Systeme mit steigendem Aufwand um immer kleinere Schritte verbessert, während von Grund auf neue Systeme nicht erforscht werden, da die damit verbundenen wirtschaftlichen Risiken zu unkalkulierbar scheinen oder auch sind. Gerade hier sollte öffentlich geförderte Forschung an Hochschulen einsetzen, um diese Lücke zu schließen.

Ausgehend von diesen Überlegungen und der Erkenntnis, dass unsere Energieversorgung aufgrund der ökologischen und sozialen Probleme, die sie derzeit noch mit sich bringt, einer grundlegenden Wandlung bedarf, entstand bei uns der Wunsch sich mit Wärmekraftmaschinen zu beschäftigen, die den Anforderungen einer zukunftsfähigen Energietechnik gerecht werden.

Die Wahl fiel auf den Stirlingmotor.

Der Stirlingmotor, 1816 von dem schottischen Pfarrer Robert Stirling erfunden und somit eine der ältesten Wärmekraftmaschinen der Welt, erlebt zurzeit eine Renaissance aufgrund seiner vorzüglichen Eigenschaften zum Einsatz in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung mit fossilen, vor allem aber mit regenerativen Energiequellen. Da die zum Betrieb notwendige Wärme von außen über Wärmetauscher zugeführt wird, spielt deren Herkunft für den Motor keine Rolle. Eine Beheizung mit solarer Strahlungsenergie ist genauso möglich wie auch

der Betrieb mit biogenen Brennstoffen wie Holz oder Biogas. Aber auch beim Betrieb mit fossilen Brennstoffen in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bietet diese Maschine niedrigste Emissionen und geringen Wartungsaufwand.

Eine Sonderform der Stirlingmotoren, *die Niedertemperatur-Maschinen*, eignet sich sehr gut für die Nutzung von solarer Wärme aus Flachkollektoren. Da diese Maschinen bislang eine sehr geringe Leistungsdichte aufwiesen, entstand die Fragestellung für unser Projekt: Lässt sich die Leistungsdichte von Niedertemperatur-Stirlingmotoren wesentlich steigern, um auch in Mitteleuropa ökologisch und ökonomisch sinnvoll Überschusswärme aus thermischen Solaranlagen oder Abwärme aus gewerblichen oder industriellen Prozessen zur Kraft-/Stromerzeugung zu nutzen?

Im Rahmen dieses Projekts konnte anhand theoretischer Untersuchungen – untermauert mit Messergebnissen von einer Solar-Stirlingmaschine – eine *neue* mathematische Formel entwickelt werden, die es erlaubt, die erreichbare Drehzahl und Leistung solcher Maschinen im Vorfeld einer Entwicklung abzuschätzen. Dies ist von allgemeinem Interesse für die Stirlingmotoren-Entwicklung; für das Projekt war diese Formel ein wichtiges Ergebnis, um die prinzipiellen Leistungsgrenzen dieser Maschinen aufzuzeigen. So zeigte sich letztlich, dass die Leistung von Niedertemperatur-Stirlingmotoren nicht in dem Maße gesteigert werden kann, wie es ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb in Mitteleuropa erfordern würde. Wird das Temperaturniveau gehoben, so bestehen für den Stirlingmotor auch in Mitteleuropa sehr gute Chancen für den Einsatz in künftigen Energiesystemen. Darüber hinaus konnten in dem Projekt Teile der genannten Formel anhand bionischer Ähnlichkeitsuntersuchungen auf ein sehr breites Fundament gestellt werden: Es konnten Ähnlichkeiten zwi-



schen Motoren, Turboladern, Flugzeugpropellern zu Säugetieren aufgezeigt werden.

Dass das Forschungsobjekt Stirlingmotor neben dem visionären Aspekt durchaus marktnah gewählt wurde, zeigen Aktivitäten einiger Firmen: Neben anderen Anbietern bietet die Sindelfinger Solo Stirling GmbH ein kleines Blockheizkraftwerk mit 9 kW<sub>el</sub> an, dessen Herzstück ein hochentwickelter Stirlingmotor ist. Ein neuseeländischer Hersteller konnte sich 2004 über einen Großauftrag von 80.000 Stück für Großbritannien freuen. Die Anlagen werden dort als Mikro-KWK-Module zur ökologischen Erzeugung von Strom und Wärme in Einfamilienhäusern eingesetzt.

Unser Dank gilt der Nikolaus-Koch-Stiftung, Trier und der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, die das Projekt finanziell gefördert haben, aber auch unserem Diplomanden Dipl.-Ing. (FH) Peter Bach, der mit seinem Engagement zum Erfolg dieses Projekts beigetragen hat.

## Eine neue Formel zur Entwicklung von Stirlingmotoren

Die thermodynamische Auslegung von Stirlingmaschinen ist trotz der Einfachheit des Aufbaus eine hoch komplexe Aufgabe. Ohne leistungsfähige Simulationssoftware kann eine solche Maschine heute nicht mehr sinnvoll entwickelt werden. Doch gerade hier entsteht für den Entwickler am Anfang ein erhebliches Problem. Es sind eine Vielzahl von Parametern festzulegen, deren gegenseitige Abhängigkeiten kaum zu überschauen sind. Selbst Optimierungsalgorithmen erfordern im Allgemeinen zunächst eine Grobauslegung der Maschine, um dann darauf aufbauend Detail-Optimierungen durchführen zu können. Doch wie kann diese Grobauslegung erfolgen? Hier sind Faustformeln mit den wichtigsten Hauptabmessungen und Betriebsparametern nach wie vor eine wichtige Hilfe. Allgemein bekannt sind hier die Formeln von Beale und West. Ein we-

sentliches Defizit dieser beiden Formeln besteht jedoch darin, dass sie die Drehzahl als Parameter enthalten. Gerade die ist aber meist am Anfang nicht bekannt. Um dieses Defizit zu beheben, haben die Autoren dieses Artikels im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts eine Formel entwickelt, mit der sich die Drehzahl eines Stirlingmotors im Vorfeld der Entwicklung abschätzen lässt. Zur Entwicklung des gesuchten Zusammenhangs haben sich die Autoren des Instruments der Dimensionsanalyse bedient. Physikalische Größen sind neben dem Zahlenwert auch stets mit einer Dimension (Einheit; wie z. B. Meter, Kilogramm, ...) behaftet, so dass sich jede sinnvolle physikalische Größe als Potenzprodukt der Grunddimensionen (Länge  $l$  in m, Masse  $m$  in kg, Zeit  $t$  in s, Temperatur  $\vartheta$  in K) angeben lässt.

Diese Tatsache kann man sich umgekehrt zu Nutze machen, um noch unbekanntes physikalischen Gleichungen auf *rein mathematischem* Weg auf die Spur zu kommen.

Die Aufgabe besteht im Wesentlichen darin, die relevanten Größen für den gesuchten Zusammenhang aus physikalischen Erkenntnissen zu finden. Es wurden ausgewählt:

- Drehzahl  $n = [1/s]$
- Hubvolumen  $V_h = [m^3]$
- Obere Prozesstemperatur  $\vartheta_E = [K]$
- Die spezifische Gaskonstante  $R = [J/kg K = m^2/K s^2]$

Man erhält mit Hilfe der Dimensionsanalyse und durch Einfügen der Konstante C schließlich die Gleichung:

$$n = C \cdot \vartheta_E^{0,5} \cdot V_h^{-1/3} \cdot R^{0,5}$$

Der konstante Faktor C wurde für das Diagramm Bild 1 anhand von Daten einer gut bekannten Maschine ermittelt. Es zeigt sich, eine recht gute



Übereinstimmung der theoretischen Werte mit den Literaturwerten.

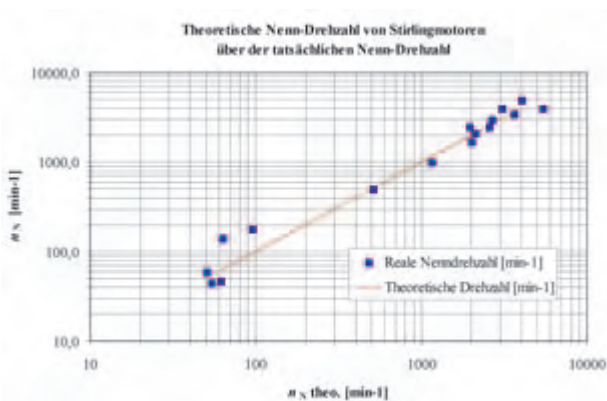


Bild 1: Errechnete theoretische Nenn-Drehzahl und reale Nenn-Drehzahl von Stirlingmotoren

## Bionik

Ein Blick über den Themenkreis Stirlingmotor hinaus zeigt, dass die gefundene Abhängigkeit der Nenndrehzahl vom *Hubvolumen* keineswegs nur bei Stirlingmotoren vorliegt. Auch Verbrennungsmotoren zeigen eine entsprechende Abhängigkeit. Trägt man die Nenndrehzahlen realer Verbrennungsmotoren über deren Zylinderhubvolumen auf, zeigt sich, dass diese Werte offenbar einem mathematischen Gesetz folgen.

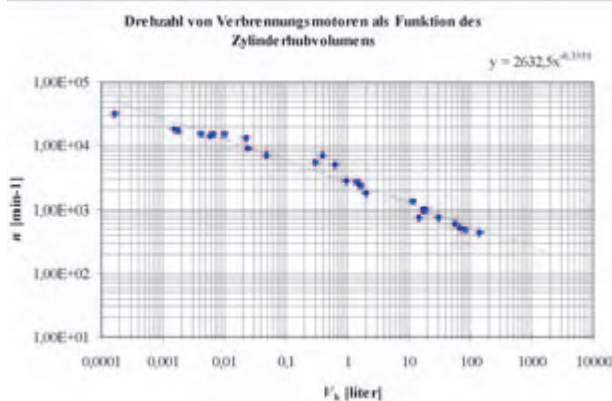


Bild 2: Drehzahl realer Verbrennungsmotoren als Funktion deren Zylinderhubvolumens

Doch auch in der Biologie existieren viele derartige Abhängigkeiten. So zeigt die z. B. die Atemfrequenz von Säugetieren als Funktion des Atemzugvolumens oder des Organvolumens eine ähnliche Abhängigkeit. Siehe Bild 3.

Die Potenzgesetze der Biologie weichen mit einem Exponenten von -0,27 allerdings geringfügig von dem bei den Motoren gefundenen Exponenten -0,33 ab. Tieferegehende Analysen zeigen den Grund für diese Diskrepanz darin, dass die Evolution hier aufgrund eines *zweiten* Optimierungsziels einen Kompromiss finden musste, der die Herausbildung des Werts von -1/3 verhinderte.

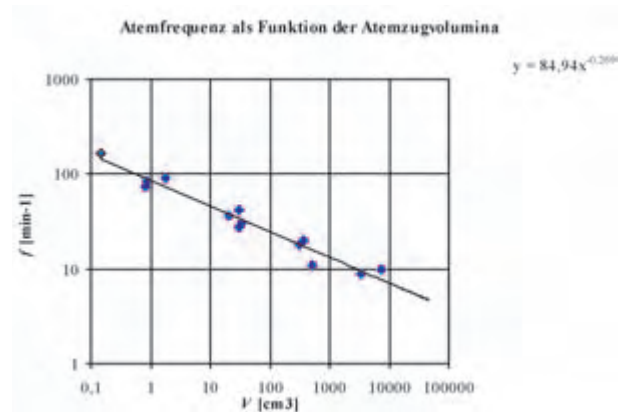


Bild 3: Atemfrequenz von Säugetieren als Funktion des Atemzugvolumens

## Hinweis

Ausführliche Informationen zu dem Thema und die ungekürzten Berichte zu der neuen Formel und der Bionik finden Sie einschließlich der Literaturhinweise als PDF-Dateien unter dem Link der Fachhochschule Trier: <http://www.mb.fh-trier.de/forschung/projekte/stirlingmotoren.htm>

## Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Zoppke  
Fachbereich Technik  
zoppke@fh-trier.de



## Rapid Prototyping und 3-D-Bildverarbeitung

Wolfgang Gerke

### Roboter fräst Modelle aus Styropor

Der Beitrag befasst sich mit einer neuen Methode zur Herstellung von Gieß- oder Anschauungsmodellen aus Styropor. Diese Modelle können beispielsweise im Werkzeugbau oder Produktdesign benutzt werden. Durch den Einsatz eines sechsheubigen Roboters mit hoher Reichweite wird es möglich, auch große Formen, wie sie für die Herstellung von Presswerkzeugen im Automobilbau benötigt werden, zu produzieren. Für einen internationalen Automobilkonzern wird ein derartiger Einsatz gerade geplant. In Verbindung mit einem Vision System, das aus einer Kamera und einem Streifenprojektor besteht, fräst der Roboter Kopien von vorher dreidimensional digitalisierten Objekten.

### Einführung

Bei der Entwicklung industrieller Teile werden häufig Prototypen oder Modelle benötigt. Prototypen dienen als Anschauungsmodelle bei der Produktentwicklung und können über Verfahren des Rapid Prototyping (RP) produziert werden. Das 3-D-Volumenmodell für das Rapid Prototyping wird im PC in Querschnitte aufgeteilt. Die Querschnitte haben dabei eine Schichtdicke von etwa 1 bis 2 Zehntel Millimeter. Nach dem Übertragen der Daten auf eine Rapid-Prototyping-Maschine wird die ursprüngliche Form Schicht für Schicht aufgebaut. Die verwendeten Materialien sind aber oftmals wenig belastbar und die Prototypen können nur in verringertem Maßstab erstellt werden. Dieses generative Verfahren unterscheidet sich von den spanabhebenden Verfahren, die mit konventionellen CNC-Maschinen im Modellbau beispielsweise für das Vollformgießen Anwendungen finden. Eine Erweiterung dieser Methode ist die Herstellung der Modelle durch Fräsbearbeitung mit dem Roboter. Der Roboter ist aufgrund

der sechs einstellbaren Freiheitsgrade gut für das 3-D-Fräsen geeignet. Das Verfahren ist zwar auch auf leichte Materialien wie Styropor oder Kunststoff beschränkt, doch kann der Roboter große Modelle aufgrund seiner Reichweite in kurzer Zeit mit ausreichender Genauigkeit erzeugen. Im Labor des Instituts für Betriebs- und Technologiemanagement der Fachhochschule Trier wurde ein KUKA KR 125 Roboter zum Fräsen mit geeigneter Soft- und Hardware ausgestattet. Die Roboter-Bahnberechnung geht von CAD-Modellen oder so genannten triangulierten Objektdarstellungen in Form von STL-Files aus. Dieses Datenformat, bei dem die Objektoberfläche durch Dreiecke aufgebaut ist, wird auch bei den Rapid-Prototyping-Maschinen häufig benutzt. Mittels eines CAM-(computer aided manufacturing)-Programms werden maschinenspezifische und frässtrategische Angaben festgelegt, mit denen CNC (computerized numerical control)-Fahrsätze für ein zu erstellendes Teil erzeugt werden. Die Roboter-Programmerstellung erfolgt vollautomatisch mit dem im Institut entwickelten Programm RoboMill. Die Bearbeitung mit dem Roboter kann grundsätzlich in verschiedenen Varianten durchgeführt werden. Die Variante, dass der Roboter das Werkzeug führt und das Werkstück in fester Position eingespannt ist, zeigt das folgende Bild. Die Software RoboMill unterstützt auch die Variante, dass der Roboter das Werkstück führt und das Werkzeug fixiert ist. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass Teile ohne umzuspannen rundum gefräst werden können. Die neuesten Entwicklungen im Bereich der Robotik beschäftigen sich mit der Koordination mehrerer, kooperierender Roboter. Dieses Verfahren kann vorteilhaft zur Fräsbearbeitung genutzt werden, denn es können sowohl das Werkstück als auch das Werkzeug frei im Bewegungsraum der Roboter positioniert werden. Allerdings sind damit auch die höchsten Kosten verbunden.

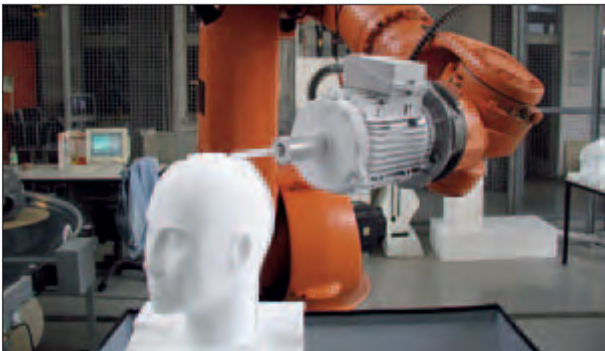


Bild 1: Der Kuka KR 125 Roboter mit Raspelfräser fräst eine im CAD entwickelte Figur aus Styropor. Nach der Schruppbearbeitung sieht man im Bild den Schlichtvorgang, der aus ca. 100 000 Verfahrenweisungen besteht.

## CAD/CAM – Software zur Berechnung der Werkzeugbahnen

Häufig ist eine manuelle Nachbearbeitung des gefertigten Modells notwendig. Um das modifizierte Modell danach wieder im CAD-System bearbeiten zu können, muss es dreidimensional vermessen werden. Dadurch entsteht eine so genannte Punktwolke, die die dreidimensionale Geometrie beschreibt. Diese Punktwolke wird in einem so genannten Reverse Engineering Prozess wieder in ein CAD-Modell überführt.



Bild 2: Einsatzfälle für das Roboterfräsen von Styropormodellen können im Modellbau gefunden werden. Aber auch bei der Produktentwicklung werden Anschauungsmodelle benötigt, die mit dem Roboter schnell und preiswert gefertigt werden. Weitere Anwendungen sind in der Baudenkmalpflege die Erstellung von Replikaten.

Beim 3-D-Kopieren befindet sich die 3-D-Vermessung am Anfang des Ablaufplanes. Die 3-D-Objekt-daten werden in das STL-Datenformat umgewandelt, um daraus Roboter-Fräsbahnen zu erzeugen. Da zur Fräsbahnberechnung ein CAM-Programm für CNC-Maschinen benutzt wird, ist die Vorgabe des kinematischen Aufbaus der Maschine erforderlich. Es ist vorteilhaft, Fräsprogramme für CNC-Maschinen mit Linearachsen in z- und x-Richtung sowie einer Rotationsachse zum Drehen des Werkstücks zu benutzen. Das Programm besteht im Wesentlichen aus den geometrischen Angaben der x-, z-, und j-Werte für die 3 Achsen. Das Programm RoboMill berechnet aus den Bahnkurven für den Fräser die Bahnen für einen Sechssachs-Roboter zum Fräsen des Objektmodells. Dabei ist der Fräser immer auf die Mittelachse gerichtet und bewegt sich in Bahnen mit jeweils konstanter Höhe um diese Mittelachse.

Der Vorteil des Robotereinsatzes beim Modell- oder Prototyp-Fräsen gegenüber der Verwendung einer CNC-Maschine liegt in der Flexibilität und Reichweite. Außerdem sind die Kosten des Roboters geringer als die einer CNC-Maschine. Das Roboterprogramm besteht aus linearen Verfahrenweisungen, die im Überschleifmodus durchgeführt werden. Zu Anfang der Bearbeitung nimmt der Roboter seine Ausgangslage ein, um von hier aus relativ zu verfahren. Zuerst kann ein Schruppvorgang zur Abnahme großer Materialmengen erfolgen. Daran schließt sich ein Schlichtvorgang an. Da die Programme je nach Komplexität des zu fräsenden Objektes sehr lang werden können, erzeugt die RoboMill-Software automatisch Teilprogramme, die nacheinander aufgerufen werden. Einige der mit dem Programm RoboMill einstellbaren Optionen sind: Auswahl der zu transformierenden CNC-Datei, Auswahl der Ziel-Datei, Einstellung des



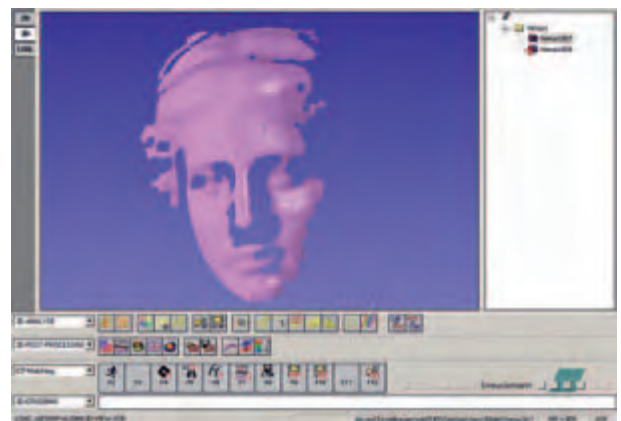
verwendeten Fräsers, automatische Festlegung des Maschinen-Nullpunktes in Abhängigkeit der Werkstückgröße, Auswahl 2½-D- oder 3-D-Fräsen, Bahnüberschleifparameter.

### 3 D Vision System zur Objektvermessung

Da der Roboter auch als 3-D-Kopierer arbeiten soll, ist ein System zur dreidimensionalen Vermessung des zu kopierenden Objektes erforderlich. Besonders schnell erfolgt die optische, berührungslose dreidimensionale Vermessung von Objekten mit einem Streifenprojektionsverfahren. Das Prinzip des Lichtschnittverfahrens basiert auf der Projektion von Lichtstreifenmustern auf das zu vermessende Objekt, von dem die Lichtstreifen auf den Sensor einer CCD-Kamera reflektiert werden. Durch Auswertung der Lage der Streifen mit einem Programm können bei Kenntnis der Projektionsrichtungen der aufprojizierten Streifen die x-, y- und z-Koordinaten des Objektes in Form einer Punktwolke berechnet werden.



*Bild 3: Bei der dreidimensionalen Vermessung werden parallele Streifenmuster mit unterschiedlicher Streifen-dichte auf das Objekt projiziert. Die Streifen werden durch die Objekthöhe verformt. Die Messung der Streifenlage im Kamerabild kann bei Kenntniss der Projektionsrichtung der Streifen zur Berechnung der räumlichen Lage des Objektes genutzt werden. Das Bild zeigt die robotergefräste Kopie einer Büste, die dreidimensional vermessen wird.*



*Bild 4: Die aufgenommene Punktwolke kann in ein Polygongnetz überführt und grafisch dargestellt werden. Zur Vermessung des gesamten Objektes müssen mehrere Ansichten aufgenommen und über ein Merge-Programm zusammengefügt werden.*

### Modelle für die Presswerkzeug-Herstellung im Karosseriebau

Die Herstellung von Karosserieteilen im Presswerk erfolgt über eine Pressen-Straße. Dabei wird eine Stahlplatte in mehreren hintereinander angeordneten Pressen verformt, bis das die endgültige Form entsteht. Die Pressen enthalten Werkzeuge, die für die gewünschte Karosserieform speziell entwickelt und gefertigt werden. Zur Herstellung der Presswerkzeuge im Vollformgießverfahren wird ein Exportmodell (Styropor mit höherer Dichte) des Werkzeugs benötigt. Aufgrund der Größe des Werkzeugs besteht ein Modell aus mehreren Teilen, die miteinander verklebt werden. Bei der heute üblichen Herstellung werden die Modellteile mit CNC-Maschinen erstellt. Die Presswerke der Automobilhersteller vergeben diese Arbeit häufig an Modellbaufirmen, die dazu die CAD-Daten der Modelle benötigen. Nachdem die Modelle erstellt wurden, werden sie an das Presswerk geliefert und dort verklebt und manuell nachgearbeitet. Falls jetzt noch Änderungen am Modell erforderlich werden, muss



ein neues Modell erstellt werden. Daher stellte sich für einen bedeutenden Autohersteller die Frage nach der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch die Verwendung eines kostengünstigen Roboters mit hoher Reichweite zur Modellherstellung. Dieser soll im Presswerk möglichst komplette Modelle erstellen können. Die Machbarkeit wurde mit einem ABB 6400-Roboter und der RoboMill-Software gezeigt. Die Qualität der Modelle entspricht den Erfordernissen des Anwenders. In einer weiteren Stufe wird das System in der Produktion eingesetzt.

## Literaturhinweise

Craig, J. J.: Introduction to Robotics, Addison-Wesley, 1989

Delft Spline Systems: Tutorial for Deskproto, Utrecht, Netherlands, 2002,  
Wahl, F. M.: A Coded Light Approach for depth Map Acquisition, 8. DAGM-Symposium, Paderborn, Springer Verlag 1986  
Breukmann, B: Bildverarbeitung und optische Messtechnik in der industriellen Praxis. Franzis Verlag, München, 1993.  
Gerke, W.: Roboterfräsen von Gießmodellen, VDI-Verlag 2004, VDI-Berichte 1841, S. 319–327

## Kontakt:

Prof. Dr. Wolfgang Gerke  
Institut für Betriebs- und Technologiemanagement (IBT)  
w.gerke@umwelt-campus.de



*Bild 5: Im Labor des Instituts für Betriebs- und Technologiemanagement in Birkenfeld/Nahe wurde ein ABB 8600 Roboter mit Zusatzachse eines großen Automobilherstellers zur Entwicklung und Erprobung des Exportfräsens aufgebaut. Zum Fräsen wurde ein Raspelfräser mit Löchern eingesetzt, bei dem die Späne durch die Hohlwelle des Antriebsmotors abgesaugt werden. Der Roboter befindet sich mittlerweile wieder im Automobilwerk, in dem der industrielle Einsatz realisiert wird.*



## Robotersägen von Waschtisch-Armaturen mit Bildverarbeitung

Wolfgang Gerke

### Einleitung

Die Automatisierung der industriellen Produktion ist in Deutschland in allen Bereichen bereits weit fortgeschritten. Insbesondere in der Automobilindustrie werden Industrieroboter seit Jahren erfolgreich z. B. beim Karosseriebau eingesetzt. Dadurch wird die Wettbewerbssituation der Unternehmen gegenüber internationalen Wettbewerbern verbessert und die Qualität der Produkte erhöht. Ohne die Automatisierung wäre die wirtschaftliche Produktion in einem Hochlohnland nicht mehr möglich. Dieser Trend wird durch die weiterhin hohen Produktionskosten auch auf kompliziertere Fertigungsprozesse in anderen Branchen übertragen. Gegenwärtig ist insbesondere in der Gießerei-Industrie eine hohe Investitionsbereitschaft zur Automatisierung festzustellen. Am Institut für Betriebs- und Technologiemanagement der Fachhochschule Trier in Birkenfeld werden mehrer Aufträge bearbeitet, deren Ziel es ist, Fertigungsprozesse bei der Herstellung von Gussprodukten zu optimieren. Beispiele dafür sind die Herstellung von Bremsscheiben für Nutzfahrzeuge oder die Herstellung von Armaturen für Waschtische. In einem gemeinsamen Projekt mit der Wittlicher Firma Ideal-Standard wurde eine Roboter-Sägezelle mit Bildverarbeitung entwickelt, die noch im Jahr 2005 in der Produktion eingesetzt werden soll.

### Aufgabenstellung

Die Herstellung von Armaturen für Waschtische erfolgt durch einen Druckgießvorgang von flüssigem Messing. Das Metall wird in eine Kokille gedrückt und wird anschließend in einem Takt von 2 Teilen pro 24 Sekunden ausgedrückt. Die produzierten Rohteile enthalten einen Anguss sowie einen Steiger.



Bild 1: Gussarmatur mit Anguss (links) und Steiger (rechts)

Mit dem Steiger wird die vollständige Füllung der Kokille sichergestellt. Der Anguss entsteht durch den Metallzulauf nach der Erstarrung. Sowohl der Anguss als auch der Steiger müssen mechanisch über eine Säge abgetrennt werden. Die Zuführung der Teile zur Säge erfolgt gegenwärtig manuell. Die erkalteten Teile werden in eine Form gelegt und in einem Rundschalttisch einem so genannten Trennjäger zugeführt. Dieser Trennvorgang wird zukünftig über das entwickelte Robotersystem automatisch durchgeführt. Dazu müssen die ausgedrückten Teile vom Roboter aufgenommen und fest ergriffen werden, so dass der Roboter die Teile entlang der Kreisäge führen kann. Bei der Realisierung der Roboterzelle entstehen die folgenden Probleme:

1. Die gegossenen Teile werden über den Gießautomaten ausgedrückt und verlieren ihre Lage. Sie werden über einen Vibrationsförderer bis zum Arbeitsfeld des Roboters transportiert. Dadurch ist die Aufnahmeposition für den Roboter unbekannt und muss über eine Messeinrichtung erkannt werden.
2. Aufgrund des Gießvorgangs entstehen Gatte, die ein sicheres Aufnehmen erschweren.
3. Es gibt über 50 Varianten der Armaturen, die mit einem Greifsystem ergriffen werden sollen, doch nur eine Stelle, die bei allen Varianten gleich ist, ein Konus am Ende des Angusses kann zum Greifen verwendet werden.

4. Die auftretenden Sägekräfte können nur schlecht berechnet werden, so dass ein Greifwerkzeug entwickelt werden muss, das in der Lage ist, den Kräften standzuhalten.
5. Die Zykluszeit beträgt 12 Sekunden pro Teil. Der Sägevorgang und die Messung der Lage und Orientierung des Teils müssen in kürzester Zeit erfolgen.
6. Die Genauigkeit für den Sägeschnitt muss besser als  $\pm 1$  mm sein.

## Aufbau der Pilot-Zelle im Technikum am Umwelt-Campus

Um die Probleme zu lösen, wurde ein Versuchsaufbau geplant und realisiert, der bei festgestellter Eignung im Werk Wittlich der Firma Ideal-Standard in die Produktion integriert werden soll. In einer Designstudie wurde im Rahmen einer Diplomarbeit das Layout des Greifers entwickelt. Aufgrund von Kraftberechnungen wurde der Greifer ausgewählt. Außerdem wurden der Roboter und ein Bildverarbeitungssystem beschafft, im Technikum aufgebaut und in Betrieb genommen. Für die Optimierung der Sägekraft wurden mehrere Elektromotore mit unterschiedlichen Leistungen angebaut und die Sägeergebnisse geprüft.

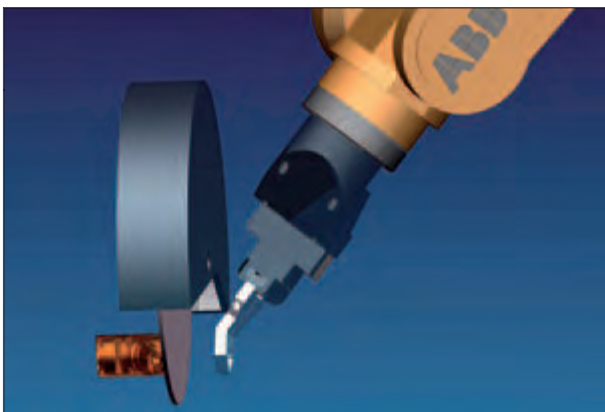


Bild 2: Design des Robotergreifers für den Sägevorgang

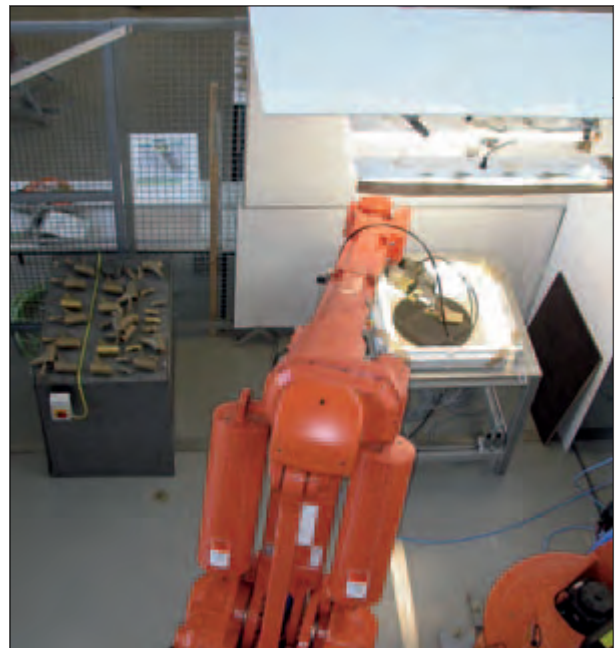
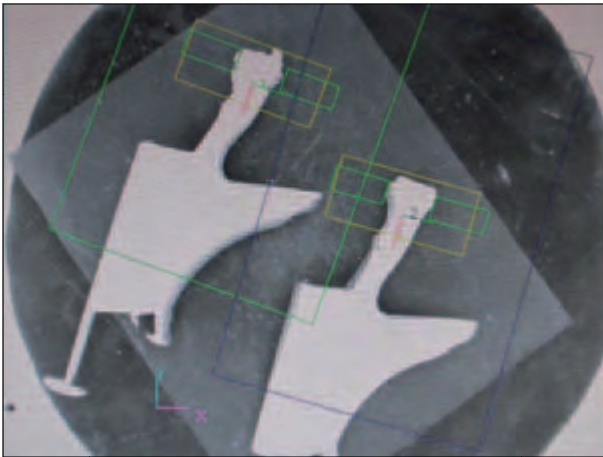


Bild 3: Sägezelle mit Kamerasystem oberhalb des rechts abgebildeten Arbeitstisches und Säge (links)

Das Bild 3 zeigt den ABB-Roboter mit 6 Achsen und das speziell entwickelte Greifsystem, das eine Greifkraft von 2700 N erzeugen kann. Außerdem ist eine CCD-Kamera oberhalb des Roboterarbeitsfeldes angebracht. Nachdem ein Teil ergriffen wurde, wird dessen genaue Position im Greifer mit einer weiteren Kamera vermessen. Man sieht weiterhin im linken Bereich die Säge, die gegenwärtig mit einem 7,5-KW-Motor und Hartmetallverzahnung ausgestattet ist. Zur Lösung der vielfältigen Probleme wurde ein Bildverarbeitungssystem entwickelt, mit dem über 2 CCD-Kameras Grob- und Feinansichten der zu erkennenden Teile ausgewertet werden können. Im folgenden Bild ist die Grobansicht der Teile erkennbar. Das Bildverarbeitungsprogramm ermittelt die Kanten des Objektes und vergleicht diese mit den abgespeicherten Mustern in einer Datenbank.





*Bild 4: Teile-Erkennung und Greifbarkeitsüberprüfung*

Die Zuführung der Teile erfolgt über einen Vibrationsförderer. Die zugeführten Teile werden von einer Kamera, die sich oberhalb des Förderers befindet, vermessen. Dabei wird festgestellt, um welchen Armaturtyp es sich handelt und in welcher Lage und Orientierung er liegt. Außerdem wird eine so genannte Greifbarkeitsprüfung durchgeführt. Da mehrere Teile im Bildfeld der Kamera liegen, können Teile nah beisammen liegen, so dass ein Ergreifen unmöglich wird. In diesem Fall lässt der Roboter die Teile passieren. Diese Teile werden später erneut dem Vibrationsförderer zugeführt. Die Genauigkeit der Erkennung liegt bei ca.  $\pm 1$  mm. Doch Fertigungsungenauigkeiten im Anguss können weitere Ungenauigkeiten beim Greifen bewirken. Dadurch könnte es passieren, dass ein ungenauer Sägeschnitt entsteht. Um dieses Problem zu lösen, wurde eine weitere Kamera eingesetzt, mit der eine Detailaufnahme des ergriffenen Teils erfolgt. Die Kameras vermisst die Lage des Teils im Greifer und gibt diese Informationen über eine serielle Schnittstelle an die Robotersteuerung weiter. Dann führt der Roboter das ergrif-

fene Teil zur Säge und beginnt, wie im folgenden Bild gezeigt, das Abtrennen des Steigers.



*Bild 5: Roboter führt Teil zum Abtrennen des Steigers*

## **Zusammenfassung und Ausblick**

In einer Zusammenarbeit des Instituts für Betriebs- und Technologiemanagement der FH Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld) und der Firma Ideal-Standard in Wittlich konnte ein Automatisierungsvorhaben erfolgreich realisiert werden. Der industrielle Einsatz erfolgt noch in 2005. Dabei profitierte die Firma Ideal Standard von dem vorhandenen Know-how des Instituts und das Institut von der Bereitstellung von neuesten Roboter- und Bildverarbeitungstechnologien, die durch die Firma Ideal Standard in schneller und unbürokratischer Weise zur Verfügung gestellt wurden. Studierende und Mitarbeiter konnten in gemeinsamer Anstrengung ein industrielles und anspruchsvolles Problem lösen.

## **Kontakt:**

Prof. Dr. Wolfgang Gerke  
Institut für Betriebs- und Technologiemanagement (IBT)  
w.gerke@umwelt-campus.de



## Messmethoden für die zerstörungsfreie Qualitätssicherung

Michael Schuth

An der FH Trier hat durch die Berufung von Prof. Dr.-Ing. M. Schuth die Konstruktionstechnik eine anwendernahe und praxisbezogene Ausrichtung erhalten. Der Arbeitsschwerpunkt erfolgt auf dem Gebiet der Methodik des Konstruierens, des Gerätebaus und der Bauteiloptimierung. Dabei sollen insbesondere die Schnittstellen zu den angrenzenden Fachgebieten wie die Qualitätssicherung, die Fertigungstechnik und die Messtechnik mit einbezogen werden. Zielsetzung ist es, bereits in der Konstruktion ein Produkt zu kreieren, das eine gesicherte Tragfähigkeit, garantierte Funktionalität und Zuverlässigkeit besitzt unter dem Aspekt einer hohen Qualität.

Die Schwerpunkte des Technikums GKB lassen sich wie folgt einteilen:

### a) Konstruktionstechnik

Dabei unterscheidet man die Konstruktionsmethodik, Maschinenelemente, Konstruktionsoptimierung und der CAD. Darüber hinaus die Strukturanalyse mit Berechnung und Simulation und der präventiven Qualitätssicherung mit FMEA und Fehlerbaum Methode.

### b) Gerätebau

Im Gerätebau werden Maschinenelemente und/oder elektrische sowie optische Komponenten zu einem elektronischen System zusammengefasst. Physikalische Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten werden analysiert und gezielt eingesetzt.

### c) Experimentelle Messtechnik

Hier unterscheidet man die Spannungsoptik, Speckle Messtechnik (ESPI, ESPSI) sowie die Topografischen Messverfahren und die Thermografie. Dabei wird die Analyse von Dehnungsdifferenzen, Verformungen, Oberflächenkonturen und die Temperaturgradienten

möglich. Detektiert werden dabei Fehlstellen, Materialfehler und Schwachstellen an Bauteilen. Eingesetzt werden die Verfahren grundsätzlich in der Qualitätssicherung, Bauteiloptimierung, Schwachstellenanalyse und der Konturvermessung.

### d) Dienstleistungen

In Zusammenarbeit mit der Industrie werden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Konstruktionen in allgemeiner und spezieller Art
- Bauteiloptimierung, Strukturanalyse
- CAD-Techniken
- Bauteilprüfungen mit der optischen Speckle-Interferometrie
- Konturvermessung mit Lasertechnik
- Thermografische Untersuchungen

### Bestehende und geplante Ausbildungsprogramme:

Die FH Trier ist einer der größten CATIA-Ausbilder an Deutschlands Hochschulen. Die Qualität unserer Ausbildung erweist sich gerade im Bereich CATIA durch die erhöhten Einstellungschancen unserer Studienabgänger. Im Bereich Gerätebau und optischer Messtechnik werden bereits heute schon Speckle-Messtechniken und topometrische Messmethoden geschult. Hierzu stehen für die praktische Ausbildung im Labor entsprechend Bild 1 shearografische und holografische Messköpfe zur Verfügung.

Robustes  
Al-Gehäuse

Laserdioden

Zoomobjektiv

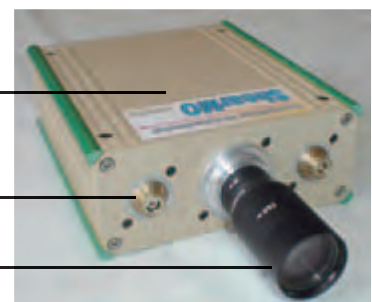


Bild 1a: Shearografischer Messkopf

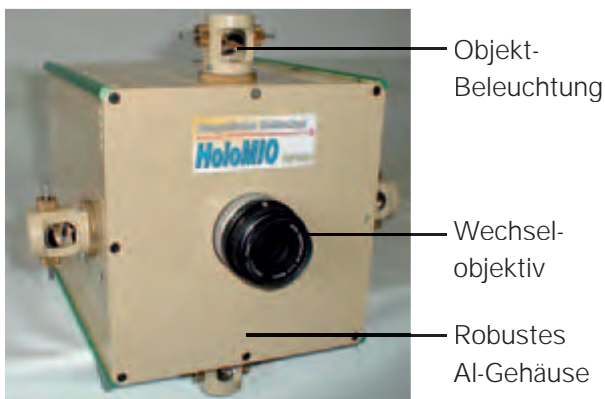


Bild 1 b: holografischer Messkopf

Eine Darstellung der Möglichkeiten zeigt die Untersuchung an einer Gehäusehalterung an einem STAB-O-FOCS (Kofferraumdeckel-Schließautomat). Hierzu zeigt Bild 2 eine 3-D-Darstellung und Bild 3 den STAB-O-FOCS mit Shearogramm. Bild 4 zeigt dagegen das Hologramm, aufgenommen mit dem holografischen Messkopf. Durchgeführt wurden diese Messungen mit der Interferometrie-Software, die in Zusammenarbeit mit der Oakland University in Detroit, USA entwickelt wurde.

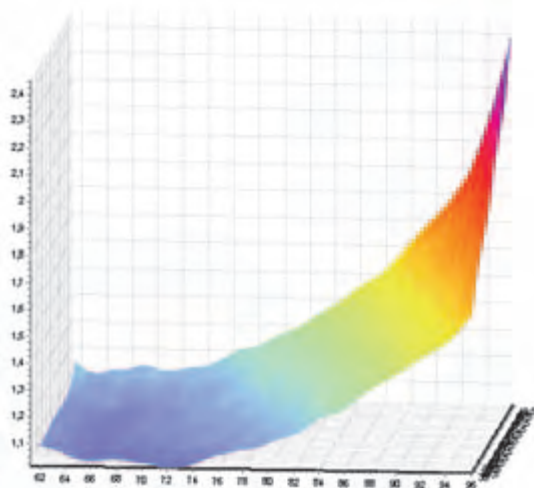


Bild 2: 3-D-Darstellung der Dehnungen von der Gehäusehalterung

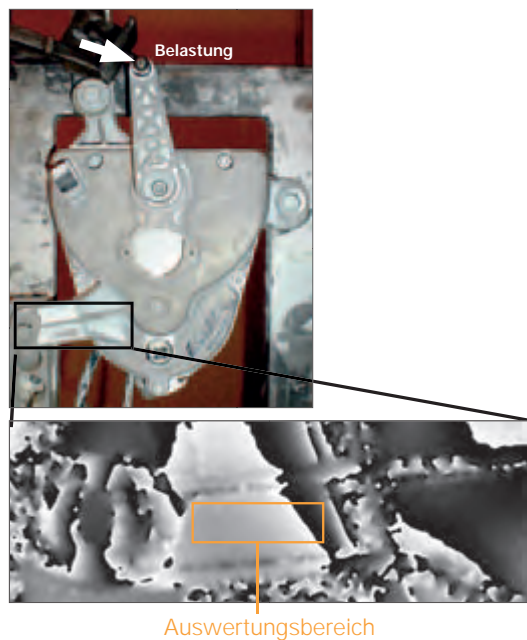


Bild 3: STAB-O-FOCS mit Shearogramm der Gehäusehalterung

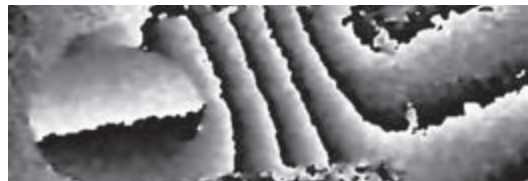


Bild 4: Hologramm der Gehäusehalterung

Durch die Möglichkeiten und Anwendungen der Messköpfe können die theoretischen Grundlagen der Messverfahren im Labor praktisch von den Studenten nachvollzogen werden. Ein wichtiger Baustein einer anwendungsorientierten und praxisnahen Ausbildung. Das Fach Gerätebau in Verbindung mit optischer Messtechnik wird als Modul angeboten und somit auch für andere Fachbereiche zugänglich sein. Hier sind besonders die Fachbereiche Informatik und Elektrotechnik angesprochen.

#### Kontakt:

Prof. Dr. Michael Schuth  
Fachbereich Technik  
m.schuth@fh-trier.de

## Strömungs- und wärmetechnische Optimierung eines EDV-Baugruppenträgers

Christof Simon

Elektronikgehäuse finden heutzutage überall Anwendung, wobei das wohl bekannteste Beispiel der PC ist. Insbesondere im industriellen Bereich gibt es vielfältige Einsatzbereiche verschiedener Gehäusearten, wie beispielsweise bei Schweißanlagen, Robotern, Werkzeugmaschinen usw. Zur Ausstattung solcher Gehäuse gehören nicht nur die Unterbringung und Schutz der elektronischen Komponenten, sondern auch deren Kühlung, um Beschädigungen infolge zu hoher Temperaturen zu vermeiden. Standardmäßig hat sich in diesem Bereich die Luftkühlung etabliert. Über leistungsfähige Lüfter wird die Luft in das Gehäuse geblasen und umströmt somit die zu kühlenden Bauteile, die ihre Verlustleistung in Form von Wärme abgeben. Die erwärmte Luft wird dann wieder in die Umgebung abgeleitet oder gegebenenfalls durch zusätzliche Lüfter abgesaugt. Die Projektaufgabe bestand in der Analyse und Optimierung der Strömungsverhältnisse eines Lüftereinschubs für ein EDV-Baugruppenträger-Gehäuse. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Baugruppenträgers. Im oberen Teil sind die zu kühlenden Leiterkarten untergebracht (hier allerdings nicht sichtbar). Im unteren Teil, dem eigentlichen Lüftereinschub, sind die Umlenkmale sichtbar. Deren geometrische Form galt es in dem Projekt zu optimieren. Die Kühlluft wird hierbei von Axiallüftern in horizontaler Ebene angesaugt und durch die zu optimierenden Umlenkmale in vertikaler Richtung umgelenkt. Die Optimierung erfolgte durch entsprechende CFD-Rechnungen (Computational Fluid Dynamics), die anschließend durch eine laseroptische Messung bestätigt werden konnten. Die Bilder 2 und 3 zeigen die gemessenen Strömungsverhältnisse oberhalb des Lüftereinschubs vor und nach der Optimierung der Umlenkmale.



Bild 1: EDV-Baugruppenträger mit Lüftereinschub

schubs für ein EDV-Baugruppenträger-Gehäuse. Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Baugruppenträgers. Im oberen Teil sind die zu kühlenden Leiterkarten untergebracht (hier allerdings nicht sichtbar). Im unteren Teil, dem eigentlichen Lüftereinschub, sind die Umlenkmale sichtbar. Deren geometrische Form galt es in dem Projekt zu optimieren.

Die Kühlluft wird hierbei von Axiallüftern in horizontaler Ebene angesaugt und durch die zu optimierenden Umlenkmale in vertikaler Richtung umgelenkt. Die Optimierung erfolgte durch entsprechende CFD-Rechnungen (Computational Fluid Dynamics), die anschließend durch eine laseroptische Messung bestätigt werden konnten. Die Bilder 2 und 3 zeigen die gemessenen Strömungsverhältnisse oberhalb des Lüftereinschubs vor und nach der Optimierung der Umlenkmale.

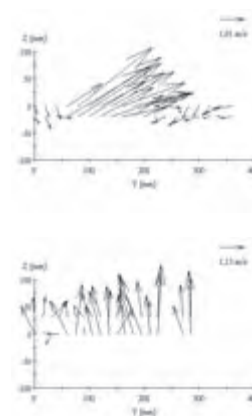


Bild 2: Geschwindigkeitsverteilung vor Optimierung

Bild 3: Geschwindigkeitsverteilung nach Optimierung

Ein Vergleich der beiden Abbildungen zeigt eine deutliche Verbesserung der Strömungsverhältnisse oberhalb des Lüftereinschubs.

### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Christof Simon  
Fachbereich Technik  
simon@fh-trier.de



## Forschungsprojekt „Optimierung von Niederspannungs-Transformatoren“

Dirk Brechtken, Stephan Pfeiffers

### 1. Einleitung

Niederspannungstransformatoren werden in der elektrischen Energietechnik zur Verteilung und Übertragung von (elektrischer) Energie benutzt. Angewendet werden die Bauformen *ölgekühlter Transformator* und *Trockentransformator*. Diese beiden Typen unterscheiden sich durch die Art ihrer Kühlung. Während beim *ölgekühlten Transformator* flüssiges Öl die Verlustwärme des Transformators transportiert und über spezielle Wärmetauscher nach außen abgibt, gibt der *Trockentransformator* seine Verlustwärme direkt an die umgebende Luft ab.

Üblicherweise werden solche *Trockentransformatoren* von kleinen und mittelständischen Unternehmen gefertigt. Die konstruktive Auslegung erfolgt derart, dass sie frei stehend unter guten Wärmeabgabebedingungen und normaler elektrischer Belastung keine Überhitzungsschäden davontragen. Werden diese Transformatoren jedoch in Gehäuse eingebaut (die Wärmeabfuhr wird also verschlechtert) oder werden sie außergewöhnlich harten elektrischen Umgebungsbedingungen ausgesetzt (z. B. infolge von Oberschwingungen, verursacht durch elektronische Antriebssteuerungen), so steigen die Verluste und damit die Erwärmung des Transformators stark an. Die Überhitzung kann zur Zersetzung des Transformators führen (so genannter Kern- oder Wicklungsbrand).

Im Institut für Energieeffiziente Systeme (IES) wird seit Oktober 2004 bis März 2006 das Forschungsprojekt „Optimierung von Niederspannungstransformatoren“ bearbeitet. Dabei wird die Erwärmung von *Trockentransformatoren* unter verschiedenen Last- und Umgebungsbedingungen untersucht.

Dazu werden einerseits experimentelle Untersuchungen zum Erwärmungsverhalten von Transformatoren durchgeführt und andererseits computergestützte Modelle auf Basis der Finiten Elemente erstellt. Die Simulationen werden auf Basis des Ansys-Programmpakets erstellt. Die Kombination experimenteller und physikalisch-mathematisch basierter theoretischer Untersuchungen führt zur Entwicklung eines Prognosewerkzeugs für die zu erwartende Erwärmung von Transformatoren unter realen Einbaubedingungen.

### 2. Projektinhalt

In experimentellen Untersuchungen wird an typischen Transformatoren der Zusammenhang zwischen Belastung und Erwärmung ermittelt. Dabei interessieren die zeitlichen Verläufe der Temperaturen ebenso wie die Endtemperaturen nach Abklingen aller Ausgleichsvorgänge.



Bild 1: Niederspannungstransformator mit Thermoelementen



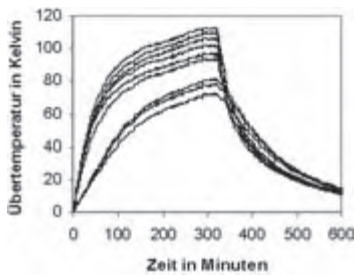


Bild 2: Zeitlicher Verlauf der Übertemperaturen

Bild 1 zeigt einen typischen Niederspannungs-  
transformator. Dieser ist mit bis zu 40 Tempe-  
ratur Sensoren bestückt. Dadurch kann seine  
Temperatur an verschiedenen Messpunkten  
festgestellt werden. Bild 2 zeigt die zeitliche Ent-  
wicklung des Übertemperaturverlaufs. Die Über-  
temperatur stellt dabei die Differenz aus der  
gemessenen Temperatur und der Raumtempera-  
tur dar. Das dargestellte Beispiel zeigt, dass der  
Transformator nach mehr als 5 h Belastungsdauer  
noch nicht seine Endtemperaturen erreicht hat.  
Zu dieser Zeit wird der Erwärmungsversuch be-  
endet. Die Stromzufuhr wird unterbrochen und  
der Transformator kühlt wieder auf die Umge-  
bungstemperatur ab. Diese Messungen zeigen in  
Abhängigkeit von Aufbau und Bauart des Trans-  
formators die thermische Trägheit des gesamten  
Systems. Experimentelle Untersuchungen bei-  
spielsweise zum Nachweis des Einhaltens von  
zulässigen Grenzwerten benötigen entsprechen-

den Zeitaufwand. Vergleichsweise kurzfristig sind  
demgegenüber Simulationsrechnungen möglich.  
Ein hinreichend exaktes Modell ermöglicht in-  
nerhalb weniger Minuten, den Einfluss z. B. kon-  
struktiver Veränderungen auf die Wärmebilanz  
des Transformators abzuschätzen. Ein Beispiel für  
eine derartige Simulation zeigt Bild 3: Erkennbar  
sind die heiße Primärwicklung, die kühlere Sekun-  
därwicklung und der Kern. Die Temperatur wird  
anschaulich über eine Farbskala dargestellt.

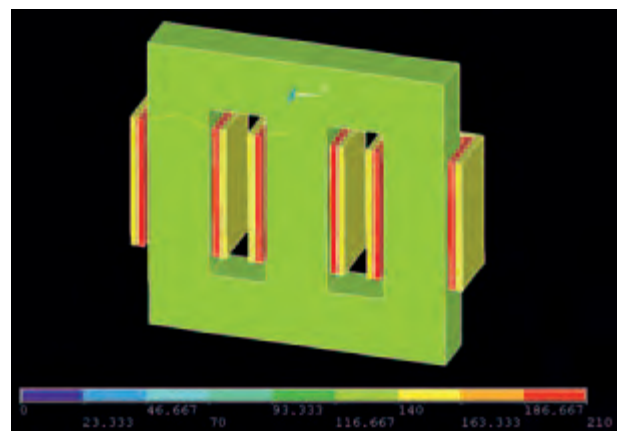


Bild 3: Simulation der Übertemperaturen in einem Trans-  
formatormodell

#### **Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Dirk Brechtken  
Institut für Energieeffiziente Systeme (IES)  
Brechtken@ies.fh-trier.de



## Verfahren zur Auswertung von MR-Tomografiebildern für die Planungsunterstützung bei der stereotaktischen tiefen Hirnstimulation (DBS)

Peter Gemmar<sup>1</sup>, Karin Fisch, Peter Mrosek, Frank Hertel<sup>2</sup>, Christian Decker

### Kurzfassung

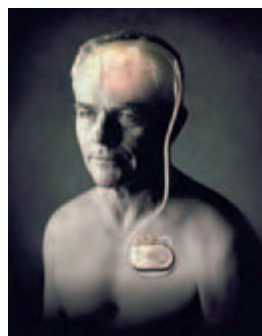
Die stereotaktische Stimulation tiefer menschlicher Hirnstrukturen ist eine noch relativ junge und aufgrund der bisherigen Erfolge und Perspektiven auch eine sehr vielversprechende Behandlungsmethode für Patienten, die insbesondere unter Parkinson, Dystonie oder sonstigen Bewegungsstörungen leiden. Hierbei werden Mikroelektroden in tief liegende Gehirnareale im Bereich des Subthalamus Nukleus (STN) gebracht und dieser mittels so genannter „deep brain stimulation“ (DBS) stimuliert. Die Stimulation erfolgt i. d. R. chronisch mittels implantierter Gehirnschrittmacher.

Im Rahmen einer Kooperation zwischen dem i3A und dem Brüderkrankenhaus Trier (BKT) wurden Verfahren für die automatische Zielpunktbestimmung und für die Auswahl der Zugangswege (Trajekte) für die Implantierung der Mikroelektroden entwickelt. Die Verfahren basieren auf der computergestützten Verarbeitung und Auswertung von Magnetresonanztomografiebildern (MRT). Mittels Bildanalysemethoden werden Landmarken und Zielpunkte sowie Trajekte durch das Hirn berechnet. Damit wird eine interoperative Zeitersparnis sowie eine objektivere Ermittlung der Ziele und Zugangswege erreicht.

### Einleitung

Die stereotaktische tiefe Hirnstimulation (engl. deep brain stimulation, DBS) ist ein relativ neues und viel versprechendes Verfahren zur Behandlung von Bewegungsstörungen, wie sie z. B. durch

Morbus Parkinson hervorgerufen werden. DBS wird vor allem bei solchen Patienten erfolgreich angewendet, welche medikamentös nicht mehr ausreichend behandelbar sind oder bei denen schwere Nebenwirkungen durch die Medikation vorliegen. Dabei werden dem Patienten während einer Operation über ein Bohrloch in der Schädeldcalotte Elektroden in bestimmte, tief gelegene Hirnareale platziert. Diese werden mit einem unter der Haut implantierten Schrittmacher zur Übertragung von Stimmulationsströmen verbunden (Bild 1, [Her-2004]).



*Bild 1: DBS-System, Elektroden mit über Kabel verbundenem, implantiertem Impulsgeber*

Die Zielstrukturen (Subthalamus Nucleus (STN) bei Parkinson-Patienten) sind hierbei sehr klein und liegen in der Regel sehr tief im Gehirn (Bild 2). Daher muss eine genaue Zielpunktberechnung und operative Zugangsplanung erfolgen, um das Ziel mit hinreichender Genauigkeit und notwendiger Sicherheit zu erreichen. In der Regel erfolgt hierzu eine aufwändige und zeitintensive Operationsplanung, welche auf computer- und kernspintomografischer Bildgebung (CT, MRT) in Dünnschichttechnik mit manueller bzw. teilautomatisierter Auswertung basiert.

<sup>1</sup> i3A Fachhochschule Trier

<sup>2</sup> Brüderkrankenhaus Trier

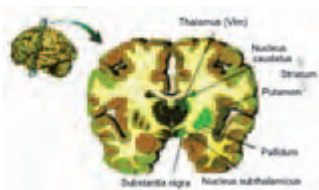


Bild 2: Querschnitt durch das menschliche Gehirn mit DBS-relevanten Strukturen.

In der OP-Planung werden sowohl die Zielpunkte für die zu implantierenden Elektroden als auch der sicherste operative Zugangsweg (Trajektorie) mittels dreidimensionaler Behandlungsplanung bestimmt (Bild 3). Hierzu wird eine spezielle stereotaktische Planungssoftware eingesetzt, um die funktionalen Koordinaten der Zielpunkte Subthalamus Nucleus, die Trepanationspunkte und geeignete Trajektorien durch visuelle Auswertung der T1-gewichteten MRT-Bilder zu ermitteln. Dies erfordert eine hohe Konzentration und insgesamt ca. eine Stunde Planungszeit bei ca. 4–5 Stunden für die OP-Durchführung.

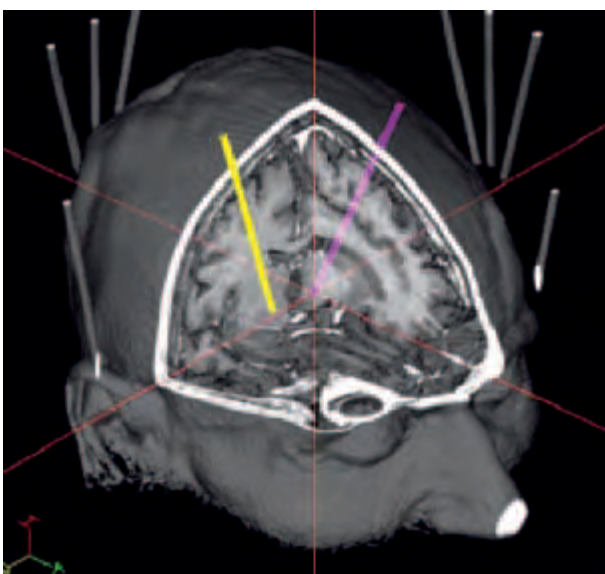


Bild 3: Visualisierte Zielpunkt- und Trajektplanung ([Now-2002])

Im Rahmen eines interdisziplinären Entwicklungsprojektes des i3A der FH Trier und der Gehirnchi-

urgie des BKT wurden Verfahren zur rechnergestützten Planung stereotaktischer Operationen entwickelt. Damit können die zu stimulierenden Zielpunkte aus den MRT-Daten automatisiert ermittelt und Vorschläge für geeignete Zugangsweg durch das Hirn berechnet werden. Durch den Einsatz dieser Verfahren können die Dauer der Planung signifikant verringert und die Genauigkeit der Planung erhöht bzw. objektiviert werden.

### Verfahren zur STN-Lokalisierung

Da manche anatomische Hirnstrukturen wie z. B. auch der STN in T1-gewichteten MRT-Aufnahmen nicht zu erkennen sind, erfolgt die initiale Zielpunktdefinition mittels relativer Positionsangaben, die sich auf die vordere und hintere Kommissur (AC, PC) des dritten Ventrikels als Landmarken beziehen (Bild 4). Der/die Neurochirurg/in muss diese Landmarken bisher manuell in dem Patientendatensatz festlegen. Dies ist zeitaufwändig, da jede einzelne MR-Schicht sehr genau betrachtet werden muss.



Bild 4: Lage von AC und PC (aus [Mey])

### Verfahren

Das entwickelte Verfahren wertet T1-gewichtete MRT-Aufnahmen aus und benötigt zum Start lediglich eine interaktive Markierung des gut sichtbaren Zentrums des 3. Ventrikels (Bild 5). Die automatische STN-Lokalisierung baut auf folgenden Verarbeitungsschritten auf: 1) Bildvorverarbeitung, 2) 3-D-Segmentierung des dritten Ventrikels, 3) geometrische Transformation und Ermittlung der midsagittalen Ebene, 4) Ermittlung der Landmarken AC und PC und 5) Berechnung der stereotaktischen Zielkoordinaten des STN ([Fis-2004]).

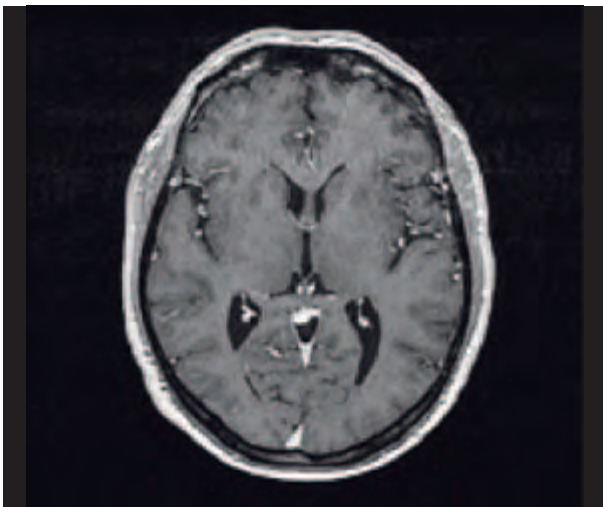


Bild 5: T1-gewichtete MRT-Aufnahme in axialer Sicht

Die Landmarken AC und PC können in der mittleren sagittalen (midsagittalen) Ebene des dritten Ventrikels identifiziert werden. Zunächst werden die MRT-Bilder vorverarbeitet, um die Rauschanteile zu reduzieren. Hierzu wird eine strukturerhaltende Bildfilterung durchgeführt, um die Qualität der nachfolgenden Segmentierung sicherzustellen. Mit Hilfe einer adaptierten 3-D-Segmentierung wird dann der dritte Ventrikel segmentiert. In dem 3-D-Modell des Ventrikels wird anschließend die mittlere sagittale Ebene auf der Grundlage von Symmetrieeigenschaften durch Formabstraktion und Schichtenfusion ermittelt. Anhand dieser midsagittalen Ebene erfolgt eine geometrische Transformation zur orthogonalen Ausrichtung der MRT-Bilder. Anschließend werden, basierend auf à priori Wissen über die geometrische Lage und die strukturellen Eigenschaften, die Landmarken AC und PC in der midsagittalen Ebene separat durch eine spezifische Strukturanalyse ermittelt. Ausgehend von diesen beiden Landmarken werden die Zielkoordinaten anhand bekannter topografischer Beziehungen berechnet.

## Ergebnis

Das entwickelte Prototypensystem zur Bestimmung der STN-Zielkoordinaten wurde an 18 unterschiedlichen MRT-Patientendatensätzen aus dem BKT getestet. Zur Ergebnisverifikation wurden die ermittelten funktionalen Koordinaten der Landmarken AC und PC von einem erfahrenen Neurochirurgen überprüft. Bei allen Patientendatensätzen (15 von 18) mit typischen anatomischen Strukturen lieferte das Verfahren sehr gute Ergebnisse (Bild 6 – Bild 8). Die Abweichungen betragen maximal einen 3-D-Bildpunkt (voxel).

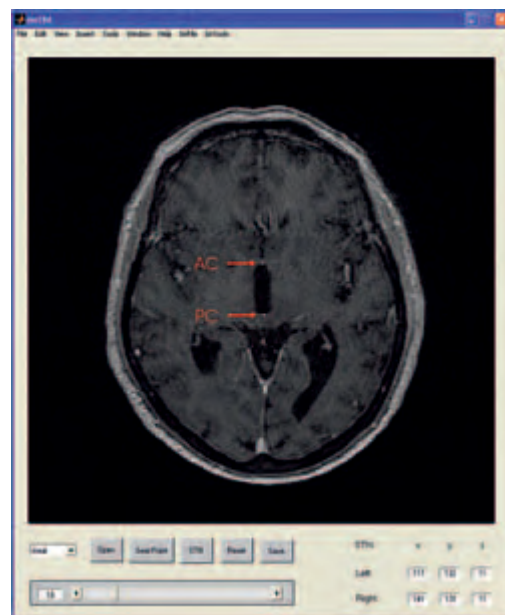


Bild 6: Automatisch ermittelte Landmarken AC und PC (axiale Sicht)

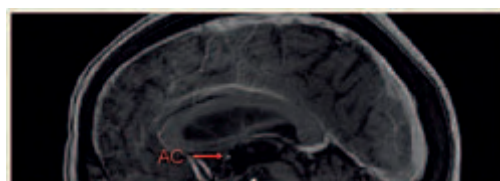


Bild 7: Automatisch ermittelte Landmarke AC (sagittale Sicht)



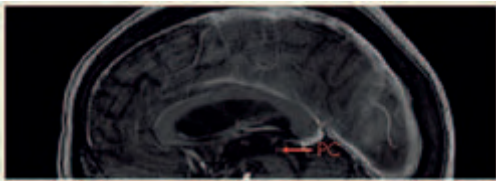


Bild 8: Automatisch ermittelte Landmarke PC (sagittale Sicht)

Bei Patientendatensätzen mit atypischen anatomischen Veränderungen wie z. B. Dysplasien oder bei Bewegungsartefakten in den MRT-Bildern weisen die berechneten Koordinaten größere Abweichungen auf. Diese Grenzfälle können vom Verfahren erkannt und zur manuellen Bearbeitung durch den/die Neurochirurgen/Neurochirurgin verwiesen werden. Die Laufzeit der automatisierten Zielpunktermittlung beträgt beim Verarbeiten von 90 MRT-Bildern weniger als 15 Sekunden (Rechnerhardware: 1,2 GHz, 512 MB RAM).

### Verfahren zur Trajekt-Auswahl

Nach der Ermittlung der beiden Zielpunkte müssen die Trajekte durch die Gehirnstruktur zu diesen Punkten geplant werden. Hierzu legt der/die Chirurg/in ein potentielles Trajekt von einem möglichen Eintrittspunkt in einem abgegrenzten Eingangsbereich zu einem der Zielpunkte fest und bewertet die Lage dieses Trajektes, indem er/sie alle MRT-Bilder entlang des Trajektes auf die Penetration kritischer Regionen überprüft. Dazu zählt jede Art von Hirngewebe, dessen Penetration während der Operation zu Komplikationen und Nebenwirkungen führen kann. Falls ein Trajekt zu nahe an gefahrenbehaftetem Gewebe wie z. B. Blutgefäßen liegt, wird es verworfen und ein neues Trajekt durch Veränderung des Eintrittspunktes überprüft. Falls kein in allen Schichten gewebeschonendes Trajekt gefunden wurde, wird der Querschnitt des Trajektes reduziert (geringere Anzahl verwendbarer Mikroelektroden) und die Planung wiederholt.

### Verfahren

Das entwickelte Verfahren zur automatischen Trajektplanung bestimmt für jeden gegebenen Zielpunkt anhand bestimmter Kriterien ein optimales Trajekt. Es wurde primär für die Berechnung von Trajekten mit STN als Zielpunkten konzipiert, ist aber auch für andere Zielpunkte anwendbar ([Mro-2004]).

Das Verfahren arbeitet auf T1-gewichteten MRT-Aufnahmen des Kopfes des Patienten. Es benötigt die Koordinaten der Zielpunkte sowie für jeden Zielpunkt ein Areal, in dem der entsprechende Eintrittspunkte liegen soll. Danach werden im Wesentlichen folgenden Verfahrensschritte durchgeführt: 1) Klassifizierung des Hirngewebes, 2) Berechnung potenzieller Eintrittspunkte, 3) Bewertung der Trajekte und 4) Ermittlung einer Trajektempfehlung.

Aus dem Zielpunkt sowie den zugehörigen Eckpunkten des Eintrittsareals wird ein Trichter errechnet, aus dem in jeder Schicht entsprechend dem Zielpunkt Abstand eine „region of interest“ (ROI) ermittelt wird. Da potentielle Trajekte kein kritisches Gewebe penetrieren dürfen, wird zunächst das Gehirngewebe in risikobehaftete und gefahrlose Regionen analog zur manuellen Trajektplanung klassifiziert. Unter bestimmten Prämissen wird aus den Grauwerten der weißen und grauen Masse ein Merkmal für die Qualifikation gefahrloser Gehirnregionen ermittelt. Die Einschätzung des Gefahrenpotentials einer Hirnregion erfolgt dann über die Auswertung des Merkmals dieser Region. Regionen, deren Merkmal vom Referenzwert abweicht, werden als Gefahrenregionen klassifiziert. Damit bei der Bewertung nur 3-D-Bildpunkte einfließen, die Gehirnmasse darstellen, werden die MRT-Bilder zuvor segmentiert, um Regionen wie Ventrikel oder Kopfhaut abzugrenzen (Bild 9).

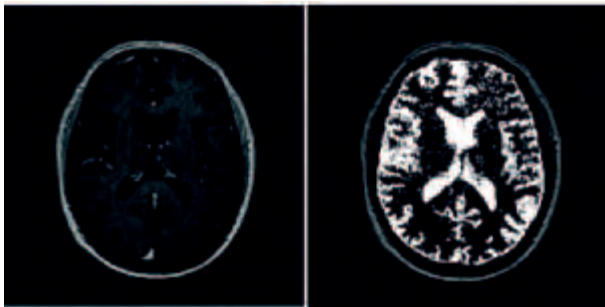


Bild 9: MRT-Aufnahme mit ermittelten Gefahrenregionen (links: Original, rechts: Gefahrenbereiche weiß markiert)

Nachdem das Gewebe klassifiziert wurde, werden Trajekte ermittelt. Hierzu werden zunächst alle potentiellen Eintrittspunkte berücksichtigt, die bestimmte Kriterien wie Oberflächenpunkt des segmentierten Gehirns, Entfernung vom Schädelknochen usw. erfüllen müssen (Bild 10).



Bild 10: Ermittelte potentielle Eintrittspunkte auf der extrahierten Kontur des Gehirns

Danach werden alle möglichen Trajekte zwischen dem Zielpunkt und den potentiellen Eintrittspunkten errechnet und bewertet. Letzteres wird anhand einer Kostenfunktion quantifiziert, die sich aus der Beurteilung der penetrierten Gewebeflächen in den einzelnen Schichten ergibt. Dann wird das Trajekt ermittelt und ausgegeben, das die geringsten Kosten verursacht bzw. insgesamt den günstigsten Abstand zu kritischem Gewebe insgesamt aufweist.

## Ergebnis

Das entwickelte Prototypsystem zur Bestimmung günstiger STN-Trajekte wurde an 14 unterschiedlichen MRT-Patientendatensätzen aus dem BKT getestet. Die vom System vorgeschlagenen Trajekte wurden von einem erfahrenen Gehirnchirurgen überprüft und mit einer Skala von 1 (voll einsatzfähig) bis 5 (inakzeptabel) benotet. Von 28 Trajekten erhielten 17 die Note 1, fünf erhielten die Note 2 und sechs erhielten die Note 3 (geeignet, aber nicht mit allen fünf Mikroelektroden bestückbar). Es wurde kein Vorschlag verworfen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass bei MRT-Aufnahmen, die kein Signalrauschen und keine Bewegungsartefakte aufweisen, die vom Verfahren vorgeschlagenen Trajekte für Ableitungen mit allen 5 Mikroelektroden verwendbar sind. Bei Aufnahmen, in denen Bewegungsartefakte vorliegen, oder bei Aufnahmen von Patienten, die z. B. an Hirnatrophie leiden, sind die vorgeschlagenen Trajekte mit Einschränkungen bei der Bestückung der Ableitungselektrode verwendbar. Die Laufzeit des optimierten Laborsystems liegt bei ca. 15 Minuten.

## Zusammenfassung

Es wurden zwei Verfahren zur automatischen STN-Lokalisation und zur Trajektermittlung für die rechnergestützte Planung bei der tiefen Hirnstimulation entwickelt und als Laborsystem implementiert. Die Verfahren wurden anhand klinischer Daten getestet und von einem erfahrenen Neurochirurgen verifiziert. Die Verfahren können in bestehende Planungsstationen integriert werden. Hierdurch wird der Planungsaufwand für den/die Neurochirurgen/Neurochirurgin wesentlich vereinfacht und die Vorgehensweise objektiviert. Dies gilt auch für andere gehirnchirurgische Eingriffe.

In Verhandlungen mit einem weltweit führenden Anbieter für Planungsstationen wurde die Funktionalität und praktische Bedeutung der Verfahren

bestätigt. Inzwischen wurde die Rechteübertragung zur Nutzung und zum weltweiten Erwerb von Schutzrechten vertraglich vereinbart.

## Literatur

- [Now-2002] W. L. Nowinski, A.-L. Benabid (2002): New Directions in atlas-assisted stereotactic functional neurosurgery, *Advanced Techniques in Imaged-Guided-Brain and Spine Surgery*, Thieme, New York, 162–174
- [Her-2004] F. Hertel et al. (2004): Stereotaktische Behandlung von Bewegungsstörungen mittels tiefe Hirnstimulation (DBS), *Ärzteblatt Rheinland-Pfalz*, Mai (5), 18–22
- [Mey] H. Meyer: Talairach coordinates – AC-PC Basis, [http://www.dkfz-heidelberg.de/mrphys/fmri/hmeyer/fmri\\_basics/acpc.html](http://www.dkfz-heidelberg.de/mrphys/fmri/hmeyer/fmri_basics/acpc.html)
- [Fis-2004] K. Fisch (2004): Verfahren zur operationellen STN-Lokalisation in MR-Bildern, Diplomarbeit, Betr. Prof. Dr. P. Gemmar, FH Trier, Fachbereich Informatik
- [Mro-2004] P. Mrosek (2004): Planungsunterstützung für STN Trajektorien mittels MR-Bildauswertung, Diplomarbeit, Betr. Prof. Dr. P. Gemmar, FH Trier, Fachbereich Informatik

## Kontakt:

Prof. Dr. Peter Gemmar  
Institut für innovative Informatik-Anwendungen (i3A)  
[gemmar@i3a.fh-trier.de](mailto:gemmar@i3a.fh-trier.de)



## Automatisierte Auswertung hochauflösender Daten der Fernerkundung im Umweltmonitoring

Peter Fischer-Stabel

### Hintergrund

Auf dem Gebiet des Umweltmonitorings existieren prinzipiell zwei Verfahrensgruppen, die sich sowohl bzgl. des Arbeits- und Zeitaufwandes als auch bzgl. der erreichbaren geometrischen und semantischen (umweltfachlichen) Genauigkeit signifikant unterscheiden. Es sind dies die

- terrestrischen Erhebungsmethoden sowie die
- fernerkundungsbasierten Verfahren (Luftbilder, Drohnen-, Flugzeugscanner- und Satellitenbildverfahren).

Aufgrund der Vorteile der fernerkundungsbasierten Methoden, die insbesondere in der Möglichkeit einer flächenhaften kostengünstigen Datenerfassung sowie im Bereich der Automatisierung der Datenauswertung zu finden sind, liegt der

Forschungsschwerpunkt der vom Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz geförderten Arbeit in der Analyse des Potenzials neuer hochauflösender Fernerkundungsdaten für ein operationelles Umweltmonitoring. Konkrete Beispielanwendung ist die Erfassung der aktuellen Bodenversiegelung zumal es dem vorsorgenden Bodenschutz an flächendeckend vorliegenden und zudem aktuellen Informationen zur Flächeninanspruchnahme mangelt.

### Methodik

Ziel jeglicher automatisierter Mustererkennung ist die Einordnung von Objekten der realen Welt in Kategorien. Die Schnittstelle zur Welt bilden hierbei die Sensoren. Das Grundprinzip besteht in der Extraktion charakteristischer Merkmale der Objekte, die von einer mustererkennenden Instanz (z. B. Klassifizierungsverfahren auf Basis der aktuellen

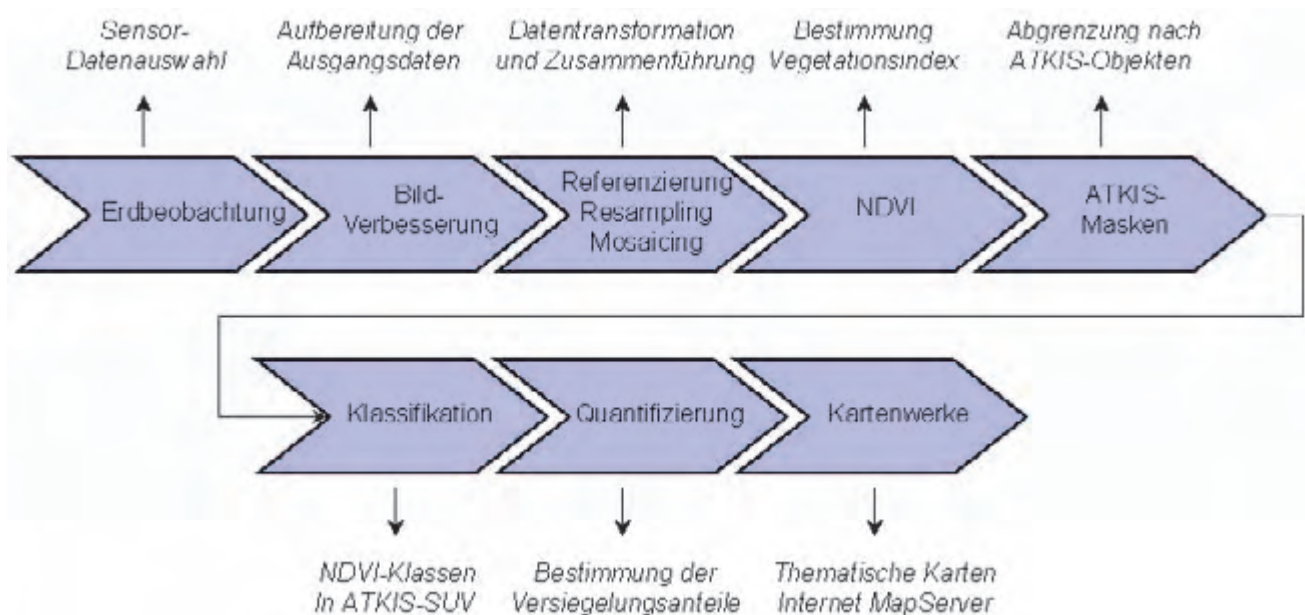


Bild 1: Prozesskette zur integrierten Ableitung von Versiegelungsdaten aus Daten der Erdbeobachtung unter Einbeziehung von amtlichen GeoBasisdaten



Objektmerkmale) die Objekte in Klassen einteilen. Generell gilt für jede Klassifikation, dass sowohl eine maximale Separation der Klassen als auch eine interne Homogenität angestrebt ist. Zusätzlich sollten die Klassifikationen auch vollständig sein, d. h., dass der gesamte spektrale Wertebereich Abdeckung erfährt und somit auch alle Bildpunkte einer Klasse zugeordnet werden können (vgl. Fischer-Stabel et al 2004).

Bisherige Untersuchungen zur Größenordnung von Interpretations- bzw. Klassifikationsfehlern bei der Analyse von Daten der Fernerkundung resultieren in Fehlerquoten im Bereich zwischen 5–20 % fehlklassifizierter Objekte (vgl. auch Bosch et. al 2004, Fischer-Stabel et al. 2004, Loeffler et al. 2005).

Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ist naheliegend, dass die – neben der Verwendung von Fernerkundungsdaten – Integration zusätzlich vorhandener Informationsquellen wie z. B. die Daten des amtlich topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS), des Liegenschaftskatasters (ALK), der digitalen geomorphographischen Karte oder von Daten aus Freilandkartierungen in den gesamten Auswerteprozess die Qualität der entwickelten Versiegelungskarten signifikant verbessert (vgl. Goedecke 2004, Fischer-Stabel et al. 2004). Demzufolge wurde eine Datenverarbeitungskette aufgebaut, die durch die kombinierte Auswertung von amtlichen Geobasisdaten und quasi tagesaktuell verfügbaren Satellitendaten die tatsächliche aktuelle Versiegelung der Erdoberfläche bestimmt (vgl. Bild 1)

## Ergebnisse

Durch statistische Analysen sowie der Validierung der Ergebnisse anhand von Ground-Truth-Daten konnte ein absoluter Fehler von 4 % fehlklassifi-



Bild 2: Beispiel einer WebGIS-basierten Darstellung der Bodenversiegelung in Rheinland-Pfalz (Aggregationsbasis: kommunale Ebene)

zierter Objekte bestimmt werden (Summe error of omission/commission). Dies stellt eine hochsignifikante Verbesserung der Objekterkennung unter Verwendung von Fernerkundungsdaten im Vergleich zu den traditionellen Ansätzen dar.

Um die Resultate – neben dem Fachpublikum – einem weiten Interessenten- und Nutzerkreis verfügbar zu machen, werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unter Verwendung der für eine raumbezogene Informationsbereitstellung geeigneten WebGIS-Technologie aufbereitet. Sie können dann einschließlich der zugehörigen Metadaten über den Umweltatlas Rheinland-Pfalz (<http://www.umweltatlas-rlp.de>) abgerufen werden.

## Kontakt:

Prof. Dr. Peter Fischer-Stabel  
Institut für Softwaresysteme (ISS)  
[p.fischer-stabel@umwelt-campus.de](mailto:p.fischer-stabel@umwelt-campus.de)



## Automatische Informationsextraktion aus Dokumenten

Karl Hans Bläsius

Der Informationsaustausch durch Dokumente wird in der modernen globalen Geschäftswelt immer wichtiger. Neben der normalen Geschäftspost gewinnen die E-Mail-Kommunikation und die Verbreitung von Informationen über das Internet zunehmend an Bedeutung. In verschiedenen Projekten (gefördert durch die „Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation“ sowie das „Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung, Forschung und Kultur“) wurden an der FH Trier Verfahren entwickelt, um aus solchen Dokumenten (Papier, E-Mail, Internet) automatisch Informationen zu gewinnen, die anschließend maschinell weiterverarbeitet werden können.

### Dokumentanalyse

#### *Zunehmender Bedarf an Informationsaustausch*

In den heutigen Unternehmensnetzwerken gibt es einen hohen Bedarf an Informationsaustausch. Dies betrifft insbesondere die Abwicklung von Geschäftsprozessen. So müssen z. B. Angebote, Bestellungen und Rechnungen erstellt und versendet und auf der Gegenseite erfasst und bearbeitet werden. Solche Geschäftsprozesse werden zunehmend durch IT-Werkzeuge unterstützt. Eine wichtige Teilaufgabe ist dabei die Erfassung von Informationen aus Dokumenten, die ein Unternehmen von außen auf dem Postweg oder elektronisch erreichen. Ziel der Dokumentanalyse ist es, die Erfassung und Interpretation von Informationen aus Dokumenten so weit wie möglich zu automatisieren.

#### *Automatische Inhaltsextraktion durch Freiform-Erkennung*

Die Erfassung und Verarbeitung papiergebundener Belege kann mit den entwickelten Werkzeugen weitgehend automatisch erfolgen. Dazu werden die eingehenden Belege zunächst gescannt. Für gute Ergebnisse der Texterkennung (OCR) sorgen dabei

spezielle Verfahren zur Bildaufbereitung. Nach der OCR-Verarbeitung kommt ein wissensbasiertes Dokumentanalyseverfahren zum Einsatz, mit dessen Hilfe die Informationen interpretiert werden. Bei diesem Verfahren werden die relevanten Informationen automatisch bestimmt (Inhaltsextraktion). Dafür müssen die Belege nicht normiert sein, sondern können eine beliebige Struktur aufweisen (Freiform-Erkennung). Der Aufbau der Belege muss also vorher nicht bekannt sein, trotzdem werden hohe Erkennungsraten erzielt. Die Erkennungsraten werden im praktischen Betrieb durch den Einsatz automatischer Lernverfahren weiter verbessert.

#### *Anwendungsbeispiele*

In beliebigen frei formatierten Rechnungen können Absenderinformationen (Firmenname, Straße, Ort, Telefonnummer, E-Mail-Adresse, Kontoangaben usw.), verschiedene Datumsangaben (Belegdatum, Lieferdatum, Zahlungstermine), Bestellangaben (Bestellnummer, Bestelldatum), Rechnungsnummer, verschiedene Beträge (Nettosumme, Mehrwertsteuerbeträge, Endbetrag) automatisch bestimmt werden. Analog können zum Beispiel auch Bestellungen, Angebote und Lieferscheine behandelt werden. Durch die Einbeziehung von Hintergrundwissen können Konsistenzprüfungen durchgeführt werden. Die gefundenen Daten können in einem Workflow- oder Buchhaltungssystem automatisch weiterverarbeitet werden.

Weitere wichtige Anwendungen sind die automatische Eingangspostverteilung oder automatische Indexierung für die elektronische Archivierung.

### KARIB

#### *Erfassung von Baurechnungen und Massenermittlungen*

Im Rahmen des Kompetenzzentrums „Automatisierung, Rationalisierung und Innovation im Bauwesen“ (KARIB) wurden die Verfahren zur Dokument-

analyse erweitert, um eine automatisierte Prüfung von Bauabrechnungen und Massenermittlungen zu ermöglichen. Eine besondere Schwierigkeit stellen hierbei Massenermittlungen dar. Die Variationsvielfalt an möglichen Inhalten und Darstellungen ist bei solchen Belegen besonders groß. Aufgrund einer fehlenden einheitlichen inhaltlichen Struktur können die Ergebnisse nicht in einer üblichen Erfassungsmaske dargestellt werden.

Mit Methoden der Freiform-Erkennung werden rechnerische Zusammenhänge in Massenermittlungen bei beliebiger Struktur erkannt. Die Ergebnisse der Analyse werden in einer bildhaften Darstellung angezeigt, wobei die rechnerischen Zusammenhänge für jeden beliebigen Wert in einem separaten Fenster dargestellt werden können (siehe Bild 1).



Bild 1

## Informationsextraktion aus dem Internet

### Die Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen.

Informationsgewinnung und Wissenserwerb sind die Basis des modernen Informationszeitalters. Aufgrund der Fülle an konventionellen und elektronischen Informationsangeboten gleicht die Suche nach relevanten Informationen jedoch häufig der Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen. Kommerzielle Internet-Suchmaschinen können das stän-

dig wachsende Bedürfnis nach einer qualitativ hochselektiven Filterung und der Extraktion themen- und benutzerspezifischer Information nicht erfüllen. Bei den heute angewendeten Suchverfahren ist das grundsätzliche Problem die Vernachlässigung des Kontextes, in dem die Suchbegriffe stehen. So unterscheiden diese Verfahren z. B. nicht, ob mit dem Suchbegriff „Koch“ eine Berufsbezeichnung oder ein Nachname gemeint ist. Zur Verbesserung der automatischen Suche ist es daher notwendig, die bisherigen Suchverfahren so zu erweitern, dass semantische Zusammenhänge ausgewertet werden. Im Projekt „Informationsextraktion aus dem Internet“ wurden neue Verfahren entwickelt, die semantische Aspekte berücksichtigen und damit das Auffinden der benötigten Information im Internet für ein klar abgestecktes Themengebiet vereinfachen. Typische Kategorien, in welche die Suche nach gewünschten Informationen eingeteilt werden kann, sind z. B. die Recherche nach modernen Produkten, das Finden von Institutionen oder Personen oder das Ermitteln von aktuellen Forschungsergebnissen.

### Gestufte Analyse

Die themenspezifische Internetsuche nutzt die Ergebnisse einer konventionellen Suchmaschine, die eine Vorauswahl von Treffern für eine spezifizizierte Anfrage liefert. Die meist sehr große Treffermenge der Suchmaschinen wird dann weiter untersucht. Jeder Treffer wird nach folgendem Ablauf in mehreren Stufen analysiert: Die entsprechende Internetseite wird geladen. Text und Layoutmerkmale der Seite werden bestimmt und in ein internes Format überführt. Hieraus werden weitere Layoutmerkmale abgeleitet, d. h. es wird bestimmt, welche Begriffe besonders hervorgehoben sind. Im nächsten Schritt wird eine allgemeine Dokumenttypklassifikation durchgeführt. Diese Klassifikation ist auch eine Grundlage für die Unterscheidung von relevanten und irrelevanten Dokumenten. Allgemeine Dokumentklassen sind z. B. „private Homepage“,



„Institution“, „Literaturverzeichnis“, „Projektbericht“, „Produktangebot“. Auf diese erste Einteilung baut dann die fachspezifische Klassifikation und Inhaltsanalyse auf, die je nach Anwendungsgebiet angepasst werden muss. Dabei werden die Dokumente abhängig von fachlichen Kriterien in anwendungsspezifische Klassen eingeteilt. Ebenso werden bei bestimmten Dokumententypen verschiedene Inhaltsangaben extrahiert. Der Ablauf der Analyse ist in dem nachfolgenden Bild dargestellt.

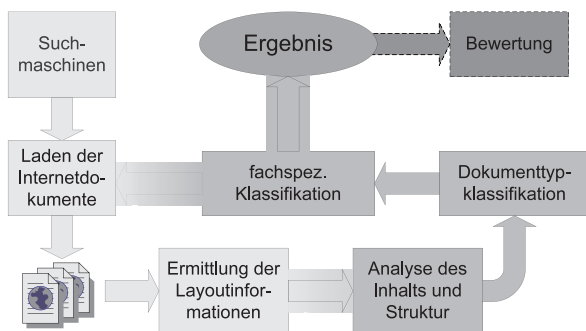


Bild 2

## Anwendungsbeispiel

Das nachfolgende Bild zeigt einen Bildschirmauszug für eine „Google“-Anfrage mit dem Begriff Radiologie. Nach dem Laden und der Analyse der ersten 59 Dokumente wurden 3 Seiten gefunden, die zu der vorher ausgewählten Klasse gehören.

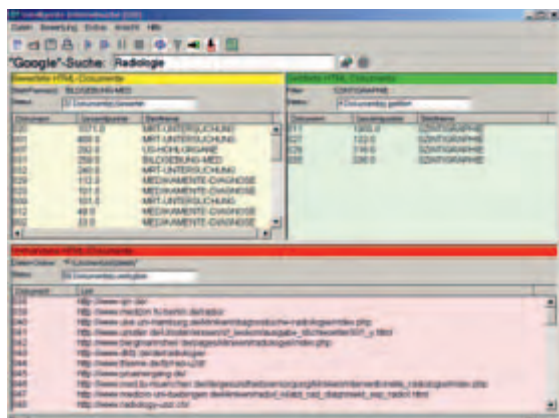


Bild 3

## Wissensportal für Baustoffe

In Kooperation mit Prof. Dr. Harald Beitzel (IBU, Institut für Bauverfahrens- und Umwelttechnik) und Prof. Dr. Norbert Kuhn (Umwelt-Campus Birkenfeld) werden im Rahmen des Kompetenzzentrums KARIB neue Verfahren für den Aufbau eines Wissensportals für Baustoffe entwickelt. In nahezu allen wirtschaftlich relevanten Gebieten ist die Menge an Wissen in den letzten Jahrzehnten stark gewachsen. Dies gilt auch für das Bauingenieurwesen und hier speziell für das Wissen über die verfügbaren Baustoffe bzw. Werkstoffe, wie z. B. Beton der neuen Generation. Hinzu kommt, dass diese neu entwickelten Produkte auch neue Verfahrenstechniken zur Herstellung und Verarbeitung erfordern. In fast allen Gebieten gibt es eine immer größere Zahl an Produktvarianten und Verfahrenstechniken. Auch Vorschriften und Normen werden ständig erweitert und nehmen an Umfang zu.

Die Methoden zur Dokumentanalyse und Internet-suche werden weiter entwickelt, um Werkzeuge zu schaffen, die den Umgang mit dem rasant wachsenden Wissen eines Fachgebietes zu erleichtern. Das verfügbare Wissen dieses Gebietes wird gesammelt, strukturiert, verknüpft und zur nachhaltigen Anwendung aufbereitet. Es ist geplant, das Portal als feste Einrichtung dauerhaft zu betreiben. Die Darstellung des Wissens soll so erfolgen, dass Anfragen und bestimmte Problemstellungen automatisch gelöst werden können. Insbesondere soll der Anwender hierbei zielgerichtet auf die relevanten Wissensquellen und Zusammenhänge hingewiesen werden.

## Kontakt:

Prof. Dr. Karl Hans Bläsius  
Institut für innovative Informatik-Anwendungen (i3A)  
blaesius@informatik.fh-trier.de



## Dokumentenerfassung und Dokumentenmanagement

Norbert Kuhn, Gisela Sparmann

Die intelligente Dokumentenerfassung und Dokumentverarbeitung hat sich durch verschiedene Projekt- und Diplomarbeiten und durch Drittmittelprojekte zu einem Schwerpunktthema innerhalb des ISS entwickelt. Beispielhaft werden hier zwei Projekte vorgestellt, die insbesondere auch die Zielsetzung der Barrierefreiheit für den Zugang zu Informationssystemen verfolgen.

### Projekt 1: LiveReader

Projektleitung: Prof. Dr. Norbert Kuhn  
Projektförderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit  
Projektstatus: abgeschlossen  
Partner: SilverCreations AG, Birkenfeld,  
<http://www.silvercreations.de>

### Kurzbeschreibung

Seit einigen Jahren steht durch die Entwicklung der Informationstechnologien einigen Gruppen behinderter Menschen eine völlig neue Form von Hilfsmitteln zur Verfügung.

Vorlesegeräte: Geräte, basierend auf einem Computer und geeigneter Software, ermöglichen es z. B. blinden Menschen, Schwarzschrift (Zeitungen, Bücher, ...) selbstständig „lesen“ zu können. Dabei ist die Gruppe der Anwender wesentlich größer. Sie reicht von Sehbehinderten und Blinden bis hin zu Analphabeten und Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche. Diese Systeme arbeiten mit Hilfe von Scannern, indem diese ein elektronisches Abbild des Schriftgutes fertigen, das mit moderner Software (Schrifterkennung) in (vor)lesbaren Text umgewandelt wird.

Ziel des Projektes LiveReader war es, Verfahren und Technologien zu entwickeln, damit die Erfassung der Dokumente statt mit einem Scanner mit Hilfe einer Digitalkamera erfolgen kann. Als Ergeb-

nis sollte sich der nachfolgend skizzierte Systemaufbau realisieren lassen (Bild 1).

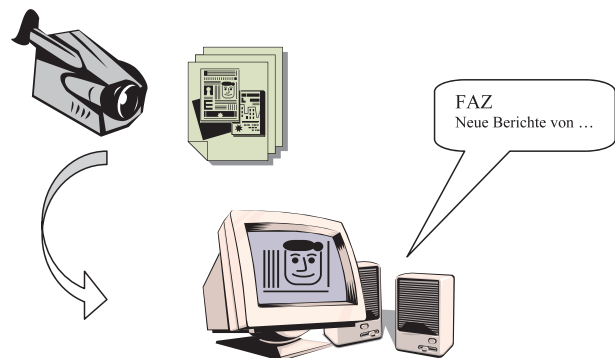


Bild 1: Systemaufbau LiveReader

Der Ersatz des Scanners durch die Kamera bietet einige Vorteile:

- bessere Handhabbarkeit
- schnellere Dokumentenerfassung
- Möglichkeit, andere Formate zu erfassen (z. B. Zeitungen)
- Möglichkeit der Integration von Bildschirmlesegeräten und Vorlesegeräten

Das Projekt verlief überaus erfolgreich. Die erzielten Ergebnisse Technologien und Komponenten könnten von der SilverCreations AG verwendet werden, um darauf aufbauend ein gleichnamiges Produkt zu entwickeln. Das System berücksichtigt in besonderer Weise die Bedürfnisse behinderter Menschen und wurde daher im Jahr 2004 mit dem Assistive Technology Award der Europäischen Kommission in der Kategorie „Lebenslanges Lernen“ ausgezeichnet.

### Projekt 2: Framework zur Abbildung von E-Government Genehmigungsverfahren (FABEGG)

Projektleitung: Prof. Dr. Gisela Sparmann,  
Prof. Dr. Norbert Kuhn



Projektförderung: Bundesministerium für  
Forschung und Technik  
Projektstatus: in Bearbeitung (Laufzeit:  
01.09.05–31.08.08)  
Partner: – SilverCreations AG, Birkenfeld,  
<http://www.silvercreations.de>  
– Zentrum für Telekommuni-  
kation und Technologietrans-  
fer (ZTT), Fachhochschule  
Worms, <http://ztt.fh-worms.de>

## **Kurzbeschreibung**

Wie viele Unternehmen versuchen auch öffentliche Verwaltungen und Behörden durch die Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechniken ihre Vorgänge effizienter und schneller abzuwickeln. Ein wesentlicher Beitrag dazu kann durch die Umstellung papiergebundener Vorgangsbearbeitung auf elektronische Ablaufsteuerung geleistet werden.

Das Projekt FABEGG dient diesem Zweck. Insbesondere sollen hier Vorgänge betrachtet werden, die zwischen Bürgern und Verwaltungen ablaufen. Von diesen läuft eine große Anzahl nach einem Antrag/Bescheid-Schema ab. Für die Kommunikation sowohl zwischen internen Sachbearbeitern selbst

sowie zwischen diesen und den antragstellenden Bürgern lässt sich die Internettechnologie gewinnbringend einsetzen.

Das ZTT verfügt für dieses Projekt über Erfahrungen aus einem Projekt, in dem die Antragstellung für Schwertransportgenehmigungen elektronisch unterstützt wurde. Das ISS bringt seine Erfahrung in der Erfassung und Bearbeitung papiergebundener Dokumente und die Gestaltung barrierefreier Benutzerschnittstellen mit ein.

Das Projekt wird als Open-Source-Projekt konzipiert, in dem Komponenten für die Realisierung von E-Governmentsystemen entwickelt und erprobt werden. Dabei werden bestehende Standards wie das DOMEA-Konzept (Dokumentenmanagement und elektronische Archivierung) oder der SAGA-Standard (Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen) selbstverständlich berücksichtigt.

## **Kontakt:**

Prof. Dr. Norbert Kuhn, Prof. Dr. Gisela Sparmann  
Institut für Softwaresysteme (ISS)  
[n.kuhn@umwelt-campus.de](mailto:n.kuhn@umwelt-campus.de), [g.sparmann@umwelt-campus.de](mailto:g.sparmann@umwelt-campus.de)

## Intelligente elektronische Handelsbörsen für Gebrauchsgüter

Norbert Kuhn, Rolf Krieger

### Kurzbeschreibung

Im Internet existiert mittlerweile eine Vielzahl von elektronischen Marktplätzen, die insbesondere für den Handel zwischen Unternehmen von erheblicher Bedeutung sind. Ein maßgeblicher Erfolgsfaktor dieser – im Regelfall datenbankgestützten – Marktplätze ist, wie leicht der Marktplatz für Kunden und Lieferanten nutzbar ist. Aus Kundensicht ist vor allem wichtig, wie gut sich geeignete Produkte bewertet finden lassen. Aber auch die Integrationsfähigkeit mit den innerbetrieblichen Informationssystemen ist insbesondere für die Automatisierung von Geschäftsprozessen von hoher Bedeutung.

Ziel des Projektes war die Analyse und Bereitstellung von Verfahren und Software-Komponenten, die Aufbau und Betrieb elektronischer Handelsbörsen vereinfachen. Zum einen wurden dazu Verfahren zur Integration von externen Datenbeständen entwickelt, zum anderen Verfahren zum Export von Produkten, Suchergebnisse und Klassifikationsschemata unter Berücksichtigung verschiedener Standards für den Datenaustausch. Als zweiter Schwerpunkt wurden Verfahren entwickelt und evaluiert, die in großen Produktdatenbeständen eine merkmalsbasierte Suche mit einem gewichteten Ergebnis ermöglichen. Als Anwendungsdomäne wurde der Handel mit gebrauchten Industriemaschinen betrachtet.

Während des Projektes wurden von uns neben Analyse der Anwendungsdomäne und Evaluierung einschlägiger Klassifikationssysteme und Katalogformate klassische Suchverfahren des Information und Text Retrieval auf ihre Verwendbarkeit für die Suche in Produktkatalogen hin untersucht. Darauf aufbauend wurde eine generische XML-basierte

Import- und Exportschnittstelle für Produktkataloge spezifiziert und implementiert. Für die merkmalsbasierte Produktsuche wurde ein mehrstufiges Verfahren entwickelt, das in Bild 1 dargestellt ist.

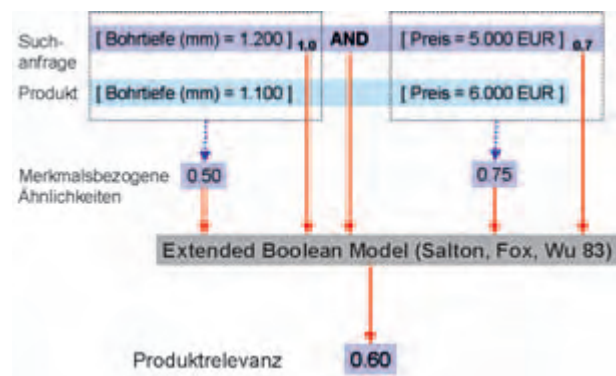


Bild 1: Verfahren für Produktsuche

Das Verfahren schränkt zunächst über Heuristiken die Anzahl der zu bewertenden Produkte ein. Anschließend bestimmt es für jedes Produktmerkmal die Ähnlichkeit mit den Merkmalswerten in der Suchanfrage über Zugehörigkeitsfunktionen der Fuzzy-Technologie. Die merkmalsbezogenen Ähnlichkeiten werden schließlich unter Berücksichtigung einer vom Benutzer vorgegebenen Gewichtung zu einer Produktrelevanz zusammengefasst. Somit werden Suchergebnisse genauer klassifiziert und können dem Benutzer nach dem Grad der Übereinstimmung sortiert zur Verfügung gestellt werden. Das Verfahren lässt sich auch zur automatischen Klassifikation vorhandener Produkte einsetzen. Die entwickelten Datenstrukturen und algorithmischen Verfahren wurden implementiert und evaluiert. Die Ergebnisse wurden auf einschlägigen Konferenzen publiziert.

Mit den Verfahrensbeschreibungen und den implementierten Software-Komponenten liegen den Betreibern von Internet-Marktplätzen Module vor, mit



denen Attraktivität und Effizienz eines Marktplatzes erhöht werden können. Durch die Einbindung von Standardformaten ergibt sich die Möglichkeit der Schaffung technologisch durchgängiger Prozesse bei der elektronischen Beschaffung. Zudem erlaubt die komponentenbasierte Entwicklung eine einfache und flexible Einbindung unserer Lösungen und somit eine schnelle Nutzung der gewonnenen Forschungsergebnisse. Nutzungsmöglichkeiten beschränken sich nicht auf die betrachtete Anwendungsdomäne, sondern finden sich in allen Bereichen des E-Commerce, die mit großen, strukturierten Produktdatenmengen arbeiten.

### **Veröffentlichungen zum Projekt**

Krieger, Rolf; Kuhn, Norbert; Mees, Michael; Naumann, Stefan; Schürmann, Cordula; Sommer, Christian: Verwendbarkeit von Klassifikationssystemen und Katalogstandards zum Aufbau von elektronischen Handelsbörsen für gebrauchte Maschinen. In: Weinhardt, Christof; Holtmann, Carsten (Hrsg.): E-Commerce: Netze, Märkte, Technologien. Physica-Verlag, Heidelberg, September 2002  
Naumann, Stefan; Krieger, Rolf; Kuhn, Norbert; Schürmann, Cordula; Sommer, Christian: Such-

und Klassifizierungsstrategien in elektronischen Produktkatalogen. In: Uhr, Wolfgang; Esswein, Werner; Schoop, Eric (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik 2003. Medien, Märkte, Mobilität. Band I. Physica-Verlag, Heidelberg, September 2003  
Naumann, Stefan; Krieger, Rolf; Kuhn, Norbert; Schürmann, Cordula; Sommer, Christian: Adaption von Information Retrieval-Verfahren zur automatisierten Produktsuche und -klassifikation. In: Dittich, Klaus; König, Wolfgang; Oberweis, Andreas; Rannenber, Kai; Wahlster, Wolfgang (Hrsg.): Informatik 2003. Innovative Informatikanwendungen Band 2. Lecture Notes in Informatics (LNI), Volume P-35, Bonn, Oktober 2003  
Naumann, Stefan; Krieger, Rolf; Kuhn, Norbert: Process Models and Software Components for Electronic Market Places of Used Products and Services. In: Proceedings of the EnviroInfo 2004 Conference, Geneva 2004

### **Kontakt:**

Prof. Dr. Norbert Kuhn, Prof. Dr. Rolf Krieger  
Institut für Softwaresysteme (ISS)  
n.kuhn@umwelt-campus.de, r.krieger@umwelt-campus.de



## Die MBA-Deponie – Änderung der Inventareigenschaften und Auswirkungen auf den Deponiebetrieb

Gerhard Rettenberger, Patrick Reinert

### Einleitung

Mit dem Erlass der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) vom 20. Februar 2001 wird durch den Gesetzgeber die Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen in der Bundesrepublik Deutschland geregelt. Nach der Verordnung besteht ein Ablagerungsverbot für Abfälle, deren Anteil an organischem Trockenrückstand der Originalsubstanz, bestimmt als TOC, größer 18 Masse-% (oder Heizwert 6000 kJ/kg) bzw. die Atmungsaktivität ( $AT_4$ ) größer 5 mg/g ist [1]. Seit Ende der Übergangsfrist am 31.05.2005 ist somit ein mechanisch-biologisch vorbehandeltes Material abzulagern, welches zwar die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Parameter einhält, aber dessen geotechnische Eigenschaften bislang noch nicht bekannt sind.

Trotz einer relativ hohen Zahl von durchgeführten Untersuchungen bemängeln die Experten der Abfallwirtschaft ein deutliches Defizit bei den Übertragungs- und Interpretationsmodellen. In der einschlägigen Literatur wird auf die Notwendigkeit von Langzeituntersuchungen im großtechnischen Maßstab hingewiesen. Dieser Mangel an Wissen und Erfahrung auf dem Bereich der Ablagerungseigenschaften des mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfalls soll durch ein umfassendes Forschungsprojekt abgestellt werden.

### Materialeigenschaften

Siedlungsabfälle haben nach mechanisch-biologischer Behandlung im Gegensatz zu nicht vorbehandelten Abfällen völlig unterschiedliche bodenmechanische Eigenschaften. Dies äußert sich insbesondere in den erreichbaren Dichten und den

Durchlässigkeiten. In Tabelle 1 [1] sind von verschiedenen Proben aus einer bereits seit längerer Zeit betriebenen MBA-Anlage Daten zusammengestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Rotte-dauern noch nicht denen entsprechen, die derzeit üblich sind.

Probe	$t_c$ [Wochen]	$\phi_{max}$ [mm]	$\rho_p$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$w_p$ [%]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$k_f$ -Wert [m/s]		
						$i=10$	$i=20$	$i=30$
LBII-1-40	6	<40	0,89	54,8	0,87	$7,02 \times 10^{-7}$	$1,89 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-8}$
LBII-2-40	6	<40	0,85	49,7	0,85	$3,17 \times 10^{-10}$	$5,87 \times 10^{-10}$	$1,61 \times 10^{-9}$
LBII-2-60	6	<60	0,82	41,0	0,80	$2,49 \times 10^{-8}$	$6,92 \times 10^{-8}$	$1,79 \times 10^{-7}$
LB III-1-40	10	<40	0,91	49,5	0,88	$5,50 \times 10^{-9}$	$2,48 \times 10^{-7}$	$1,78 \times 10^{-7}$
LB III-2-40	10	<40	0,86	59,9	0,85	$1,17 \times 10^{-10}$	-	$7,76 \times 10^{-10}$
LB III-2-60	10	<60	0,82	59,0	0,80	$1,24 \times 10^{-8}$	$1,27 \times 10^{-7}$	$2,04 \times 10^{-7}$

$t_c$  - Rottezeit,  $\phi_{max}$  - Durchmesser des Größtkorns,  $\rho_p$  - Proctordichte,  $w_p$  - Proctorwassergehalt,  $\rho$  - Einbaurohdichte

Tabelle 1: Werte von Proctor- und Durchlässigkeitsuntersuchungen an MBA-Materialien [2]

Wie aber aus dieser Tabelle 1 ersichtlich ist, liegen die Trockendichten zwischen 0,82 und 0,91 g/cm<sup>3</sup>. Die Proctorwassergehalte sind stark schwankend und liegen zwischen 41,0 und 59,9 %. Dies entspricht einem auf die Feuchtmasse bezogenen (abwassertechnischen) Wassergehalt von 29,2 bis 37,7 %. Es wird also deutlich, dass die Proctorwassergehalte erheblichen Schwankungen bei unterschiedlichen Materialien unterliegen. Die Feuchtedichte ergibt sich dabei zwischen 1,15 und 1,38 g/cm<sup>3</sup>.

Bei einem Gradienten  $I = 30$  wurde nach Tabelle 1 ein Werteband von  $2 \times 10^{-6}$  m/s bis  $7,76 \times 10^{-10}$  m/s gefunden. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass der  $k_f$ -Wert sich über die Zeit verändert, wie aus dem Bild 1 zu entnehmen ist. Hier ist das Ergebnis eines Langzeittests über ca. 450 Tage angegeben. So nimmt hier bei einem konstanten Gradienten der  $k_f$ -Wert von ca.  $1 \times 10^{-9}$  m/s auf ca.  $5 \times 10^{-10}$  m/s ab.

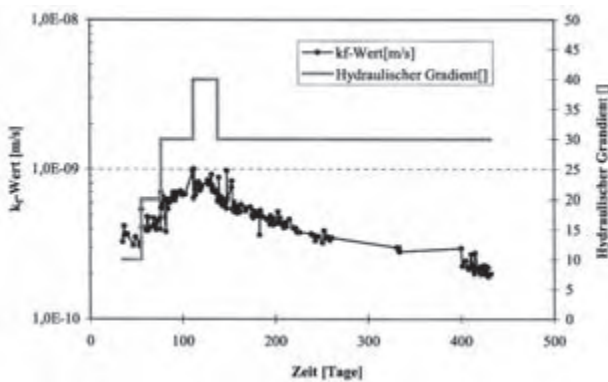


Bild 1: Verlauf des  $k_f$ -Wertes über die Zeit bei einem MBA-Material [2]

Somit ist ersichtlich, dass sich mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle mit einer hohen Dichte einbauen lassen, wobei die Abfälle dann nur noch eine geringe Durchlässigkeit aufweisen. Würde man die Abfälle nicht mit einer hohen Dichte einbauen, dann müsste gleichwohl davon ausgegangen werden, dass sich die Abfälle unter Auflast über eine bestimmte Zeit nachverdichten werden, was wiederum zu einer Abnahme der Durchlässigkeit führen wird. Aber auch ohne diesen Effekt wird die Durchlässigkeit des Abfallkörpers im Laufe der Zeit abnehmen. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Deponien, sofern Wasser hinzutreten kann, im Laufe der Zeit aufsättigen werden, so dass es im Laufe der Zeit auf solchen Deponieflächen Pfützenbildung mit einer Moorbildung geben könnte. Entsprechende Gegenmaßnahmen müssten getroffen werden.

### Auswirkungen auf den Deponiebetrieb

Nach der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagereungsverordnung – AbfAbIV) vom 20. Februar 2001 können Abfälle nach mechanisch-biologischer Behandlung unter bestimmten Voraussetzungen abgelagert werden. Zu diesen Voraussetzungen gehören:

- Die Deponie oder der Deponieabschnitt muss die Anforderungen für die Deponieklasse II erfüllen.
- Die Abfälle müssen die entsprechenden Zuordnungskriterien einhalten.
- Eine Überlagerung bereits abgelagerter Abfälle darf diese nicht beeinträchtigen.
- Verwertbare oder schadstoffhaltige Fraktionen müssen aus dem Abfall getrennt sein.

Insbesondere wird in der Verordnung verlangt, dass die Anforderungen nach Nr. 10 der TA Siedlungsabfall eingehalten werden. Dies trifft im Grunde den gesamten Normungsbereich der TA Siedlungsabfall für Deponien. Dazu hin müssen Restgasemissionen durch eine Fremdkontrolle nach Anhang C zweimal jährlich mittels FID überprüft werden. Weiterhin wurden an den Einbau von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen Anforderungen in Anhang 3 der Abfallablagereungsverordnung festgelegt. Dabei wurden folgende wesentliche Vorgaben gemacht:

- Die Einbaufäche ist auf das geringst mögliche Maß zu begrenzen.
- Nicht beschickte Flächen sind abzudecken.
- Das Oberflächenwasser ist kontrolliert abzuleiten.
- Der Einbaubereich ist arbeitstägig mit einem Gefälle zwischen 5 und 10 % zu profilieren.
- Die Oberfläche ist zu glätten und mit wasserundurchlässigen Materialien abzudecken.
- Der Abfall ist im Dünnschichtverfahren hoch verdichtet einzubauen. Um dies zu erreichen, ist die Einstellung eines optimalen Wassergehaltes vorzunehmen. Die entsprechenden Daten sind in einem Versuchsfeld zu ermitteln. Die so festgelegten Werte sind während des Deponiebetriebes nachzuweisen.

Damit sind an den Betrieb von Deponien zur Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen einerseits die Anforderungen nach TA

Siedlungsabfall voll umfänglich gestellt und andererseits noch zusätzliche Forderungen festgelegt worden. Die Deponiebetreiber sind somit nicht nur gehalten, ein völlig neuartiges Einbaukonzept zu vollziehen, sondern müssen auch auf die konkreten Eigenschaften des gerade einzubauenden Abfalls achten. Hierzu gehört u. a. die möglicherweise mehrfach tägliche Bestimmung des Wassergehaltes. Dabei wurden diese Vorgaben aus Versuchsdeponien begründet abgeleitet [4].

Die aktuellen Erfahrungen mit MBA-Deponien sind noch uneinheitlich, da nur wenige Deponien aktuell ausreichend vorbehandeltes Material zur Deponierung angeliefert bekamen [3]. Auf einer Deponie in Süddeutschland wird bereits seit Anfang des Jahres 2005 mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfall, der den Kriterien der Ablagerungsverordnung entspricht, deponiert.

Die Anlieferung des Materials erfolgt mittels Containerfahrzeugen. Die Container werden oberhalb der eigentlichen Einbaufläche entleert. Anschließend wird das MBA-Material mit einem Radlader zu einem Haufwerk aufgeschüttet. Bis eine ausreichende Menge und passendes Wetter für den Einbau gegeben ist, bleibt das Material in der Aufschüttung abgedeckt liegen. Die Abdeckung wird mittels einer Silofolie vorgenommen (Dicke 0,2 mm), die dachziegelartig angelegt wird, um das Eindringen von Oberflächenwasser zu verhindern.

Wird eine ausreichend lange Schönwetterlage vorhergesagt und ist genügend Material vorhanden, wird die Folie von dem angeschütteten Haufwerk und der Einbaufläche entfernt. Diese Arbeit erfolgt händisch und erfordert ca. 12–16 Arbeitsstunden.

Der Einbau unmittelbar über der Dichtungsschicht wurde zunächst mit 1 % Gefälle begonnen. Eine

Anpassung an die geforderten Gefälle von 5 bis 10 % erfolgt, sobald es die Höhe der Schüttung zulässt. Die Verteilung des Abfalls auf der Einbaufläche erfolgt mittels einer Raupe mit einem Gewicht von 22 Mg und einer Kettenbreite von 60 cm problemlos. Zusätzlich steht für diese Verteilung des Abfalls ein Radlader zur Verfügung. Zur Vorbereitung eines Dünnschichteinbaus wird der Abfall durch die Raupe mit einer Schichtstärke von ca. 40 cm auf den Deponiekörper aufgebracht. Dabei wird das Material bereits vor der eigentlichen Verdichtung mehrfach überfahren und somit vorverdichtet (Bild 2).



*Bild 2: Verteilung des MBA-Materials auf der Einbaufläche*

Das so vorverdichtete Material wird anschließend mit einer Schafffußwalze hoch verdichtet eingebaut. Der verwendete Walzenzug hat ein Gewicht von ca. 12,9 Mg und eine Arbeitsbreite von 2,1 m. Zur Erreichung der geforderten Werte muss das MBA-Material mindestens dreimal überfahren werden. Durch den Verdichtungsprozess mit zugeschalteter Vibration sinkt die Einbauhöhe von ca. 40 cm auf eine Schichtstärke von ca. 30 cm. Bei Einbau des Materials unmittelbar über der Basisabdichtung



darf das Rüttelwerk nicht zugeschaltet werden, da es zu einer Beschädigung der Basisabdichtung kommen könnte. Daher muss der untere Bereich einer MBA-Deponie modifiziert aufgebaut werden, um für die erste verdichtete Schicht eine ausreichend stabile Unterlage ausbilden zu können.

Durch die Verdichtung mit der Schaffußwalze entstehen entsprechende Löcher an der Oberfläche, die noch einmal mit einer Glattmantelwalze nachbearbeitet werden (Bild 3).



*Bild 3: Verdichtung des MBA-Materials*

Zur Erfüllung der Vorgaben aus der Ablagerungsverordnung wird die so hergestellte Oberfläche mit einer Folie, die an den Randbereichen und in der Fläche durch Sandsäcke oder Altreifen gegen Windeinwirkung gesichert wird, abgedeckt. Die Abdeckung erfolgt dachziegelartig, um einen Zutritt von Oberflächenwasser in den Deponiekörper zu verhindern. Die Abdeckung der Einbaufläche erfordert ein Arbeitsaufwand von ca. 14 Mannstunden.

### **Ausblick**

Wie aus obigen Ausführungen hervorgeht, müssen zum Einbau von MBA-Material neue Deponietechniken zur Anwendung kommen. Dies erfordert

ohne Zweifel neue Maschinenteknik (Verdichtung), aber auch neue baubetriebliche Abläufe (Einstellung der Wassergehalte im angelieferten Material, Abdeckung) und Überwachung (z. B. Wassergehaltsbestimmungen). Daneben müssen die technischen Voraussetzungen bei den Deponien geschaffen werden (u. a. die Basissicherung, die Gaserfassung, die Oberflächenwasserableitung und -entsorgung).

Allerdings sind noch einige Punkte ungeklärt. Diese betreffen insbesondere die Langzeitabläufe im Deponiekörper. So ist eine Aussage über den Verlauf des Wassergehaltes sowie der Porenwasserdrücke im Deponiekörper noch nicht gesichert möglich. Es zeigte sich zwar an den bisherigen Versuchsdeponien, dass die Ausbildung von Porenwasserdrücken nicht zu kritischen Zuständen führt, was auch auf Grund der Durchlässigkeiten nicht zu erwarten ist, die genauen Bedingungen sind aber gleichwohl noch nicht bekannt. Auswirkungen auf den Aufbau des Deponiekörpers und insbesondere die Aufbaugeschwindigkeit könnten gegeben sein.

Insgesamt hat sich aber gezeigt, dass die MBA-Deponie zu einer völlig neuartigen Deponieform geführt hat, die vor allem durch nur noch geringste Emissionen geprägt ist.

### **Literatur**

- [1] Anonym 2001: AbfAbIV – Abfallablagerungsverordnung (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen vom 20. Februar 2001
- [2] M. Xie: Untersuchungen zur Verwertung von Abfällen in Abdichtungssystemen für Deponien und Altablagerungen. In Trierer Geologische Arbeiten, Band 6. 2003. Selbstverlag des Lehrstuhls für Geologie an der Universität Trier
- [3] G. Rettenberger: Rückbauen und Abgraben von



Deponien und Altablagerungen. Verlag Abfall aktuell. 1998.

- [4] G. Rettenberger und K. Fricke: Schicht auf Schicht. Eine optimierte Deponietechnik für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle wird den Anforderungen aus dem Gleichwertigkeitsnachweis gerecht. In: Müllmagazin, Heft 4, 1999.

**Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Rettenberger, Dipl. Ing. (FH)  
Patrick Reinert  
Fachbereich Bauingenieurwesen, Lebensmittel-  
technik und Versorgungstechnik  
rettenberger@web.de, lufa@fh-trier.de



## Hochwasserrückhaltmaßnahmen in Waldgebieten

Joachim Sator

### 1. Allgemeines

Das im Auftrag des saarländischen Ministeriums für Umwelt bearbeitete Projekt „Hochwasserrückhaltmaßnahmen in Waldgebieten“ ist Teil des von der EU co-finanzierten Verbundvorhabens „Water Retention by Landuse“ ([www.WaReLa.de](http://www.WaReLa.de)) im Rahmen des Interreg III B NEW Programms.

Unter Leitung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz in Trippstadt bearbeiten 11 Partnerinstitutionen aus Deutschland, Luxemburg, Frankreich und der Schweiz das vom 11.09.2002 bis zum 31.12.2006 laufende Gesamtprojekt WaReLa. Der Projektbeirat umfasst Mitglieder aus Deutschland, Luxemburg, Frankreich, Schweiz, Österreich und England. Das Gesamtbudget (incl. Maßnahmenumsetzung) beläuft sich auf 6.563.791,00 Euro.



Bild 1: Projektpartner und -gebiete des WaReLa-Projekts

### 2. Aufgabenstellung und Konzeption des Gesamtprojekts (WaReLa)

Neben den Hochwasserkatastrophen an den großen Flüssen sind die Hochwasserereignisse an den kleineren und mittleren Zuflüssen von erheb-

licher Bedeutung. Bei einer effektiven Hochwasservorsorge müssen ingenieurtechnische Maßnahmen zum Hochwasserschutz an den Flüssen durch ein integriertes Einzugsgebietsmanagement unterstützt werden. Dies sind Maßnahmen des vorbeugenden Wasserrückhaltes durch die Flächenbewirtschaftung, also Maßnahmen der Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und Maßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich. Darüber hinaus sollen, wo immer möglich, ehemals vorhandene Überschwemmungsgebiete wieder in das Abflussgeschehen einbezogen werden. Allerdings gibt es bisher eine nur geringfügige Integration von Wasserwirtschaft und Landnutzungsmanagement. Maßnahmen zum Wasserrückhalt in Einzugsgebieten haben positive Wirkungen im unmittelbaren örtlichen Zusammenhang. Aber es gibt bislang keine Übertragungsfunktionen von örtlichen Wirkungen auf die großräumliche Effektivität und damit ihre ökonomisch-ökologische Effizienz.

Daher werden in diesem Forschungsprojekt die Effektivität von wasserrückhaltenden und abflussverzögernden Maßnahmen bei der Bewirtschaftung von Waldflächen, landwirtschaftlichen Nutzflächen, Gewässern und Auen sowie im Siedlungs- und Verkehrsbereich in kleinen Raumeinheiten gemessen und auf große Raumeinheiten übertragen. Außerdem wird deren (Öko-) Effizienz bewertet. Effiziente Maßnahmen werden in ein Expertensystem für die Raumplanung eingebunden, das sowohl die sehr unterschiedlichen Landnutzungsmöglichkeiten, die Landschaftsstruktur, die standortstypischen Eigenschaften und auch mögliche meteorologische Situationen berücksichtigt.

Damit will dieses Projekt folgende Zielsetzung erreichen:

- Quantifizierung des Einflusses von Landnutzung, Landschaftsstrukturen und Geofaktoren auf die Hochwasserentstehung.
- Umsetzung von Landnutzungsmaßnahmen im Bereich der Forst- und Landwirtschaft, in den Gewässern und Auen sowie in der Siedlungs- und Verkehrswirtschaft zur Hochwasservorsorge und Quantifizierung der daraus resultierenden Wasserrückhaltepotenziale durch Messungen und Niederschlags-Abfluss-Modelle (NA-Modelle).
- Simulation von möglichen Maßnahme-Szenarien in den Projektgebieten und Beurteilung der ökonomischen, ökologischen und wasserwirtschaftlichen Effizienz und Effektivität im Rahmen einer Ökoeffizienzanalyse.
- Ausarbeitung von raumplanerischen Steuerungselementen für ein transnationales Flussgebietsmanagement zur Hochwasservorsorge.

In WaReLa werden zudem neue Instrumentarien entwickelt und erprobt, z. B. die Einbindung von GIS- und EDV-gesteuerten Systemen zur Bewertung der ökonomischen Folgen und der Ökoeffizienz von hochwasservorsorgenden Landnutzungsmaßnahmen. Potentielle Nutzer dieses Systems zur Entscheidungsfindung (Decision Support System – DSS) sind Landwirte, Forstleute, Wasserwirtschaftsverwaltungen, Raumplanungsorganisationen und -behörden sowie Ingenieurbüros in den Ländern des nordwesteuropäischen Raumes mit Mittelgebirgsstruktur. WaReLa möchte das Verständnis der Landnutzer in den Einzugsgebieten für die Nöte der Flussanlieger wecken und einen sozialen Konsens zwischen den unterschiedlichen Interessen fördern. Daher müssen alle raumplanenden und – bewirtschaftenden Gruppierungen – Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Weinbau, Siedlungswirtschaft, Verkehr und Straßenbau gemeinsam mit der Wasserwirtschaft bei der Raum- und Landnutzungsplanung im Hinblick auf Hochwasservorsorge kooperieren.

Beispielsweise wird der hydroökologische Gesichtspunkt eines möglichst hohen Retentionsvermögens von Wasser in Waldgebieten und seines zeitlich verzögerten Abflusses aus dem Wald im besonderen Maße berücksichtigt durch:

- einen Waldbau mit ökologisch stabilen, naturnahen Waldgesellschaften
- die Erhaltung von Bruchstandorten und Feuchtbiotopen
- die schonende Bewirtschaftung von Bachauen mit Berücksichtigung der Eigendynamik der Waldgewässer
- Unterstützung und Entwicklung bodenschonender Bewirtschaftungstechnologien zur Vermeidung von Linienstrukturen im Wald
- die Reduktion jeglicher Bodenbearbeitung auf das absolut notwendige Maß
- die Reduktion der Wegedichte und Entwässerung des Waldwegenetzes in angrenzende Waldbestände
- Schaffung von Retentionsräumen (miteinander vernetzte, antizyklisch entleerende Rückhaltebecken)

### 3. Details des Teilprojekts der FH Trier

Die hier zu untersuchenden Hochwasserrückhaltemaßnahmen in Waldgebieten umfassen

- den Ersatz der Ableitungssysteme des Wegenetzes durch großflächige, seitliche Versickerung
- die naturnahe Waldbewirtschaftung, um z. B. die Bodenverdichtung zu minimieren oder um Kahlschläge und Windbruch in Monokulturen mit entsprechender Einschränkung der Transpirationsverdunstung zu vermeiden
- Kleinerückhalte zur zeitlichen Abflussverzögerung und Scheiteldämpfung.

Eine Quantifizierung ihres Einflusses auf den Hochwasserabfluss ist auf theoretischem Wege allerdings nur sehr eingeschränkt möglich, da die Mechanismen der Hochwasserentstehung (Weg

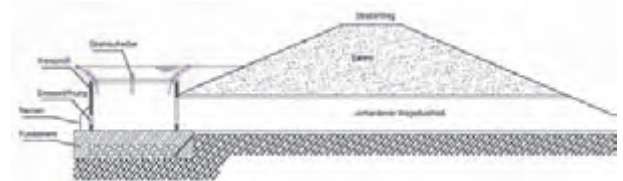


des Niederschlags ins Gewässer) gemäß jüngeren Literaturstudien sehr komplex und noch nicht ausreichend erforscht sind. Dies liegt u. a. daran, dass Hochwasserwellen oft zum größten Teil (bis zu 80 %) aus Altwasser bestehen, d. h. aus älterem Grundwasser und ausgedrücktem Bodenwasser, das bereits zu Beginn des aktuellen Niederschlagsereignisses im Einzugsgebiet gespeichert war. Dagegen spielt der Oberflächenabfluss meist nur eine untergeordnete Rolle. Es besteht daher z. B. die Gefahr, dass der Effekt von reinen Versickerungsmaßnahmen überschätzt wird. Einen Untersuchungsschwerpunkt sollten folglich Maßnahmen bilden, die zur Erhöhung der Transpiration beitragen und so das im Hochwasserfall zur Verdrängung bereitstehende Altwasser reduzieren. Näherungsweise physikalisch basierte Modelle können diese Zusammenhänge im konkreten Einzelfall zwar größenordnungsmäßig erfassen, jedoch ist der hierzu erforderliche Datenaufwand (insbesondere hinsichtlich der Untergrundparameter) so hoch, dass solche Modelle aus wirtschaftlicher Sicht nur für kleinräumige Testgebiete in Frage kommen. Spätestens bei der Übertragung auf größere Einzugsgebiete („upscaling“) muss daher auf bewährte praxistaugliche, sog. konzeptionelle NA-Modelle zurückgegriffen werden. Sie erfordern einen vertretbaren Datenaufwand und können anhand von Gewässerpegeln kalibriert werden. Zur Untersuchung der hochwasserdämpfenden Wirkung von naturnahen Maßnahmen bieten sich folglich in erster Linie kleinere Referenzgebiete von einigen km<sup>2</sup> Größe an, die durch Abflusspegel und ein dichtes Netz von Niederschlagsschreibern beobachtet werden.

Für Maßnahmen zur zeitlichen Verzögerung des Abflusses ist ihre Lage im Einzugsgebiet zu beachten. Dies betrifft kleine Rückhalteräume (Flutmulden, ehemalige Fischteiche, Einstau von Wegedämmen etc.) sowie den Rückbau von wegebegleitenden Entwässerungsgräben. Die Wirkung auf die Gesamtwelle durch günstigere Überlagerungsmechanismen mit den übrigen Gebietszuflüssen ist umso größer, je weiter bach-/flussaufwärts diese Maßnahmen angeordnet werden.

In den zwei pegelbeobachteten Referenzgebieten „Obere Blies“ (8,4 km<sup>2</sup>) und „Holzbach“ (3,5 km<sup>2</sup>) werden die o. g. Maßnahmen näher untersucht und die daraus gewonnenen Ergebnisse mittels einem konzeptionellen NA-Modell auf die Flussgebiete der Blies und der Prims übertragen (upscaling).

Bild 2: Kleinrückhalt durch Einstau von vorhandenen



Wegedämmen (Mönchbauwerk zur Drosselung des Durchlasses und zur Notentlastung)

#### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Sator  
Fachbereich Bauingenieurwesen, Lebensmittel-  
technik und Versorgungstechnik  
sator@fh-trier.de



## Stoffstrommanagement als Werkzeug für eine nachhaltige Entwicklung

Peter Heck, Klaus Helling, Sandra Frorath, Björn Becker

### 1. Einleitung

Der Nachhaltigkeitsrat, ein Beratungsgremium der Bundesregierung, definiert nachhaltige Entwicklung wie folgt: „Nachhaltige Entwicklung heißt, Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen. Zukunftsfähig wirtschaften bedeutet also: Wir müssen unseren Kindern und Enkelkindern ein intaktes ökologisches, soziales und ökonomisches Gefüge hinterlassen. Das eine ist ohne das andere nicht zu haben.“ Die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung ist allgemein anerkannt. Doch wie kann dieses manchmal abstrakt erscheinende Ziel erreicht werden?

Das 2001 gegründete Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) der Fachhochschule Trier setzt in seinen praxisbezogenen Projekten im In- und Ausland sehr erfolgreich das Werkzeug des „Stoffstrommanagements“ ein. Das Ziel des Stoffstrommanagements besteht darin, die in einer Region vorhandenen Stoff- und Energieströme unter Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren zu optimieren und somit die nachhaltige Entwicklung voranzutreiben. In dem vorliegenden Beitrag wird zuerst die Idee des Stoffstrommanagements sowie das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement vorgestellt. Dabei werden die Forschungsschwerpunkte und Zielgruppen erläutert. Die kurze Beschreibung ausgewählter Projekte veranschaulicht die Arbeitsfelder des Instituts. Anschließend wird das Projekt „Zero-Emission-Village Verbandsgemeinde Weilerbach“ detaillierter vorgestellt und so die Vorgehensweise in regionalen Stoffstrommanagement-Projekten praxisnah dargestellt. Nach dem

Projektbeispiel erfährt der Leser mehr über den kürzlich an Prof. Dr. Heck verliehenen B.A.U.M. Umweltpreis 2005. Der Bericht schließt mit den Kontaktdaten und Hinweisen auf weiterführende Literatur.

Über diesen Artikel hinausgehende Informationen sind auf der Internetseite des Instituts unter [www.ifas.umwelt-campus.de](http://www.ifas.umwelt-campus.de) zu finden.

### 2. Idee des Stoffstrommanagements

Angestoßen durch die Arbeiten der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages Anfang der neunziger Jahre hat der Begriff des Stoffstrommanagements Einzug in die Umweltdebatte in Deutschland gehalten und wurde definiert als „... das zielorientierte, verantwortliche, ganzheitliche und effiziente Beeinflussen von Stoffströmen“. Stoffstrommanagement ist eine strategische Kooperation von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette in Betrieben und Regionen. Dabei werden vorhandene Ansätze der Ver- und Entsorgung, des Umweltmanagements und der Wirtschaftsförderung miteinander verknüpft.

Die Zielsetzung besteht in einer umweltgerechten und effizienten Lenkung von Stoffströmen, Materialien und Produkten über deren gesamten Lebensweg hinweg. Somit ergänzt dieser Ansatz den auf Produkte und Produktion ausgerichteten integrierten Umweltschutz durch überbetriebliche Komponenten. Stoffstrommanagement wird im IfaS daher nicht nur als betriebliche Aufgabe gesehen, sondern gewinnt insbesondere im überbetrieblichen und regionalen Kontext an Bedeutung. Stoffstrommanagement wird als ein Werkzeug zur zielgerichteten, effizienten Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung verstanden. Es soll die Erreichung ökonomischer, ökologischer und sozialer



Ziele ermöglichen und ist somit ein Werkzeug zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit.

Stoffstrommanagement ist als konsequente, nachhaltige und umfassende Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaftsidee zu verstehen. Dies bedeutet, dass ein so verstandenes und angewandtes Stoffstrommanagement den von Wissenschaft und Politik geforderten Ansatz des „begin of the pipe“ umsetzt. Zudem berücksichtigt es Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Stoffen und Stoffströmen und beachtet Aspekte einer Region bzw. eines Standortes.

Stoffstrommanagement – egal ob bei Unternehmen oder Kommunen angewendet – besitzt dadurch eine hohe Relevanz für die Gesamtgesellschaft.

Um die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Ziele von Stoffstrommanagement zu erreichen, sind wesentliche Erfolgsfaktoren notwendig, um die Innovations- und Optimierungspotenziale aufzudecken und eine Realisierung vorzubereiten. Folgende Faktoren machen eine Erkennung und Aktivierung dieser Potenziale möglich:

- Detaillierte Analyse der Stoffströme (Erfassen, Bewerten, Verknüpfen) und Entwicklung einer Strategie
- Kenntnis der Schlüsselakteure auf kommunaler Ebene (Wirtschaft, Landwirtschaft, Politik, sozialer Bereich, Verwaltung etc.) bzw. bei Unternehmen aus den Abteilungen (Produktion, Entsorgung, Verwaltung etc.)
- Entwicklung und Aufbau einer Kommunikationsstrategie und eines Kommunikationsnetzwerks zwischen den Akteuren
- Entwicklung von Projekt- und Geschäftsplänen für die Durchführung des Stoffstrommanagements

### **3. Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)**

Der Umwelt-Campus Birkenfeld war als rheinland-pfälzisches Außenprojekt an der Weltausstellung „EXPO 2000“ beteiligt. In diesem Zusammenhang wurden erste Projekte und Studien im Bereich des angewandten Stoffstrommanagements durchgeführt. Nach einer 18-monatigen Vorlaufphase konnte im Oktober 2001 das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) offiziell von den vier Professoren Dr. Peter Heck, Dr. Klaus Helling, Dr. Alfons Matheis und Dr.-Ing. Michael Bottlinger aus den Bereichen Wirtschaft, Politik, Ökologie, Technik und Kommunikation gegründet werden. Der Inhaber der Professur für Ökologische Ökonomik und Steuern, Prof. Dr. habil. Dirk Löhr, ergänzt seit 2003 das Kompetenzprofil. Seit 2004 verstärkt Prof. Dr. Klaus Rick das IfaS und bringt seinen Schwerpunkt der Nachhaltigen Unternehmensführung mit in das Institut ein.

Zurzeit ist das IfaS mit fast 20 festangestellten Mitarbeitern in einer Vielzahl von nationalen und internationalen Forschungsprojekten tätig. Im Folgenden werden die Schwerpunkte sowie einige Projektbeispiele erläutert, welche die Arbeit des IfaS veranschaulichen.

#### **3.1 Ziele und Aufgaben des IfaS**

Das IfaS hat sich zum Ziel gesetzt, die nachhaltige Optimierung von regionalen und betrieblichen Stoffströmen in konkreten, praxisnahen Projekten zu fördern und im Bereich der internationalen nichtakademischen und akademischen Fort- und Weiterbildungen die Lehre im Bereich des Stoffstrommanagements zu vermitteln. Die Philosophie des IfaS sieht den intelligenten und ressourceneffizienten Umgang mit Stoffen weniger als ein technisches sondern vielmehr als ein Managementproblem. Das IfaS verfolgt einen



businessorientierten Ansatz zur Umsetzung der Agenda 21 (Nachhaltigkeitsstrategie).

Die Aufgaben des IfaS, das gleichzeitig Kompetenzzentrum des Landes Rheinland-Pfalz für angewandtes Stoffstrommanagement ist, werden im Folgenden kurz aufgezählt.

- Projektentwicklung, Projektmanagement und Optimierung
- Kommunalberatung
- Beratung von KMU der Umwelttechnologiebranche
- Studien und Gutachten
- Angewandte Forschung und Entwicklung
- Nachhaltiger Technologietransfer
- Wissenstransfer, Softwareentwicklung, Aufbau von Datenbanken
- Aus-, Weiter- und Fortbildung
- Fundraising und Financial Engineering (Bsp. Kyoto Protokoll Mechanismen)

Das Non-Profit-Institut IfaS finanziert sich hauptsächlich aus Projekten der angewandten Forschung vor allem in den Bereichen des regionalen und betrieblichen Stoffstrommanagements (Biomasse, Abfall, Abwasser, Erneuerbare Energien) sowie aus der Beratung klein- und mittelständischer Unternehmen der Umwelttechnik-Branche. Verstärkt kamen in den letzten zwei Jahren Aktivitäten im Weiterbildungsbereich dazu.

### 3.2 Projektbeispiele

Nachfolgend werden fünf ausgewählte Forschungsprojekte kurz beschrieben, die einen Einblick in die inhaltliche Arbeit des Instituts geben.

#### *Biomasse-Potenzialstudie Rheinland-Pfalz*

Um auch in Rheinland-Pfalz die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern zu fördern, hat

das Ministerium für Umwelt und Forsten der Landesregierung Rheinland-Pfalz eine Studie in Auftrag gegeben, deren Ziel die Ermittlung der Potenziale zur Erzeugung erneuerbarer Energie aus Biomasse war. Ziel dieser auf drei Jahre (2001–2004) angelegten Studie war die Ermittlung der Potenziale zur Nutzung von Biomasse als erneuerbarer Energieträger in ganz Rheinland-Pfalz. Dabei beschränkte sich die Betrachtung nicht auf theoretische oder technisch mögliche Potenziale, sondern zeigt anhand konkreter Projekte auch die wirtschaftliche Machbarkeit auf. (Weitere Informationen: [www.biomasse-rlp.de](http://www.biomasse-rlp.de))

#### *Kompetenznetzwerk Umwelttechnik Rheinland-Pfalz*

Das Kompetenznetzwerk Umwelttechnik Rheinland-Pfalz wurde am 11. Juni 2002 vom Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz und dem Institut für angewandtes Stoffstrommanagement am Umwelt-Campus Birkenfeld gegründet. Die Initiative trägt gezielt den Informations- und Kooperationsbedürfnissen der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Umwelttechnikbranche in Rheinland-Pfalz Rechnung. Sie betreut die KMU vornehmlich bei der Bearbeitung ausländischer Märkte (Schwerpunkte in Mittel- und Osteuropa sowie China) sowie in Fragen der Aus-, Weiter- und Fortbildung. Zurzeit betreut die Initiative Kompetenznetzwerk Umwelttechnik Rheinland-Pfalz rund 180 Unternehmen der Umwelttechnik-Branche Rheinland-Pfalz. Schwerpunkt ist u. a. Entwicklung eines (virtuellen) Umweltdienstleisters Rheinland-Pfalz. Der Umweltdienstleister Rheinland-Pfalz ist ein innovativer Ansatz zur Förderung kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) beim Export von deutscher Umwelttechnik. (Projekthomepage: [www.umwelttechnik-rlp.de](http://www.umwelttechnik-rlp.de))



### *Stoffstrommanagement in Kommunen*

Das Qualifizierungs- und Beratungsprojekt

„Stoffstrommanagement in Kommunen“ hat zum Ziel, rheinland-pfälzische Kommunen in regionalem Stoffstrommanagement zu schulen und bei der Identifikation, Formulierung und Umsetzung konkreter Projekte zu beraten. Die Qualifizierung und Beratung erfolgen durch Mitarbeiter des IfaS in den Kommunen anhand konkreter Beispiele vor Ort. Ziel ist insbesondere die Schaffung eines regionalen Mehrwerts durch Aktivierung der lokalen Potenziale. Im Rahmen des Qualifizierungs- und Beratungsprojekts werden daher alle relevanten Felder (Akteure, Potenziale, Technik und Finanzierung) des regionalen Stoffstrommanagements behandelt und vermittelt.

### *Virtuelles Europäisches Recyclingzentrum (VERC)*

Im Rahmen eines von der EU geförderten Projektes wird Wissen über Recyclingverfahren, Anbieter von Recycling-Anlagen, potenzielle Nutzer dieser Technologien sowie Forschungsaktivitäten in einer europaweiten Datenbank zusammengefasst. Die Inhalte werden für Interessenten und Mitglieder des VERC über das Internet zur Verfügung gestellt. Ziel ist der Aufbau eines virtuellen Markplatzes für Know-how und Verfahren im Bereich des Recycling. Das Projekt wird unter der Leitung der spanischen Technologiefirma „Gaiker“ zusammen mit 18 Partnern aus 8 europäischen Ländern durchgeführt. (Projekthomepage: [www.verc.net](http://www.verc.net))

### *Managementseminar „Reisende Hochschule“*

Am IfaS wurde das Konzept der Reisenden Hochschule mit dem Ziel einer anwendungsorientierten Lehre entwickelt. 1999 konnte die erste Lehrveranstaltung dieser Art umgesetzt werden. Sie ist seither ein fester Bestandteil des interdisziplinären Lehrangebots und wird jedes Jahr von Professoren und Mitarbeitern des IfaS für Studierende

angeboten. 2000 war das Managementseminar Reisende Hochschule einer der Beiträge der Fachhochschule zur Weltausstellung EXPO 2000. Studierende aller Semester und aller Studiengänge reisen jedes Jahr in eine Zielregion, um dort ein komplexes Problem vor Ort zu analysieren und zu lösen. Unter erheblichem Stress und großen interkulturellen und fachlichen Beanspruchungen arbeiten interdisziplinäre Teams eine Woche fast rund um die Uhr, um innovative Lösungsansätze zu ermitteln. Die Ergebnisse werden nach sieben Tagen öffentlich präsentiert. Bisherige Zielregionen dieses Managementseminars, die unter der fachlichen Leitung von Prof. Dr. Heck und Prof. Dr. Mathis durchgeführt wurden, waren Brandenburg (1999), Schweden (2000), Pfälzer Wald (2001), China (2002), Polen (2003) und Türkei (2004). In diesem Jahr fand der internationale akademische Projektmanagement-Workshop der Reisenden Hochschule in Brasilien statt.

### *„Master in International Material Flow Management (IMAT)“*

Das Portfolio von IfaS erstreckt sich auf das Angebot von postgraduierten Masterstudiengängen in „International Material Flow Management (IMAT)“ in Deutschland am Standort Umwelt-Campus Birkenfeld und in Japan an der Ritsumeikan Asia Pacific University. Zur Projektabwicklung greift das IfaS auf ein umfassendes und internationales Partnernetzwerk in Wissenschaft und Wirtschaft zurück, das eine leistungsfähige Basis für die Bereitstellung von Dozenten, Praktika, Stipendien etc. gewährleistet. Im universitären Netzwerkverbund kooperiert das IfaS mit Universitäten aus der Bundesrepublik Deutschland, Luxemburg, Türkei, Japan, V.R. China und Kolumbien.

Der Masterstudiengang IMAT vernetzt interdisziplinär die Bereiche Technologie (erneuerbare En-



ergien, nachhaltige Energie- und Techniksysteme, Clean Technologies, etc.), Finanzierung (Fundraising, Finanzierungspläne, Geschäftspläne etc.) mit dem Kernstudiengangsmodule Stoffstrommanagement (betriebliches und regionales Stoffstrommanagement, Kommunikation, Netzwerkbildung, Regionale Wertschöpfung/Mehrwert etc.). Das stoffstromorientierte akademische Bildungsangebot unterstützt im besonderem Maße die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung durch die Entwicklung des internationalen Wissenstransfers und der Verbesserung der Umsetzung von Projekten mit zukunftssträchtigen und umweltverträglichen Lösungen. Der Studiengang steht unter der Schirmherrschaft des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Herrn Jürgen Trittin.

Im Wintersemester 2004/2005 startete der erste Studienjahrgang mit einer homogenen Gruppe von 19 lateinamerikanischen Ingenieuren und Ingenieurinnen, die aus Chile, Peru, Ecuador und Kolumbien stammten. Im folgenden Studienjahrgang 2005/2006 sind 12 Teilnehmer aus Südamerika und ca. 10 Teilnehmer aus Asien und Osteuropa eingeschrieben.

Parallel zum Angebot am Umwelt-Campus Birkenfeld exportiert das IfaS mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung den bereits etablierten Masterstudiengang IMAT nach Japan. Universitärer Kooperationspartner ist hierbei die Ritsumeikan Asia Pacific University in Beppu, Osaka, die im japanischen Hochschulranking auf einem Spitzenplatz der privatwirtschaftlichen Universitäten steht.

Durch die internationalen universitären Kooperationen wird beabsichtigt das Studiengangsportfo-

lio auch in Südamerika und der Türkei anzubieten. Derzeit stellt das IfaS Förderanträge zur Einrichtung dieser Aktivitäten und verhandelt mit den ausländischen Hochschulen über die Gestaltung.

#### **4. Projektbeispiel: Zero-Emission-Village Verbandsgemeinde Weilerbach**

Global denken, lokal handeln – dieser Leitgedanke der nachhaltigen Entwicklung war einer der Auslöser für das Projekt „Zero-Emission-Village Weilerbach“ (ZEV). Das IfaS entwickelte gemeinsam mit der westpfälzischen Verbandsgemeinde (VG) Weilerbach und der Landeszentrale für Umweltaufklärung (LZU) des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (MUF) im Jahr 2001 die Idee einer möglichst CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung für die gesamte Verbandsgemeinde Weilerbach. Durch die Optimierung der Stoffströme in der Region und die effiziente Nutzung regionaler Ressourcen sollte so nicht nur ein Beitrag zum globalen Klimaschutz erfolgen, sondern gleichzeitig auch eine Erhöhung der Wertschöpfung in der Region realisiert werden.

Ein solches Ziel kann letztendlich nur durch die Veränderung und Erneuerung der lokalen und regionalen Versorgungsstrukturen erfolgen, denn wie in Bild 1 dargestellt, erfolgt die Versorgung von Regionen mit Ressourcen und insbesondere mit Energie zum großen Teil nicht mehr aus der Region selbst. Nur ein kleiner Teil der Wertschöpfung in der (Energie-) Produktion findet noch in der Region statt. Die in der Region vorhandenen lokalen Ressourcen werden nur zu geringen Anteilen genutzt. Hierdurch fließen große Mengen finanzieller Mittel aus der Region ab. Dieser Effekt wird durch ein Ansteigen der Energiekosten noch weiter verstärkt. Die Folge ist ein Absinken der Kauf- und Wirtschaftskraft der gesamten Region.

# Wirtschaft und Recht

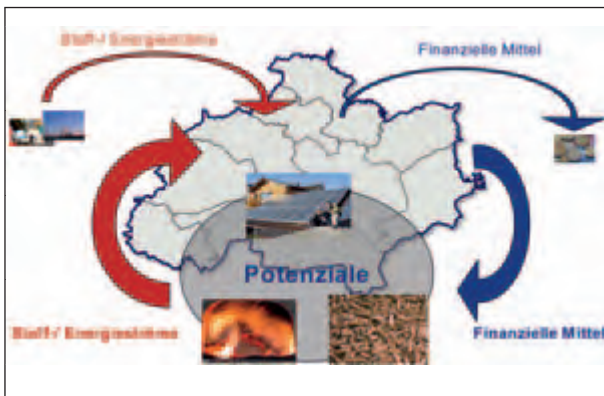


Bild 1: Stoff- und Energieströme heute



Bild 2: Optimierte Stoff- und Energieströme

Durch eine Veränderung vorhandener und durch den Aufbau neuer Strukturen kann jedoch eine Optimierung der regionalen Stoff- und Energieströme erfolgen. Ziel des Zero-Emission-Villages-Konzepts ist es, regionale Stoffkreisläufe zu schließen und möglichst erneuerbare, regionale Ressourcen einzusetzen. Hierdurch können, wie in Bild 2 dargestellt, verstärkt finanzielle Mittel in der Region gebunden und die regionalen Wirtschaftskreisläufe gestärkt werden. Da ein Großteil der regionalen Ressourcen im Bereich der Land- und Forstwirtschaft zu finden sind, profitieren diese Bereiche am stärksten von einer solchen Optimierung.

Entsprechende Ressourcen sind in vielen Regionen ausreichend vorhanden. In der Biomassepotenzialstudie Rheinland-Pfalz konnte gezeigt werden, das z. B. im Landkreis Kaiserslautern allein im Bereich der Biomasse (z. B. Holz, Gülle, Raps, etc.) ein direkt nutzbares Potenzial von ca. 182.300 MWh jährlich verfügbar ist. Verglichen mit den Kosten von Heizöl entspricht diese Menge einem Wert von 9.115.000 Euro (bei 0,50 Euro/Heizöl). Das langfristig technisch erschließbare Potenzial liegt mit 725.200 MWh noch deutlich höher.

Das Werkzeug zur Änderung regionaler Stoffströme ist das Stoffstrommanagement. Im Bereich der Industrie wird Stoffstrommanagement schon lange zur Optimierung der Betriebsabläufe eingesetzt. Ziel ist hierbei, die bei der Produktion eingesetzten Stoffe möglichst vollständig wertschöpfend bzw. gewinnbringend zu verwenden. Dies geschieht z. B. durch die Vermeidung von Abfällen und die Kreislaufführung von Stoffen. Die Ansätze des betrieblichen Stoffstrommanagements lassen sich auch auf kommunale Gebietskörperschaften übertragen. Bei einem Stoffstrommanagement auf kommunaler Ebene wird eine Kommune als ein Gesamtsystem aus unterschiedlichen Stoffströmen verstanden. Die bisher oft nur einzeln betrachteten Bereiche und Stoffströme wie z. B. Abfall, Abwasser, Klärschlamm, landwirtschaftliche Biomasse, Waldholz, Energie u. v. m. werden in einem kommunalen Stoffstrommanagement zusammengefasst, bewertet und optimiert. So können zahlreiche Stoffe durch ihre Kombination wiederum wertschöpfend genutzt oder kostengünstiger behandelt werden. Auch bisher ungenutzte, lokale Ressourcen können dadurch eine Verwendung finden.

Im Rahmen der zur Umsetzung des Zero-Emission-Villages erstellten Projektstudie konnte gezeigt werden, dass durch ein solches Stoffstrommanage-

ment eine fast vollständig CO<sub>2</sub>-neutrale, 100 % regenerative Versorgung der 14.700 Einwohner (6.850 Haushalte) der Verbandsgemeinde durch die regenerativen Energiepotenziale der Region und durch die ermittelten Potenziale zur Energieeinsparung möglich ist.

<b>Ist-Situation</b>	Verbrauch Strom (MWh)	
Jahr 1999	42.300	
<b>Soll-Szenario</b>	Erzeugung Strom (MWh)	Investitionskosten (€)
Windkraft (6x2 MW)	23.000	16.800.000,00 €
PV (5 MW)	4.200	25.000.000,00 €
BHKW (1,5 MW)	12.000	1.500.000,00 €
Einsparung 10 % ***	4.200	12.600.000,00 €
<b>Gesamt:</b>	43.400	55.900.000,00 €
<b>Überschuß*:</b>	1.100	

Tabelle 1: Szenario Stromversorgung

<b>Ist-Situation</b>	Verbrauch Wärme (MWh)	
Jahr 1999	105.000	
<b>Soll-Szenario</b>	Erzeugung Wärme (MWh)	Investitionskosten (€)
Biomasse	34.300	
davon Altfett	12.000	s. Strom
davon Holz	5.600	800.000,00 €
sonstige*	16.700	n.n.
ST (8000 m <sup>2</sup> )	3.200	25.000.000,00 €
Wärmepumpen**	24.400	3.660.000,00 €
Einsparung 40 % ***	42.000	84.000.000,00 €
<b>Gesamt:</b>	<b>103.900</b>	<b>113.460.000,00 €</b>
<b>Überschuß</b>	<b>-1.100</b>	

Tabelle 2: Szenario Wärmeversorgung

In Tabelle 1 ist aufbauend auf den vorhandenen Potenzialen und dem ermittelten Strombedarf eines der möglichen Szenarien zur Versorgung der Verbandsgemeinde Weilerbach dargestellt. Durch den Einsatz von Windkraftanlagen, Photovoltaik und Pflanzenöl- bzw. Altfett-BHKWs kann bei einer gleichzeitigen Einsparung von lediglich 10 % bereits ein Überschuss von 1.100 MWh Strom produziert werden. Der zum Zeitpunkt der Studie (2003) geschätzte Investitionsbedarf zur Realisierung eines solchen Szenarios lag bei 55.900.000 Euro, wobei alle dargestellten Maßnahmen zu den gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umsetzbar sind. Auch das in Tabelle 2 dargestellte Szenario für den Wärmebedarf zeigt das eine Versorgung aus lokalen Ressourcen zu nahezu 100 % möglich ist. Lediglich 1 % der Energiemenge müsste noch durch Energieträger aus benachbarten Gemeinden/Regionen abgedeckt werden.

Bereits während der Studie wurde schon mit der praktischen Umsetzung der Maßnahmen begonnen. Unterstützt durch intensive Öffentlichkeitsarbeit (Bürgerbüro, Info-Veranstaltungen, Broschüren, Vor-Ort-Beratung, Pressearbeit, etc.) und die Vernetzung der regionalen Akteure (Verbandsgemeinde, Energieversorger, Landwirte, Privatpersonen, etc.) wurden so seit Projektbeginn 2001 u. a. fünf Windkraftanlagen (5 x 2 MW), drei Nahwärmenetze (für mehr als 450 Wohneinheiten) auf Biomassebasis, zahlreiche Kleinf Feuerungen (Pellets, Scheitholz), ca. 70 PV-Anlagen mit einer Leistung von ca. 400 kWp und 140 Solarthermieanlagen mit einer Kollektorfläche von über 1200 m<sup>2</sup> errichtet. Durch energetische Gebäudesanierungen konnte z. B. an allen Grundschulen ca. 50 % an Heizenergie eingespart werden. Bereits heute werden durch diese Maßnahmen ca. 50 % des Gesamtstrombedarfs regenerativ erzeugt.

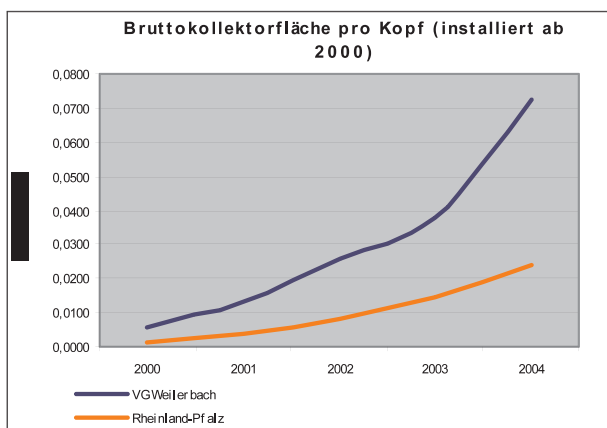


Bild 3: Entwicklung Solarthermie

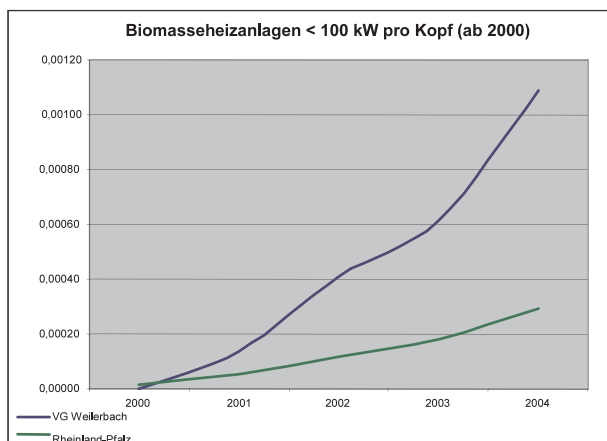


Bild 4: Entwicklung Biomasseheizanlagen (< 100 kW)

Die Erfolge des Projekts zeigen sich insbesondere beim Vergleich der Entwicklung in der Verbandsgemeinde Weilerbach mit dem Landesdurchschnitt in Bild 3 und 4. Aufbauend auf dieser Entwicklung, verfolgt die Verbandsgemeinde Weilerbach einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess. D. h. nicht die kurzfristigen Erfolge stehen im Vordergrund, sondern die ständige und dauerhafte Optimierung der Stoffströme hin zum Ziel „Zero-

Emission“. Dies zeigt auch die Planung zahlreicher weiterer, aufeinander abgestimmter Projekte wie z. B. der Bau einer Biogasanlage, die Planung weiterer Nahwärmenetze oder die Ausweitung der Photovoltaiknutzung. Begleitet werden diese Planungen durch zahlreiche Einzelinitiativen bis hin zu Existenzgründungen wie z. B. die Gründung eines Bioenergiehofs zur Energiebereitstellung aus Forst- und Landwirtschaft. Zero-Emission-Village Weilerbach ist daher mehr als nur die Summe verschiedener Einzelprojekte. Die durch ZEV angestoßene „energetische“ Erneuerung wirkt somit in zahlreiche andere Bereiche fort. Die Nutzung regionaler Ressourcen verstärkt die Identifikation mit der Region, die Stellung der Land- und Forstwirtschaft wird gestärkt, die Energieversorgung erfolgt nicht mehr „von irgendwo“, sondern durch bekannte regionale Akteure.

Die erfolgreiche Entwicklung wurde Ende Oktober 2005 durch die Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e.V. (EUROSOLAR) bestätigt, die das Projekt Zero-Emission-Village Weilerbach mit dem Deutschen Solarpreis 2005 in der Kategorie Städte und Gemeinden auszeichnete.

## 5. B.A.U.M.-Umweltpreis

2005 erhielt Prof. Dr. Peter Heck, geschäftsführender Direktor des Instituts für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS), den diesjährigen B.A.U.M.-Umweltpreis 2005 vom Bundesdeutschen Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e. V. (B.A.U.M. e. V.). Die Verleihung des renommierten Preises fand dieses Jahr am 13. September im Rahmen der Jahrestagung in Hamburg vor rund 500 Gästen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Medien, Kammern und Verbänden statt. Vorgenommen wurde die Preisverleihung von Bundesumweltminister Jürgen Trittin,



Hamburgs Erstem Bürgermeister Ole von Beust sowie den B.A.U.M.-Vorstandsmitgliedern Prof. Dr. Maximilian Gege und Martin Oldeland. Zu den diesjährigen Preisträgern zählen unter anderem auch Peter Maffay und Dr. Michael Otto (Ottoversand). Prof. Dr. Peter Heck wurde in der Kategorie Wissenschaft ausgezeichnet. Ein besonderer Schwerpunkt des Tätigkeitsbereichs von Prof. Dr. Heck liegt in Stoffstrommanagement-Konzepten in Südamerika, Afrika und vorrangig in Ost-Asien. Seine Aufgaben und Forschungsziele führen Prof. Dr. Heck insbesondere immer wieder in die VR China, z. B. als GTZ Politikberater für den Bereich Kreislaufwirtschaft in China. Im Rahmen einer von der Weltbank finanzierten „Politikstudie zur Unterstützung einer Kreislaufwirtschaft in China“ berät er seit 2004 die chinesische Regierung. Besonders



*Bild 5: v. l.: Vorstandsmitglied B.A.U.M. e. V. Martin Oldeland, Hamburgs Erster Bürgermeister Ole von Beust, Bundesumweltminister Jürgen Trittin, Geschäftsführender Direktor IfaS Prof. Dr. Peter Heck, Vorstandsmitglied B.A.U.M. e. V. Prof. Dr. Maximilian Gege*

die Ost-Asien Aktivitäten und der erfolgreiche Aufbau des Instituts wurden bei der Laudatio hervorgehoben.

### Weiterführende Informationen

- Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“: Die Industriegesellschaft gestalten, 1994.
- Heck, P./Bemman, U.; Praxishandbuch Stoffstrommanagement; Köln (2002)
- Heck, P., Becker, B., et al. (2003); „Zero-Emission-Village Weilerbach: Abschlußbericht“ Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) der Fachhochschule Trier/Umwelt-Campus Birkenfeld, Birkenfeld (2003)
- Heck, P., Hoffmann, D., et al. (2004); „Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse in Rheinland-Pfalz“, Abschlussbericht der Biomassepotenzialstudie Rheinland-Pfalz, Hoppstädten-Weiersbach (2004)

Zeitschrift „Forum für angewandtes systemisches Stoffstrommanagement (FasS)“

Als wissenschaftliches Diskursforum gibt es seit dem Jahr 2003 die Zeitschrift „Forum für angewandtes systemisches Stoffstrommanagement (FasS)“, die vom IfaS e. V. herausgegeben wird. FasS berichtet auch über die Projekte des Instituts und ist als Online-Version auf der Homepage des IfaS ([www.ifas.umwelt-campus.de](http://www.ifas.umwelt-campus.de)) verfügbar.

### Kontakt:

Prof. Dr. Peter Heck

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)

[ifas@umwelt-campus.de](mailto:ifas@umwelt-campus.de)



## „Rheinland-Pfalz gewinnt an Boden“ – Bausteine einer Strategie zur Reduktion der Flächenneuanspruchnahme

Dirk Löhr, Stephan Tomerius

Das Thema „Nachhaltige Flächenhaushaltspolitik und Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme“, dem so genannten „Flächenverbrauch“, hat schon seit längerem aktuelle Bedeutung auch auf landespolitischer Ebene. Die im Frühjahr 2004 auf Antrag der Landtagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen zum Thema „Nachhaltiges Flächenmanagement in Rheinland-Pfalz – Flächenverbrauch drastisch verringern“ (LT-Drs. 14/3066 vom 13.4.2004) geführte Diskussion würdigte sowohl die bisher von der Landesregierung ergriffenen Maßnahmen hinsichtlich einer Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme, stellte aber auch die zukünftig noch notwendigen Handlungserfordernisse dar. Grundsätzlich werden vor allem Steuerungsmechanismen präferiert, die nicht übermäßig in die Planungshoheit der Kommunen eingreifen bzw. diese nicht zu sehr beschränken.

Im Rahmen seiner Möglichkeiten hat sich mittlerweile auch das Land Rheinland-Pfalz das Ziel gesetzt, die Flächenneuanspruchnahme zu reduzieren und der damit verbundenen weiteren Zersiedelung des Landes entgegenzutreten. Entsprechende Zielvorstellungen sind nicht nur im Landesentwicklungsprogramm III (LEP III) sowie im Raumordnungsbericht 2003 der Landesregierung enthalten, sondern wurden vor allem in der Praxis seit den 90er Jahren z. B. im Rahmen der militärischen Konversion schon vielfach erfolgreich umgesetzt.

Vor diesem Hintergrund ging vom Ministerium für Umwelt und Forsten (MUF) die Initiative aus, eine Strategie zu entwickeln, um von Landesebene aus im Zusammenspiel mit den relevanten Akteuren im Land Wege zu finden, eine Verringerung der Neuanspruchnahme von Flächen und wertvollen Böden einzuleiten. Das MUF sieht sich hierbei in der Rolle eines Impulsgebers und hat von Anfang an den Dialog mit weiteren Landesministerien gesucht, die bei

der Thematik „Nachhaltige Flächenhaushaltspolitik und Flächenmanagement“ wichtige Regelungskompetenzen innehaben. Zu nennen sind hierbei das Ministerium des Innern und für Sport (ISM) und das Ministerium für Wirtschaft und Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (MWVLW), das Ministerium für Finanzen (FM) sowie die Staatskanzlei.

Für die Erarbeitung von Bausteinen einer nachhaltigen flächenhaushaltspolitischen Strategie im Land Rheinland-Pfalz hat das MUF die FH Trier – Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik am Umwelt-Campus Birkenfeld (ZBF-UCB) – beauftragt (Bearbeiter: Prof. Dr. Löhr und Prof. Dr. Tomerius).

### Ergebnisse des Forschungsauftrags

Im Rahmen nur eingeschränkter kompetenzrechtlicher Möglichkeiten wird dem Land Rheinland-Pfalz empfohlen, bewusst davon abzusehen, den nachgelagerten Gebietskörperschaften imperativ Flächeneinsparziele vorzugeben. Vielmehr ist bei einer flächenhaushaltspolitischen Strategie auf eine Stärkung der Flächennutzungseffizienz, die Einsicht in die Handlungsnotwendigkeiten seitens der maßgebenden Akteure und deren Kooperationsbereitschaft zu setzen, insbesondere wenn für diese v. a. die ökonomischen Vorteile einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung aufgezeigt werden können. Die wichtigsten flächenhaushaltspolitischen Akteure stellen die Gemeinden, Gemeindeverbände und regionalen Planungsgemeinschaften dar. Das Sichtbarmachen der mittel- bis langfristigen Chancen einer flächensparenden Siedlungs- und Verkehrsentwicklung soll gerade der Sicherung einer kraftvollen und zukunftsfähigen gemeindlichen Selbstverwaltung im Land Rheinland-Pfalz dienen. Die systematische Nutzung dieser Chancen geht mit mittel- bis langfristigen positiven ökonomischen und sozialen Effekten weit über umweltpolitische Aspekte hinaus und liegt im ureigensten Interesse der Kommunen.

Das flächenhaushaltspolitische Bündel im Sinne einer integrierten flächenhaushaltspolitischen Strategie betrifft bestimmte prioritäre Handlungsfelder, aber auch den flankierenden institutionell-rechtlichen und förderpolitischen Rahmen. Von hervorragender Bedeutung sind Maßnahmen der Information und Bewusstseinsbildung, die sich v. a. an die regionalen und kommunalen Akteure der Flächenhaushaltspolitik richten. Es ist aufzuzeigen, dass ein sparsamer Umgang mit der Ressource Fläche nicht nur ökologisch, sondern auch sozial und v. a. ökonomisch für die Kommunen von hohem Interesse sein kann. Der bereits beim Modell der „militärischen Konversion“ erfolgreich beschrittene Weg könnte auch bei der „zivilen Konversion“ einen beachtlichen Beitrag zur Reduktion der „Neuinanspruchnahme“ von höherwertigen Flächen leisten. Gewinnpotenziale durch Kooperationen (z. B. interkommunale Gewerbegebiete, gemeinsame Flächennutzungspläne etc.) sollen gezielt identifiziert und ausgeschöpft werden. Dabei sollen freiwillige Kooperationen Vorrang vor angeordneten Kooperationen haben. Das vorhandene aktuelle Wissen und verfügbare, erfolgreiche Praxisbeispiele nachhaltiger Flächenhaushaltspolitik sind über eine auch internetbasierte Wissens- und Kommunikationsplattform zu bündeln, aufzubereiten und allen Akteuren praxisnah und aktuell zugänglich zu machen. Kalkulationsgrundlagen zur Abschätzung der Folgekosten verschiedener Siedlungsvarianten sind hierzu zu entwickeln. Handlungsanleitungen sind zu erstellen. Zudem ist ein differenziertes Flächenmonitoring aufzubauen, welches insbesondere hinsichtlich des Wirkungsgefüges der raumstrukturellen Prozesse und der demografischen Entwicklung auf die Verteilung und das Ausmaß der Neuinanspruchnahme von Flächen auszuwerten ist. Dabei sollen die Kommunen vor allem hinsichtlich des Aufbaus eines kommunalen Baulückenkatasters unterstützt und beraten werden.

Die Wirksamkeit der „harten“ Planungsinstrumente soll durch ergänzende „weiche“ Instrumente und informelle Verfahren (u. a. Zielvereinbarungen) erhöht werden. Der Regionalplanung kommt für die Erarbeitung sowohl der Zielwerte, der Strategien sowie deren Umsetzung eine zentrale Rolle zu.

Es soll untersucht werden, inwieweit die bestehenden Förderprogramme (insbesondere die Kriterien für die Mittelvergabe) noch stärker an den Zielen der Nachhaltigkeit und der interkommunalen Kooperation in den Regionen ausgerichtet sowie aufeinander abgestimmt werden können. Zur Reduktion der Sub- und Postsuburbanisierung sind Förderprogramme auf eine Steigerung der Attraktivität der innerörtlichen Zentren auszurichten.

Wesentliche Elemente der flächenhaushaltspolitischen Strategie wurden in einem Ressortforum des Ministeriums für Umwelt und Forsten am 18.11.2004 im Schloss Waldthausen/Mainz der Öffentlichkeit vorgestellt und mit der Praxis diskutiert. Letztendlich liegt es im ureigensten Interesse des Landes sowie der diversen, insbesondere kommunalen Akteure, Gewinnpotenziale flächen- und (infrastruktur-) kostensparender Entwicklungen auszuschöpfen, hierüber die Lebensqualität und Attraktivität der Standorte zu erhalten und damit im Wettbewerb der Regionen in Europa „Boden zu gewinnen“. Es ist daher beabsichtigt, die Kernpunkte einer ressortabgestimmten Strategie nachhaltiger Flächenhaushaltspolitik der Landesregierung Rheinland-Pfalz als Kabinetttvorlage einzubringen.

#### **Kontakt:**

Prof. Dr. Dirk Löhr, Prof. Dr. Stephan Tomerius  
Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik (ZBF)  
d.loehr@umwelt-campus.de, s.tomerius@umwelt-campus.de



## Fiskalisches Controlling von Baulandneuausweisungen

Dirk Lühr

Bundesweit ist eine Entkopplung von Bevölkerungs- und Siedlungsflächenwachstum festzustellen. Letzteres steigt selbst dort, wo die Bevölkerung stagniert oder gar abnimmt (so genanntes Baulandparadoxon). Aufgrund der daraus resultierenden geringeren Auslastung der bestehenden Infrastruktur bzw. aufgrund der Erstellung einer parallelen Infrastruktur in der Peripherie entstehen für die Ortsgemeinden Mehrkosten (Errichtungs- und Folgekosten), die sich in Form einer steigenden Fixkostenbelastung bemerkbar machen. Dieser Effekt der steigenden Fixkostenbelastung wird durch die demographische Entwicklung verstärkt.<sup>1</sup>

Im Zuge des demographischen Wandels wird jegliche Infrastruktur (insbesondere auch die im Zuständigkeitsbereich der Kommunen) infolge des Einwohnerrückgangs von einem allgemeinen Nachfragerückgang bzw. einer Nachfrageverschiebung aufgrund der Änderung der Altersstruktur betroffen sein. Aufgrund der Kostenremanenzeffekte (Kostenreduzierung und Einwohnerrückgang laufen nicht parallel, d. h. Einsparungen auf der Ausgabenseite für Infrastruktureinrichtungen können nur zeitlich verzögert realisiert werden) kann eine dauerhafte Unterauslastung von Infrastruktureinrichtungen eine erheblich finanzielle Belastung für die kommunalen Haushalte zur Folge haben.

Diese Entwicklung und die Struktur der Finanzflüsse scheinen den Ortsgemeinden einen Anreiz zu geben, auf die Neuausweisung von Wohngebieten schon in den Flächennutzungsplänen zu drängen. Neuausweisungen stellen sich für die Gemeinden zunächst aufgrund der Struktur der Finanzflüsse und der damit verbundenen möglichen Mehreinnahmen scheinbar als ein pragmatischer Weg zur

mittelfristigen Stabilisierung des kommunalen Haushalts dar. Mit Blick auf mögliche Mehreinnahmen werden auch anfängliche Verluste im Zuge der Erschließung und Vermarktung in Kauf genommen. Ob und wann die erhofften Einnahmen auch tatsächlich in den notwendigen Größenordnungen anfallen, ist der Ortsgemeinde meist unbekannt oder bewegt sich im Bereich ungesicherter Prognosen. Jedenfalls sind die Kosten und die mittel- bis längerfristigen finanziellen Konsequenzen einer anhaltenden Flächenneuanspruchnahme in der Ortsgemeinde nicht hinreichend transparent, da diese oftmals zeitlich verzögert und meist bei höheren Einheiten (Verbandsgemeinde, Kreis) anfallen. Vor diesem Hintergrund hat das Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik (ZBF-UCB) ein Excel-basiertes Tool entwickelt, das die Funktion eines planungsbezogenen Managementinformationssystems hat und damit dem Ziel einer kostentransparenteren und damit nachhaltigeren Flächenhaushaltspolitik der verantwortlichen Gemeinden dienen soll. Dadurch sollen Informationen denjenigen Akteuren gegeben werden, die auf die entsprechenden Kenngrößen während des Entscheidungsprozesses Einfluss nehmen können (Konnex Information – Handlungsverantwortung). Die zugrundeliegende Philosophie des Tools ist, dass die Entscheidung über zusätzliche Baulandausweisungen vielfach zurückgestellt bzw. zugunsten von boden- und kostensparenden Flächenentwicklungen im Bestand getroffen werden könnten, wenn dem Entscheidungsträger (Ortsgemeinden) das gesamte Ausmaß der finanziellen Auswirkungen und Belastungen von Neuausweisungen für den kommunalen Haushalt bewusst wäre. Ziel ist es, die für die Gemeinden günstigsten strategischen und operativen Handlungsalternativen zu

<sup>1</sup> Bundesweit wird bis 2050 in den mittleren Prognoseszenarien mit einem Bevölkerungsrückgang auf 65,8 Mio. Einwohner gerechnet. In Rheinland-Pfalz werden im selben Zeitraum Rückgänge von 0,3 Mio. bis 1,0 Mio. Einwohner prognostiziert.



entwickeln und gleichzeitig die Effizienz der Mittelverwendung zu überprüfen.

Dabei ist das Informationsziel an eine erwerbswirtschaftliche Betätigung angelehnt. Vielfach scheinen sich Ortsgemeinden vor allem an anderen Zielen wie z. B. dem Zugewinn von Einwohnern bzw. dem Erhalt der Einwohnerzahl zu orientieren.

Unter einer erweiterten Perspektive geht es jedoch vielmehr um die Frage, inwieweit mit den betreffenden Planungen und Entwicklungsstrategien der Gemeinde bzw. mit deren Unterlassung ein möglichst positiver Kapitalwert erzielt werden kann (Hauptziel = Gewinn, bei einem negativen Kapitalwert würden Mittel verschwendet) und dabei die Zahlungsfähigkeit der Gemeinde über einen Fi-

nanzplan (Restriktion: Zahlungsfähigkeit) jederzeit sichergestellt werden kann.

Allein die Analyse, das Beschäftigen mit den Zahlen, kann schon zu einem Bewusstseinswandel führen. Vor allem soll Transparenz hinsichtlich der Kostenproblematik der weiteren Zersiedlung geschaffen und die gegebenenfalls vorhandenen Gewinnchancen des Vorrangs der Innenentwicklung aufzuzeigen.

**Kontakt:**

Prof. Dr. Dirk Lühr

Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik (ZBF)

d.loehr@umwelt-campus.de



## Konzeptionelle Grundlagen von Investitionskontrollen<sup>1</sup>

Michael Keilus, Dominik Kramer

### 1. Einleitung

Die interne Unternehmensrechnung hat die Aufgabe, quantitative Informationen über das Unternehmen bereitzustellen. Informationen sind nicht Selbstzweck, sie stellen eine wichtige Basis für die Führung des Unternehmens dar. Als zentrale Zwecke der internen Unternehmensrechnung lassen sich dabei die Entscheidungs- sowie die Verhaltensbeeinflussungsfunktion bezeichnen. In Zusammenhang mit diesen Zwecken wird der Kontrolle große Bedeutung zugemessen. Kontrollen besitzen zum einen eine Entscheidungsfunktion, indem das Problembewusstsein gefördert und ein möglicher Entscheidungsbedarf identifiziert wird. Zum anderen besitzen Kontrollen eine Verhaltensbeeinflussungsfunktion: Bei dezentralisierten Entscheidungen besteht die Gefahr, dass Bereichsmanager bei Informationsasymmetrie individuelle Ziele verfolgen und ihre Entscheidungen nicht in Einklang mit dem Zielsystem des Unternehmens treffen. Kontrollen können solche Entscheidungen im Nachhinein offen legen und so von vornherein eine Anpassung an die Unternehmensziele bewirken.<sup>2</sup> In Bezug auf die zeitliche Reichweite kann die interne Unternehmensrechnung vor allem in die Investitionsrechnung (langfristig) sowie die Kosten- und Leistungsrechnung (kurzfristig) untergliedert wer-

den. In der Literatur zur Kosten- und Leistungsrechnung finden sich die aufgezeigten Zusammenhänge deutlich wieder. So wird die Kontrolle in den gängigen Lehrbüchern insb. in Zusammenhang mit der Grenzplankostenrechnung ausführlich behandelt.<sup>3</sup> Dieser Befund gilt jedoch nicht für die Investitionsrechnung. Die hier anzutreffenden Lehrbücher schließen oft schon durch den Titel Kontrollen aus und übergehen den Problemkreis gänzlich oder widmen ihm nur wenig Raum.<sup>4</sup> In Einklang hierzu steht, dass sich auch in der Praxis eine deutliche Lücke zwischen Investitionsplanung und Investitionskontrolle zeigt.<sup>5</sup> Dies überrascht in Anbetracht der Tragweite, die Investitionsentscheidungen im Vergleich zu operativen Entscheidungen besitzen. Vor diesem Hintergrund ist die vorliegende Untersuchung angesiedelt. Sie geht der Frage nach, wie eine ergebnisorientierte Investitionskontrolle aufgebaut werden kann.

### 2. Konzeption von Investitionskontrollen

Die Anschaffung eines mehrperiodig nutzbaren Wirtschaftsgutes wird als Investition bezeichnet. Im Folgenden wird das monetäre Erfolgsziel als Objekt der Investitionskontrollen betrachtet. Der ökonomische Erfolg eines Investitionsprojekts wird anhand des Kapitalwerts KW gemessen, zentrale Determinanten des Kapitalwerts sind der Zahlungsüberschuss  $Z_t$  als Differenz der Ein- und

1 Ein ausführliches Arbeitspapier zu diesem Thema kann über die Autoren bezogen werden.

2 Vgl. Küpper, H.-U., Controlling, 3. Aufl., Stuttgart 2001, S. 170 f.; Ewert, R./Wagenhofer, A., Interne Unternehmensrechnung, 6 Aufl., Berlin u. a. 2005, S. 318 ff.

3 Vgl. z. B. Coenenberg, A. G., Kostenrechnung und Kostenanalyse, 5. Aufl., Stuttgart 2003; Haberstock, L. Kostenrechnung II, (Grenz-) Plankostenrechnung, 9. Aufl., bearbeitet von V. Breithecker, Hamburg 2004.

4 Vgl. z. B. Schmidt, R. H./Terberger, E., Grundzüge der Investitions- und Finanzierungstheorie, 4. Aufl., Wiesbaden 1997; Blohm, H./Lüder, K., Investition, 8. Aufl., München 1995; Adam, D., Investitionscontrolling, 3. Aufl., München, Wien 2000.

5 Vgl. Weber, J./Linder, S./Spillecke, D., Stand der Planung und Kontrolle betrieblicher Investitionen, in: Kostenrechnungspraxis 2002, S. 291–297, insb. S. 296.



Auszahlungen sowie der Diskontierungsfaktor  $q_t$  zum Zeitpunkt  $t$ :

$$KW = \sum_{t=0}^T Z_t \cdot q_t$$

Die Berechnung von Abweichungen setzt i. d. R. bei der Ermittlung der Gesamtabweichung  $\Delta KW$  an. Die Gesamtabweichung ergibt sich aus der Differenz von Kontrollgröße  $KW^K$  und Vergleichsgröße  $KW^V$ . Die Berechnung des Kapitalwerts basiert auf den Zahlungsüberschüssen sowie den Diskontierungsfaktoren im Zeitablauf. Eine Kapitalwertabweichung geht also auf Differenzen zwischen Kontroll- und Vergleichsgröße bei diesen Faktoren zurück. Um genaueren Einblick in die Gesamtabweichung zu erhalten, wird diese weiter aufgespalten. Da multiplikative Verknüpfungen zwischen den einzelnen Größen vorliegen, wird auf das Konzept der differenziert-kumulativen Methode zurückgegriffen.<sup>6</sup> Im Rahmen einer Abweichungsanalyse lassen sich neben Abweichungen höherer Ordnung grundsätzlich zins- und zahlungsbedingte Kapitalwertabweichungen erster Ordnung unterscheiden, die Indizes K bzw. V kennzeichnen die Kontroll- bzw. Vergleichsgrößen:

$$\begin{aligned} \Delta KW &= KW^K - KW^V = \sum_{t=0}^T Z_t^K \cdot q_t^K - \sum_{t=0}^T Z_t^V \cdot q_t^V \\ &= \underbrace{\sum_{t=0}^T Z_t^V \cdot \Delta q_t}_{(1)} + \underbrace{\sum_{t=0}^T \Delta Z_t \cdot q_t^V}_{(2)} + \underbrace{\sum_{t=0}^T \Delta Z_t \cdot \Delta q_t}_{(3)} \end{aligned}$$

Neue Symbole:

$\Delta Z_t$  Differenz der Zahlungsüberschüsse zum Zeitpunkt  $t$ ,  $\Delta Z_t = Z_t^K - Z_t^V$

$\Delta q_t$  Differenz der Diskontierungsfaktoren zum Zeitpunkt  $t$ ,  $\Delta q_t = q_t^K - q_t^V$

Die zinsbedingte Kapitalwertabweichung (1) gibt diejenige Erfolgsabweichung an, die auf eine Änderung der Kapitalkosten zurückgeht. Sie ist z. B. von Bedeutung, wenn das geplante Investitionsprojekt ein anderes Geschäftsrisiko als das bisherige Investitionsprogramm aufweist. Dann sind projektindividuelle Kalkulationszinsfüße zu planen, die aufgrund eines höheren Unsicherheitsgrads häufig Änderungen unterliegen. Die zahlungsbedingte Kapitalwertabweichung (2) geht darauf zurück, dass die Zahlungsüberschüsse der Kontrollgröße von denen der Vergleichsgröße abweichen. Diese Teilabweichung ist noch sehr hoch aggregiert. Deshalb bietet sich eine weitere Aufspaltung nach Perioden, einzelnen Ein- und Auszahlungen sowie Änderungen von Zahlungshöhe und Zahlungszeitpunkt an. Die Kapitalwertabweichung zweiter Ordnung (3) resultiert aus dem Zusammenspiel der unter (1) und (2) aufgezeigten Effekte und lässt sich keiner Ursache eindeutig zuordnen. Die dargestellten Kapitalwertabweichungen können grundsätzlich jederzeit in der Abweichungsanalyse ermittelt werden. Zur exakten Ursachenermittlung bedürfen die Teilabweichungen einer weiteren Auswertung.

### 3. Investitionskontrollen bei rollender Planung

Bisher wurde grundsätzlich aufgezeigt, welche Teilabweichungen ermittelt werden können. Inwieweit die Kontrolle den angesprochenen Funktionen – Entscheidungs- und Verhaltensbeeinflussungsfunktion – gerecht wird, ist dabei abhängig von der jeweiligen Umweltsituation (Sicherheit bzw. Unsicherheit) sowie dem gewählten Planungsverfahren. Von Praxisrelevanz ist vor allem die rollende Planung bei Unsicherheit. Unsicherheit liegt vor, wenn nicht alle zukünftigen Daten eindeutig und einwertig bekannt sind. Grundsätzlich

6 Vgl. z. B. Ewert, R./Wagenhofer, A., a. a. O., S. 341 ff.



kann dann vom Ergebnis nicht mehr auf die Qualität der Entscheidung zurück geschlossen werden. Bei der rollenden Planung lassen sich die künftig zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen, die Umweltzustände inklusive ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie die eintretenden Handlungsfolgen vorab nicht genau ermitteln. Die Langfristplanung verzichtet deshalb bewusst auf eine detaillierte Festlegung einzelner Aktionen. Sie gibt stattdessen den Rahmen vor, der durch operative Planungen konkretisiert wird.

Bei diesem Vorgehen ergibt sich offensichtlich für die Entscheidungsfunktion ein enger Zusammenhang zur operativen Ebene. Hier erfolgen die Detailplanungen, welche die Basis für Erfolgskontrollen von Investitionsprojekten bilden. Operative Größen sind also der Ausgangspunkt für Investitionskontrollen, um einen kurz- und langfristigen Anpassungsbedarf (optimale Nutzungsdauer, Anpassungs-, Ergänzungsinvestitionen) aufzudecken. Während sich für die Entscheidungsfunktion ein deutlicher Ansatzpunkt aufzeigt, bereitet die Verhaltensbeeinflussungsfunktion Schwierigkeiten. Der Ansatz der rollenden Planung trägt bewusst der Offenheit der Zukunft Rechnung, dem langfristig Planenden wird eine konkrete Vorausplanung nicht abverlangt. Ansatzpunkte zur Eindämmung möglicher Manipulationen liegen in zukunftsorientierten Kontrollen. Diese zwingen zur Aktualisierung der Planung durch neue Prognosen sowie zur Begründung auftretender Abweichungen zur ursprünglichen Planung.

Um Kontrollen durchführen zu können ist abschließend zu klären, welche Größen – Kontroll- und Vergleichsgrößen – zur Ermittlung der Abweichungen heranzuziehen sind. Die Kontrollgröße ist i. d. R. der Kapitalwert der bis zum aktuellen Zeitpunkt realisierten Zahlungsüberschüsse, für die zukünftigen

Zeitpunkte werden dagegen Prognosegrößen gewählt, die die Auswirkungen bereits korrigierter Ausführungsfehler berücksichtigen. Bei rollender Planung dienen bis zum aktuellen Zeitpunkt die operativ geplanten Budgets, für die zukünftigen Zeitpunkte Prognosen des letzten Planungszeitpunkts als Vergleichsgröße.

#### 4. Investitionskontrollen im Investitionsprozess

Der Investitionsprozess umfasst vier Phasen:

(1) Die Planungsphase dient der Vorbereitung der Investitionsentscheidung. Fällt diese positiv aus, wird das Investitionsprojekt in (2) der Aufbauphase angeschafft und auf seine Nutzung vorbereitet. In (3) der Nutzungsphase gilt es, das gebundene Kapital zu amortisieren, die Kapitalkosten zu erwirtschaften und zusätzlich Gewinn zu erzielen. Mit Ende (4) der Stilllegungsphase scheidet das Investitionsprojekt aus dem Unternehmen aus. Für jede Phase ist die Investitionskontrolle zu konkretisieren.

Zu (1): Während sich das Investitionsprojekt noch in der Planungsphase befindet, erfolgen häufig Neuplanungen. Kontrollen innerhalb dieser Phase stellen daher zu unterschiedlichen Planungszeitpunkten bestimmte Kapitalwerte gegenüber, ermitteln die Gesamtabweichung und zerlegen diese in Teilabweichungen. Die Kontrollen haben Entscheidungsfunktion, sie können die Auswirkungen von Prämissenänderungen bzw. Planungsfehlern offen legen und – im Sinne von Sensitivitätsanalysen – Erfolgsfaktoren der Investitionsprojekte aufzeigen.

Zu (2): Nachdem das Investitionsprojekt genehmigt wurde, werden für die Aufbauphase die Investitionsbudgets als einmalige Anschaffungsauszahlungen abgeleitet. Die Investitionskontrolle in dieser Phase ist häufig Teil einer Projektkontrolle<sup>7</sup>, die neben der Wirtschaftlichkeit auch Abläufe, Termine

7 Vgl. z. B. Coenenberg, A. G., a.a.O., S. 421 ff.



und Ressourcen anhand eines Projektstrukturplans steuert. Sie stellt auf die laufenden Auszahlungen ab, um so Schwachstellen in der Aufbauphase möglichst frühzeitig identifizieren und gegensteuern zu können (Entscheidungsfunktion). Zusätzlich erfüllt die Kontrolle eine Verhaltensbeeinflussungsfunktion. Die Aufbauphase führt oft zu Moral hazard-Verhalten, da diese Phase i. d. R. mit der Ausgabe große Beträge verbunden ist. Kontrollen wirken hier prophylaktisch und können Lern- und Motivationseffekte erzielen.

Zu (3): Auch die Nutzungsphase wird durch Investitionskontrollen begleitet. Bei rollender Planung wird die langfristige Investitionsplanung sukzessive durch operative Planungen konkretisiert. Es besteht ein enges Zusammenspiel zwischen operativen<sup>8</sup> und Investitionskontrollen. Erstgenannte ersetzen jedoch nicht die letztgenannten, vielmehr sind die einperiodigen operativen Kontrollen in mehrperiodige Investitionskontrollen zu überführen, um so dem speziellen Entscheidungsbedarf der Investitionsprojekte (z. B. Nutzungsdauer, Ergänzungs-, Anpassungsinvestitionen) gerecht zu werden und aus Sicht der Verhaltensbeeinflussung zu einer ganzheitlichen, nicht nur periodenorientierten Sichtweise zu führen. Zur angesprochenen Überführung sollte auf das Lücke-Theorem zurückgegriffen werden, die Investitionsrechnung und -kontrolle erfolgt also auf Basis periodisierter Größen, die bei stringenter Ableitung zum gleichen Kapitalwert führen.<sup>9</sup> Kennzeichnet  $G_t$  den Gewinn vor kalkulatorischen Zinsen,  $i_t$  den Zinssatz und  $V_t$  das Vermögen zum Zeitpunkt  $t$ , dann gilt:

$$KW = \sum_{t=0}^T (G_t - i_t \cdot V_{t-1}) \cdot q_t$$

Der hier verwendete Gewinn nach Zinsen (in der Formel der geklammerte Term) entspricht dem des Economic Value Added und spielt im Rahmen der wertorientierten Unternehmensführung vieler Unternehmen eine große Rolle.<sup>10</sup> Für die Abweichungsrechnung ergibt sich:<sup>11</sup>

$$\begin{aligned} \Delta KW &= KW^K - KW^V = \sum_{t=0}^T (G_t^K - i_t^K \cdot V_{t-1}^K) \cdot q_t^K - \sum_{t=0}^T (G_t^V - i_t^V \cdot V_{t-1}^V) \cdot q_t^V \\ &= \underbrace{\sum_{t=0}^T G_t^V \cdot \Delta q_t + \sum_{t=0}^T V_{t-1}^V \cdot (\Delta q_t - \Delta q_{t-1})}_{(1)} + \underbrace{\sum_{t=0}^T \Delta G_t \cdot q_t^V}_{(2a)} - \underbrace{\sum_{t=0}^T i_t \cdot \Delta V_{t-1} \cdot q_t^V}_{(2b)} \\ &\quad + \underbrace{\sum_{t=0}^T \Delta G_t \cdot \Delta q_t + \sum_{t=0}^T \Delta V_{t-1} \cdot (\Delta q_t - \Delta q_{t-1})}_{(3)} \end{aligned}$$

Neue Symbole:

$\Delta G_t$  Differenz des Gewinns vor kalkulatorischen Zinsen zum Zeitpunkt  $t$ ,  $\Delta G_t = G_t^K - G_t^V$

$\Delta V_t$  Differenz des Vermögens zum Zeitpunkt  $t$ ,  $\Delta V_t = V_t^K - V_t^V$

Term (1) umfasst die zinsbedingte Kapitalwertabweichung. Diese bezieht sich sowohl auf den Gewinn vor kalkulatorischen Zinsen als auch das Vermögen, letzteres jeweils immer nur mit Auswirkung auf eine Periode. Term (2a) erfasst die Abweichungen erster Ordnung resultierend aus einer Veränderung des Gewinns vor Zinsen, Term (2b) diejenigen aus einer Vermögensänderung. Eine weitere Aufspaltung von (2a) und (2b) nach Perioden, einzelnen Gewinn- und Vermögenskomponenten sowie in zeitpunkt- und höhenbedingte Ursachen ist problemlos möglich. Term (3)

8 Zu operativen Kontrollen vgl. Coenenberg, A. G., a. a. O., S. 351 ff.; Haberstock, L., a. a. O., S. 255 ff.

9 Vgl. hierzu Küpper, H.-U., a. a. O., S. 126 ff. Bei der Ableitung von  $G_t$  und  $V_t$  muss folgender Zusammenhang beachtet werden:

$$\Sigma_t G_t = \Sigma_t Z_t \text{ und } V_{t+1} = \Sigma_{\tau=0}^{t+1} (G_\tau - Z_\tau).$$

10 Z. B. VW, HeidelbergCement, Siemens, Coca Cola, Metro, Procter & Gamble, Toys 'R' Us.

11 Die Indizes K bzw. V kennzeichnen wiederum die Kontroll- bzw. Vergleichsgrößen.



beinhaltet die Abweichungen höherer Ordnung. Zu (4): Die Stilllegungsphase endet, wenn das Investitionsprojekt aus dem betrieblichen Geschehen ausscheidet. In dieser letzten Phase sind nur noch vergangenheitsorientierte Kontrollen möglich. Diese entsprechen vom Vorgehen den Kontrollen in der Nutzungsphase und besitzen vor allem Verhaltensbeeinflussungsfunktion.

## **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Zentrales Element der Investitionskontrolle ist die Abweichungsanalyse, hierbei bietet sich die Aufspaltung in zins- und zahlungsbedingte Abweichungen sowie Abweichungen höherer Ordnung an. Bei rollender Planung unter Unsicherheit ergibt sich dabei ein enges Zusammenspiel zwischen der operativen sowie der Investitionskontrolle. Die einzelnen Phasen des Investitionsprozesses haben zentralen Einfluss auf Ausgestaltung und Aussagekraft der Investitionskontrolle. In der Aufbau- bzw. Nutzungsphase ergibt sich ein enger Zusammenhang zur Projektkontrolle bzw. zur operativen Kontrolle. Dieser Zusammenhang macht die Investitionskontrollen jedoch nicht überflüssig,

sondern erfordert vielmehr eine Harmonisierung der jeweiligen Vorgehensweisen. Hilfreich hierfür ist das Lücke-Theorem. Somit werden in vielen Unternehmen schon wichtige Grundlagen in Bezug auf die Investitionskontrolle vorhanden sein, was fehlt, ist eine stringente Anwendung auf die Investitionsprojekte. Hierbei geht es vor allem um ein „Bewusstwerden“ der Investitionskontrolle. Abschließend ist festzuhalten, dass Ergebniskontrollen einen wichtigen Baustein des Investitionskontrolling darstellen. Sie unterstützen in jeder Phase des Investitionsprozesses die Entscheidungs- und Verhaltensbeeinflussungsfunktion. Letztere wird aber nicht alleine durch Ergebniskontrollen bewältigt, sie sind vielmehr als ein Element eines umfassenden Verhaltensbeeinflussungsinstrumentariums (Verfahrenskontrollen, Anreizsysteme) zu sehen.

### **Kontakt:**

Prof. Dr. Michael Keilus, Prof. Dr. Dominik Kramer  
Fachbereich Wirtschaft  
keilus@fh-trier.de, kramer@fh-trier.de

## Qualifikation von Mitgliedern der Aufsichtsgremien öffentlicher Unternehmen

Jochen Struwe

### 1. Ausgangslage

Die etwa 14.000 deutschen Gemeinden und Gemeindeverbände werden von einer sechsstelligen Zahl ehrenamtlicher Kommunalpolitiker regiert. Allein über die Haushalte ihrer Gebietskörperschaften entscheiden diese Kommunalpolitiker alljährlich über Investitionen und konsumtive Ausgaben in dreistelliger Milliardenhöhe. Im Zuge der Einführung Neuer Steuerungsmodelle werden immer häufiger wirtschaftliche Aktivitäten in kommunale Eigenbetriebe und Eigengesellschaften wie ausgelagert. Dabei kommt es immer häufiger vor, dass in diesen Unternehmen ein höherer Jahresumsatz getätigt wird als im Haushalt der Gebietskörperschaft selbst ausgewiesen wird. Auch diese Unternehmen werden von Betriebskommissionen, Werkausschüssen oder Aufsichtsräten beraten und kontrolliert, in denen ehrenamtliche Politiker die Mehrheit haben.

Die wenigsten Mitglieder der Aufsichtsgremien solcher Unternehmen – z. B. ehrenamtliche Kreistagsabgeordnete und Stadtverordnete, Bürgermeister und Stadträte, so genannte Sachverständige Bürger – haben die fachliche Qualifikation, um den in diesen Aufsichtsgremien wahrzunehmenden Aufgaben formal, insbesondere aber materiell gerecht werden zu können. Dies ist in zweifacher Hinsicht bedenklich:

- Erstens können diese Politiker ihren zentralen Aufgaben, nämlich Raten, Entscheiden und Überwachen, mangels ausreichender Kenntnisse faktisch nicht nachkommen. Unmittelbare Folge sind neben an sich schon problematischen Demokratieverlusten wirtschaftliche Fehlentscheidungen, die sich jährlich zu Milliardenbeträgen addieren (ein Blick in die Berichte der Rech-

nungshöfe oder die Schwarzbücher des Bundes der Steuerzahler reicht zur Bestätigung dieser Aussage).

- Zweitens haften diese Politiker bei grob fahrlässigen Fehlentscheidungen zivil- wie strafrechtlich. Alle Parteien beklagen mit Recht, dass es immer schwieriger wird, Nachwuchskräfte für die Übernahme von Verantwortung gerade auf kommunaler Ebene zu gewinnen. Gleichzeitig wird die Verweildauer in den Parlamenten und damit die Zeit, Erfahrung zu gewinnen, immer kürzer. Ein Grund für mangelndes Engagement ist die Unsicherheit über die damit verbundenen Risiken.

### 2. Projektziel

Die Gesellschaft ist in der Pflicht, ihren Vertretern in den Aufsichtsorganen öffentlicher (zumeist kommunaler) Unternehmen die Qualifikationen zu verschaffen, die nötig sind, damit diese ihre

- politischen (Art. 28 Abs. 2 GG),
- gesellschaftsrechtlichen (HGB, AktG, GmbHG, Kommunalverfassungen, Eigenbetriebsgesetze der Länder),
- volkswirtschaftlichen (§ 1 i. V. m. § 16 StWG) und
- betriebswirtschaftlichen („Sicherung der stetigen Erfüllung der Aufgaben“)

Verantwortlichkeiten wahrnehmen können.

Mit diesem Ziel soll in Zusammenarbeit mit geeigneten Fachgebieten, Verbänden, Behörden und Unternehmen ein Kompetenzzentrum aufgebaut werden, das den (kommunal)politischen Vertretern in den Aufsichtsgremien das notwendige formal-methodische, materiell-inhaltliche und soziale Rüstzeug vermittelt. Der Deutsche Corporate Governance Kodex, der allen Unternehmen zur Anwendung empfohlen wird, fordert denn auch in diesem Sinn: „Bei Vorschlägen zur Wahl von Aufsichtsratsmitgliedern soll darauf geachtet werden,



dass dem Aufsichtsrat jederzeit Mitglieder angehören, die über die zur ordnungsgemäßen Wahrnehmung der Aufgaben erforderlichen Kenntnisse, Fähigkeiten und fachlichen Erfahrungen verfügen und hinreichend unabhängig sind.“ Es ist kein Grund erkennbar, warum dies nicht auch und gerade für im öffentlichen Eigentum befindliche Unternehmen gelten sollte.

Politische Aktivität und ehrenamtliches Engagement – die auch in anderen Bereichen dringend professionalisiert werden müssten, wenn diese Vorleistung bezahlt werden könnte – würden durch die wissenschaftlich abgesicherte, praxisnahe Weiterbildung und Beratung an Attraktivität und Nachhaltigkeit gewinnen.

Die nach ihrer Weiterbildung sachkundigeren (Kommunal-)Politiker würden erstmals zum gleichwertigen „Sparringpartner“ der hauptamtlichen Unternehmensführungen; Entscheidungen würden sachgerechter und damit wirtschaftlicher fallen, die öffentlichen Haushalte und damit letztlich die Abgabepflichtigen entsprechend entlastet. Eine bessere und vor allem kurzfristig realisierbare Rendite ist bei kaum einer anderen Qualifizierung zu erzielen.

Hinsichtlich der Verwertung der Arbeitsergebnisse wird angestrebt, dass ein während der Projektlaufzeit zu errichtendes Kompetenzzentrum „Politische Führung öffentlicher Unternehmen“

Arbeits- und Lehrmaterialien sowie Tagesseminare entwickelt und anbietet, Aufsichtsgremien und deren Mitglieder entsprechend berät und sich nach einer Einführungsphase am Markt wirtschaftlich selbst trägt.

### 3. Projektstand

Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke e. V.“ als Projektträger des Bundesministeriums für Bildung und Forschung hat unser Forschungsprojekt mit Schreiben vom 04.08.2004 „zur Förderung empfohlen“. Das Fachgebiet hat – neben zahlreichen weiteren Ansprechpartnern aus staatlichen wie kommunalen Parlamenten, Verwaltungen und Unternehmen – folgende Kooperationspartner gewonnen:

- Verband kommunaler Unternehmen VKU e. V., Köln
- Eigenbetrieb Stadtwerke Heppenheim
- Zweckverband Abfallwirtschaft Kreis Bergstraße, Lampertheim
- Ministerium der Finanzen Brandenburg, Potsdam
- KKV Kompetenzzentrum für Kommunales Umweltrecht, Birkenfeld
- ISS Institut für Softwaresysteme in Wirtschaft, Umwelt und Verwaltung, Birkenfeld

### Kontakt:

Prof. Dr. Jochen Struwe  
Fachbereich Umweltplanung/ -technik  
j.struwe@umwelt-campus.de



## Interdisziplinäre Patientenversorgung im Team

Elvira Kuhn

In Zusammenarbeit mit mehreren Krankenhäusern und Institutionen (RWTH Aachen, Universitätsklinik Bad Homburg, Cusanuskrankenhaus Bernkastl, Arztpraxis Dr. Oser in Bernkastl) konnten neue Erkenntnisse bezüglich der Modernisierung des Gesundheitswesens, Abbau von Überkapazitäten und intersektorale Patientenversorgung erforscht und technisch unterstützt werden. In diesem Zusammenhang sind einige Veröffentlichungen entstanden, die auf der GMDS in Freiburg präsentiert wurden. Hier werden die wesentlichen Perspektiven für das Informationsmanagement im Krankenhaus vorgestellt.

### Einleitung

Der verstärkte Wettbewerb zwischen den Krankenhausbetreibern erfordert ein wirtschaftliches und qualitativ hochwertiges Leistungsangebot. Eine optimale Informationsversorgung spielt hierbei eine wesentliche Rolle. So kann ein optimal funktionierendes Informationsmanagement die effiziente Erledigung von Aufgaben stark erhöhen. Wir betrachten dieses Themengebiet aus zwei Perspektiven: Zum einen wollen wir wettbewerbstaugliche Unternehmensstrukturen für Krankenhäuser schaffen mit dem Ziel, den aktuellen Umbruchprozess nachhaltig zu unterstützen und aus Krankenhäuser integrierte Gesundheitsversorger werden lassen. Aufbauend auf dieser strategischen Perspektive wollen wir zum anderen die Planung des Informationsmanagements auf strategischer, taktischer und operativer Ebene sicherstellen. Dies erreichen wir durch die Vorgabe von Leitlinien zur Erstellung eines Rahmenkonzepts als Werkzeug zur Entwicklung eines Krankenhausinformationssystems.

### Der strategische Aspekt als Basis für ein Informationsmanagement

Gemäß der Aufgabenstellung, nämlich die Schaffung wettbewerbstaugliche Unternehmens-

strukturen, beginnen wir mit der strategischen Ausrichtung des Krankenhauses. Wesentliche Bestandteile sind die Vision, die Unternehmenskultur und die Strategien, die als Lösungen der internen und externen Problemfelder dienen sollen. Die Strategien erstrecken sich vom Changemanagement, über Qualitätsmanagement, Prozessorientierung, Tiefe der Vernetzung und Entwicklung der Informations- und Kommunikationssysteme, Personalmanagement, Patientenorientierung, Reorganisation der Krankenhausführung bis zur Center-Organisation. Bild 1 zeigt beispielhaft die Kooperationsstrategien als Reaktion auf die Einflüsse der politischen Rahmenbedingungen sowie der demographischen und soziokulturellen Entwicklungen. Folgende Fragen müssen beantwortet werden: Welche Bereiche sollen kooperieren? Welche Partner kommen in Frage? Was kann durch Dritte erbracht werden (Outsourcing)?



Bild 1: Kooperationsstrategien

Unerlässlich ist als Ausgangsbasis zur Entwicklung einer Strategie die Identifikation der Zielträger und ihrer Interessen; hieraus leiten wir strategische Ziele ab. Mit Hilfe der zuvor genannten strategischen Konzepte wird Strategieimplementierung konkretisiert. Dies bedeutet, dass für jede Strategie die Ziele genannt werden, Maßnahmen auf diese Ziele abgestimmt werden und für jede Maßnahme



der Erfolg durch Messkriterien fassbar gemacht wird. Aus dem veränderten Tätigkeitsfeld eines Krankenhauses ergeben sich auch veränderte Rollenbilder für ein Gesundheitszentrum und dessen Akteure.

## Rahmenkonzepte als Werkzeug für das Informationsmanagement

Ein wesentliches Element der Strategien der Unternehmensführung stellt ein funktionierendes Informationsmanagement dar. Mit einem Leitfaden zur Erstellung von Rahmenkonzepten sollen die verantwortlichen Mitarbeiter in Krankenhäusern die Informationsverarbeitung systematisch und vollständig planen können. Für ärztliche Mitarbeiter, Pflegedienst, Verwaltung sollen Arbeitsabläufe verbessert werden, Information über die langfristige Entwicklung vorhanden sein, sie sollen auf die Umsetzung Einfluss nehmen können, Werkzeuge der Informationsverarbeitung sollen verbessert werden, und sie sollen die für sie relevanten Aspekte der strategischen Planung der Informationsverarbeitung dem Rahmenkonzept entnehmen können. Für die IT-Abteilung soll ablesbar sein, welche Projekte mit welcher Priorität in Angriff zu nehmen sind, um eine konzeptionelle und strategisch zielgerichtete Projektierung vornehmen zu können sowie das koordinierte Umsetzen ihrer Vorhaben zu gewährleisten. Die Geschäftspartner schließlich sollen aus dem Rahmenkonzept Informationen entnehmen können, um ihre Angebote gezielt auf die Architektur abstimmen zu können. Bild 2 zeigt das vorgeschlagene Vorgehensmodell in Anlehnung an das Spiralmodell von Boehm. Jeder Phase haben wir die jeweiligen Methoden zugeordnet.

In diesem Vorgehensmodell sind die Integration von Zielen, Alternativen und Rahmenbedingungen sowie eine Risikominimierung berücksichtigt. Ebenso ist gewährleistet, dass kompetente Perso-



Bild 2: Vorgehensmodell zur Entwicklung eines strategischen Informationsmanagements  
nen zur Bewertung von Änderungswünschen herangezogen werden.

## Zusammenfassung

Bei unserem vorgeschlagenen Konzept ist die Informationslogistik auf der strategischen Ausrichtung abgestützt. Die Abstimmung zwischen strategischer Ausrichtung und tatsächlicher Prozessgestaltung wird zusätzlich durch die konsequente Orientierung des Rahmenkonzepts für das Informationsmanagement an modernen Methoden der Wirtschaftsinformatik wesentlich verbessert. Dies und eine optimierte Organisationsstruktur bilden die Erfolgsfaktoren, um im Wettbewerb bestehen zu können.

## Ausblick

Es empfiehlt sich eine frühzeitige Suche nach geeigneten Kooperationspartnern. „Schnellschüsse“ ersetzen keine Reorganisationsmaßnahmen. Es ist vorgesehen, dass das vorgeschlagene Rahmenkonzept in der AG Methoden und Werkzeuge für das KIS-Management der GMDS Ende des Jahres diskutiert wird und im Netz veröffentlicht wird.

## Kontakt:

Prof. Dr. Elvira Kuhn  
Fachbereich Wirtschaft  
ELVYKUHN@aol.com

## Schaffung eines Instrumentariums zur Messung von Leistungen im und durch das Militär

Elvira Kuhn

### Ergebnisse zur Umfrage

Im Zusammenhang mit unserem Forschungsvorhaben – gemeinsam mit der Gesellschaft der Militärökonomie – beschäftigen wir uns mit organisatorisch-personellen Parametern eines beherrschbaren Dienstleistungsprozesses. Wir haben zu diesem Themengebiet Personen, Partner, Gruppierungen und Institutionen, die mit dem Militär zu tun haben, befragt.

### Einleitung

Ausgehend von der Tatsache, dass eine Wirtschaftlichkeitsbeurteilung nicht allein durch die Erfassung und Berechnung von Kosten getroffen werden kann, wollen wir die Leistungsparameter herausfiltern, die eine Beurteilung unterschiedlicher militärischer Bündnisse in Europa erlauben. Nach der Definition des Begriffs Leistung als das Ergebnis von Aufgabenerfüllung unter Mitwirkung des menschlichen Willens haben wir einen Fragekatalog zur Feststellung der strategischen Eckpunkte und des Interesses an unserer Forschungsarbeit erstellt. Dieser Fragekatalog ist in die fünf Rubriken Sinn einer Leistungsmessung, die Gestaltung von Leistungsprozessen, Innovation und Technik in Bezug auf Leistung, Information und Kommunikation – innerbetrieblich, Information, Kommunikation, Kooperation – gesellschaftlich eingeteilt. In allen Rubriken waren freie Antworten möglich. Wir werden im Folgenden auszugsweise Fragestellungen und Antworten vorstellen und die Schlussfolgerungen aus diesen Antworten ziehen.

### Sinn einer Leistungsmessung

Um den Erwartungen engagierter Militärökomen gerecht zu werden, haben wir diese befragt, ob eine Untersuchung der Optimierung der militärischen Prozesse in Bezug auf Qualität, auf Zweckmäßigkeit,

auf Anwendungsmöglichkeiten in Europa und auf Kosten und Zeiten erfolgen soll. Weiterhin wollten wir wissen, ob die Entwicklung von Messzahlen zur Überprüfung der Erreichung gesetzter Ziele sinnvoll erachtet wird. Da der Mensch bei militärischen Einsätzen besonderen Personalschutzes bedarf, haben wir gefragt, ob in die Leistungsbetrachtung einsatzbezogene Erziehung, Ausbildung, Bildung und Training einbezogen werden soll. Die Bedeutung von Untersuchungen der Prozesse hinsichtlich Wirtschaftlichkeit im üblichen geldorientierten Sinne, die Vermeidung von leistungsgefährdenden Knappheitsgraden sowie die Vermeidung von Leistungsdefiziten und Nutzeneinbußen zur Feststellung von Leistung wurde ebenfalls abgefragt.

Im Ergebnis wurde die Optimierung militärischer Prozesse hinsichtlich des Kosten-Leistungs-Verhältnisses, der Knappheit der Mittel, die Zweckmäßigkeit sowie die Qualität am häufigsten als bedeutend bewertet.

### Gestaltung von Leistungsprozessen

Wir wollten feststellen, welche Werte und Normen bei der Gestaltung von Leistungsprozessen beachtet werden sollten und Vorschläge erhalten, wie wir das Messzahlensystem dementsprechend gestalten könnten. Achtung auf die Menschenrechte, Gemeinschaftsethos wegen der staats- und bündnisdienenden Aufgaben, Gemeinschaftsgeist wegen der gemeinschaftlichen Leistungsziele, soziale, religiöse und kulturelle Beziehungen, intellektuelle, fachliche, physische und psychische Eigenschaften des Personals, personale/s Verantwortungsbewusstsein und -fähigkeit (im eigenen Handeln und im Führen), Spannungs- und Konfliktfähigkeit seien hier auszugsweise als relevante Möglichkeiten genannt. Intellektuelle und fachliche Eigenschaften des Personals, Spannungs- und Konfliktfähigkeit, physische und psychische Eigenschaften sowie die Übernahme von Verantwortung wurden als bedeutend



angesehen, während erstaunlicherweise die Religion und die soziale Beziehung zu Angehörigen in den meisten Fällen als bedeutungslos eingestuft wurde.

### Innovation und Technik in Bezug auf Leistung

Mit diesem Fragekomplex wollten wir die Auffassungen zur Notwendigkeit des Bereithaltens jeweils neuester wehrtechnischer Systeme für die Streitkräfte feststellen. Wir wollten die Bedeutung der Wirkung neuester wehrtechnischer Systeme im Hinblick auf Einsatzziele unterteilt auf Verbandsebene, auf Länderebene und auf Europa-Ebene wissen. Ebenso wollten wir die Wirkung neuester wehrtechnischer Systeme im Hinblick auf ihre Nutzung in Erfahrung bringen. Bild 1 zeigt das Ergebnis der Befragung.

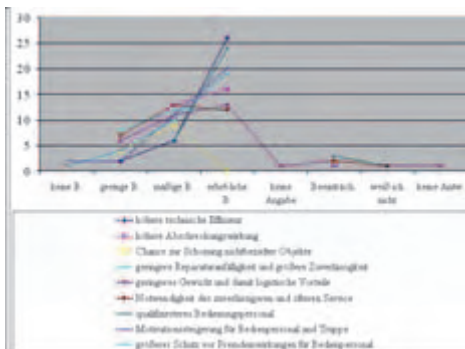


Bild 1 Bedeutung der Wirkung neuester technischer Systeme

### Information und Kommunikation – innerbetrieblich

Das Personal sollte zur Förderung sinnvollen ökonomischen Verhaltens die betriebswirtschaftlich berechneten Kosten der Leistungserstellung gegenüber der erbrachten Leistung in ein Verhältnis setzen können. Sowohl die Bedeutung der Verbesserung der Wirtschaftlichkeitsvorstellung als auch die Bedeutung eines guten Informationsflusses für die Truppe, die Abteilungen des BMVg, militärische Ämter, Befehlsbereiche, Ausschüsse u. Ä. wollten wir mit diesem Themenkomplex feststellen. Hier das Ergebnis: Förderung der Wirtschaftlichkeitsvorstellung

kann am ehesten erzielt werden durch die Kenntnis der Service-Zeitsspannen und Kosten für das gesamte System. Gute und rechtzeitige Information über Änderungen der geforderten und erbrachten Leistungsinhalte sollten den Truppen zugänglich gemacht werden. Informationen zwischen Ämtern, Stäben, Ausschüssen u. Ä. benötigen für ihre Entscheidungen die sorgfältige Prüfung der Hinzuziehung von externen Experten und deren Eignung.

### Information, Kommunikation, Kooperation – gesellschaftlich

Die Leistung militärischer Institutionen ist das eine, doch der sich daraus für Gesellschaft/en und Staat/en ergebende Nutzen ist das weitere. Als Nutzen definieren wir das Ergebnis der Bedürfnisbefriedigung. Wir wollten wissen, welche Bedeutung diesem Phänomen zugeordnet wird. Wichtig für den gesellschaftlichen Nutzen wird das gemeinsame Streben nach Sicherheit gesehen. Durch militärische Bündnisse wird zusätzlicher Nutzen bewirkt. Leistungsmessung und -bewertung führt zur besseren Nutzenerkenntnis.

### Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Leistungsmessung im Militär geht es darum die erbrachte Leistung mit geeigneten Methoden zu messen und kritisch zu überprüfen, ob die angestrebten Qualitätsziele und Aufgaben durch die Leistung erreicht wurden. Insgesamt wird die Forschungsarbeit als bedeutend angesehen. Wir führen zurzeit Befragungen im Bundesministerium der Verteidigung und im Militär selbst durch. Dazu haben wir die Genehmigung mit der Registriernummer 1/525/05 vom Ministerium der Verteidigung erhalten.

### Kontakt:

Prof. Dr. Elvira Kuhn  
Fachbereich Wirtschaft  
ELVYKUHNA@aol.com



## Zur Synthese von Didaktik und Design

### am Beispiel von movii – moving images & interfaces

Franz Kluge

#### Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden innovative Designansätze zur Gestaltung hypermedialer Lernsysteme in ausgewählten Aspekten am Beispiel von movii – moving images & interfaces<sup>1</sup>, einer Lernplattform für Gestaltungsgrundlagen in den Medien – exemplarisch dargestellt. Die Designentwicklung dieses Systems sowie wesentliche Teile der darunter liegenden IT-Entwicklung und die dazu korrespondierenden didaktischen Ansätze wurden an der FH Trier entwickelt. Bei movii führt die parallele Berücksichtigung von allgemein- wie fachdidaktischen Anforderungen des eLearning, den gestaltungsspezifischen Potenzialen

computergestützter Bildschirmmedien und den informationstechnischen Entwicklungsmöglichkeiten von Crossmedien zu einem integrierten Ansatz, der mediengestütztes Lernen als eine umfassende Visualisierungsaufgabe in der Fläche und im Raum begreift. Die Mediengestaltung von hypermedialen Lernsystemen ergibt sich in diesem Fall aus sich gegenseitig anregenden Wechselwirkungen zwischen Technik, Didaktik und Design. Lernobjekte zeigen sich als plastisch greifbare Interaktionsobjekte und prägen aus ihrer inneren Logik die Struktur und das Design der Systemnavigation. Umgekehrt wird Didaktik zu einer kreativen Entwurfsaufgabe im medialen Raum, nachhaltig geprägt durch die wachsenden, insbesondere auch räumlichen Darstellungsmöglichkeiten der vernetzten digitalen Medien. Die Möglichkeit einer verallgemeinerbaren Pattern Language für Lernsysteme zeichnet sich ab.

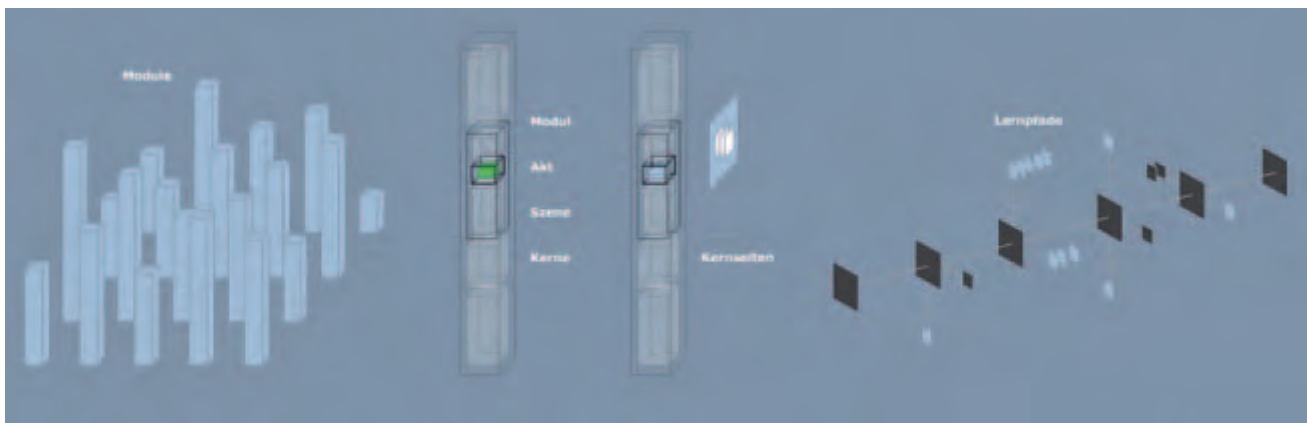


Bild 1: Die movii-Inhaltswelt wird in zwei prinzipiell unterscheidbaren Darstellungs- und Zugriffsformen organisiert. Als eine thematisch mehrschichtig gegliederte Enzyklopädie der movii-Module nach dem ‚MASKE-Prinzip‘ (MASKE = Modul, Akt, Szene, Kerne, Elemente) werden die Kerninhalte in ausbaufähigen Containern vorgehalten und können über freies Browsen erschlossen werden. Dem steht die raum-zeitliche Organisation dieser Inhalte gegenüber, denen als Lernobjekte eine didaktisch-logische Wissensstruktur unterlegt ist.

<sup>1</sup> movii – moving images & interfaces wurde als Kooperationsprojekt der FH Brandenburg, FH Mainz, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, FH Osnabrück, FH Trier und Universität Trier im Rahmen des BMBF-Programms Neue Medien in der Bildung realisiert.

# Gestaltung und Medien



## 1. Synergien zwischen Didaktik und Design

Movii – moving images & interfaces ist ein offenes, strukturiertes Hypermedium, das die Selbststeuerung der Nutzer und explorative Lernformen fördert sowie die Darstellungsmöglichkeiten der digitalen Medien nutzt. Die Beherrschbarkeit solcher Lernsysteme stellt hohe Anforderungen an die Bereitstellung von Orientierungs- und Handlungswissen wie auch von Navigations- und Interaktionsfunktionen. Für die damit verbundene, notwendige Zusammenführung von Didaktik und Design zeigt die Entwicklung der movii-Lernumgebung beispielhafte Lösungswege auf: Innovative Design- und Visualisierungsansätze eröffnen dem didaktischen Experiment neue Spielräume und praxisbezogene, multimodale Didaktikanforderungen werden zum Gegenstand der Gestaltung. So erwachsen aus dem Zusammenwirken von Mediendidaktik und Mediendesign kreative Impulse für den Entwurf hypermedialer Lernumgebungen.

## 2. Grundlagen und Freiheit der Gestaltung

Die aktuelle Vermittlungsaufgabe der movii-Lernumgebung betrifft die Gestaltungsgrundlagen in den Medien. Es liegt in der Natur dieser Grundlagen, das Ergebnis subjektiver, auch künstlerischer

Setzungen zu sein. Gestaltungsgrundlagen werden deshalb immer wieder aufs Neue konstruiert. Wissensformen wie diese, wo wenig konventionalisiertem, kognitivem Erklärungswissen differenzierte Formen des ästhetischen Erfahrungswissens und ästhetischer Urteilsbildung gegenüberstehen, verlangen ein inspirierendes Lernumfeld, welches die kreative Autonomie der Lernenden anregt und fördert. Für movii ist demnach die Integration der Vermittlung von Wissen (movii-Inhalte), der selbstbestimmten Aneignung von Wissen (movii-Schreibtisch) und der in Gruppen stattfindenden Kommunikation und Kooperation über Wissen (movii-Community) von zentraler Bedeutung. Hierbei gilt es, sowohl für die Lehrenden als auch für die Lernenden ein Maximum individueller Gestaltungsfreiheit zu wahren und dafür geeignete Navigationsstrukturen bereitzustellen.

## 3. Lern- und Interaktionsobjekte

Das komprimierte movii-Navigationsdesign lässt deshalb größtmöglichen Freiraum für Inhaltepräsentationen in verschiedensten Layouts. Das Auto-entwurfswerkzeug eröffnet hierzu über einem variantenreichen Templatesystem erhebliche Spielräume. Konventionelle wie experimentelle Layouts von

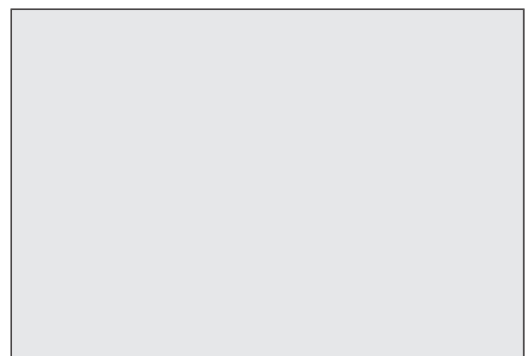


Bild 2: Die Kerninhalte werden als kleinste Wissenseinheiten des movii-Systems auf elementare movii-Marker abgebildet. Diese Marker sind Schaltflächen und zugleich Bausteine, die nun zu raumbildenden interaktiven Komplexen (Lernobjekte) zusammengefügt werden können.



Bild 3: L-Vis – movii-Lernobjekte entfalten sich in den Raum. Sie eröffnen Haupt- und Nebenwege mit unterschiedlicher didaktischer Orientierung. Für wechselnde Verwendungszwecke sind Ergänzungen oder Umbauten dieser Objekte möglich. Instruktionistische wie auch konstruktivistische Didaktikkonzepte lassen sich realisieren.

multimedialen Bild-Textgefügen erlauben die Gestaltung medienspezifisch und mediendidaktisch optimierter Inheldesigns. Parallel zu ihrem nach innen ausdifferenzierten Mikrodesign können die kleinsten Wissenseinheiten, die movii-Kerninhalte, auch zu komplexeren Gebilden zusammengefügt werden. Auf diese Weise entstehen plastische, polyvalente Lernobjekte, die in einer Vielzahl von Freiheitsgraden ausgestaltet werden können. Das Makrodesign dieser interaktiven 3-D-Objekte erzeugt einen semantischen Raum, der didaktisch interpretierbar und visuell zugänglich ist. Diese Visualisierung der movii-Lernobjekte hat einen doppelten Effekt: Die didaktische Orientierung des räumlich organisierten Lernmaterials zeigt sich auf einen Blick. Und zugleich ermöglichen sie als Interaktionsobjekte den organisierten Zugriff auf die dahinter liegende Inhaltswelt.

#### 4. Didaktik im medialen Raum

Die movii-Kerninhalte finden sich im Navigationsdesign dieser Lernumgebung als movii-Icons in jeweils spezifischen Zuordnungen repräsentiert. Die Anordnung dieser interaktiven Marker im didaktisch-räumlichen Koordinatensystem der movii-Applikation gibt Aufschluss über die me-

thodische Positionierung der dahinter stehenden Kerninhalte: Handelt es sich – immer bezogen auf die didaktische Orientierung des Lernobjekts – um die Vermittlung von Basiswissen, um eine Veranschaulichung oder um vertiefende Aspekte von Sachverhalten, werden mögliche Vernetzungen des angebotenen Materials aufgezeigt oder führen Aufgabenstellungen zu seiner weiterführenden Befragung? Das didaktische Basiskonzept von movii überträgt elementare Aneignungsformen von Wissen in das elementare Orientierungsraster einer x/y-Ebene: Tätig-praktischen stehen kognitiv-diskursive, ästhetisch-sinnlichen transferierende Aneignungsformen gegenüber. Sie werden in ein räumlich gegliedertes oben-unten, rechts-links Schema eingefügt, das sich auch noch in die Tiefe des medialen Raums staffeln lässt.

#### 5. Pattern Languages für Lernsysteme

Die sich hierzu einstellenden Metaphern der Windrose oder des Kleeblatts sind ein Beleg dafür, dass die Synthese von Didaktik und Design bei movii zu einer prägnanten und assoziationsreichen Mustersprache führt, in welcher sich Orientierungswissen und Handlungsanleitungen effizient

# Gestaltung und Medien



formulieren lassen. Die bei diesem Ansatz zugrunde liegenden und in die Praxis eingeführten Konzepte der Pattern Language und der dispositiven Strukturierungen von Medien und ihrer Didaktik sind noch längst nicht ausgeschöpft. Sie lassen für die weitere Entwicklung hypermedialer Lernsysteme fruchtbare Impulse erwarten.

Eine Guided Tour und weitere Informationen über die Lernumgebung movii – moving images & interfaces sind zu finden unter [www.movii.de](http://www.movii.de).

### Kontakt:

Prof. Franz Kluge  
Fachbereich Gestaltung  
[kluge@fh-trier.de](mailto:kluge@fh-trier.de)

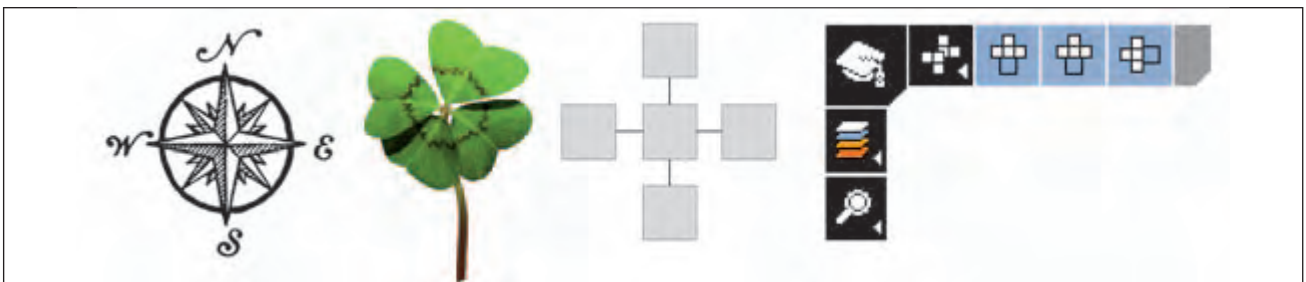


Bild 4: Windrose, Kleeblatt und die Prozedur des Entfaltens standen Pate bei der Entwicklung des Strukturmusters für die Organisation und Navigation der movii-Inhaltswelt



Bild 5: Die auf den movii-Markern basierende Integration von Informations-, Navigations- und Interaktionsdesign ermöglicht den Blick aufs Ganze und ist wichtige Voraussetzung für die Teilhabe am Gesamtsystem und dessen Beherrschbarkeit. Die interaktiven movii-Marker formen sich zu einer Pattern Language in der Fläche wie im Raum. Sie prägen so die didaktisch-dispositive Struktur dieses Lernsystems und bilden die Grundbausteine der ausbaufähigen movii-Wissensarchitektur



## E-Learning – Potentiale medienbasierter Lehre und Kommunikation für Hochschule und Weiterbildung

Klaus Helling

### 1. Überblick

Das Zentrum für medienbasierte Lehre und Kommunikation am Umwelt-Campus Birkenfeld entwickelt und erprobt Lösungen, die eine effiziente Integration von E-Learning in die Lehr- und Weiterbildungsangebote von Hochschulen ermöglichen. Darüber hinaus werden insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen im Hinblick auf die Entwicklung und den Einsatz neuer Kommunikationsmedien beraten.

Schwerpunkt des vorliegenden Beitrags ist die Nutzung von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien zur standortübergreifenden Vernetzung der Lehrangebote von Hochschulen mit Hilfe von „virtuellen Lehrveranstaltungen“. Auf Basis der langjährigen Erfahrungen mit virtueller, standortübergreifender Lehre werden die Potentiale und Probleme dieser Kooperationsform herausgearbeitet. Darüber hinaus werden die Projekte des Zentrums für medienbasierte Lehre und Kommunikation am Umwelt-Campus Birkenfeld der FH Trier zur Entwicklung von Lehr/Lernplattformen, zur Konzeption und Produktion von Filmen und multimedialen Lehrereinheiten sowie zu der Integration von E-Learning in die wissenschaftliche Weiterbildung vorgestellt.

Das Forschungsinteresse liegt in der Sammlung von praktischen Erfahrungen und der inkrementellen Verbesserung von medienbasierten Veranstaltungsformen aus technologischer und didaktischer Sicht. Unterstützt wird dies durch die Kooperation mit anderen Hochschulen, die Beteiligung an Forschungsprojekten zur Etablierung von E-Learning sowie die Vernetzung mit dem „Virtuellen Campus Rheinland-Pfalz“ ([www.vcrp.de](http://www.vcrp.de)) und dem Zen-

trum für virtuelle Lehre der Universität Osnabrück ([www.virtuos.uos.de](http://www.virtuos.uos.de)).

### 2. Ziele der hochschulübergreifenden Kommunikation

Neue internetbasierte Kommunikationsformen erobern sehr schnell das Wirtschaftsleben. Videokonferenzen – vor kurzem noch multinationalen Konzernen vorbehalten – sind heute ein etablierter Bestandteil der Kommunikationsprozesse in Politik, Wirtschaft und Forschung. Im Zuge der Internationalisierung und Globalisierung der Wirtschaft sowie angesichts des verschärften Wettbewerbs zwischen den verschiedenen Ausbildungsinstituten um Finanzmittel, Personalressourcen und Studierende müssen sich die Hochschulen neuen Herausforderungen stellen.

Die Zielsetzung besteht in der Etablierung eines hochschul- und bundesländerübergreifenden virtuellen Seminars, das gemeinsam von den beteiligten Partnern in Osnabrück, Potsdam, Birkenfeld und Zittau getragen wird. Neben den lokalen Seminarräumen wird das Internet zum gemeinsamen virtuellen Seminarraum. Studentinnen und Studenten aus den beteiligten Standorten sollen per Videokonferenz interagieren, gemeinsam Vorlesungen hören und ihre in standortübergreifenden Teams zu erstellenden Seminararbeiten mit den Lehrenden aus Potsdam, Osnabrück, Zittau und Birkenfeld online diskutieren. Die Möglichkeiten der elektronischen Kommunikation (E-Mail, Chat, Audio- und Videokonferenz, Lernplattform, Application Sharing, gemeinsame Webseiten etc.) sollen in die Hochschulausbildung integriert werden.

### 3. Erfahrungen mit virtuellen Seminaren

Im Wintersemester 1999/2000 wurde das erste gemeinsame virtuelle Seminar „Umwelt-

# Gestaltung und Medien



management“ der Universität Osnabrück, des Umwelt-Campus Birkenfeld und des Internationalen Hochschulinstituts in Zittau durchgeführt. Die Kommunikation beschränkte sich auf Chat, E-Mail und Audiokonferenzwerkzeuge. In der Folge wurden Schritt für Schritt weitere Kommunikationswerkzeuge eingeführt. Im Sommersemester 2005 haben sich erstmals die Universität Potsdam und der Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen aus Zittau am Seminar beteiligt. Bis heute wurden insgesamt acht virtuelle Veranstaltungen zu folgenden Themenbereichen durchgeführt: Umweltmanagement, Nachhaltigkeit, Globalisierung, Wirtschaftsethik, Interkulturelles Management, EU-Osterweiterung, Japan und Projektmanagement.

Die Erfahrungen zeigen, dass die verwendete Technologie preiswert, relativ robust und auch durch weniger versierte Anwender nutzbar ist. Zusätzliches technisches Personal wird nicht benötigt. Statt der ohnehin nicht erreichbaren Übertragungsqualität professioneller Fernsehveranstaltungen erlaubt die Nutzung derzeit gut beherrschbarer Technologien eine Konzentration auf das Wesentliche: die Lehr- und Lerninhalte. Das spezifische Fachwissen der Lehrenden an verschiedenen Standorten kann genutzt werden, um eine Veranstaltung besonders vielfältig, qualitativ hochwertig und in ihrer pädagogischen Wirksamkeit außerordentlich nachhaltig zu gestalten.

Im Rahmen einer ebenfalls internetbasierten Evaluation der Veranstaltungen (Interaktiver Web-Fragebogen) wird das Feedback der Teilnehmer analysiert und zur Fortentwicklung von Inhalt und Aufbau der Veranstaltungen herangezogen. Auch hier zeigt sich Nachhaltigkeit in der fortwährenden Weiterentwicklung der Vermittlungstechnik und der gewählten Themenstellungen.

Die robuste Einfachheit der genutzten Technik erlaubt auch den Studierenden nach kurzer Einlernphase selbständig und ohne zusätzlichen Betreuungsaufwand mit den verwendeten Werkzeugen zu agieren. Die Studenten arbeiten in standortübergreifenden Arbeitsgruppen, verständigen sich per E-Mail, Chat, Video- und Audiokonferenzen und erstellen im Internet abrufbare Seminararbeiten. Ihre Arbeitsergebnisse präsentieren die Studierenden ebenso wie die Lehrenden in Vorträgen, die über das Internet online kommuniziert werden. Ganz nebenbei üben sie dabei die in der Berufspraxis immer bedeutsamer werdende Zusammenarbeit in multikulturell zusammengesetzten Teams: Etwa 40 % der Veranstaltungsteilnehmer (vor allem aus Zittau) sind ausländische Studierende. Durch orts- und kulturübergreifende Diskussion der Themen ergeben sich neue Gesichtspunkte für Lehrende und Studierende.

Aufbauend auf den Erfahrungen des virtuellen Seminars werden Perspektiven für eine virtuelle Hochschule erarbeitet. Die Projektpartner arbeiten derzeit an Projekten im Rahmen des „E-Learning Netzwerks Niedersachsen (ELAN)“, des „Bildungsportals Sachsen“ und der „Virtuellen Campus Rheinland-Pfalz“.

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte zu den virtuellen Lehrveranstaltungen kurz zusammengefasst. Detaillierte Information zu Organisation, Inhalten, Ergebnissen und Bewertung von virtuellen Seminaren des obigen Hochschulverbunds bieten die Quellenangaben am Ende des Beitrags.

## *Organisatorische Aspekte*

- Gemeinsame, standortübergreifende Lehrveranstaltung
- Standortübergreifende, studentische Arbeitsgruppen

- Fachliche Betreuung jeweils durch einen Dozenten
- „Live-Treffen“ aller Teilnehmer bei einem Abschluss-symposium

### *Didaktische Aspekte*

- Interdisziplinäre, fachlich herausfordernde Teamarbeit
- Vermittlung von Medienkompetenz durch Nutzung neuer Technologien
- Selbstorganisation innerhalb der Arbeitsgruppe
- Interkulturelle Kompetenz durch multinationale Zusammensetzung der Arbeitsgruppen

### *Technische Aspekte*

- Standortübergreifende Lernplattform StudIP
- Synchroner Kommunikation mit Hilfe von internetbasierter Videokonferenztechnik und Application Sharing, Audiokonferenz, Chat
- Asynchrone Kommunikation über E-Mail, Foren
- Kollaboration mit Hilfe von WikiWebs

### *Bewertung und Perspektiven*

- Virtuelle Kooperation ermöglicht eine qualitative Verbesserung der Lehrangebots (externe Experten, Gastvorträge)
- Medienkompetenz ist lehr- und lernbar, wobei der Einsatz von intuitiv bedienbaren Tools vorteilhaft ist
- Hohe Motivation der Studierenden nur bei relativ störungsfreier Technik gewährleistet
- Hoher Kooperationsaufwand sowohl von Seiten der Lehrenden als auch der Studierenden
- Videokonferenzbasierte, virtuelle Lehrveranstaltungen werden zukünftig verbreitet im Rahmen von Lehre, Forschung und Weiterbildung eingesetzt und ermöglichen eine individuelle Kommunikation und Betreuung in Ergänzung zu Präsenzveranstaltungen

## **4. Projekte des Zentrums für medienbasierte Lehre und Kommunikation**

### **4.1 Entwicklung und Nutzung von Lehr-/Lernplattformen**

Im Rahmen von interdisziplinären Projekten werden gemeinsam mit Studierenden Lehr-/Lernplattformen in den Bereichen Stoffstrommanagement, Kommunikation und Wirtschaftsethik erarbeitet.

Dabei werden unterschiedliche technische Plattformen evaluiert. Bislang wurde mit dem kommerziellen Softwareprodukt WebCt, der Public Domain Software StudIP, der von der FH Trier mit entwickelten Plattform movii und einer Eigenentwicklung eine große Bandbreite verschiedener Werkzeuge eingesetzt. Neben klassischen text- und grafikbasierten Inhalten werden regelmäßig auch Audio- und Videosequenzen integriert.

Nach positiven Erfahrungen in einem Pilotprojekt im Rahmen einer Lehrveranstaltung zu der betriebswirtschaftlichen Standardsoftware SAP R/3 im Sommersemester 2005 soll die Nutzung der von Lernplattformen im Rahmen der studentischen Regelausbildung zunächst im Bachelorstudiengang Umwelt- und Betriebswirtschaft erprobt werden. Dabei geht es um die Bereitstellung von Vorlesungsunterlagen und Übungsaufgaben, direkte Kommunikation, Online-Tutorien, FAQ, Lernkontrollen etc.

### **4.2 Konzeption und Produktion von Filmen und multimedialen Lehreinheiten**

Von der Entwicklung des Drehbuchs, über die Produktion bis hin zur Endbearbeitung bietet das Zentrum für medienbasierte Lehre und Kommunikation Unterstützung in allen Phasen der Filmproduktion an. Das Spektrum reicht dabei von Low-Budget-Produktionen mit Hilfe von studentischen Teams über die Organisation von professionellen Wissenschafts- und Industriefilmproduktionen bis hin zu der Integration von den Bilddokumenten in



multimediale Lehreinheiten. Wichtige Impulse wird in diesem Arbeitsbereich der im Wintersemester 2005/2006 in Birkenfeld gestartete Bachelorstudiengang Medieninformatik geben.

### **4.3 Perspektiven der Integration von E-Learning in die Weiterbildung**

In enger Kooperation mit dem Birkenfelder Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) werden für den wissenschaftlichen Weiterbildungsstudiengang „International Material Flow Management“ (Master of Science) E-Learning-Komponenten entwickelt. Insbesondere durch den großen Anteil internationaler Studierender aus Lateinamerika, Asien und Europa gewinnt die virtuelle Betreuung und Kommunikation im Rahmen von projektbasierten Lehrmodulen an Bedeutung. Darüber hinaus wird der Studiengang in Kooperation mit der renommierten Ritsumeikan University ab dem Wintersemester 2006/2007 auch an der Asia Pacific University (APU) in Beppu/Japan angeboten. Im Hinblick auf Reichweite, fachliche Flexibilität und Synergiepotentiale wird hier mit Unterstützung des DAAD eine neue Dimension erreicht.

In Zusammenarbeit mit einer Rechtsanwalts-GmbH aus Trier ([www.rae-mmk.de](http://www.rae-mmk.de)) wird ab April 2006 ein wissenschaftlicher Weiterbildungsstudiengang mit Zertifikatsabschluss „Wirtschaftsmediation“ angeboten. Dabei handelt es sich um einen berufsbegeleitenden Fernstudiengang mit Präsenzphasen.

Ab dem zweiten Jahr wird dieser Studiengang als E-Learningkurs entwickelt sein und soll zudem grenzüberschreitend für die Regionen Saar-Lor-Lux, Westpfalz und Südbelgien ausgebaut werden.

### **5. Weitergehende Informationen**

Helling, K.: E-Learning – Instrument für standortübergreifende Kooperation in der Hochschullehre (Download über [www.fh-trier.de/e-learning](http://www.fh-trier.de/e-learning))

Matheis, A./Schönborn, T.: Easy E-Learning (Download über [www.fh-trier.de/e-learning](http://www.fh-trier.de/e-learning))

Claus, T./Helling, K. /Knaden, A. /Kramer, M.: Virtuelle Netze – Chance für interdisziplinäre Kooperationen in Organisationen, Frankfurt 2005

Knaden, A./ Rolf, R.: E-Learning-Szenario: Video-konferenzbasiertes Seminar, in: Hamburg, K./ Knaden, A. (Hrsg.): Good Practice: Netzbasiertes Lehren und Lernen an Universitäten, Osnabrück 2004.

#### **Kontakt:**

Prof. Dr. Klaus Helling, Prof. Dr. Alfons Matheis,  
Prof. Dr. Tim Schönborn

Zentrum für medienbasierte Lehre und Kommunikation (ZmLK)

[k.helling@umwelt-campus.de](mailto:k.helling@umwelt-campus.de), [a.matheis@umwelt-campus.de](mailto:a.matheis@umwelt-campus.de), [tschoenborn@umwelt-campus.de](mailto:tschoenborn@umwelt-campus.de)



## Entwicklung einer E-Learning-Umgebung

Henning Lungershausen

Dieser Schwerpunkt umfasst drei Entwicklungsbereiche:

- 1) Entwicklung eines Werkzeuges zur Erstellung u. Darstellung von Lerninhalten
- 2) Entwicklung einer Organisations- und Kommunikationsplattform
- 3) Entwicklung eines konkreten Lehr- und Lerninhaltes

### **1) Entwicklung eines Werkzeuges zur Erstellung und Darstellung von Lerninhalten**

Zur Erstellung und Darstellung von Lerninhalten eines E-Learning-Kurses oder einer Lehrveranstaltung entwickelt das Institut ISA derzeit ein Autorensystem. Dieses Autorensystem verfügt über einen Lernzielgenerator, der dem Kursplaner bei der zielgerichteten Planung eines Kurses im Hinblick auf das Erreichen von erfolgreichen Lernprozessen hilft. Dabei werden zunächst das Hauptziel des gesamten Kurses oder der Lehrveranstaltung sowie einzelne Teilziele festgelegt. Definitionen und Verbalisierungshilfen zu den sechs Lernzielkategorien Erinnern, Verstehen, Anwenden, Analysieren, Bewerten und Schaffen unterstützen den Kursplaner bei der Verbalisierung seiner einzelnen Teilziele.

Die zum Erreichen der Teilziele erforderlichen Schritte werden in Form von Lernpfaden nach didaktischen und methodischen Kriterien entwickelt. Inhalte werden dabei mit Hilfe von Übernahmehilfen aus der zuvor angelegten Stoffsammlung übernommen. Auch die organisatorische Komponente wird berücksichtigt, indem der Kursplaner die Lehrzeit und vor allem den Workload des Studierenden im Bezug auf ein Teilziel ausweist. Eine Gesamtübersicht aller festgelegten Ziele gibt Auskunft über den Umfang und die Qualität des Lernangebotes.

Innerhalb eines E-Learning-Kurses verfügen sowohl Kursleiter als auch die Teilnehmer über eine Version des Autorensystems. Über eine Schnittstelle im Tool zu der für einen Kurs zur Verfügung stehenden Lernplattform können Inhalte up- und downgeloadet werden. Das Studium der Inhalte kann im Offlinemodus erfolgen.

### **2) Entwicklung einer Organisations- und Kommunikationsplattform**

Mit Hilfe der SharePoint-Technologie ist es möglich, auf einfache Weise Webseiten im Internet zu erstellen, die zur Durchführung von E-Learning-Kursen genutzt werden können. Eine solche, mit SharePoint erstellte Webseite enthält verschiedene Organisations- und Kommunikationstools, wie Kalender, Diskussionsforen, Aufgaben- oder Kontaktlisten, die zur Durchführung von E-Learning-Kursen benötigt werden. In einem Downloadbereich werden den Kursteilnehmern die mit dem Autorensystem erstellten Lerninhalte zum Download bereitgestellt.

Die Erkenntnisse zum Nutzen von SharePoint für diese Zwecke wurden aus einer vom Institut ISA durchgeführten Studie gewonnen. Im Auftrag der Microsoft Deutschland GmbH führte das Institut ISA der Fachhochschule Trier, im Zeitraum von 15.4.2004–30.9.2004, einen Forschungs- und Entwicklungsauftrag „Verbesserung der Lehre und Forschung an Fachhochschulen mithilfe von Office 2003 und Windows Server 2003 mit Sharepoint-technologie“ durch.

Bericht siehe (<http://www.isa.fh-trier.de/Dokumentation%20Microsoft/>)

### **3) Entwicklung eines konkreten Lehr- und Lerninhaltes**

Das Autorensystem ist grundsätzlich so konzipiert, dass es unabhängig vom Inhalt für die Planung von

# Gestaltung und Medien



E-Learning-Kursen oder -Lehrveranstaltungen genutzt werden kann. An dieser Stelle wird jedoch nur der konkrete Lehr- und Lerninhalt vorgestellt, der sich derzeit in der Entwicklung befindet:

## *Bemessungsdiagramme im Bauwesen*

Die Visualisierung von komplexen Bemessungsansätzen im Bauingenieurwesen in Form von neuartigen Bemessungsdiagrammen ist ein wesentlicher Schritt zur Entwicklung von Lehrmaterialien, bei denen der Mehrwert der interaktiven Möglichkeiten genutzt wird, um die komplexen Nachweisformen der Baunormen im Ganzen zu „begreifen“. Durch die Anwendung der ganzheitlichen Bemessungsdiagramme (Bild 1) wird ein grundsätzliches Verständnis der komplexen Zusammenhänge eines Bemessungskonzeptes ermöglicht und anhand der graphischen Visualisierung der Einfluss der Einzelparameter auf das Gesamtergebn verdeutlicht. Die Weiterbildung für Ingenieurbüros, die einen Schnelleinstieg in die komplexe neue Normung wünschen, soll mit den entwickelten Diagrammen (bisher ca. 20 aus

den Bereichen Stahlbau, Stahlverbundbau, Stahlbetonbau, Brandschutz) ebenfalls ermöglicht werden.

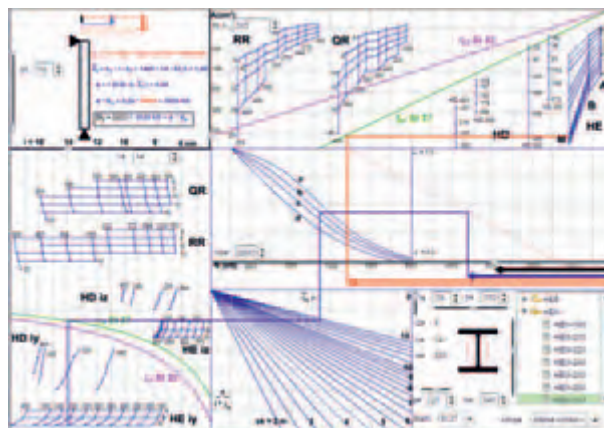


Bild 1: Diagramm zum Biegeknicknachweis bei mittigem Druck nach DIN 18800 T2

## **Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Henning Lungershausen, Dr. Joachim Müller, Dipl. Ing. (FH) Christian Schmitz  
Institut für Software Applications (ISA)  
isa@fh-trier.de

## BODY-POLITICS

Kathleen Taplick, Peter Krause

*„Du kannst über die Wirklichkeit nichts aussagen, wenn du nur die sichtbare Oberfläche der Dinge beschreibst, die jedermann vor Augen hat. Die Wirklichkeit steckt hinter den Dingen, und man kann nur in Bildern von ihr sprechen ...“  
(Auszug aus dem Roman „Stein und Flöte“ von Hans Bemann.)*

Wir versuchen durch die Auseinandersetzung mit dem Nichtsichtbaren von innen nach außen zu arbeiten, um das für uns Wesentliche, Verborgene in einer neuen Form und Materialität am und mit dem Körper getragen, darzustellen.

Das „von-innen-nach-außen-Denken“ ist auch gleichermaßen symbolisch zu sehen und bedeutet für uns die Erzeugung eines neuen Bewusstseins und eine stärkere Sensibilisierung des eigenen Ichs in einer von Informationen überladenen vordergründigen Wirklichkeit, in der die präsenste Gefahr immer größer wird, dass die eigene Identität verloren geht.

Dieses Denken ist aus der Erkenntnis heraus gewachsen, dass wir uns erst über unser Inneres bewusst sein müssen, um das Äußere, Sichtbare auszuwerten und auf unsere Art und Weise neu beeinflussen zu können.

Ebenso wichtig für unsere Arbeit sind die Punkte, an denen unsere Schmuckkörper mit dem Körper ihres Trägers in Kontakt treten. Diese so genannten Berührungspunkte stellen in unserer Arbeit den Sprung von einem autarken dreidimensionalen Objekt zu einem getragenen Schmuckobjekt dar, das mit seinem Träger eine dynamische wechselseitige Beziehung des gegenseitigen Aufladens eingeht.



Bild 1: „Aschegiraffe“ Leder, Polyester (SMC), Silber, Neusilber, Edelstahl, Holz

Der inhaltliche Bezug zu aktuellen Themen aus allen Bereichen, die unmittelbar mit dem Menschen am Ende des 20. Jahrhunderts zusammenhängen, stellt für uns einen weiteren Grund dar, die Kommunikation zu den Trägern mit neuer Spannung zu beleben, und den Schmuck schließlich lebendiger werden zu lassen.

Unsere Auseinandersetzung mit diesen aktuellen Brennpunkten findet am und mit dem Körper statt. (sich schmücken mit gestaltetem Inhalt) Bei unseren ausgewählten Themenbereichen handelt es sich nicht um kurzlebige Ereignisse, sondern um Probleme, die den Menschen nicht nur heute beschäftigen, sondern direkt mit der modernen westlichen Gesellschaft verbunden sind.

Diese Themenkreise wurden von uns aus einer Flut von täglichen Informationen, die uns überschütten, ausselektiert und werden durch die Umsetzung zu Körper-Schmuck als ein Symptom festgehalten. Unser Schmuck beinhaltet außerdem Informationen über unsere Welt und unsere Existenz, die er reflektiert und an seinen Träger weiterleiten soll.

Diese Informationen sind nicht als Dogma, sondern vielmehr als Anregungen und Vorschläge zu verstehen. Der Impuls dieser Informationen stammt direkt von unseren gesammelten Beobachtungen, Erfahrungen und Erkenntnissen, die in unsere Arbeit einfließen. Für uns ist die Theorie

# Gestaltung und Medien



und Tatsache wichtig, dass der Schmuck, zusammen verschmolzen mit seinem Träger, viele Lebensbereiche (Orte, Uhrzeiten und Stimmungen) durchwandert und mit einer dritten Person eine triadrische Kommunikation entsteht.

Unserer Meinung nach ist die essentielle Ästhesie, die wir suchen, im dynamischen Spannungsfeld der sichtbaren und der unsichtbaren Wirklichkeit zu finden, wobei die sichtbare Wirklichkeit nach Beuys Theorien ohne die unsichtbare nicht anfangen kann zu existieren, das heißt vor der sichtbaren liegt der Inhalt der unsichtbaren Wirklichkeit.



## **„Das Wichtigste der Wirklichkeit ist leider Unsichtbar“**

(„Die Unsichtbare Skulptur“ – Joseph Beuys)

Bild 2: „Schmuckschläfer“ Leder, Polyester (SMC), Silber, Edelstahl

Die sichtbare Wirklichkeit hat aber die wichtige Aufgabe durch ihren Vorteil der Sichtbarkeit, die unsichtbare zu verstärken, auf sie aufmerksam zu machen und vielleicht ohne das Mysteriöse, Spannungsvolle zu gefährden oder einzuschränken, sichtbar zu machen, wobei es sich um keine rational zu erfassende Sichtbarkeit, sondern vielmehr um eine gefühlsmäßige von gewissen Empfindungsebenen abhängige sichtbare Erkennung oder besser gesagt Wahrnehmung handelt.

Es sollen seelische Schichten und Erlebnisbereiche angesprochen werden, in die der Verstand nicht hineinreicht.

Die unsichtbare Wirklichkeit findet ihre verschiedenen Ebenen durch die unterschiedlich erlebten Er-

fahrungs- und Bewusstseinsbereiche eines jeden einzelnen Individuums.

Besonders in dieser unendlichen Vielfalt der verschiedenen Ebenen liegt unsere gesuchte essentielle Ästhesie.

Die Schönheit, sich auf jede einzelne Ebene zu konzentrieren und wahrzunehmen, ist etwas, das in unserer unmittelbaren Umwelt und Gesellschaft immer mehr durch eine Reizüberflutung verloren geht, was letztendlich unserer Meinung nach ein Verlust an Lebensqualität zur Folge hat. Dabei handelt es sich um eines der zentralen Probleme zeitgenössischer Befindlichkeit: es geht um die Identität des Subjekts, seine Veränderung, Entgrenzung, Spaltung und schließlich Auflösung.

Gerade der getragene Schmuck bietet sich wunderbar als Plattform an, um sich genau über diese Thematik miteinander auszutauschen.

Er soll zum Nachdenken über die eigene Identität anregen und hat den aktuellen Bezug zu dem Statement: „*Ich ist etwas anderes*“.

(„Ich ist etwas Anderes – Kunst am Ende des 20. Jahrhunderts“ – Armin Zweite, Doris Krystof, Reinhard Spieler –)

Das direkt vom Menschen des 20. Jahrhunderts hergestellte Material „Kunststoff“ hat das Erscheinungsbild einer alltäglichen, banalen Funktion. Gerade diese Banalität ist ein wichtiger Punkt, den wir direkt in unsere Arbeiten einfließen lassen.

Bei der Herstellung von Oberflächenstrukturen durch verschiedene angewandte Techniken versuchen wir dem „anonymen“ Kunststoff unsere individuelle Handschrift zu verpassen, ähnlich wie bei der Gestaltung der Oberflächenstruktur bei Edel-Metallen.

In unserem Diplom war es uns sehr wichtig, ein Gleichgewicht der verwendeten Materialien herzustellen. Basis dieses Gleichgewichts ist, dass wir die verwendeten Materialien gleichwertig behandeln und mit ihnen umgehen.





Wir versuchen außerdem dem Kunststoff durch die jeweilige Verbindung (Leder, Holz, Metall, Stein) ein neues Wesen zu geben, das in Verbindung mit dem jeweiligen natürlichen Material eine neue Aussagekraft entsteht, die ihre eigene Geschichte erzählt.

*Bild 3: „Zweitum“ Leder, Polyacetal (POM), Polyester (SMC), Edelstahl*

Unser gesetztes Ziel besteht nach wie vor darin, eine Gesamtheit von Inhalt, Form, Farbe und Materialien zu finden, die genauso wie in der Musik aus einzelnen Tönen eine harmonische Komposition ergeben und dadurch eine Synästhesie herstellen, ähnlich wie Kandinsky Farben zusammen mit dem Auge und den anderen Sinnen wahrnimmt und er durch diese Aufnahme den Ton der Farbe hört. Unsere entstehenden Schmuckobjekte durchlaufen mit uns verschiedene Gefühlszustände innerhalb ihrer Entstehungsphase. Auf diese Weise verändern sie während des Arbeitsprozesses mehrmals ihre äußere Gestalt, weil

sie mit uns bis zur Vollendung ihres Wesens ständig im Konflikt mit der äußeren und inneren Wirklichkeit stehen und zusammen mit unseren Gedanken, Ideen und Vorstellungen wachsen.

Unsere Arbeit an einem Schmuckobjekt ist für uns erst dann abgeschlossen und der Veränderungsprozess beendet, wenn wir der Meinung sind, dass das Wesen des einzelnen Schmuck-Objekts so weit entwickelt und „sichtbar“ geworden ist, dass es in direkter Kommunikation mit seinem Träger stehen kann und mit ihm durch das Getragen werden eine gemeinsame Aura bildet.

Das entstandene Schmuckwesen darf jetzt sein äußeres und inneres Gesicht durch das Getragenwerden und durch die Aura, die sein Träger mit ihm verbindet, weiter verändern.

Das bedeutet für uns, dass zwar der Entstehungsprozess abgeschlossen ist, der Veränderungsprozess des Wesens zusammen mit seinem Träger ständig durch die wechselseitige Beziehung zueinander weitergeht und sich in den verschiedenen Lebensbereichen entfaltet.

#### **Kontakt:**

Prof. Theo Smeets  
Fachbereich Gestaltung  
smeets@fh-trier.de



*Bild 4*



## Images – auf der Suche nach der Idee „schön“ – Oder wie „schönes“ Design funktioniert

Kerstin Kavalirek

Design ist das Schlagwort in der Entwicklung innovativer Produkte. Über seine marktwirtschaftliche Funktion besteht kein Zweifel, sei es für die Kommunikation von Produkteigenschaften oder den Transport eines Markenimage. In der direkten Auseinandersetzung mit dem Kunden transportiert Design vor allem Emotionen. Doch Design beinhaltet noch mehr als bloße Benutzerfreundlichkeit. Es ist in der Lage, den Menschen in seiner ästhetischen Entwicklung zu beeinflussen. Dies ist natürlich keine neue oder bahnbrechende These, doch birgt diese Beeinflussung gewisse Möglichkeiten in sich, deren genauere Betrachtung durchaus lohnt.

„Schönes“ Design als Vermittler zwischen Kunst und Mensch – Wie Design eingesetzt werden kann, um die Konsumenten von Massenware an Produkte mit emotionalem oder inhaltlichem Anspruch heranzuführen.

Ausgehend von dieser Vermittlertätigkeit lässt sich über eine Analyse menschlichen Schönheitsempfindens und der Prinzipien ästhetischer Wahrnehmung<sup>1</sup> ein Denkmodell entwickeln, das Design nicht nur als verkaufsförderndes Gestaltungsmittel einsetzt, sondern zudem die ästhetischen Voraussetzungen des Kunden nachhaltig stärkt und fördert.

Dieses Modell ist in alle Designbereiche transportabel:

Menschliches Schönheitsempfinden zeichnet sich vor allem durch seine Steigerungsfähigkeit aus. Das heißt, das Rezipieren von Objek-

ten kann die Bewertungen von einem einfachen „schön“ bis hin zu einer ekstatischen oder verinnerlichten, „aufwühlenden“ Schönheitserfahrung zur Folge haben. Es gibt mehrere Stufen der Schönheitsempfindung, einfaches Schönheitsempfinden (Stufe 1), intensivere Formen von „Faszination“ bis „Rührung“ (Stufe 2) und besagte spektakuläre Erlebnisphänomene von Ekstase bis hin zu inneren, charakterverändernden Erlebnissen (Stufe 3). Die meisten Produktgestaltungen im täglichen Leben bauen auf das Erleben eines „einfachen schön“ der Stufe 1 auf. Dieser Vorgang findet im bewussten Bereich der Wahrnehmung statt und zeichnet sich vornehmlich durch sog. fixatives Denken aus. Der Begriff der Fixation beschreibt eine punktuelle, zielgerichtete und alltagssprachlich „rationale“ Art der Aufmerksamkeit. Abstrahierte, also bereits begrifflich gespeicherte Denkmuster werden genutzt, um den Gegenstand der Betrachtung genau zu erkennen bzw. zu entschlüsseln. Fixatives Denken gewährleistet, dass Wahrnehmung möglichst schnell auf Übereinstimmung von vorhandenen Denkschemata abgefragt werden kann, respektive die Kommunikation mit der Außenwelt über diese Wahrnehmung aufrechterhalten wird. Es ist deswegen eine auf den ersten Blick systemstabilisierende Art zu denken. Sie weist aber Defizite auf, wenn das Wahrgenommene nicht auf Anhieb logisch-linear verstanden werden kann. Dieser Fall tritt ein, wenn für das Betrachtete noch keine bereits abstrahierten Denkmuster vorhanden sind. Dadurch entsteht bei der Interpretation von Wahrnehmung ein Loch, ein Informationsdefizit. Es

<sup>1</sup> Vergleiche hierzu Voigt, Stefanie: Das Geheimnis des Schönen. Von menschlicher Kunst und künstlichen Menschen oder: Wie Bewusstsein entsteht, Münster 2005 (Waxmann Verlag)



# Gestaltung und Medien

passiert das, was viele kreativ arbeitende Menschen durchaus kennen, wenn ein Betrachter/Kunde mit Unverständnis, Unsicherheit oder sogar Verärgerung auf ein Objekt reagiert. „Hässlich“ lautet dann die entsprechende Wertung. Die Überbrückung dieses Informationsdefizits ist im unterbewussten Bereich der Wahrnehmung mittels sog. vagativen Denkens möglich. Der Eintritt in diesen Bereich nach dem Scheitern fixativer Interpretationsversuche setzt voraus, dass sich der Betrachter motiviert und kompetent genug fühlt, diese scheinbar nicht ganz einfache Betrachtung fortzuführen. Das Produkt muss für den Rezipienten in irgendeiner Form, für seine Vorstellung von sich oder von Gesellschaft, relevant sein. Unter Vagation versteht man eine umherschweifende, uneigentliche Aufmerksamkeit, alltagspsychologisch zu übersetzen mit irrationalen Denken. Dieses Denken im unterbewussten Bereich zeichnet sich durch die Vernetzung von vielen Informationseinheiten aus, durch die Erfindung von Denkmöglichkeiten und durch Idealisierungen. Es tritt dann ein, wenn nicht wie beim fixativen Denken der Gegenstand als Einheit, sondern in seinen Einzelheiten betrachtet wird. Diese Art der Informationsverarbeitung zeichnet sich zudem durch die bildliche bzw. emotionale, also eher assoziative Wissensrepräsentation aus. Wird Information im unterbewussten Bereich der Wahrnehmung entschlüsselt, ist ein emotional höher bewertetes Schönheitserlebnis der Stufe 2 möglich. Diese Stufe 2 ist vor allem deshalb interessant, da durch erhöhte Eigenarbeit bei diesem Vorgang und der stark selbstreflexiven Eigenschaft des vagativen Denkens der Betrachter eine Motivations- und Kompetenzsteigerung im Hinblick auf nachfolgende „ästhetische“ Anforderungen erfährt. Da die Informationen nicht wie im fixativen Bereich sprachlich, sondern bildlich

(sinnlich) und über Emotionen abgespeichert sind, hat das vagative Denken den Vorteil, dass Informationslücken leichter überbrückt werden können. Würde der Mensch aber nur so denken und mit solchen Ordnungsschemata arbeiten, würde der wichtige Aspekt der Kommunikation mit der Außenwelt, der Gesellschaft fehlen, was über kurz oder lang zu Realitätsverlust führt.

Logisch wäre also, einfach beide Denkweisen zu benutzen – wobei erneut Schwierigkeiten auftreten. Denn vagatives und fixatives Denken schließen sich neurophysiologisch gesehen gegenseitig aus. Das bedeutet, es kann entweder nur vernetzend oder nur logisch-linear nach Ordnungsmustern gesucht werden. Das ästhetische Denken bietet für dieses Dilemma eine Lösung. Ästhetik bildet quasi die Schnittstelle unserer verschiedenen Grundmuster bzw. Speicherformen innerer Repräsentationen. Durch das ästhetische Erleben findet eine Vermittlung zwischen diesen beiden Arten des Denkens statt. Oder anders gesagt: Es nutzt beide Denkweisen, um zu einem Ergebnis zu gelangen. Die Gegensätzlichkeit wird so kompensiert und die Organisation der aktuellen Wahrnehmung wird möglich. Ästhetisches Erleben ist somit immer dann wichtig, wenn der Mensch eine Neuinformation bekommt, die mit fixativer Denkweise alleine nicht zu verarbeiten ist. Der Umgang mit ästhetischem Erleben führt nicht nur zur Lösung eines Problems, sondern ist zudem ein von (starken) Gefühlen begleiteter Prozess. Gefühle und Emotionen sind Fähigkeiten, die uns zu eigenständigen Menschen machen. Sie sind absolut subjektiv, sind nur von uns allein gemachte Erfahrungen und somit bewusstseinsbildend.

Hierdurch lässt sich also nicht nur erklären, wie menschliches Schönheitsempfinden funktioniert

# Gestaltung und Medien



und welche Auswirkungen es auf die menschliche Psyche hat, sondern auch welche Voraussetzung nötig ist, um z. B. Kunst oder auch künstlerische Produkte zu erfassen. Da unsere heutige Konsumgütergesellschaft allerdings zumeist die fixative Form des Denkens fordert und fördert, ist es leider so, dass die meisten Menschen den Einsatz ästhetischen Denkens quasi „verlernt“ haben. Somit besteht der nächste Schritt darin, Möglichkeiten zu finden, den ästhetischen Denkprozess einzuleiten und unterstützend zu begleiten. Absolute Voraussetzung für jegliches vagatives Denken bzw. ein ästhetisches Erlebnis ist der Eintritt in den so genannten Verweilbereich, also den unterbewussten Bereich der Wahrnehmung. Man muss zwischen verschiedenen Zugangsmöglichkeiten unterscheiden, die einzeln, aber auch in ihrer Gesamtheit zu Schönheitsempfinden führen können. Betrachtet man die Eigenheiten genauer, die eine ästhetische Wahrnehmung begleiten, lassen sich kleine „Helferlein“ finden, die sich in den Ablauf der Entwicklung, der Präsentation und des Verkaufs eines Produktes übertragen lassen und folgendes Konzept ergeben.

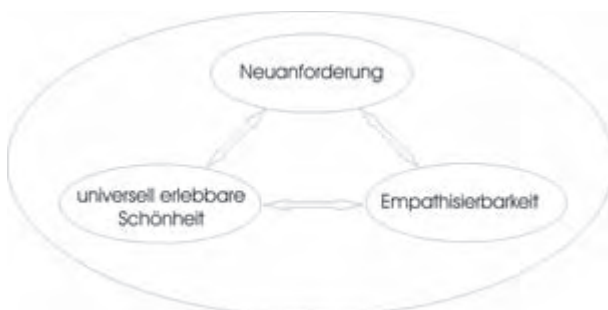


Bild 1: Das Verkaufsmodell

Trotz der Vielschichtigkeit des Modells werde ich hier nur auf die gestalterischen Voraussetzungen des Produktes, also das Design, genauer eingehen, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten es gibt, ein Produkt ästhetisch erfahrbar zu machen.

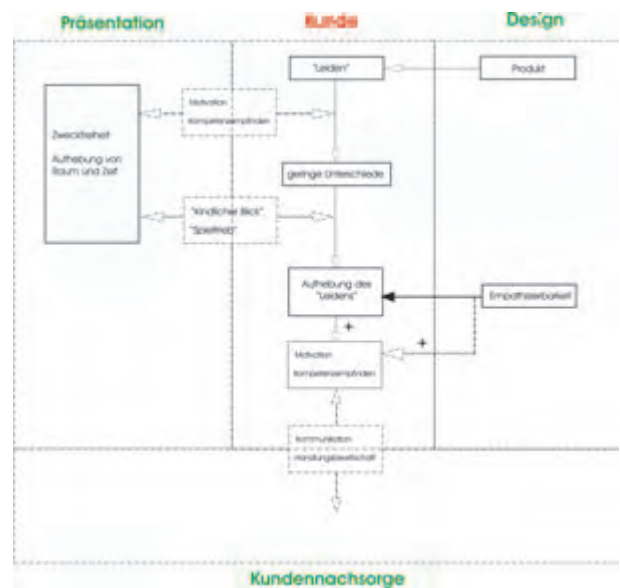


Bild 2: Das Dreigestirn

Es erleichtert nicht nur den Zugang zum Konsumenten, es hat auch marktwirtschaftliche Vorteile; erhöhte Kommunikationsbereitschaft über das Erfahrene (Werbung) und erhöhte Handlungsmotivation (evtl. Kauf und Wiederkehr des Kunden). Um dies zu gewährleisten, müssen aber alle drei Punkte in die Gestaltung mit einbezogen werden, da sie alle aufeinander wirken und somit eine Verstärkung der jeweils anderen Aspekte erreichen.

Die Neuanforderung einer Wahrnehmung (in diesem Fall das Schmuckstück) darf nicht zu hoch sein, um die Faktoren Motivation und Kompetenzerfinden des Betrachters nicht negativ zu beeinflussen. Für die Gestaltung bedeutet das, dass sowohl Bekanntes (psych. „Bestimmtes“) und auch Neues (psych. „Unbestimmtes“) das Gesamtbild des Produktes prägen müssen. Wichtig ist hier die Verteilung der Anteile. Gehen wir von der Zielgruppe des durchschnittlichen Verbrauchers aus, darf der Neuigkeitsanspruch nicht zu hoch liegen. In Prozentzahlen ausgedrückt, wäre dies eine





# Gestaltung und Medien

Gewichtung von ca. 80 % bekannt zu 20 % neu. Das hört sich nach nicht besonders viel Innovation an. Aber es ist zu bedenken, dass die Neuanforderung, mit der der Mensch normalerweise im Gebrauchsgüter-Design konfrontiert wird, bei Null liegt. Zudem läuft man bei einer zu hohen Neuanforderung Gefahr, den Kunden bereits im fixativen Bereich des Denkens zu überfordern, was zu einem Abbruch der Betrachtung bzw. Auseinandersetzung mit dem Produkt führen kann. Der Eintritt in den für uns relevanten unterbewussten Bereich der Wahrnehmung kann dann nicht mehr stattfinden. So stellt sich die Frage, wie die Anteile der bekannten Ordnungsmuster an der Gesamtgestalt aussehen sollten. Sie müssen zuerst die logisch-linearen Denkstrukturen befriedigen. So kommt der Kunde zu einem emotional positiven Ergebnis, bis er auf die Neuanforderung stößt. Das würde auf Schmuck bezogen bedeuten, dass man mit Mitteln (z. B. Materialien) arbeiten sollte, die der Kunde auch mit Schmuck assoziiert. Möchte ich also eine Neuanforderung kommunizieren, müsste ich in diesem Fall Rahmenpunkte wie z. B. Edelmetalle und Edelsteine bieten. Doch kann ebenso eine Neuanforderung im bekannten Schmuckstil präsentiert werden, also z. B. klassische Ringformen, aber kombiniert mit neuen ungewöhnlichen Materialien. Einfach übersetzt heißt das, die bestimmten Ordnungsstrukturen eines Schmuckstückes sollten sich an dem momentanen Weltbild des Kunden orientieren. Welche unbestimmten Eigenschaften die Neuanforderung prägen, liegt ganz in der künstlerischen Intention des Produzenten. Universell erlebbare Schönheit könnte man auch als Vermittler bezeichnen. Ihr Forum ist eine Kommunikationsplattform zwischen dem Betrachter und dem Schmuckstück. Denn Schönheit ist nicht nur optisch, sondern auch emotional erfahrbar, bietet also den Zugang zum ästhetischen (vagativen) Verweilbereich. Sie ist in der Lage, die

Unterschiede zwischen Bestimmtem und Unbestimmtem, Bewusstem und Unbewusstem zu verringern. Angeborene Schönheitsreize, quasi die Urbilder von Schönheit, auf die der Mensch reagiert, sind tief im Unterbewusstsein verankert. Durch die angenehmen Emotionen, die sich durch ihre Wahrnehmung einstellen, wird sie über ästhetische Vermittlung ins Bewusstsein transportiert. Indem man diese Urbilder nutzt, ist es möglich, das Unterbewusstsein des Betrachters quasi anzuspornen, sich in die Betrachtung mit einzuschalten. Man kann sich dieses „Reflexes“ auf die Schönheits-Idee bedienen, um dem Betrachter die „Entschlüsselung“ des künstlerischen Schmuckstückes zu erleichtern. Die Idee der Schönheit in eine Gestalt zu fassen ist eine durchaus schwierige Angelegenheit und lässt sich an dieser Stelle aufgrund erster von mir angestellter Analysen im Bereich Produktgestaltung und Konsumentenverhalten, auf der Grundlage der erhaltenen Ergebnisse, grob folgendermaßen einrahmen: Der erste Punkt wäre die in sich geschlossen wirkende Gesamtgestalt der Schmuckstücke. Ausdrücken und erreichen lässt sich diese durch eine ausgewogene Proportionierung der einzelnen Gestalt-elemente, durch einen hohen Grad an Ordnung und Symmetrie. Hierdurch ergibt sich der Eindruck der Vollkommenheit, der sich ebenfalls als Gemeinsamkeit fast aller Schönheitstheorien der Philosophie und Kunstgeschichte finden lässt. Wichtig ist dabei gleichzeitig eine hohe Komplexität, die sich aus der Gestaltung, aber auch der emotionalen, inhaltlichen Komponente heraus ergeben kann. Diese Vielschichtigkeit kann durchaus ebenso auf ein Gestaltelement gründen, das diesen Eindruck durch Häufung erweckt. Ein Beispiel aus der Natur belegt: Ein einzelner Stern ist in seiner Wirkung nicht so komplex wie ein voller Sternenhimmel. Den stabilen Rahmen, den eine gut dosierte Neuanforderung und eine universell

# Gestaltung und Medien



erlebbarer Schönheit nun bereits für ein ästhetisches Erlebnis geben, kann durch Empathisierbarkeit noch erweitert werden. Diese Komponente bietet dem Kunden die Möglichkeit, mit eigenen, bereits gespeicherten Emotionen und Assoziationen zu arbeiten. Er ist durch diesen Rückgriff auf eigene Erfahrungswerte in der Lage, selbstbewusster mit der Betrachtung umzugehen. Denn im Gegensatz zur Erfassung von neuen Gestaltformen oder Mustern muss nicht so stark mit neuen Verknüpfungen und dem Finden von neuen Assoziationen (aufgrund der bisherigen Unbestimmtheit) gearbeitet werden. Dieses Schöpfen aus eigenen Emotionen und Assoziationen spricht ihn in seiner Menschlichkeit, in seinem sprichwörtlich tiefsten Inneren an. Es wird Unbewusstes mobilisiert, das sich ganz alleine aus dem „Ich-Bewusstsein“ begründet. Objekte und Erfahrungen zeichnen sich hier durch eine überaus hohe Emotionalität aus, die für die Motivation zur ästhetischen Betrachtung außerordentlich wichtig ist. Denn dieses empathische Einfühlen, sich „Hineinversetzen“, steigert das eigene Kompetenzerfinden. Zudem ergibt sich der angenehme Effekt, dass dadurch die Unterschiede zwischen fixativem und vagativem Denken, also der Grad der kognitiven Neuanforderung, die in dem Schmuckstück steckt, immer geringer werden, da bei er-

höhtem Grad von Emotionalisierung irgendwann nur noch die Gefühle selbst wahrgenommen werden und andere, zum Beispiel optische Eindrücke nach und nach irrelevant werden. Diese starke Einfühlung hat zudem zur Folge, dass wir nach Abschluss der Betrachtung einen durchschnittlich höher handlungsbereiten Kunden vor uns haben, als dies normalerweise der Fall wäre. Dies kann sich durch gesteigerte Kaufbereitschaft und auch erhöhten Drang zur Kommunikation über die gewonnenen Erfahrungen ausdrücken. Daneben bekommt der Kunde durch die Möglichkeit der Empathisierung die reelle Chance der Individualisierung des Schmuckstückes. Man kann somit sagen, dass die empathisierungsfähige Komponente hier dieselben Funktionen hat wie bei kommerziellen Schmuckfirmen das Markenimage. Die geglückte Empathisierung bewirkt einen Kunden, der stark emotional an das Schmuckstück gebunden ist – mit dem Unterschied zur handelsüblichen Massenproduktion, dass diese Emotionalität auf eigener ästhetischer Arbeit gründet.

## **Kontakt:**

Prof. Theo Smeets  
Fachbereich Gestaltung  
smeets@fh-trier.de

# ADRIANE

# JAKOBS

STEUERBERATERIN

RATING- U. BONITÄTSANALYSTIN FH/IHK

BAHNHOFSTRASSE 9  
54344 KENN

FON: 0 65 02/93 72 93

FAX: 0 65 02/93 72 94

INFO@STB-JAKOBS.DE



**ZIEMANN**  
Stahlbau



Stahlbau Ziemann GmbH  
Lilienthalstr. 2 · 54516 Wittlich  
Tel. 0 65 71 / 69 08 - 0 Fax - 24  
info@ziemann-stahlbau.com  
www.ziemann-stahlbau.com

- Stahlhallenbau
- schlüsselfertiger Hallenbau
- Industrie- und Geschossbau
- Verbundbau
- Stahlkonstruktionen für Anlagenbau



**Junkes**  
Junkes Klimatechnik GmbH  
Am alten Flugplatz 5  
54294 Trier  
Telefon 06 51 - 8 10 94 00  
[www.junkes.de](http://www.junkes.de)



Industrielüftung | Heizungs- & Wärmetechnik | Reinraumtechnik | Rohrleitungsbau | Industriedienstleistungen

## IMPRESSUM

Herausgegeben in Zusammenarbeit mit der Trägerschaft.  
Änderungswünsche, Anregungen und Ergänzungen für die nächste Auflage dieser Broschüre nimmt die Verwaltung oder das zuständige Amt entgegen.  
Titel, Umschlaggestaltung sowie Art und Anordnung des Inhalts sind zugunsten

des jeweiligen Inhabers dieser Rechte urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Übersetzungen sind – auch auszugsweise – nicht gestattet. Nachdruck oder Reproduktion, gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilm, Datenerfassung, Datenträger oder Online nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages.

54293063/2. Auflage / 2006

**Infos auch im Internet:**  
[www.alles-deutschland.de](http://www.alles-deutschland.de)  
[www.alles-austria.at](http://www.alles-austria.at)  
[www.sen-info.de](http://www.sen-info.de)  
[www.klinikinfo.de](http://www.klinikinfo.de)  
[www.zukunftschancen.de](http://www.zukunftschancen.de)

**WEKA**  
I N F O

Kompetenz aus  
einer Hand

**WEKA info verlag gmbh**  
Lechstraße 2 • D-86415 Mering  
Telefon +49 (0) 82 33/3 84-0  
Telefax +49 (0) 82 33/3 84-1 03  
info@weka-info.de • [www.weka-info.de](http://www.weka-info.de)



## **FACHHOCHSCHULE TRIER**

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung  
University of Applied Sciences

**Standort Schneidershof**  
Schneidershof  
D-54293 Trier

**Standort Irminenfreihof**  
Irminenfreihof  
D-54290 Trier

**Standort Paulusplatz**  
Paulusplatz 4  
D-54290 Trier

**Standort Birkenfeld**  
Umwelt-Campus  
Campusallee  
D-55768 Neubrück

**Standort Idar-Oberstein**  
Vollmersbachstraße 53a  
D-55743 Idar-Oberstein

[www.fh-trier.de](http://www.fh-trier.de)