

Technische Fachhochschule

University of Applied Sciences

Wildau



Wissenschaftliche Beiträge

Forschung • Lehre • Technologietransfer



ISSN 0949-8214

Heft

2003



Technische Fachhochschule Wildau
University of Applied Sciences

Wissenschaftliche Beiträge

Forschung • Lehre • Technologietransfer

Heft 2003



Impressum

Herausgeber

Der Präsident der Technischen Fachhochschule Wildau
Prof. Dr. László Ungvári
Bahnhofstraße
15745 Wildau
Telefon +49 3375 508-101
Telefax +49 3375 500324
<http://www.tfh-wildau.de>

Redaktion

Prof. Dr.-Ing. Claus-Gerold Grundig
Telefon +49 3375 508-171 und -218
Redaktionsschluss: Oktober 2003

Lektorat, Gesamtherstellung und Verlag

News & Media *Public Relations* · Marcus von Amsberg
Perelsplatz 18
12159 Berlin
Telefon +49 30 85961377
Telefax +49 30 85961376
E-Mail: verlag@newsmedia.de
<http://www.newsmedia.de>

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge, auch auszugsweise,
bei Quellenangabe frei. Belegexemplare erbeten.

ISSN 0949-8214



Inhaltsverzeichnis

Vorwort

<i>László Ungvári, Präsident der Technischen Fachhochschule Wildau</i>	4
<i>Martina Brandt, Ulla Große, Frank Hartmann, Rainer Voß</i> Hauptergebnisse und Erfahrungen durchgeführter Innovations- und Technikanalysen zu Akzeptanz und Nachfrage auf den Gebieten Pflanzengentechnik und seniorengerechte Technik	5
<i>Martina Brandt, Ulla Große, Frank Hartmann, Rainer Voß</i> Aufbau des Forschungsverbundes Regionale Innovationssysteme (RIS) – Erfahrungsbericht	13
<i>Lothar Ebner, Michael König, Andrea Wardacki, Sandra Giern</i> Flächendeckende Entsorgung bis 2005. Liegt Brandenburg in der Zeit?	16
<i>Roseta Evtimova, Yordanka Lozeva, Karl-Heinz Schmidt, Michael Wotzka, Peter Wagner, Gerhard Behrendt</i> Polyester Polyols from Waste PET Bottles for Polyurethane Rigid Foams	19
<i>Jens-Uwe Gerking, Josef Schmadl</i> Berechnungsmodell für die Elektrodialyse von Salzlösungen	26
<i>Christoph Helm</i> Neue Entwicklungstendenzen an deutschen Hochschulen	31
<i>Alfred Hentschel, Stephan Jahnke</i> Auszeichnung einer hervorragenden Diplomarbeit der Technischen Fachhochschule Wildau mit dem GfPM-Preis 2002	37
<i>Martin Lorko, Peter Oravec, Karl-Heinz Schmidt, Hans-Dieter Hunger, Gerhard Behrendt</i> Poröse Sinterkeramikformstoffe mit katalytischer Wirkung durch thermische Behandlung von mit Zeolithen hochgefüllten Schaumstoffen auf der Basis von Recyclaten	41
<i>Petra Maier</i> Virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften: Lernen mit neuen Medien	46
<i>Norbert Miersch, Gero Busse, Jörg Fricke, Alexander Stengl</i> Analyse und Auswertung von Besonderheiten und Problemen bei der Konstruktion einer Serienvorrichtung im Rahmen einer praxisnahen Aufgabenstellung für die Lehre	52
<i>Marcel Mück, Alexander Soshnikov, Bodo Wolf, Asta Richter</i> Vom Indent zum Scratch – Nanomechanische Tests	59
<i>Stephanie Nagel</i> Empirische Studie zur Erlangung der interkulturellen Kompetenz deutscher Führungskräfte zur Vorbereitung auf die Entsendung in die VR China	65
<i>Bianca Pellegrini, Herbert Sonntag</i> Logistikprozesse für ein zentrales Motorenprüffeld – Planung und Bewertung von Systemalternativen des Materialflusses	71
<i>Olga Rösch</i> Personalentwicklung im Kontext der interkulturellen Kommunikation	78
<i>Olga Rösch, Roswitha Loew, Anke Pfeifer</i> Interkulturelle Kompetenz – heute eine unerlässliche Schlüsselqualifikation	84
<i>Matthias Stark, Armin Schneider, Lothar Martini, Bernd Stark, Stephan Swientek, Rolf Nitzsche</i> Abscheideverhalten der Hochdruck-Wasserabscheider des Erdgasspeichers Berlin	89
<i>Mike Steglich</i> Kosten- und Risikostrukturen wichtiger Vertragsformen in der Maintenance ziviler Flugtriebwerke	95
<i>Hartmut Stoltenberg, Herbert Postler</i> Entwicklung eines Drucksensors mit optischer Auswertung der Membrandeformation	106
<i>Markus Vette</i> Aus der Geschichte Europas auf dem Weg zu einer europäischen Verfassung	111



Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser!



Die „Wissenschaftlichen Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau“ sind die wichtigste Publikationsreihe der Hochschule für Berichte aus der Lehre, über Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und den Technologietransfer. Und sie bieten Angehörigen von ausländischen Partnerhochschulen sowie Mitarbeitern von kooperierenden Unternehmen und Einrichtungen der Region ein Forum für die Darstellung ihrer eigenen wissenschaftlichen Arbeiten und praktischen Erfahrungen.

Auch der 8. Jahrgang der „Wissenschaftlichen Beiträge“ enthält wieder zahlreiche Artikel, die einerseits die Leistungsfähigkeit der Hochschule widerspiegeln, andererseits die Qualität der Kooperationen dokumentieren. Einige Beispiele hierfür sollen im Folgenden genannt werden, wohl wissend, dass die Aufzählung unvollständig ist. Die nicht weiter erwähnten Beiträge sind deshalb nicht minder bedeutend und aussagekräftig.

Die Zusammenarbeit der Technischen Fachhochschule Wildau mit der regionalen Wirtschaft reicht von der Bearbeitung von Einzelanfragen kleiner Betriebe bis zur Umsetzung innovativer Technologien, z. B. „Schaffung von Planungsgrundlagen für die Produktionsvorbereitung ...“ (S. 37 ff.), „Logistikprozesse für ein zentrales Motorenprüffeld ...“ (S. 71 ff.), „Abscheideverhalten der Hochdruck-Wasserabscheider des Erdgasspeichers Berlin“ (S. 89 ff.) oder „Entwicklung eines Drucksensors ...“ (S. 106 ff.).

Die Hochschule bewirbt sich auch immer wieder um Forschungsaufträge des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). So wurden im Rahmen der Vertiefung und Umsetzung des Innovations- und Technikanalyse-Konzepts des BMBF im Jahr 2002 zwei Projekte zu „Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil“ abgeschlossen, die Mitarbeiter der Hochschule in Kooperation mit dem Institut für Regionale Innovationsforschung bearbeitet hatten (vgl. S. 5 ff.). Außerdem werden Forschungsprojekte von regionalem Interesse durchgeführt, z. B. „Stereotype Einstellungen und Kulturstandards ... Untersuchung bei Wirtschaftsunternehmen und caritativen Einrichtungen im Land Brandenburg“ (vgl. S. 84 ff.), gefördert durch das Ministerium für Forschung, Bildung und Wissenschaft (MFBW) des Landes Brandenburg und die Technologie Stiftung Brandenburg. Ich weise ferner auf den Beitrag von Dr. Christoph Helm, Staatssekretär im MFBW, hin, der über „Neue Entwicklungstendenzen an deutschen Hochschulen“ (S. 31 ff.) berichtet.

Auf internationaler Ebene kooperiert die Hochschule insbesondere mit Wissenschaftlern von osteuropäischen Hochschulen, wie zum Beispiel bei dem Projekt „Polyester Polyols from Waste PET Bottles for Polyurethane Rigid Foams“ (S. 19 ff.) mit Kollegen aus Bulgarien, über „Poröse Sinterkeramikformstoffe mit katalytischer Wirkung ...“ (S. 41 ff.) mit Partnern aus der Slowakei oder bei nanomechanischen Tests (S. 59 ff.) mit einem russischen Forscher. Die internationale Zusammenarbeit umfasst aber auch den Studenten- und Dozentenaustausch, in dessen Rahmen ebenfalls zahlreiche Studien entstehen, wie etwa die „Empirische Studie zur Erlangung interkultureller Kompetenz ...“ (S. 65 ff.).

Im Ergebnis führen die vielfältigen Aktivitäten und Kontakte zu einem ausgeprägten Praxisbezug der Lehre an der TFH Wildau (vgl. auch „Virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften ...“, S. 46 ff.). Ausdruck dessen sind die in jüngerer Zeit eingerichteten Studiengänge Biosystemtechnik/Bioinformatik, Photonics, Telematik, der internationale postgraduale Aufbaukurs „Technology of New Materials“ sowie die mit Beginn des Wintersemesters 2003/04 neu angebotenen Studiengänge Europäisches Management und Luftfahrttechnik/Luftfahrtlogistik. Aus den letztgenannten zwei Fachgebieten ist in diesen „Wissenschaftlichen Beiträgen“ jeweils ein Aufsatz enthalten über „Kosten- und Risikostrukturen wichtiger Vertragsformen in der Maintenance ziviler Flugtriebwerke“ (S. 95 ff.) und „Aus der Geschichte Europas auf dem Weg zu einer europäischen Verfassung“ (S. 111 ff.).

Der hohe Stellenwert, den die angewandte Forschung und Entwicklung in Wildau haben, drückt sich auch in der Höhe der eingeworbenen Drittmittel (je besetzte Professur im Jahresdurchschnitt der letzten drei Jahre 55.800 Euro) und der Zahl der Drittmittelbeschäftigten (im Jahresdurchschnitt der letzten drei Jahre 1,25 je Professur) aus.

Nun aber lade ich die Leserinnen und Leser herzlich ein, sich durch die Lektüre des vorliegenden Heftes selbst einen Eindruck von der Bandbreite der bearbeiteten Themen zu verschaffen, und wünsche Ihnen dabei viele interessante Einblicke, Anregungen und neue Erkenntnisse.

Prof. Dr. László Ungvári
Präsident



Hauptergebnisse und Erfahrungen durchgeführter Innovations- und Technikanalysen zu Akzeptanz und Nachfrage auf den Gebieten Pflanzengentechnik und seniorengerechte Technik

Martina Brandt, Ulla Große, Frank Hartmann, Rainer Voß

1 Das Konzept Innovations- und Technikanalyse

Anknüpfend an langjährige Erfahrungen aus der „klassischen“ Technikfolgenabschätzung (TA) entwickelte das BMBF im Jahre 2000 das Konzept der Innovations- und Technikanalyse (ITA). Mit dem Ziel, Gestaltungs- und Handlungsoptionen bezogen auf Technikentwicklung und Innovationsprozesse zu erarbeiten, orientiert ITA auf die Analyse der gesellschaftlichen Anwendungsbedingungen und möglichen Folgen neuer Technologien in Frühphasen ihrer Entwicklung. So sollen bereits im Stadium der Erarbeitung von Leitvisionen und Szenarien der Forschungsförderung durch das BMBF innovationsorientierte Bewertungen der Voraussetzungen und Folgen von Technikentwicklung und -anwendung vorgenommen werden. [1]

Innovations- und Technikanalysen haben nicht schlechthin Technologien zum Untersuchungsgegenstand, sondern wissenschaftlich-technische und organisatorische Innovationen. Damit richtet sich der Blick verstärkt auch auf die Wirtschaft als jenen Bereich, in dem Innovationen maßgeblich generiert und entwickelt werden und ihre Anwendung finden. Die Einbeziehung der Wirtschaft und ihrer Instrumente der Produktfolgenabschätzung soll zu Synergien mit einer integrierten, modernen Innovations- und Technikanalyse führen. [2]

Beibehalten wird die Sichtweise „klassischer“ TA, dass die Politik ein wesentliches gesellschaftliches Subsystem darstellt, das durch die Gestaltung von Rahmenbedingungen Technikentwicklung beeinflusst und somit ein wichtiger Adressat für TA ist.

Die Innovationsorientierung von TA bedeutet nicht zwangsläufig eine Schwerpunktverlagerung auf einzelne Unternehmen, denn die Hervorbringung und Realisierung von Innovationsprozessen erfolgt i. d. R. nicht innerbetrieblich, sondern zwischenbetrieblich und interinstitutionell und es werden auch private Endverbraucher frühzeitig in den Innovationsprozess eingebunden. Insofern geht es ITA um die Berücksichtigung übergreifender Aspekte der Gestaltung vielfältiger Ressourcenaustauschprozesse zwischen Unternehmen und ihren Umwelten in Innovationsprozessen. Zum Adressatenkreis zählen folglich neben politischen Akteuren auch Unternehmen und Konsumenten.

Darüber hinaus unterstellt das ITA-Konzept, dass Bürger und die Öffentlichkeit bestimmte Einstellungen zur Tech-

nik haben und dementsprechend Technikentwicklung blockieren, hemmen oder fördern können. Folglich liegt ein weiterer Schwerpunkt von ITA auf der Untersuchung von Einflussfaktoren auf solche Einstellungen sowie der Einbeziehung der Öffentlichkeit in die Diskussion um die Entwicklung neuer Technologien. Über rein analytische Fragen hinaus gewinnen in diesem Prozess diskursive und partizipative Aspekte an Bedeutung.

Diese Perspektivenerweiterungen und -vertiefungen im Vergleich zu „klassischer“ TA fanden im Jahre 2000 ihren ersten umsetzungsbezogenen Niederschlag in den Ausschreibungen des BMBF zu den Themenfeldern „Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil“, „Evaluation internetgestützter Diskurse“ und „Formen und Reichweite elektronischer Demokratie“.

Aufgrund Ihrer langjährigen Erfahrungen mit innovationsorientierter Technikfolgenabschätzung beteiligte sich die Technische Fachhochschule in Kooperation mit dem Institut für Regionale Innovationsforschung an der Vertiefung und Umsetzung des ITA-Konzepts durch die Bearbeitung von zwei Projekten im Themenfeld „Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil“, die beide im Jahre 2002 erfolgreich abgeschlossen wurden:¹

- Technikakzeptanz und Nachfragemuster als Standortvorteil im Bereich der Pflanzengentechnik
- Determinanten der Technikaufgeschlossenheit und des Nachfrageverhaltens in Bezug auf seniorengerechte Technik

Beide Projekte weisen sowohl konzeptionelle Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede auf. Im nachfolgenden Abschnitt wird vergleichend gezeigt, wie die o. g. Aspekte des ITA-Konzepts aufgegriffen, konzeptualisiert und empirisch untersucht wurden. Um die Lesbarkeit des Textes zu erleichtern, werden die Projekte im Weiteren verkürzt als „Pflanzengentechnik-Projekt“ sowie als „Senioren-Projekt“ bezeichnet.

2 Projektansätze und Methoden im Vergleich

In beiden Projekten wird davon ausgegangen, dass die wirtschaftliche Umsetzung des Potenzials neuer Technologien durch Innovationsprozesse erfolgt, was die Kombination mit bestehenden und/oder neuen Technologien beinhaltet. Unterschiedlich sind jedoch die untersuchten



Technologiefelder und Innovationsprozesse. Im Bereich der Pflanzengentechnik kann man von einer einheitlichen technologischen Basis mit einer Vielzahl von Anwendungsrichtungen ausgehen, im Bereich seniorengerechte Technik von unterschiedlichen Technologien und unterschiedlichen Anwendungen. Letztere wurden in den Bereichen Mobilität, Sicherheit, Kommunikation und Haushalt/Wohnen untersucht, tangieren ein äußerst vielfältiges Technologiespektrum und betreffen Produkte unterschiedlichen Technologieniveaus (vgl. Abbildung 1). In beiden Projekten wird davon ausgegangen, dass Innovationsprozesse in Wertschöpfungsketten realisiert werden. Diese unterscheiden sich je nach Anwendungsfeld hinsichtlich der Stufen und der beteiligten Innovationsakteure. Die Vertikalität und die Stufigkeit der Wertschöpfungsketten sind bei der Pflanzengentechnik besonders ausgeprägt (vgl. Abbildung 2).

Den Projekten liegt ein Innovationsverständnis zugrunde, demzufolge die Innovationsdynamik aus den Zusammenhängen zwischen technikerzeugenden, -verwendenden und regulierenden Sozialsystemen resultiert, die durch entsprechende Akteure gestaltet werden. [3] Innovationen werden nicht in einem linear verlaufenden Prozess generiert, sondern entstehen vielmehr in einem mehrstufigen Prozess, der durch rekursiv verknüpfte Kommunikationen zwischen Technikerzeugern und Technikverwendern gekennzeichnet ist. Dieser vollzieht sich unter Randbedingungen, die insbesondere vom technikregulierenden Sozialsystem gesetzt sind und den Prozess konditionieren.

Aufgrund der wirtschaftsbezogenen Perspektive von ITA, die sich im genannten Themenfeld insbesondere mit dem Begriff der Nachfrage verbindet, erreichen beide

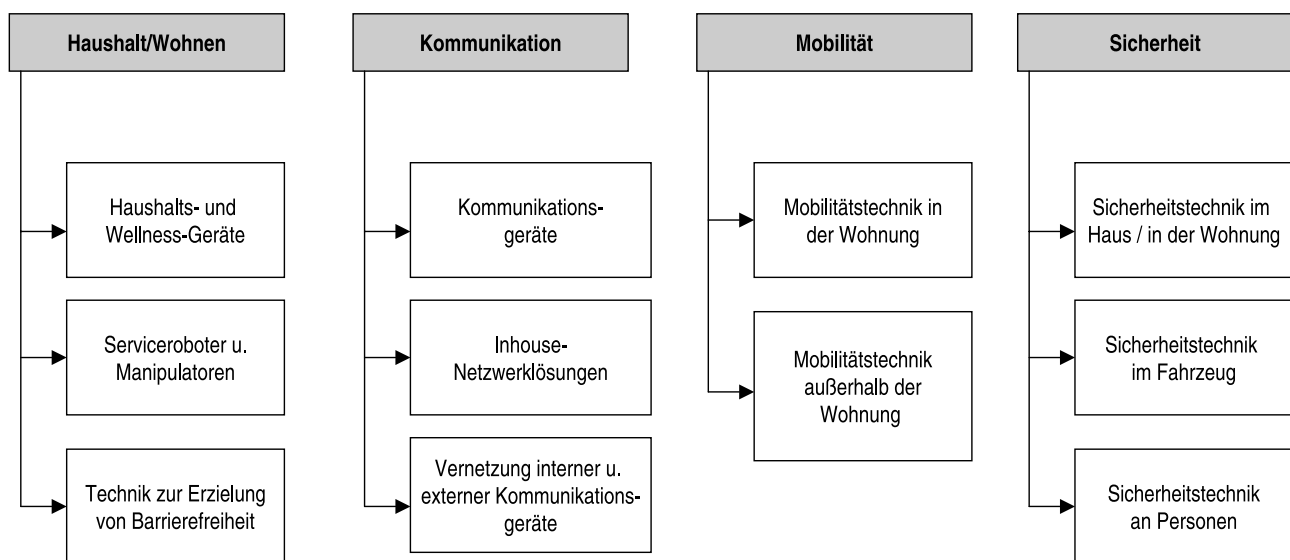
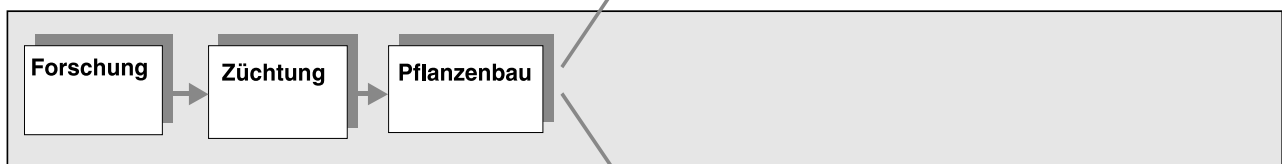


Abb. 1: Produktgruppen Seniorengerechter Technik nach Anwendungsbereichen

Anwendungsbereich „Inhaltsstoffe – non-food“ / Kunststoffe



Anwendungsbereich „Agrarische Eigenschaften“



Anwendungsbereich „Food“

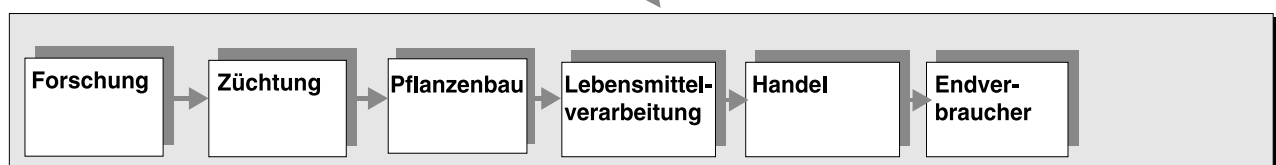


Abb. 2: Wertschöpfungsketten in Anwendungsbereichen der Pflanzengentechnik



Projekte ihren hohen Differenzierungsgrad über die Untersuchung von unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Bei ITA in sehr frühen Phasen von Innovationsprozessen kommt hinzu, dass die Antizipation möglicher Folgen ganz entscheidend von der Analyse jener Anwendungskontexte abhängig ist, in die Innovationen eingebettet werden müssen.

Mit dem genutzten Wertschöpfungskettenansatz rücken potenzielle und aktuelle Nachfrager ins Blickfeld der Untersuchung, jedoch mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung. Während im Pflanzengentechnik-Projekt neben privaten Endverbrauchern auch Unternehmen aus verschiedenen Wirtschaftsbereichen als Verwender im Fokus der Untersuchung stehen, betrifft dies im Senioren-Projekt insbesondere den Senior als privaten Endverbraucher (neben helfenden Angehörigen und professionellen Dienstleistern). Es wird unterstellt, dass dessen Nachfrageverhalten bezogen auf seniorengerechte Technik einerseits durch altersbedingte Veränderungen in Verhaltensvariablen beeinflusst wird. Andererseits beeinflusst auch das Vorhandensein anspruchsgerechter Leistungsangebote das Nachfrageverhalten (vgl. Abbildung 3).

Den Begriff des Anspruchs nutzen beide Projekte, und zwar im Sinne gegenstandsgerichteter Wünsche, die nahe an der Verhaltensorberfläche liegen und eine Chance haben, marktrelevant zu werden. [4] Da sich die jeweils untersuchten Innovationsprozesse jedoch in unterschiedlichen Phasen befinden (mit Ausnahme der Robotik liegen diese Prozesse im Bereich der seniorengerechten Technik nicht in so frühen Phasen wie bei der Pflanzengentechnik), erfolgt dies mit verschiedener Intention. Im Pflanzengentechnik-Projekt vermitteln Ansprüche den Zusammenhang zwischen einer Problemlage, auf die ein Innovationsvorhaben mit seinen potenziellen Folgen in seinen frühen Phasen im hohen Maße orientiert ist, und einer Nachfrage, auf die sich die Leistungsangebote als Ergebnisse von Innovationsprozessen beziehen. Nur wenn Innovationsprozesse und deren Folgen passfähig zu bestimmten Ansprüchen potenzieller Kunden gemacht werden, können sie sich realisieren und es entsteht Nachfrage (vgl. Abbildung 4).

Ansprüche sind kontextabhängig, historisch gewachsen, aber auch – in unterschiedlichem Maße – veränderlich. Sie werden indirekt z. B. durch politisch-rechtliche und

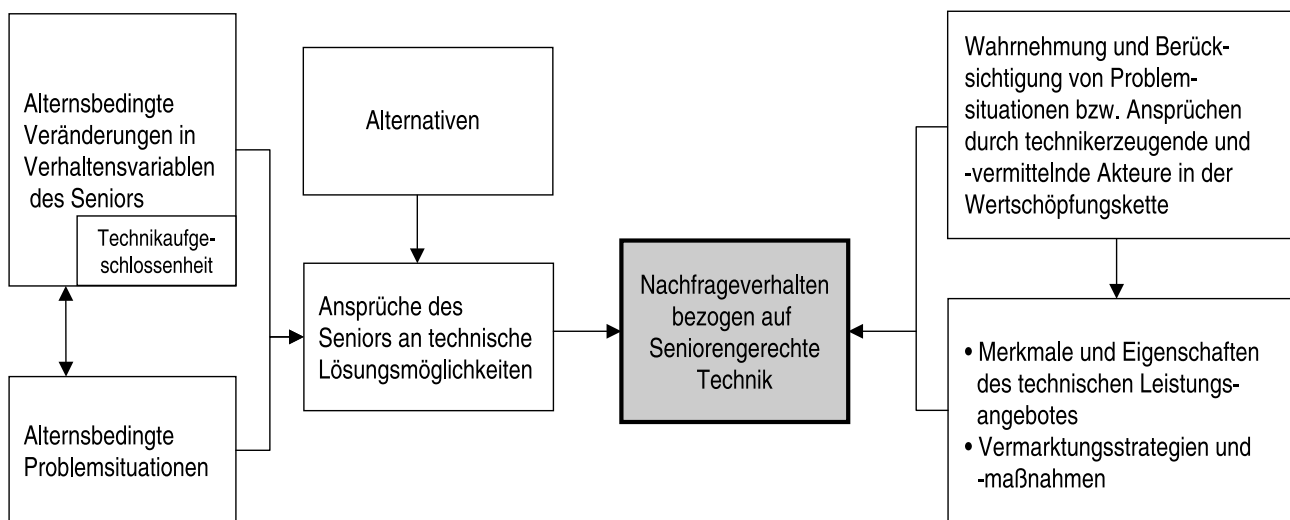


Abb. 3: Schematische Darstellung des Untersuchungskonzepts im Senioren-Projekt

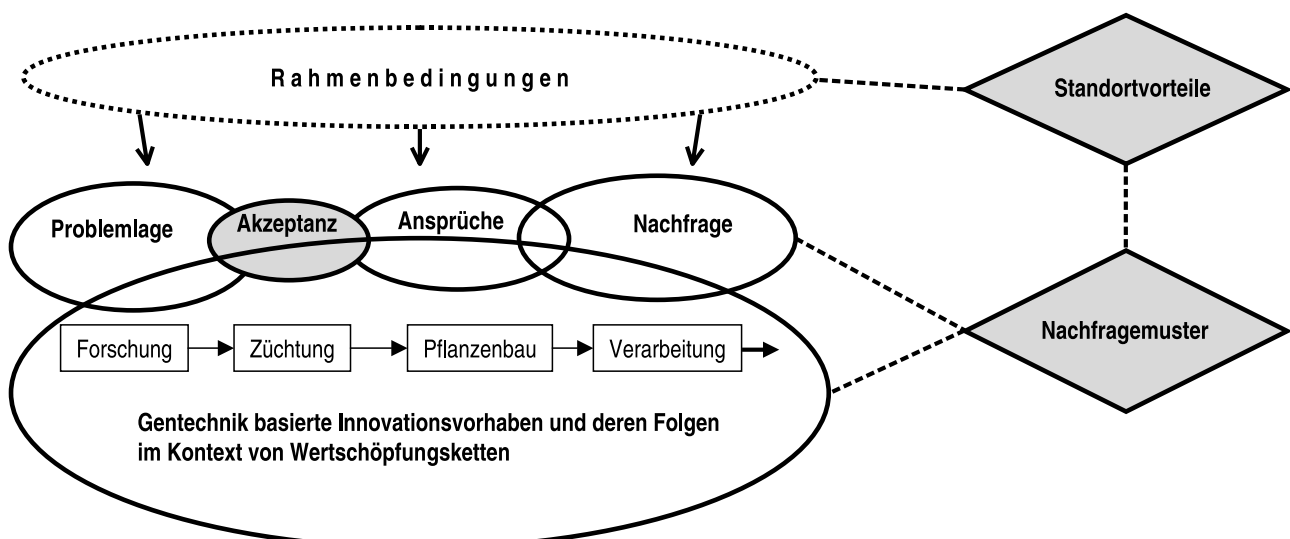


Abb. 4: Schematische Darstellung zum Untersuchungskonzept im Pflanzengentechnik-Projekt



wirtschaftliche Rahmenbedingungen beeinflusst. Unter Rückgriff auf das Wertschöpfungskettenmodell sind verschiedene Akteure mit Ansprüchen identifizierbar. Hervorgehoben werden im Pflanzengentechnik-Projekt etwa produktive Verwender, Akteure aus dem Bereich Logistik/Handel und private Endverbraucher. Im Senioren-Projekt werden Ansprüche an technische Produkte als aggregierter Ausdruck konkreter Ausprägungen von Verhaltensvariablen bei Senioren genutzt. Für die Herausbildung von Ansprüchen spielen jeweils die verfügbaren Alternativen eine wichtige Rolle. Im Pflanzengentechnik-Projekt sind dies nicht gentechnisch basierte Produkte, im Senioren-Projekt durch Personen erbrachte Leistungen anstelle technischer Leistungsangebote.

Beide Projekte haben sich auf jeweils spezifische Weise mit der Rolle von Einstellungen und dem Begriff der Akzeptanz beschäftigt. Im Senioren-Projekt konnte davon ausgegangen werden, dass auftretende Akzeptanzprobleme in Bezug auf seniorengerechte Technik in der Regel nicht auf fehlender Technikakzeptanz beruhen. Daher war insbesondere die Anwendungsakzeptanz bezogen auf konkrete technische Produkte Untersuchungsgegenstand. Im Pflanzengentechnik-Projekt wurde dagegen explizit zwischen Technikakzeptanz und Anwendungsakzeptanz unterschieden und differenziert untersucht, welche Rolle diese beiden Akzeptanzformen bei Akteuren in den Stufen unterschiedlicher Wertschöpfungsketten, einschließlich privater Endverbraucher sowie der Öffentlichkeit, spielen.

Schließlich wurde in beiden Projekten die Wirkung von Akzeptanz und Nachfrage als Standortvorteil entsprechend der Spezifik der untersuchten Technologiebereiche konzipiert und analysiert. Im Pflanzengentechnik-Projekt fokussiert die Untersuchung auf die Realisierungsbedingungen für erfolgreiche pflanzengentechnisch basierte Innovationsvorhaben und die wirtschaftliche wie gesellschaftliche Integration der Pflanzengentechnik insgesamt. Diese Realisierungsbedingungen schließen potenziellseitige Aspekte, nachfrage-seitige Aspekte, politisch-rechtliche Rahmenbedingungen und die Akzeptanz der Pflanzengentechnik in der Öffentlichkeit ein. Dieses Verständnis von Standortvorteilen knüpft an dem regionaler Wettbewerbsvorteile von Michael Porter [5] an, erweitert dieses vor allem hinsichtlich rechtlich-politischer Rahmenbedingungen und spezifiziert es zweifach, indem es Besonderheiten einer „Technologie“ in Frühphasen ihrer Entwicklung betrachtet und die Beziehungen zwischen Akteuren aus der Wirtschaft nicht als reine Zulieferbeziehungen, sondern als Verwenderbeziehungen entlang vertikaler Wertschöpfungsketten konzipiert. Im Senioren-Projekt waren dagegen vor allem die Standortbedingungen für Unternehmen in Deutschland auf den verschiedenen Anwendungsfeldern (z. B. Vorhandensein relevanter Forschungsinfrastruktur, Zentren für Gerontotechnologie), ihre Wettbewerbssituation, die Zutrittschancen für neue Unternehmen und der Vergleich von Rahmenbedingungen mit anderen Ländern untersuchungsleitend.

Hauptuntersuchungsmethode waren in beiden Projekten Fallstudien. Im Pflanzengentechnik-Projekt bezogen sich diese auf folgende Innovationsvorhaben:

- „Fusarienresistenter Weizen“ (Nutzung der Pflanzengentechnik zur Verbesserung agrarischer Eigenschaften);
- „Weizen ohne Zöliakietoxizität“ (Nutzung der Pflanzengentechnik im Food-Bereich);
- „Biologisch abbaubare Kunststoffe aus transgenen Pflanzen“ (Nutzung der Pflanzengentechnik im Bereich Industrierohstoffe).

Im Senioren-Projekt wurden mit den Fallstudien zu Elektromobilen, Navigationssystemen für PKW, Seniorencomputern und Heimrobotern bzw. Roboterassistenten Leistungsangebote analysiert, die sich in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus befinden, bezüglich ihres Innovationsgrades und Technologiebezuges differieren und von Unternehmen verschiedener Größe entwickelt und produziert werden. Die gewonnenen Ergebnisse wurden mit Exkursen zu Großstamntelefonen und Hausnotrufsystemen gestützt.

Die Erarbeitung der Fallstudien und Exkurse basierte auf leitfadengestützten ein- bis zweistündigen Experteninterviews mit zahlreichen Schlüsselakteuren, Literatur- und Dokumentenstudien sowie der Teilnahme an Fachveranstaltungen und -messen. Der für die Projektbearbeitung angewandte Methodenmix umfasste des Weiteren im Senioren-Projekt drei kleinere schriftliche Befragungen sowie im Pflanzengentechnik-Projekt eine Internetbefragung zur Ermittlung des Einflusses von Folgewissen über ein konkretes pflanzengentechnisch basiertes Innovationsvorhaben auf die Akzeptanz dieses Vorhabens durch die Öffentlichkeit.

3 Hauptergebnisse des ITA-Projekts zur Pflanzengentechnik

Ausgehend von den Fallstudien wurden in mehreren Schritten Aussagen für komplexe Anwendungsbereiche und die Pflanzengentechnik insgesamt abgeleitet. Zunächst erfolgte die Prüfung der Analyseergebnisse für die untersuchten Innovationsvorhaben hinsichtlich ihrer Verallgemeinerbarkeit für das jeweilige Anwendungsfeld. Daran anschließend konnten Nachfragemuster in der Pflanzengentechnik identifiziert und charakterisiert sowie Standortvorteile ermittelt werden. Die Zusammenschau aller Projektergebnisse (Fallstudienwissen, Befunde der Internetbefragung, Nachfragemuster und Standortvorteile) führt zu folgenden Hauptaussagen und Schlussfolgerungen:

- Die Durchsetzungschancen pflanzengentechnisch basierter Innovationsvorhaben hängen ganz besonders davon ab, ob und wie deren mögliche Folgen mit den Verwenderansprüchen von Wirtschaftsakteuren bzw. privaten Endverbrauchern wechselseitig passfähig gemacht werden können. Nur wenn es gelingt, diese Passfähigkeit herzustellen, kann zukünftig Nachfrage entstehen.



- Zu pflanzengentechnischen Anwendungen bestehende alternative technologische Entwicklungspfade sind bezogen auf die Nachfrage nicht in jedem Falle als ungünstig zu bewerten. Sie beeinflussen z. B. dann nachfragerrelevante Anwendungszusammenhänge positiv, wenn sie mit zeitlichem Vorlauf dazu beitragen, dass Rahmenbedingungen förderlich geändert und Marktbarrieren abgesenkt werden.
 - Der geringe Stand der kommerziellen Nutzung der Pflanzengentechnik ist insbesondere auf offene wissenschaftliche und technologische Fragen zurückzuführen, daneben auf die noch unklare Positionierung der Politik, weniger dagegen auf gentechnikkritische Positionen der Öffentlichkeit. Dennoch ist die Akzeptanz der Pflanzengentechnik durch die Öffentlichkeit eine wichtige Bedingung für ihre wirtschaftliche Umsetzung und gesellschaftliche Integration. Die gängige Annahme, die Pflanzengentechnik werde durch die Öffentlichkeit insgesamt oder grundsätzlich abgelehnt, muss jedoch korrigiert werden.
 - Bezogen auf die Pflanzengentechnik erfolgte erstmals die Unterscheidung zwischen der allgemeinen (Pflanzen)-Technikakzeptanz und der Anwendungsakzeptanz bezogen auf Anwendungsbereiche oder konkrete Anwendungsbeispiele. Es konnte belegt werden, dass Technikakzeptanz und Anwendungsakzeptanz oft übereinstimmen, aber für einzelne Anwendungen auch deutlich voneinander abweichen.
 - Mit der Internetbefragung wurde gezeigt, dass sich die Akzeptanz eines pflanzengentechnisch basierten Innovationsvorhabens verändern kann, wenn die Befragten über mögliche Folgen dieses Vorhabens informiert werden. Sie räumten einem solchen Folgenwissen einen höheren Stellenwert ein als anderen Informationen.
 - Potenziellseitig verfügt Deutschland über die erforderlichen Voraussetzungen für die Entwicklung und Nutzung der Pflanzengentechnik, und zwar in allen Stufen der drei untersuchten Wertschöpfungsketten. Das wechselseitig aufeinander bezogene Agieren der Akteursgruppen aus diesen Wertschöpfungsstufen im Hinblick auf die Realisierung pflanzengentechnisch basierter Innovationsvorhaben ist jedoch unterschiedlich entwickelt. Während die Beziehungen zwischen Forschung und Pflanzenzüchtung bereits sehr intensiv sind, werden mögliche Folgen pflanzengentechnisch basierter Innovationsvorhaben durch Akteure in der Landwirtschaft und in folgenden industriellen Verarbeitungsstufen zwar wahrgenommen, darauf bezogene Verwenderansprüche aber noch zu wenig formuliert und an die Züchtung und Forschung durchgestellt.
 - Wirtschaftsakteure in den untersuchten Wertschöpfungsketten akzeptieren grundsätzlich den Einsatz der Pflanzengentechnik. Da sie aber undifferenziert von einer überwiegenden Ablehnung der Pflanzengentechnik durch die Öffentlichkeit ausgehen, vertreten sie ihre Akzeptanz nicht in jedem Falle auch öffentlich.
 - Erstmalig wurden für die Pflanzengentechnik Nachfragemuster ermittelt. Sie zeigen, in welchen nachfragerrelevanten Konstellationen sich eine große Zahl pflanzengentechnisch basierter Innovationsvorhaben entwickelt bzw. sich zukünftig entwickeln wird. Unter Nutzung der Muster können Handlungsbedarfe für Rahmensetzer und Innovatoren abgeleitet werden, nachfragebeeinflussende Faktoren förderlicher zu gestalten und notwendige Kommunikationsprozesse rechtzeitig aufzunehmen.
 - Den Flaschenhals für die wirtschaftliche Umsetzung des Potenzials der Pflanzengentechnik bildet eine international wettbewerbsfähige Pflanzenzüchtung. Deshalb sollte seitens der Politik der Entwicklung der Züchtungsbranche – über die Förderung ihrer Forschungspotenziale hinaus – große Aufmerksamkeit gelten.
 - Für die strategische Planung neuer sowie die Realisierung laufender pflanzengentechnischer Innovationsvorhaben muss kurzfristig Planungssicherheit geschaffen werden, was eine klare politische Positionierung sowie den Vollzug bestehender Gesetze voraussetzt.
 - Anknüpfend an die These von der Notwendigkeit der Normalisierung hypothetischer Risiken der Pflanzengentechnik (van den Daele) kommen die Autoren im Ergebnis der Studie zu der zentralen These von der Notwendigkeit der Normalisierung des Nutzens. Sie liegt insbesondere darin begründet, dass sowohl hochgradig gesellschaftlich relevante und komplexe Problemlagen als auch Problemlagen einzelner privater Endverbraucher in den wenigsten Fällen allein durch Pflanzengentechnik lösbar sind. Eine Ausnahme können einzelne Problemlagen bei Wirtschaftsakteuren bilden. Hinzu kommt, dass die Pflanzengentechnik als Methode heute noch so unreif ist, dass problemlösende Ideen oft noch nicht in entsprechende pflanzengentechnisch basierte Produkte umgesetzt werden können. Eine Normalisierung des Nutzens hätte Konsequenzen für den strategischen Umgang mit der Pflanzengentechnik in Forschung, Wirtschaft und Politik ebenso wie für die öffentliche Diskussion und die Akzeptanz der Öffentlichkeit.
- Die Ergebnisse insgesamt verdeutlichen den Wert von ITA-Wissen für eine erfolgreiche Realisierung pflanzengentechnisch basierter Innovationsvorhaben ebenso wie für deren gesellschaftliche Implementierung.

4 Hauptergebnisse des ITA-Projekts zur seniorengerechten Technik

Mit den Fallstudien für technologische Innovationen in den Anwendungsbereichen „Mobilität“, „Sicherheit“, „Kommunikation“ und „Haushalt“ liegen detaillierte Ergebnisse zu den jeweils typischen altersbedingten



Problemsituationen von Senioren, zur Befriedigung ihrer produktbezogenen und Vermarktungsansprüche durch die vorhandenen technischen Leistungsangebote, zur Entwicklung der Nachfrage und zu den Standortbedingungen der Unternehmen vor. So konnte z. B. für das Anwendungsfeld „Mobilität“ gezeigt werden, dass

- die Mobilität im außerhäuslichen Bereich einen hohen Stellenwert für die Lebensqualität von Senioren bis ins hohe Alter hat,
- neben dem „normalen“ PKW Elektromobile (Scooter, Leicht-KFZ) eine Option für individuelle Mobilität darstellen, die in Deutschland aber überwiegend nur von Behinderten genutzt wird,
- die Angebotspalette bei Elektroscootern nahezu alle produktbezogenen Ansprüche der Kunden abdeckt, jedoch Defizite bezüglich der Vermarktungsansprüche auszumachen sind,
- die befragten Firmen eine steigende Nachfrage nach Elektromobilen erwarten,
- die deutschen Anbieter von Elektromobilen einem harten Preiskampf mit ausländischen Konkurrenten ausgesetzt sind.

Bezogen auf das Nachfrageverhalten von Senioren wird nachgewiesen, dass

- nachfragerelevante Problemsituationen meist nicht allein durch altersbedingte Veränderungen in personenbezogenen Variablen entstehen, sondern vielmehr erst in Kombination mit weiteren umgebungsbezogenen Variablen,
- auch Veränderungen in umgebungsbezogenen Variablen allein eine Techniknachfrage auslösen können,
- die Beschaffenheit einer einzigen Verhaltensvariablen alle anderen Variablen mit einem förderlichen Einfluss auf die Nachfrage außer Kraft setzen und die Realisierung der Nachfrage über den Kaufakt verhindern kann (z. B. ein zu geringes Einkommen oder die Nichtwahrnehmung der Problemlage),
- je nach entstandener Problemsituation entweder Technik zur Lösung von Aufgaben nachgefragt wird, die bisher ohne Technik absolviert wurden, oder neue Ansprüche an bereits genutzte Technik formuliert werden bzw. Technik nachgefragt wird, die bisherige Technik substituiert,
- ein gleiches Ausmaß an Veränderung in Verhaltensdeterminanten verschieden starke Auswirkungen auf das Nachfrageverhalten haben kann, wobei die Höhe des Problemdrucks und die Alternativen eine wichtige Rolle spielen,
- geschlechtsspezifische Unterschiede in der Technikaufgeschlossenheit nicht für alle Technikanwendungen gleichermaßen relevant sind,
- die überwiegende Mehrheit der Senioren eine hohe Technikaufgeschlossenheit hat, nachgewiesene Unterschiede zwischen allgemeiner und bereichsspezifischer Technikeinstellung sowie zwischen Technikeinstellung, Anschaffung und Nutzung aber durchaus für die Bewertung der Nachfrage berücksichtigt werden müssen,
- auftretende Akzeptanzprobleme in Bezug auf seniorengerechte Technik oftmals durch das vielen Produkten anhaftende „Behindertenimage“ verursacht sind.

Zur Charakterisierung der Angebots- und Anbietersituation wird *erstens* gezeigt, dass Technikentwickler und -hersteller verschiedener Wertschöpfungsketten den Zusammenhang von altersbedingten Veränderungen in Verhaltensvariablen, Problemsituationen und Ansprüchen auf unterschiedliche Weise wahrnehmen und in entsprechende Handlungsstrategien bei der Entwicklung nachfragegerechter Leistungsangebote umsetzen. Hierzu wird dargestellt

- mit welcher Zielsetzung die markt- oder technologiegetriebenen Produktentwicklungen erfolgen,
- welche Möglichkeiten Technikentwickler und -hersteller haben, die Ansprüche von Senioren an geplante Produktverbesserungen und -neuentwicklungen zu erkennen,
- welche Erfahrungen aus unterschiedlichen Formen des Involvements (z. B. Seniorenpanel, usability labs) resultieren,
- welche Anforderungen an die Produktentwicklung aus den Erkenntnissen der Alternsforschung resultieren („design for all“ versus Variation und Modularität).

Zweitens werden die Leistungsangebote hinsichtlich ihrer Innovationshöhe, des Technologieniveaus und der sich abzeichnenden technologischen Entwicklungstrends charakterisiert. Letztere gehen in folgende drei Richtungen:

- Verbesserung/Erweiterung der Funktionalität traditioneller technischer Geräte,
- Automatisierungslösungen für bislang nicht von Technik erfasste Tätigkeiten und Prozesse mit neuartigen Geräten,
- Vernetzung hausinterner technischer und elektronischer Geräte wie auch Vernetzung hausinterner mit externer Technik.

Drittens werden die Erfahrungen aus unterschiedlichen Vermarktungsstrategien und Vertriebswegen beschrieben und typische Vermarktungsprobleme der mittelständischen Firmen identifiziert. Auf dem Zuwendungsmarkt² können diese z.B. aus dem Verhalten einiger Technikvermittler resultieren. Auf dem Leistungsaustauschmarkt fehlt den kleineren Firmen z.B. der Zugang zu effektiven Vertriebskanälen und aufgrund eingeschränkter Werbemöglichkeiten erreichen ihre Produkte nicht den gewünschten Bekanntheitsgrad.

Es wird gezeigt, dass die gesellschaftliche Aufmerksamkeit für die altersbedingten Problemlagen älterer Menschen in den untersuchten Anwendungsbereichen unterschiedlich stark ausgeprägt und akzentuiert ist. So wird beispielsweise die Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien durch ältere Menschen in Deutschland seit etwa fünf Jahren spürbar durch Politiker, Forscher, Vereine und Verbände, Unternehmen und nicht zuletzt die Senioren selbst thematisiert. Dagegen wird das Problem der Gewährleistung der individuellen Mobilität für ältere Menschen, die kein Auto nutzen können, öffentlich kaum wahrgenommen. Beispielhaft wird der Einfluss gesetzlicher Regelungen auf die Nachfrage aufgezeigt. So wirkt die Aufnahme der Elektroscooter in das Hilfsmittelverzeichnis der Krankenkassen diesbezüglich positiv, während die bis Anfang vorigen Jahres gültige Regelung, geschlossene einsitzige Kran-



kenfahrstühle nur für behinderte Personen zuzulassen, einer Nachfrage entgegen stand.

Basierend auf der Analyse der Anbietersituation nach der Anzahl und Größe der Anbieterfirmen, ihrer Herkunft (Brancheninsider oder branchenfremd), der Konkurrenzsituation, der Marktgröße und der Zutrittschancen für neue Unternehmen wird bezüglich der Standortbedingungen für Unternehmen belegt, dass nicht in allen Bereichen gute Zutrittschancen für neue Firmen bestehen und diese zum Teil in unterschiedlich begründeten „Zeitfenstern“ möglich und sinnvoll sind (Seniorencomputer, Roboterassistent). Als positive Standortbedingungen werden u. a. die spezifischen Zentren für Gerontotechnik bzw. Gerontotechnologie in Iserlohn und Bad Tölz sowie die leistungsfähige Forschungs- und Unternehmenslandschaft auf dem Gebiet der Robotik herausgearbeitet.

Der konzeptionelle Zugang des vorliegenden Projekts und die erarbeiteten Fallstudien haben eine neue Sicht auf vorliegende Ergebnisse der Alternsforschung und der Vermarktung ermöglicht und die Schnittstellen zu deren Nutzung bei der Umsetzung in nachfragegerechte technische Leistungsangebote durch Unternehmen aufgezeigt. Es wurde zugleich herausgearbeitet, dass die Berücksichtigung der Ergebnisse der Alternsforschung und Konsumentenforschung allein nicht alle bei der Umsetzung auftretenden Fragen beantworten kann. Vielmehr müssen dazu auch wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Forschungen Beiträge leisten. Es wird insbesondere vorgeschlagen,

- sowohl Instrumente des Innovationsmanagements, der Wettbewerbstheorie und des Marketings, als auch Erkenntnisse der interdisziplinären Alternsforschung (z. B. zum Entwicklungspotenzial, zur Variabilität, Kompetenz und Plastizität und zu den differenzierten Lebensstilen von Senioren) verstärkt für die Technikentwickler und -hersteller handhabbar zu machen und gewissermaßen in Strategien, Ziele und ein entsprechendes Innovationsverhalten bezogen auf kunden-gerechte Leistungsangebote für ältere Menschen zu transformieren,
- neue theoretische und empirisch überprüfbare Konzepte, z. B. zur Rolle von Technik bei der Förderung und Erhaltung von Kompetenzen, zu schaffen. Diese sollten interdisziplinär unter Beteiligung von Experten verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen (Geriatric, Medizin, Psychologie, Soziologie, ...) sowie von Forschern und Entwicklern aus den jeweiligen Technikbereichen erarbeitet werden,
- dass alle an einem zufriedenen und erfolgreichen Altern zukünftiger Seniorengenerationen interessierten Akteure (Senioren, Mediziner, Alternsforscher, Politiker, Technikentwickler und -hersteller, Dienstleister, ...) in diskursiven Prozessen begründete Szenarien zu langfristig sinnvollen Strategien für den Umgang mit individuellen und gesellschaftlichen Alterungsprozessen und der Rolle, die Technik dabei spielen sollte, erarbeiten und daraus Maßnahmen zu ihrer praktikablen Handhabung in der Alternsforschung, in Wirtschaft und Politik ableiten.

5 Erfahrungen aus der Projektbearbeitung

Die Operationalisierung des in wesentlichen Aspekten im Kapitel 2 beschriebenen Untersuchungskonzeptes und dessen Anwendung in den beiden Projekten führte zu einer Reihe von Umsetzungserfahrungen, die im Folgenden kurz dargestellt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass das ITA-Konzept der Autoren auf ganz unterschiedliche Technologiebereiche und Untersuchungsbeispiele anwendbar ist. Seine Anwendung führt zu differenzierten, wohl begründeten Aussagen auf unterschiedlichste Fragestellungen im Rahmen von ITA.

Unternehmen als eine wichtige Zielgruppe für Innovations- und Technikanalysen für derartige Untersuchungen zu interessieren, ist nicht einfach. Dies belegen bereits die Erfahrungen mit den klassischen TA-Studien der Vergangenheit. [6] Mit den beschriebenen Projekten wurde ein Weg beschritten, Unternehmen nicht nur für die analysierten Fragestellungen zu interessieren, sondern ihre Erfahrungen unmittelbar für die Projektbearbeitung zu nutzen. Dies gelang insbesondere durch

- die thematische Fokussierung der Projekte auf nachfragerrelevante Situationen, Bedingungen und Faktoren, was für Unternehmen naturgemäß von unmittelbarem Interesse ist,
- den gewählten konzeptionellen Zugang über konkrete Innovationslinien und Wertschöpfungsketten, durch den für die Unternehmen das forschungsseitige Interesse an ihren Leistungserstellungsprozessen klar erkennbar wurde,
- die Einbeziehung von Standortfaktoren und ausgewählten gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für mittelständische und große Unternehmen in den untersuchten Anwendungsbereichen,
- die Herausarbeitung wichtiger, über die Wertschöpfungsketten vermittelter, Beziehungen zwischen den Unternehmen sowie zwischen Wirtschaft und Wissenschaft und
- die Durchführung von Expertengesprächen mit nahezu sämtlichen Schlüsselakteuren der untersuchten Wertschöpfungsketten.

Die interviewten Experten aus den Unternehmen und der wirtschaftsnahen Forschung zeigten sich den bearbeiteten Themen gegenüber sehr aufgeschlossen und waren bereit, sich sowohl in sehr zeitintensiven Gesprächen kreativ in die Projektbearbeitung einzubringen, als auch im Nachhinein die jeweils erstellten Fallstudientexte zu lesen und kritisch zu prüfen. Von den Bearbeitern erfordert die Umsetzung des Konzeptes, sich für jede Fallstudie eine komplexe Wissensbasis zu Befunden verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen und deren mannigfaltigen Zusammenhängen zu erarbeiten. Diese Wissensbasis ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, die in den ITA-Projekten zu klärenden Fragen herauszuarbeiten und Expertenwissen erschließen zu können.

In frühen Phasen von Innovationsprozessen ist die Antizipation ein geeignetes Mittel, um vor dem Hinter-



grund von bereits gesichertem Wissen über Anwendungskontexte deren Entwicklung sowie die Folgen von Innovationsprozessen begründet abzuschätzen.

Die konzeptionelle Verortung des Untersuchungsgegenstandes Akzeptanz und Nachfrage als Standortvorteil im Gebiet ITA erforderte die Auswertung und Integration verschiedener wissenschaftlicher Ansätze. Dazu gehören insbesondere Konzepte aus der sozialwissenschaftlichen Forschung, z. B. der Innovationsforschung, der Technikgeneseforschung und der politikwissenschaftlichen Forschung sowie aus der Betriebswirtschaft, z. B. zum Marketing und Konsumentenverhalten.

Die konsequente Umsetzung des entwickelten Konzeptes war nur durch eine differenzierte Untersuchung mit tiefgehenden Fallstudien möglich. Dies erforderte die Aneignung zahlreicher wissenschaftlicher Erkenntnisse aus weiteren Wissenschaftsbereichen. Im Senioren-Projekt betraf dies z. B. die verschiedenen Ansätze und Ergebnisse der psychologischen und medizinischen Altersforschung zu typischen individuellen und gesellschaftlichen Altersprozessen für gegenwärtige und auch künftige Seniorengenerationen sowie aktuelle Ergebnisse der ingenieurwissenschaftlichen Forschung aus den Bereichen Mobilitäts-, Sicherheits- und Kommunikationstechnik sowie Robotik. Im Pflanzengentechnik-Projekt wurden insbesondere Ergebnisse aus der Ernährungsforschung, der Medizin, der Ökologie, Ökotoxikologie, Pflanzenzüchtung, Kunststoffforschung und Lebensmitteltechnologie recherchiert, bewertet und verknüpft.

Durch die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Formen der Nutzerintegration im Prozess der Leistungserstellung seniorengerechter Technik konnte dem ITA-Anspruch, den Partizipationsgedanken auch auf unmittelbar unternehmensrelevante Fragestellungen auszuweiten, Rechnung getragen werden. Dabei gelang eine differenzierende Sicht dergestalt, dass die Sinnfälligkeit einer Nutzerintegration bezüglich Umfang, Art und Weise sowie Zeitpunkt fallspezifisch zu bewerten ist und keinesfalls als Garant für die gewünschte Nachfrage angesehen werden darf.

Die Ergebnisse beider Projekte bestätigen nicht nur die Notwendigkeit hochgradig differenzierter, ggf. auch fallbezogener Innovations- und Technikanalysen mit erheblicher Untersuchungstiefe. So kann das Risiko von Fehleinschätzungen, z. B. bezüglich der Nachfrage, verringert werden. Sie zeigen auch den Bedarf an geeigneten Methoden, um von solchen Ergebnissen zu verallgemeinerbaren Aussagen zu gelangen – ein Feld, in dem noch Forschungsarbeit zu leisten ist.

Anmerkungen

- 1 Beide Projektberichte stellt der Projektträger unter www.innovationsanalysen.de als Download zur Verfügung.
- 2 Im Gegensatz zum freien Leistungsaustauschmarkt handelt es sich beim Zuwendungsmarkt um Produkte, deren Finanzierung ganz oder teilweise durch Kranken- oder Pflegekassen erfolgt.

Quellen

- [1] vgl. BMBF (Hrsg.): Innovations- und Technikanalyse: Zukunftschancen erkennen und realisieren. Bonn 2001, S. 23
- [2] www.innovationsanalysen.de
- [3] vgl. Kowol, Uli: Innovationsnetzwerke. Technikentwicklung zwischen Nutzungsvisionen und Verwendungspraxis. Wiesbaden 1998, S. 361
- [4] vgl. Koppelman, Udo: Produktmarketing. Berlin/Heidelberg 2001, S. 136
- [5] vgl. Porter, Michael, E.: On Competition. Boston 1998, p. 211
- [6] Weber, Jürgen; Schäfer, Utz; Hoffmann, Dirk; Kehrmann, Titus: Technology Assessment. Wiesbaden 1999, S. 256

Autoren

Dr. oec. Martina Brandt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/WI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-512
E-Mail: mbrandt@wi-bw.tfh-wildau.de

Dr. rer. nat. Ulla Große

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/WI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-512
E-Mail: ugrosse@wi-bw.tfh-wildau.de

Dr. phil. Frank Hartmann

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/WI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon: +49 3375 508-214
E-Mail: fhartman@wi-bw.tfh-wildau.de

Prof. Dr. phil. Rainer Voß

Technische Fachhochschule Wildau
Dekan des Fachbereichs BW/WI
Leiter der Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“ und Direktor des Instituts für Regionale Innovationsforschung Berlin/Wildau
Telefon: +49 3375 508-951
E-Mail: rvoss@igw.tfh-wildau.de



Aufbau des Forschungsverbundes Regionale Innovationssysteme (RIS) – Erfahrungsbericht der Forschungsgruppe Regionale Innovationscluster

Martina Brandt, Ulla Große, Frank Hartmann, Rainer Voß

Seit einigen Jahren werden weltweit die Forschungsaktivitäten zur Gestaltung des Zusammenhangs von Regionalentwicklung und Innovation intensiviert. Im Land Brandenburg arbeiten zwar ebenfalls ausgewählte Experten an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu Fragestellungen, die auf den Zusammenhang von Wettbewerbsfähigkeit und Innovativität von Regionen und Unternehmen gerichtet sind, aber es gibt diesbezüglich kein größeres institutionalisiertes Forschungspotenzial. Dies war vor knapp zwei Jahren Anlass für Prof. Voß, Dekan des Fachbereichs Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik unserer Hochschule, einen Forschungsverbund „Regionale Innovationssysteme (RIS)“ zu initiieren, mit dem interdisziplinäre Verbundprojekte angeregt und die Kooperationen zwischen Hochschulforschung und außeruniversitärer Forschung auf diesem Gebiet vertieft werden sollen.

In der Ausgabe 2001 der Wissenschaftlichen Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau haben wir ausführlich über die Ziele und Arbeitsschwerpunkte dieses Verbundes, der von der Forschungsgruppe Regionale Innovationscluster an der TFH koordiniert wird, berichtet. [1] Nunmehr ist es an der Zeit, eine erste Bilanz zu ziehen, inwieweit die im Verbund gestellten Ziele und Aufgaben bislang erreicht wurden und den Blick auf künftige Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte zu richten.

1 Gewinnen von Verbundpartnern

Im Ergebnis einer Reihe von Sondierungsgesprächen mit potenziellen Verbundpartnern im Land Brandenburg konnten bis zum Frühjahr 2001 bereits Vertreter folgender Einrichtungen für eine Mitarbeit gewonnen werden:

- VDI/VDE Technologiezentrum IT GmbH Teltow, Bereich Gesellschaft
- Universität Potsdam, Institut für Psychologie
- Fachhochschule Brandenburg, Fachbereich Wirtschaft
- EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovationsmanagement mbH
- Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung Erkner
- Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich Betriebswirtschaft
- Institut für Regionale Innovationsforschung Berlin/Wildau
- Technische Fachhochschule Wildau, Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik

Der Kreis interessierter Verbundpartner vergrößerte sich in den folgenden Monaten um zwei weitere Einrichtungen aus Berlin: die Prognos AG Europäisches Zentrum für Wirtschaftsforschung und Strategieberatung und das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung, Abt. Innovation Industrie, Dienstleistung.

Das Interesse dieser Einrichtungen an einer Mitarbeit im Verbund macht deutlich, dass eine themen- bzw. projektbezogene Zusammenführung der Forschungen zu regionalen Innovationssystemen in unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen als notwendig erachtet wird und durchaus mit der Bereitschaft zu interdisziplinärer Arbeitsweise einhergeht – eine Verhaltensweise, die besonders Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlern häufig abgesprochen wird.

2 Auftaktworkshop

Im Juni 2001 wurde unter Leitung von Prof. Voß als Auftaktworkshop eine zweitägige wissenschaftliche Veranstaltung zum Thema „Regionale Innovationssysteme und Wettbewerbsfähigkeit des Landes Brandenburg“ an unserer Hochschule durchgeführt. Diese konnte auch dank zahlreicher interessanter Fachbeiträge der Verbundpartner bundesweite Ausstrahlung erreichen. An beiden Tagen nahmen mehr als 30 Vertreter aus Hochschulen, außerakademischen Forschungseinrichtungen, Innovationsagenturen, Wirtschaftsförderungsgesellschaften, Landesministerien, Kommunalverwaltungen, Kammern und Verbänden der Region Berlin-Brandenburg und aus anderen Bundesländern teil. Im Mittelpunkt der Vorträge und Diskussionen standen Problemsichten und Erfahrungen aus den Perspektiven der Wissenschaft und Wirtschaft sowie Politik und Verwaltung, die bei der praktischen Gestaltung regional orientierter Innovationsprozesse gewonnen wurden. Eine ausführliche Publikation aller Workshop-Beiträge ist inzwischen in der Schriftenreihe „Innovationsmanagement“ der Technischen Fachhochschule Wildau erschienen. [2]

Die Verbundpartner fanden sich im Rahmen des Auftaktworkshops zu einer ersten konstituierenden Beratung zusammen. Diese diente einem Interessenabgleich und der Abstimmung des von der Forschungsgruppe Regionale Innovationscluster vorgeschlagenen Forschungsprofils des Verbundes. Damit begann der Forschungsverbund als Netzwerk offiziell seine Arbeit. Als Sprecher des Verbundes wurde Herr Prof. Dr. Voß gewählt.



Es ist besonders zu betonen, dass die wissenschaftliche Konzipierung und Koordinierung des Verbundes, seine aufwendige Initiierung, die Kontaktpflege sowie die Konzipierung und Umsetzung des Projektmanagements ohne die Bereitstellung von Mitteln durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg undenkbar wäre.

3 Regelmäßige Beratungstätigkeit

Um eine kontinuierliche Arbeitsweise des Verbundes zu gewährleisten, werden durch die Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“ auf der Grundlage eines Jahresarbeitsplanes jährlich vier Arbeitsberatungen des Verbundes inhaltlich organisiert und vorbereitet sowie Folgeaktivitäten koordiniert. Als Tagungsorte fungieren abwechselnd die Einrichtungen der einzelnen Verbundmitglieder. Eine langfristige Terminplanung (alle Termine werden am Jahresende für das Folgejahr abgestimmt) sichert die Präsenz der vielbeschäftigten Verbundpartner.

Die ersten Beratungen waren naturgemäß wesentlich durch Fragen der organisatorischen Gestaltung der Verbundaktivitäten geprägt. Dazu gehörte z. B. die Diskussion des Konzeptes für den Internetauftritt des Verbundes (mittlerweile realisiert unter www.fvris.de) oder die Etablierung einer Schriftenreihe des Forschungsverbundes, in der die Mitglieder Projektberichte, Monographien, Tagungsberichte oder herausragende Diplomarbeiten publizieren können sowie Informationen über aktuelle Projekte und Veranstaltungen. Beispielhaft sei hier die zweitägige Exkursion nach Dortmund auf Einladung der dort ansässigen sfs Sozialforschungsstelle Landesinstitut genannt, um die regionale Initiative „Dortmund Projekt“ kennen zu lernen. Die informativen Gespräche mit der Projektleitung, im Technologie- sowie Bio-/Medizinzentrum, im IT Center of Excellence und im Electronic Commerce Center sowie im Institut für Landes- und Stadtentwicklung NRW wurden von den Teilnehmern hoch geschätzt. Zwischen dem Dortmunder Landesinstitut und der TFH Wildau besteht seit dem vergangenen Jahr auch eine Kooperationsvereinbarung.

Auch die Präsentation des Verbundes auf Fachforen, Tagungen und Workshops ist regelmäßiger Gegenstand der Beratungen des Verbundes. Zum Beispiel halten Verbundmitglieder Fachvorträge auf den an der Fachhochschule Eberswalde organisierten Netzwerkwochen und gestalten eigene Veranstaltungen.

Zunehmend kristallisierte sich das Bedürfnis der Verbundpartner heraus, jeweils auch einen Teil der Beratungszeit für fachliche Diskussionen zu verwenden. Hierzu wurden erste Themen vorgeschlagen, die beginnend ab 2003 diesen Teil der Arbeitsberatungen bestimmen werden.

4 Kaminesgespräche

Von den Verbundmitgliedern wird der Erfahrungsaustausch mit denjenigen Akteuren in Politik und Wirtschaft

für wichtig erachtet, die in ihrer täglichen Arbeit nach praktikablen Wegen für eine zukunftsfähige Regionalentwicklung streben. Es werden deshalb ein- bis zweimal jährlich Kaminesgespräche mit entsprechenden Persönlichkeiten durchgeführt. Die organisatorische und inhaltliche Vorbereitung dieser Gespräche liegt wiederum in den Händen der Forschungsgruppe. Während den Gästen die Gelegenheit geboten wird, neue Lösungsansätze aus nationalen und internationalen Forschungserfahrungen bezüglich innovativer Regionalentwicklung kennen zu lernen, erfahren die Mitglieder des Verbundes Praxisprobleme und Lösungsbedingungen aus erster Hand. Eine derartige gegenseitige Verständigung in angenehmer Atmosphäre, fernab vom Tagesgeschäft und bei einem Glas Wein, wird für beide Seite als Gewinn bringend erachtet.

Das erste Kaminesgespräch fand am 25. Oktober 2002 im Schlosshotel Teupitz zum Thema „Innovative Unternehmen als Motor regionaler Wirtschafts- und Beschäftigungsentwicklung“ statt. Der Kreis der geladenen Gäste rekrutierte sich aus Vorschlägen der Verbundmitglieder auf der Basis persönlicher Kontakte und umfasste vor allem Persönlichkeiten der Landespolitik (Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Landratsämter Teltow-Fläming, Elbe-Elster sowie Dahme-Spreewald), aus Fördereinrichtungen bzw. Stiftungen und der Unternehmensberatung.

Nach einem schmackhaften Menü vor dem lodernden Kaminfeuer gab Herr Dr. Hornschild vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung Berlin im Auftrag des Verbundes den Auftakt für die Diskussion, indem er zunächst ausgewählte Kernthesen zur (alternativlosen) Rolle von Innovationen für die künftige Wirtschafts- und Beschäftigungsentwicklung in den neuen Bundesländern vorstellte. Angesichts der Tatsache, dass nahezu alle Regionen bei unterschiedlichen potenziellseitigen Voraussetzungen im Wesentlichen auf die gleichen Technologien und Instrumente setzen, stellt sich vor allem die Frage nach dem „Wie“ einer intelligenten regionalen Innovationspolitik. Bisherige Erfahrungen belegen hierbei, dass die Entwicklung innovativer wirtschaftlicher Potenziale nicht gleich verteilt im Raum erfolgen kann und langfristig angelegt sein muss.

In der anschließenden regen, durch Herrn Astor von der prognos AG Berlin moderierten Diskussion wurden hierzu unterschiedliche, – dem Anliegen des Gesprächs durchaus angemessen – unbequeme und „unorthodoxe“ Lösungsvorschläge unterbreitet und zum Teil kontrovers bewertet. Dieses Vorgehen stieß bei allen Gesprächspartnern auf Zustimmung und wurde als anregend empfunden. Für künftige Gespräche werden konkrete Probleme einzelner Regionen aufgegriffen und der Teilnehmerkreis gezielt erweitert.

Das nächste Kaminesgespräch wurde im Rahmen der RIS-Tagung „Modernisierung ländlicher Regionen – Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation, Weiterbildung, Netzwerke“ im Mai 2003 im Schloss Hubertusstock durchgeführt.



5 Gemeinsame Forschungsprojekte

Eine wesentliche Zielsetzung der Gründung des Verbundes war das Herausarbeiten attraktiver, praxisorientierter Forschungsthemen und die Entwicklung und Bearbeitung gemeinsamer Forschungsprojekte. Dies ist sowohl auf bilateraler Ebene als auch durch komplexe Verbundprojekte denkbar und bislang mit unterschiedlichem Entwicklungsstand realisiert.

So konnten auf bilateraler Ebene bereits einige gemeinsame Projekte von Verbundpartnern angeschoben werden. Die Technische Fachhochschule Wildau, die Fachhochschule Eberswalde und das Institut für Regionale Innovationsforschung arbeiten z. B. gemeinsam im EQUAL-Projekt Future 2005 zur Thematik Change Management. Des Weiteren befindet sich ein gemeinsames Projekt der Fachhochschule Brandenburg und der Technischen Fachhochschule Wildau zur Entwicklung der Stadt Wittenberge (Innovationspotenzialanalyse, Konzepte zur Integration der Stadt in überregionale Knowledge flows) in der Bewilligungsphase und wird voraussichtlich im Jahre 2003 begonnen werden.

Für ein komplexes Verbundprojekt wurden bereits einige Projektideen diskutiert. Die Verbundpartner vereinbarten im Arbeitsplan für 2003, deren Finanzierungsmöglichkeit durch die EU oder als sogenanntes Paketprojekt im Normalverfahren durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft zu prüfen. Hierzu erarbeiten die Verbundpartner entsprechende Projektantragskizzen.

6 Resümee

Die aufgeführten Aktivitäten haben gezeigt, dass es gelungen ist, den Forschungsverbund so zu etablieren, dass erste Gründungsziele erreicht werden konnten. Nun kommt es darauf an, bestimmte Arbeitsweisen in Forschung und Kommunikation bei erhöhtem Engagement aller Mitglieder zu verstetigen und auch neue Formen regionaler und überregionaler Wirksamkeit des Forschungsverbundes zu entwickeln.

Literatur

- [1] Martina Brandt, Ulla Große, Frank Hartmann, Rainer Voß: Erforschung regionaler Innovationscluster und Aufbau des Forschungsverbundes Regionale Innovationssysteme (RIS). Wissenschaftliche Beiträge 2001. Technische Fachhochschule Wildau, S. 42-50
- [2] Rainer Voß (Hrsg.): Regionale Innovationssysteme. Wildauer Schriftenreihe: Innovationsmanagement; Bd. 2, 192 S. Berlin: Verl. News & Media 2002

Autoren

Dr. oec. Martina Brandt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/VI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-512
E-Mail: mbrandt@wi-bw.tfh-wildau.de

Dr. rer. nat. Ulla Große

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/VI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-512
E-Mail: ugrosse@wi-bw.tfh-wildau.de

Dr. phil. Frank Hartmann

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich BW/VI
Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-214
E-Mail: fhartman@wi-bw.tfh-wildau.de

Prof. Dr. phil. Rainer Voß

Technische Fachhochschule Wildau
Dekan des Fachbereichs BW/VI
Leiter der Forschungsgruppe „Regionale Innovationscluster“
Telefon +49 3375 508-951
E-Mail: rvoss@igw.tfh-wildau.de



Flächendeckende Entsorgung bis 2005. Liegt Brandenburg in der Zeit?

Lothar Ebner, Michael König, Andrea Wardacki, Sandra Giern

1 Einführung

Zu Beginn der Betrachtungen ist eine Auseinandersetzung mit dem Begriff „Abwasser“ sehr nützlich. Ist dieser Begriff überhaupt „richtig“? Die Antwort, die wir uns gaben, lautete: Ja und nein!

1. Ja – denn es ist ein Abfall, dessen wir uns entledigen wollen. Ob wir es objektiv müssen, sollten wir noch einmal überdenken.
2. Nein – da es ein Teil der uns umgebenden Natur ist, den wir uns zum Gebrauch entleihen, den wir aber aufbereitet der Natur wieder zuführen müssen, um im regionalen Kreislauf nicht ein Defizit zu erzeugen. Über Nachhaltigkeit reden wir alle, aber handeln wir auch danach?

Der Begriff „Abwasserentsorgung“ entbindet uns nicht von der Verpflichtung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, erst zu entsorgen, wenn wir keine umweltpolitische und wirtschaftliche Möglichkeit zur Verwertung mehr sehen. Schließen wir nicht mit vielen Formulierungen in Gesetzen und Verordnungen über die „Abwasserentsorgung“ diese Pflicht, nach Verwertungsmöglichkeiten zu suchen, von vornherein aus?

2 Überblick

Wir wollen in diesem Beitrag zu folgenden Problemen Stellung nehmen:

- gesetzlicher Hintergrund
- Anschlussgrad und Probleme bei der Erschließung
- Abwasserentsorgung und Abwasseranlagen in Brandenburg
- dezentrale Lösungen
- Miniclar – eine moderne Kleinkläranlage
- Zusammenfassung
- Ausblick

3 Gesetzlicher Hintergrund

Ausgehend von der Europäischen Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von Kommunalem Abwasser [1] erfolgte zum geforderten Termin 30.06.1993 in der Bundesrepublik Deutschland keine formelle Umsetzung in nationales Recht, sondern es wurden Abwassergrenzwerte in die Einleiterbescheide übernommen und die erforderlichen Messprogramme durchgeführt.

Die durch die obige EG-Richtlinie geforderte Ausweisung empfindlicher Gebiete zum 31.12.1993 erforderte etli-

che Mühen und wurde sogar von Brüssel angemahnt. Im weiteren Zeitplan standen bis 31.12.1998 die kanaltechnische Erschließung aller Verdichtungsgebiete mit mehr als 10.000 EWG und Abwassereinleitung in empfindliche Gebiete sowie die weitergehende Abwasserbehandlung für kommunale Abwässer. Bis zum 31.12.2000 waren die kanaltechnische Erschließung aller Verdichtungsgebiete mit mehr als 15.000 EWG und sowohl die mechanische und als auch eine biologische Reinigung von Abwässern gefordert. Dieser Entwicklungsprozess soll bis zum 31.12.2005 für alle Gemeinden mit mehr als 2.000 EWG abgeschlossen werden.

4 Entwicklung der Abwasserentsorgung in Brandenburg

Um den Forderungen der Europäischen Richtlinie Rechnung zu tragen, wurden von der Landesregierung Brandenburg in der Kommunalabwasserverordnung vom 18.02.1998 [2] weitgehende Festlegungen getroffen:

- bis 31.12.1998 Errichtung von Kläranlagen mit weitergehender Abwasserbehandlung und ggf. Kanalisation in gemeindlichen Gebieten mit mehr als 10.000 EWG
- bis 31.12.2000 Errichtung von Kläranlagen für Abwassereinleitungen aus bestimmten Industriebranchen mit mehr als 4.000 EWG
- bis 31.12.2005 Kläranlagen mit biologischer Reinigung und ggf. Kanalisation in gemeindlichen Gebieten mit mehr als 2.000 EWG geeignete Abwasserbehandlung für kommunales Abwasser aus gemeindlichen Gebieten mit weniger als 2.000 EWG

Damit wurde ein ehrgeiziges Ziel gesetzt. Es ist nun an uns zu sehen, wie die Umsetzung erfolgt ist. Bis 2001 wurden mehr als 75 % aller Gemeinden an kommunale Abwassernetze angeschlossen, wie wir der nachfolgenden Darstellung entnehmen können.

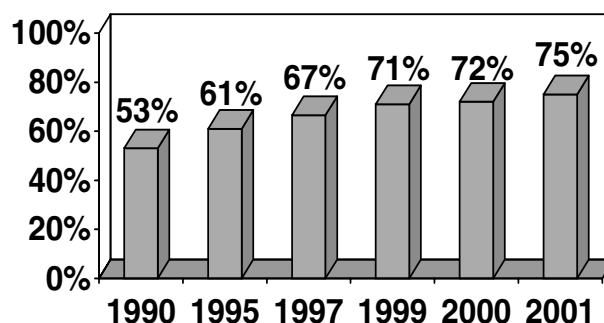


Abb. 1: Entwicklung des Anschlussgrades in Brandenburg nach [3]

Natürlich gibt es bei der Erschließung vieler Gemeinden in diesem Prozess erhebliche Probleme, von denen wir hier einige nennen möchten:

- ca. 30 % (800.000) der Brandenburger leben in Orten mit weniger als 2.000 EW,
- die oft ungenügenden Abwasseranlagen haben teilweise erheblichen Sanierungsbedarf,
- der Bau größerer Abwassernetze ist finanziell und technisch aufwendig,
- es müssen dezentrale Lösungen entwickelt und eingesetzt werden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Arten der Abwassernutzung in Brandenburg zur Zeit bestehen. Der nachfolgenden Grafik kann entnommen werden, dass zwei Drittel der Haushalte in Brandenburg an mechanisch-biologischen Anlagen mit Nährstoffreduzierung angeschlossen sind. Ca. 29 % der Einwohner lassen ihr Abwasser zum jetzigen Zeitraum immer noch abfahren.

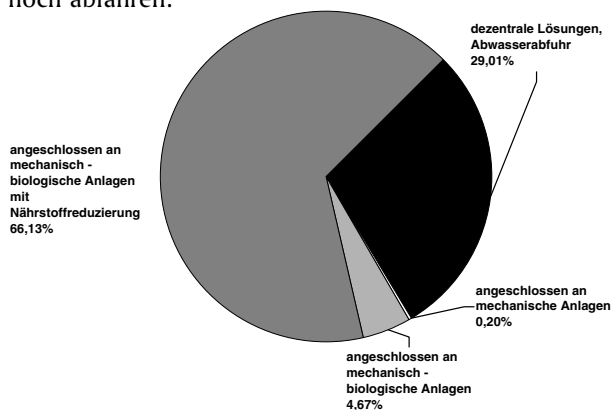


Abb. 2: In Brandenburg genutzte Arten der Abwasserentsorgung nach [3]

Durch den Neu- bzw. Umbau von Abwasseranlagen wurden allein in den Jahren 2000 und 2001 insgesamt 530 Anlagen mit Investitionssummen von über 508 Mio. DM, das sind 260 Mio. EUR, eingesetzt.

	2000		2001	
	genehmigte Anträge	Investitions-umfang	genehmigte Anträge	Investitions-umfang
Kläranlagen, Sanierung und Umbau	10	22,80 Mio. DM	7	24,9 Mio. DM
Kläranlagen, Neubau	7	6,7 Mio. DM	3	4,8 Mio. DM
Abwasserableitungsanlagen	272	188,5 Mio. DM	231	260,3 Mio. DM
gesamt	289	218 Mio. DM	241	290 Mio. DM

Neu- und Umbau von Abwasseranlagen – Förderung durch das MLUR nach [3]

Aus den oben genannten Tatsachen heraus (geringe Bevölkerungsdichte, Zustand der bestehenden Abwasseranlagen, geringe finanzielle Mittel) ergeben sich Vorteile beim Einsatz dezentraler Lösungen für die Abwasserentsorgung:

- es entfallen die Kosten für lange Rohrnetze,
- die Kapazität der Anlage kann besser genutzt werden, da sie der Zahl der angeschlossenen Personen angepasst wird,

- keine Mischung mit industriellen Abwässern.

Eine zeitgemäße und finanzgünstige Lösungsvariante von dezentralen Abwasseranlagen besteht in der Nutzung von Kleinkläranlagen. 1995 wurde vom Brandenburger MLUR das Förderprogramm „Grundstückskleinkläranlagen“ eingerichtet. Seitdem wurde der Bau von KKA für mehr als 20.000 Einwohner gefördert. 2000 wurden 4,5 Mio. DM für 769 Anträge bewilligt und ca. 3.000 Einwohner angeschlossen, 2001 wurden 4,9 Mio. DM für 844 Anträge bewilligt und ca. 3.500 Einwohner angeschlossen. Hier wurden also in den letzten beiden Jahren über 4,8 Mio. bewilligt und damit über 6.500 Einwohner Brandenburgs an eine kostengünstige Variante einer Abwasseranlage angeschlossen.

5 Kleinkläranlage MINICLAR

Ein Beispiel für diese Variante einer Kleinkläranlage ist die Kleinkläranlage MINICLAR [4], die als Beispiel für andere ähnliche Anlagen dient und hier kurz mit ihren Parametern vorgestellt werden soll:

- Bioreaktor mit aerober Nitrifikations- und anaerober Denitrifikationsphase,
- besonders hoher Wirkungsgrad (> 95 %),
- kann in unmittelbarer Nähe zum Gebäude platzsparend eingebaut werden,
- energiesparend durch Verwendung eines Generators und einer Mammutpumpe,
- liefert Brauchwasser und spart somit Trinkwasser.

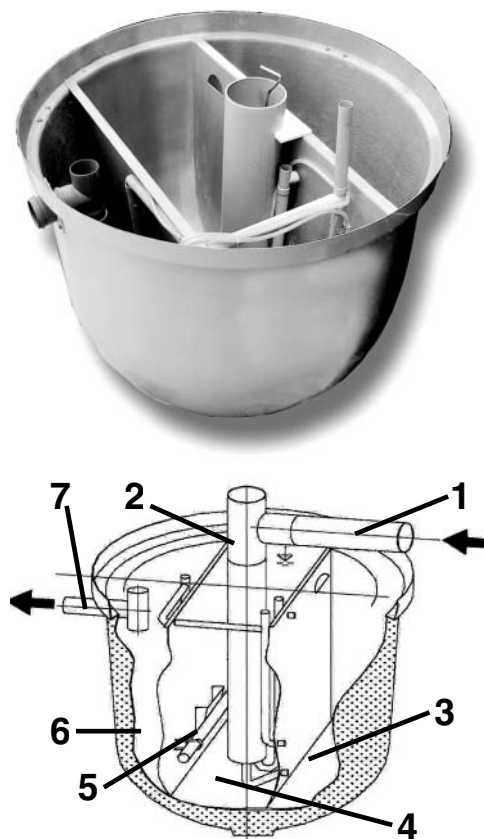


Abb. 3: Kleinkläranlage MINICLAR – Aufbau. (1) Zulauf, (2) Abwassereinlauf mit Rechenkorb, (3) 1. Kammer – Denitrifikation, (4) 2. Kammer – Nitrifikation, (5) Belüftungsanlage, (6) 3. Kammer – Absetzbecken, (7) Ablauf



Funktionsweise der Kleinkläranlage MINICLAR:

- Die Mikroorganismen bilden im Wirbelbettreaktor Belebtschlammflocken aus.
- Sie reinigen das Wasser ohne Zusatz von Nährstoffen oder Chemikalien.
- In der 1. Kammer findet der anaerobe Abbau von Nitraten und Nitriten statt (Denitrifikation).
- In der 2. Kammer findet der aerobe Abbau von ammoniakalischen Verbindungen statt (Nitrifikation).
- In der 3. Kammer setzt sich der Belebtschlamm ab und wird in die 1. Kammer zurückgepumpt (Nachklärung).

6 Zusammenfassung

Für das Bundesland Brandenburg kann zum Ende des Jahres 2002 festgestellt werden, dass in den dichter besiedelten Gebieten und kreisfreien Städten ein guter Anschlussgrad bei der Abwasserversorgung erzielt wurde. Die Reinigungsleistung der vorhandenen Abwasseranlagen hat sich deutlich verbessert. Es ist wünschenswert, dass aus Kostengründen und auch aus umweltpolitischer Sicht in Streusiedlungen und ländlichen Gebieten ein hoher Anschlussgrad an zentrale Anlagen nicht realisiert wird. Deshalb muss die Verwendung dezentraler Lösungen bei der Abwasserentsorgung weiterhin gefördert werden.

7 Ausblick

Zum Schluss wollen wir noch kurz auf die vor uns liegenden Aufgaben verweisen. Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG muss demnächst erfolgen. Die Umsetzung dieser sogenannten Abwasserrichtlinie ist notwendig, um den „guten Zustand“ der brandenburgischen Gewässer teilweise wieder zu erreichen und für die Zukunft zu erhalten. Die Einhaltung der von der EG geforderten Fristen bis 2005 in Brandenburg wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau als wichtigster Finanzgeber als schwierig angesehen [5]. Insbesondere im ländlichen Raum sind verstärkt dezentrale Lösungen als alternative Lösungen in der Abwasserentsorgung einzusetzen.

8 Literatur

- [1] EG-Richtlinie 91/271/EWG vom 25.9.1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Kommunalabwasser-Richtlinie), geändert durch die Richtlinie 98/15/EG der Kommission vom 27. Februar 1998
- [2] Brandenburgische Kommunalabwasserverordnung (BbgKAbwV) vom 18. Februar 1998 (GVBl II 1998 S. 182)
- [3] Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Referat P/ÖA, Dr. Jens-Uwe Schade, 2000-2002
- [4] PROTEKUM Umweltinstitut GmbH, Lehnitzstr. 73, 16515 Oranienburg
- [5] Wolff, G.; Abwasserentsorgung in Deutschland in KfW Beiträge zur Mittelstands- und Strukturpolitik, Brönners Druckerei, Frankfurt a. M., 2000

Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Lothar Ebner

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Telefon +49 3375 508-226

E-Mail: protekum@t-online.de

Dr. rer. nat. Michael König

PROTEKUM Umweltinstitut GmbH

Lehnitzstraße 73, 16515 Oranienburg

Telefon +49 3301 698100

E-Mail: protekum@t-online.de

cand. ing. Andrea Wardacki

Fachhochschule Nordhausen

Fachbereich Flächen- und Stoffrecycling

99734 Nordhausen

Dipl.-Ing. Sandra Giern

PROTEKUM Umweltinstitut GmbH

Lehnitzstraße 73, 16515 Oranienburg

Telefon +49 3301 698100

E-Mail: protekum@t-online.de



Research cooperation with Bulgaria:

Polyester Polyols from Waste PET Bottles for Polyurethane Rigid Foams

Roseta Evtimova, Yordanka Lozeva, Karl-Heinz Schmidt, Michael Wotzka, Peter Wagner, Gerhard Behrendt

1 Introduction

The increasing number of bottles made of polyethylene terephthalate (PET) or polyester copolymers with various glycols (e. g. PET-N) or carboxylic acids (e. g. PET-G) of various colours and forms make new paths of recycling after their use essential to the benefit of the environment. The sorting of bottles into fractions according to colour and their re-use is a common practice today. This process leads to non-coloured flakes but also to a mixed coloured fraction which is presently not used and usage is not foreseen. This paper describes a process to produce polyols for polyurethanes from the mixed coloured fraction after sorting out the transparent, non-coloured bottles. Into this process a second waste material is introduced originating from the production of the PET for bottles or fibres, being an oligoester condensate (OEK). The present state-of-the-art is to extract the non-coloured part of the PET-bottles from a mixture by various sorting techniques forming two fractions of which the translucent, non-coloured fraction is re-used mainly to produce bottles again ("bottle-to-bottle process"). The coloured fraction constitutes at present about some 50.000 t/a in Germany and it is not further processed to new materials but mainly shipped for carpet production. Further, during the PET condensation process a condensate is formed consisting of oligomeric terephthalates, mainly bis-(2-hydroxyethyl)terephthalate (HET), and some glycols (OEK), at present sent to an incinerator. OEK from the polycondensation process to form PET contains further varying amounts of glycols, mainly ethylene glycol, and some higher oligocondensates. The ethylene glycol content may range between 3 parts by weight and 35 parts by weight [1]. The re-esterification of PET with glycols of different origin is well known [2-4] as is the esterification of dimethyl terephthalat (DMT) with an excess of glycols to produce polymeric diols having hydroxyl numbers (OHZ) in the range of 420 to 90 mg KOH/g. Several attempts have been made to increase the reaction rate of the re-esterification process by catalysts of various origin generally employing organometallic catalysts of group B metals or germanium or antimony [5-8] or by applying higher pressure [9]. Another approach to use the PET wastes is to produce unsaturated polyester resins from them by re-esterification and condensation with maleic acid [10].

This paper describes a modified process to produce polyester polyols from PET wastes derived from the "bottle fraction residue" of the German Dual System

(DSD) [11] employing a waste oligoester condensate of the polyesterification process with the addition of some glycols of longer chain and occasional modification with further dicarboxylic acids to produce polyester polyols of a broad range of properties which are further reacted to form polyurethane or polyisocyanurate rigid foams for insulation, construction materials, or coatings.

2 Materials and methods

PET wastes were obtained from the DKR GmbH, Köln, Germany, a subsidiary of the DSD AG, Germany. The material was obtained as flakes of a diameter between 5 mm and 25 mm depending on the batch received. The quality of the flakes depended on the origin and the separation process having a PET content between 87 and 98 % by weight. The contamination generally consisted of other plastics including ABS and PVC or rubber and additionally metals, esp. iron, steel, or aluminium parts, and some inorganic material like sand. The average composition of the flakes in the period of 1999 to 2001 is given in table 1.

Material of density range	amount (% by weight)		Anticipated material
	1999-2000	2001	
Coarse material (screened)	7,3 6,2 11,2	0,2	metals, paper
density < 1,0 g/cm ³	6,2	0,3	PE, PP
density 1,0 - 1,2 g/cm ³	11,2	2,0	PS, ABS
density 1,2 - 1,35 g/cm ³	71,9	94,7	PET
density > 1,35 g/cm ³	0,9	2,6	PVC, filled ABS
Contamination	2,5	0,2	sand

Tab. 1: Composition of PET-flake batches according to density

The oligocondensates were obtained in form of solids or slurries from Trevira AG, Guben, Germany. The composition of the OEK varies in a rather broad range with respect to the following constituents (determined by GPC and GC-MS):

- 40 – 60 % by weight terephthalic acid of which about 1 % by weight is free,
- 5 – 20 % by weight bonded ethylene glycol,
- 1 – 33 % by weight free ethylene glycol,
- 1 – 5 % by weight bonded diethylene glycol,
- 1 – 5 % by weight free diethylene glycol,
- 0,2 – 2 % by weight long chain glycols,
- 0,3 – 1 % by weight organometallic compounds.

The oligocondensates were either used as received or stripped at 130°C and 2 mbar prior to use from most of the ethylene glycol and homogenized this way. By this pretreatment the content of ethylene glycol was



adjusted to 0,5 % by weight. The organometallic compounds were not influenced by the treatment. Diethylene glycol (DEG) was obtained from Biesterfeld GmbH in 200 kg drums, adipic acid was a gift of the BASF AG. Poly(ethylene glycol) of molecular weight 200 or 400 (PEG 200, PEG 400) were samples provided by the Bayer AG which is gratefully acknowledged.

The reactions were run in two different batch sizes:

2.1 Reaction in lab scale

A four necked six liter flask was equipped with condenser, momentum controlled stirrer, temperature control by resistance thermometer coupled with the heating bath, and nitrogen inlet. First, the calculated amount of pretreated oligocondensate and any other glycol were introduced into the flask and both heated to about 180°C. To this mixture the PET flakes were added while nitrogen was purged in and dissolved. After dissolution and rising the temperature to 200°C any additional carboxylic acid was added. The mixture was heated for the predetermined time at the temperature chosen while any volatiles (water, glycol, and side products) were distilled off and collected for GC-MS analysis. After the reaction was over (shown by no further volatiles appearing) the temperature was reduced to about 130°C and samples taken to determine the acid numbers, OHZ, and viscosities.

2.2 Reaction in technical scale

A 100 l stainless steel jacketed reactor with demister, condenser, stirrer, nitrogen inlet, and feed equipped with a bottom valve and temperature control via an oil heater with control unit was fed with the necessary amount of oligocondensate and glycols. With stirring the mixture was heated to 180°C and any volatiles (mainly residual water) removed via the condenser. At this temperature the PET flakes were added and dissolved while purging with nitrogen and rising the temperature to 200°C. Any further volatiles were removed by the condenser and outlet. After complete addition, any further additives were added. The temperature was adjusted to the reaction temperature and kept for the desired time while any volatiles are removed by the condenser and outlet. After completion of the reaction the temperature is gradually lowered to 150°C and the reaction product removed by the bottom valve via a metal filter into the storage containers.

2.3 Determination of parameters

The viscosity was determined at 25°C by means of a ball viscometer according to Höppler (MWM Radebeul), the acid number according to the DIN standard 53 402 by titration with 0,25 M potassium hydroxide solution in ethanol, the hydroxyl number according to the DIN standard 53 240 by heating with a mixture of acetic anhydride in pyridine for one hour and titrating excess acetic acid after hydrolysis by 0.5 M potassium hydroxide solution in ethanol.

2.4 Foaming

Two standard formulations were used:

The polyurethane rigid foam formulation used was

- 0,1 equivalent of polyol,
- 0.9 g of water,
- 0.1 g of silicone stabilizer Goldschmidt TEGOSTAB® B8433,
- 0.25 g tris-(dimethylaminopropyl)hexahydro-s-triazine (Polycat® NP40) as a catalyst

to form an A-component. This was thoroughly mixed. To this A-component

- 0.2 equivalents of crude methylene-bis-(4-phenylisocyanate) (Lupranat® M 20 A of BASF AG)

were added and the mixture stirred for 10 sec in a card board beaker of 500 ml volume. The foam rise was followed by the Foammat® 20 to determine characteristic times and rising properties.

For polyisocyanurate foams, a similar procedure was used. In this case only the amount of polyisocyanate used was increased to 0.6 equivalents of Lupranat® M20A giving an isocyanate index of 300.

2.6 Film formation

As an example of polyol usage, films as a model of coatings were prepared. Into a beaker 0.5 equivalents of the polyol were mixed with 2,5 g of a synthetic sodium silicate as a moisture capture and 0.5 equivalents of Lupranat® M20A. The ingredients were thoroughly mixed for 20 seconds using a high speed stirrer of 6000 min⁻¹ and degassed in vacuum for two minutes. The mixture was poured onto a silicone release paper, distributed by knife coating and hardened for 60 min at 80°C in the Labdryer. After hardening, the film was peeled off and left for one week at room temperature before mechanical testing. Stability tests were performed on 30 to 80 mm specimens in a Soxhlet extractor with 120 ml n-decane at boiling conditions. The n-decane was afterwards subjected either directly to GC-MS (Hewlett-Packard GC 5890, MS 5970) or after concentration to a volume of 20 ml under normal pressure using a 50 cm Vigreux column.

2.7 Determination of physical properties

Mechanical properties of films were tested by stress strain experiments using the Kogel film testing machine 20 N with a velocity of 2,5 N/min program. The stress strain curves were stored and the tensile strength and elongation at certain proportions and at break were determined. DMA was performed using a Netzsch 204 A dynamic mechanical analyzer from room temperature to 240°C. Relaxation spectra were obtained by a Myrenne torsion pendulum in a temperature range of 25 to 250°C with a heating rate of 1 K/min. Kinetic experiments were performed on a Rheostress 300 (Haake) using an



oscillation mode at fixed temperatures. Foams were tested for dimensional stability according to DIN standards using a temperature chamber with air ventilation at 80 or 100°C for 24 hours using specimens of 50 x 50 x 50 mm. Mechanical properties were determined using a Zwick Universalprüfmaschine for compressive strength. The temperature of deformation was tested on 20 x 20 x 150 mm bars in a sixfold Martens furnace with 20 g load on the outer end to give a contact after 6 mm deflection.

3 Results

3.1 Synthesis of polyester polyols from oligocondensate and PET waste

The OEK used for these experiments were wastes from fibre PET production accumulated in the heat exchanger and consisting mainly of bis-(2-hydroxy-ethyl)terephthalate, its dimer ethylene-bis-(2-hydroxyethyl terephthalic ester), 13 % by weight ethylene glycol, and 0,43 % by weight of a mixture of organometallic compounds of Ti and Ge. The OEK was mixed as described with different amounts of PET from the bottle fraction (coloured bottles) with 95 % by weight PET and minor impurities mainly of PVC (metals, sand, and rubber particles were extracted by three times washing). The reaction conditions of several runs as well as the properties of the resulting polyester diols are presented in table 2.

Material/Run	2-10	2-90	2-137	2-12	2-15	2-26
PET (% by weight)	53,8	43,3	52,6	60,6	49,0	52,0
OEK (% by weight)	3,2	15,5	15,8	39,4	51,0	48,0
DEG (% by weight)	43,0	0	15,8	0	0	0
DPG (% by weight)	0	41,2	15,8	0	0	0
Reaction conditions:						
Temperature (°C)	220	240	240	220	220	220
Time (hours)	6	6	12	2	3	3,5
Properties:						
OHZ (mg KOH/g)	279	419	265	228	189	253
Acid number (mg KOH/g)	2	1	2,5	3	4	3
Viscosity at 25 °C (mPas)	13,300	19,000	40,000	68,000	165,000	22,000
Water content (%)	0,06	0,12	0,1	0,2	0,2	0,2

Tab. 2: Aromatic polyester polyols based on PET and OEK

By using only these two waste components, previously incinerated in a specialized incineration plant, useful polyester diols for polyurethane production may be obtained. From the polyester diols, films having hardness Shore D beyond 60 were prepared which might be used as an in-liner in waste water channel repair. The elongation at break is within the typical range of 5 to 15 % depending on the molecular weight of the polyester diols. The longer chains exhibiting a somewhat softer appearance and being more flexible in spite of the multifunctional crosslinker Lupranat® M20A having an average functionality of about 4.0. Similarly, films were obtained with pure methylene bis(4-phenyl isocyanate) (MDI) despite the high reactivity of the polyols and consequently extremely short reaction times. The films were surprisingly not more flexible so that some crystallization is assumed to be the reason (table 3). The relative hardness of these films leads to rather good values of abrasion resistance and allows them to fit into the property spectrum of in-liners.

Parameter/No.	12-3	12-6	15-5	15-9
Composition:				
Polyol (% by weight)	2-12 66,5	2-12 65,0	2-15 70,0	2-15 73,0
MDI (% by weight)	33,5	35,0	30,0	27,0
Properties:				
Tensile strength (kN/mm²)	370	356	423	465
Elongation at break (%)	6,7	7,1	8,9	11,0
Glass transition (DSC, °C)	103	99	116	106

Tab. 3: Properties of films obtained from aromatic polyester polyols

Foams were produced only from the polyester polyols of lower viscosity so that only two polyols with high hydroxyl number are left. The high reactivity made a reduction of the amount of catalyst to 0.175 g in the formulation necessary also in this case. The properties of the foams are shown in table 8. It can be seen that rigid polyurethane foams from these polyester polyols exhibit a very good dimensional stability when using this special formulation, i. e. water to produce carbon dioxide as a foaming agent and tris-(dimethylaminopropyl)-hexahydro-s-triazine as a catalyst which is ordinarily used for trimerization of isocyanate groups but shows a very good effect when used in this combination of water as a blowing agent and polyester polyols as the main constituent of the A component [12].

3.2 Polyester polyols from PET, oligoester and glycols

To reduce the viscosity by simultaneously keeping the good properties in balance several attempts were made with glycols to substitute part of the oligoester. Examples of this series of polyols obtained by such a process are shown in table 4. It is obvious from these

Material/Run	4-90	4-106	4-127	4-137	4-145	4-152
PET (% by weight)	40,9	57,7	58,5	51,9	47,2	48,7
OEK (% by weight)	14,5	2,9	17,6	15,6	2,8	15,2
Glycols: (% by weight)						
DEG		33,6	17,5	14,5	46,2	32,5
TEG						3,6
PEG 200	5,8	5,8			3,8	
DPG	38,8		6,4	14,5		
PPG 400				3,5		
Properties:						
OHZ (mg KOH/g)	410	314	326	254	170	203
Acid number (mg KOH/g)	1	1	4	3	1	1,5
Viscosity (25 °C) (mPas)	56,000	32,100		42,000	71,300	30,600
Reaction conditions:						
Temperature (°C)	240	240	240	240	240	240
Time (hours)	6	6	12	12	10	8

Tab. 4: Aromatic polyester polyols with various glycols

data that by reducing the amount of oligoester with respect to the overall formulation polyester polyols with much lower viscosities even in the low hydroxyl number range are obtained. By comparing the mechanical properties of the PUR rigid foams of the main types of polyols it is shown that the most advantageous glycol of this series is diethylene glycol which results in properties close to those produced by means of the polyols under 3.1 when their hydroxyl number exceeds 200 mg KOH/g. It turns out that diethylene glycol is most suitable in combination with the other two raw materials leading to polyester polyols of viscosities between 11.000 and 37.000 mPas (20°C). The viscosity depends to a high degree on the amount of volatiles distilled off. In some cases, some of the lower glycols have been collectively derived from the reaction mixture resulting in increased viscosity but lower hydroxyl numbers (2-137 compared to 2-10). The acid number of the polyester polyols increased with increasing reaction time at constant temperature hinting to some side reactions occurring on prolonged heating. The addition of tetraethylene glycol



Materials/Run	6-06	6-11	6-14	6-17	6-21
PET (% by weight)	38.3	40.8	43.1	45.2	50.0
OEK (% by weight)	41.4	40.7	37.9	35.5	33.3
DEG (% by weight)	20.3	18.5	19.0	19.3	16.7
Properties:					
OHZ (mg KOH/g)	326	297	303	289	271
Acid number (mg KOH/g)	1.5	1.7	1.5	2	2
Viscosity (25 °C) (mPas)	11,600	14,700	15,900	19,400	36,500

Tab. 5: Polyester polyols from PET, OEK, and diethylene glycol with low hydroxyl numbers

to the reaction mixtures does not favour any of the properties when used in combination with other glycols (diethylene or dipropylene glycol) as shown with the extremely high viscosities (4-152 and P 4-24).

In case of the lower hydroxyl numbers the mechanical properties and especially the dimensional stability are reduced since the crosslinking by the polyisocyanate does not equalize the low overall crosslink density as expressed by the average molecular weight between crosslinks.

The polyester polyols with hydroxyl numbers lower than 320 mg KOH/g are used with higher indices to produce polyurethane polyisocyanurates which give parameters of higher quality with respect to mechanical and flammability properties (see 3.5 and table 8).

The polyester polyols with hydroxyl numbers lower than 200 mg KOH/g are used as additives to polyurethane soft foam formulations which rise their comfort factor in typical moulded polyether foams when used with a percentage up to 15 % by weight. The lower limit of polyester polyols of this type with useful properties is in the range of a hydroxyl number of about 120 mg KOH/g. By the method described it is possible to produce polyester polyols being characterized by hydroxyl numbers as low as 70 mg KOH/g but they exhibit viscosities in the range up to 350,000 mPas (25°C) which make them applicable only as an additive to formulations with low viscosity polyols and being compatible with them (forming a homogeneous polyol component for two component applications).

3.3 Polyester polyols from PET, oligoester, phthalic acid, and glycols

In another series of polyester polyol synthesis part of the oligoester was substituted by phthalic acid as phthalic anhydride. Terephthalates tend to crystallize because of the fitting of both the terephthalic acid molecule and the respective glycol, the best example is PET itself. By introducing smaller amounts of phthalic acid into the polyester chain the ability to crystallize is drastically reduced and, furthermore, the viscosity of the polyester polyols is reduced (see table 6). The modification of the

Materials/Run	P4-13	P4-14	P4-19	P4-24	P4-18	P4-33
Phthalic anhydride (% by weight)	24.8	24.8	25.9	23.5	27.6	25.5
OEK (% by weight)	34.2	32.0	35.6	32.3	37.9	34.5
DEG (% by weight)	41.0	43.2	38.5	34.9	34.5	40.0
TEG (% by weight)				9.3		
Reaction conditions:						
Temperature (°C)	220	220	220	220	220	220
Time (hours)	6	5	7	9	5	6
Properties:						
OHZ (mg KOH/g)	244	281	250	241	209	344
Acid number (mg KOH/g)	0.5	0.3	1.0	0.5	0.3	0.6
Viscosity (25 °C) (mPas)	19,200	14,100	15,500	18,700	59,200	7,800

Tab. 6: Polyester polyols from PET, OEK, phthalic acid, and glycols

polyester polyols made from PET, OEK, phthalic anhydride as well as an additional glycol or glycols results in polyols suitable both for rigid foams and coating applications. The synthesis was directed both to rigid foam application polyols with hydroxyl numbers in the range of 350 mg KOH/g (P4-33) and to coating application with hydroxyl numbers in the range of hydroxyl numbers around 230 mg KOH/g (P4-24, table 6). The introduction of phthalic acid moieties into the chain does not reduce the flammability compared to the polyester polyols with only terephthalic acid but reduces the dimensional stability of the rigid foams produced from them (see 3.5). With respect to the coatings formulations there is an improvement in the elongation at break but a reduction of the plateau region of the storage modulus limiting the temperature range of application.

3.4 Polyester polyols from PET, oligoester, adipic acid, and glycols

Another approach to obtain polyester polyols with lower viscosity was to modify them with aliphatic dicarboxylic acids such as adipic, sebacic, or azelaic acid to make them more suitable for two component formulations. Adipic acid is known to produce in combination with certain glycols low melting and non-crystallizing polyester polyols (e. g. to be used for microcellular elastomers) and in combination with phthalic acid and any polyvalent hydroxyl compound like pentaerythrol polyester polyols suitable as basis for varnishes.

Material/Run	4-30	4-8	4-37	4-39	4-44
PET (% by weight)	42.5	0	42.8	54.0	39.5
OEK (% by weight)	2.6	44.9	2.5	3.2	2.4
Adipic acid (% by weight)	23.0	25.5	22.9	15.8	28.5
DEG (% by weight)	31.9	0	31.8	27.0	19.7
DPG (% by weight)	0	0	0	0	9.9
TEG (% by weight)	0	29.6	0	0	0
Conditions:					
Temperature (°C)	220	240	220	220	240
Time (hours)	5	3	4	5	10
Properties:					
OHZ (mg KOH/g)	172	130	184	169	198
Acid number (mg KOH/g)	0.8	3.3	0.7	1.2	1.8
Viscosity (25 °C) (mPas)	11,700	2,880	16,100	15,600	15,800

Tab. 7: Polyester polyols from PET, OEK, adipic acid, and glycols

In this series of syntheses the reduction of viscosity was attempted without a substantial loss of the valuable properties of the aromatic polyester polyols with respect to high dimensional stability and high flame retardancy in rigid foam formulations. In the series of hydroxyl numbers of ca. 180 mg KOH/g and various proportions of terephthalic to adipic acid it is seen that the viscosity reduces with increasing amount of adipic acid as expected leading to a value of only 3.000 mPas (25°C) with 25 % by weight adipic acid. In the series with hydroxyl numbers in the range of 180 mg KOH/g the viscosity was reduced from 71.000 mPas (4-145) to 11.700 mPas (25°C) at 23 % by weight of adipic acid [13]. The dimensional stability of rigid foams produced from these lower viscosity copolyester polyols is but reduced to about 100°C. Thus, the main field of application of this type of polyester polyols is in coatings formulations in the Shore A hardness range beyond 90.

Thus, polyester polyols with higher content of aliphatic dicarboxylic acids are reacted with diphenylmethane-4,4'-diisocyanate (MDI) or crude MDI like Lupranat® M20A to



give coatings, e. g. to be used in coating of concrete floorings aiming at a Shore A hardness of 93. The composition of such coatings at the relative hardness of Shore A beyond 90 leads to rather good values of abrasion resistance and allows them to fit into the property spectrum of sealants or in-liners of waste water tubes.

3.5 Polyurethane foams made of the polyester polyols

Materials/No.	F12-2	F26-5	F10-3	F90-1	F137-4
Polyester polyol					
2-12 (g)	24.6	0	0	0	0
2-26 (g)	0	24.8	0	0	0
2-10 (g)	0	0	20.1	0	0
2-90 (g)	0	0	0	13.4	0
2-137 (g)	0	0	0	0	21.1
Lupranat®M20A (g)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
Properties:					
Density (g/dm ³)	42.1	44.3	43.7	39.8	41.4
Compressive strength (N/mm ²)	3.65	4.02	2.54	4.21	3.78
Dimensional stability at 120°C (%)	+1.4	+1.9	-4.7	-0.8	+1.5
Flammability according to ASTM 1692 (burning distance mm)	5	5	8	6	6

Tab. 8: Polyurethane rigid foams from polyester polyols based on PET, OEK, and some glycols

Polyurethane rigid foams were produced from all the polyester polyols synthesized using a standard formulation. In this standard formulation only the polyester polyol is used as a single polyol component while crosslinking the polymer structure only by the polyvalent polyisocyanate. Additional crosslinking may arise from biurete formation resulting from the reaction of the ureas formed by the reaction of isocyanate groups and water and another isocyanate group. Rigid foams were tested for compressive strength and dimensional stability and in some cases for flammability.

PUR rigid foams could be produced only from those PET based polyester polyols (see 3.2) having lower viscosity and higher hydroxyl numbers. If the viscosity exceeded 35.000 mPas it was necessary to prepare the premixes at somewhat higher temperatures and add the polyisocyanate to this mixture. This leads to higher reactivity and made a reduction of the amount of catalyst to 0.175 g in the formulation necessary. The properties of some of the foams produced are shown in table 8. The property values show that rigid polyurethane foams from these aromatic polyester polyols exhibit a very good dimensional stability at 120°C when using this specially developed formulation and employing only these PET based polyols, water to produce carbon dioxide as a foaming agent and tris-(dimethylaminopropyl)hexahydro-s-triazine as a catalyst which is typically used for trimerization of isocyanate groups but shows a very good effect when used in this combination of water as a blowing agent and polyester diols as the main constituent of the A component [14]. The foams made according to these formulations show that even at a comparatively low isocyanate index of 75 the dimensional stability at 120°C is below an deterioration of 3 % in each direction thus showing a high thermal stability to be achieved by means of the polyester diols. To this value adds the good mechanical stability at a density of about 40 g/dm³ which is generally better than the predicted values [15]. The problem with polyols of this type is the high viscosity which gives rise to a limited field of application.

The mechanical properties of the PUR rigid foams made of polyols of series 3.2 show rather good mechanical properties in spite of a brittleness sometimes to observe which originates from residual ethylene glycol and short chained terephthalates. Considering all observed properties of the foams leads to the conclusion that the most advantageous glycol in the transesterification is diethylene glycol which results in highest property levels. The comparison of foam properties of the polyols produced according to method 3.1 and 3.2 shows that the polyols of type 3.2 give results in properties close to those produced by means of the polyols of the type according to 3.1 when both their hydroxyl numbers exceed 360 mg KOH/g. Polyols exhibiting lower hydroxyl numbers, i. e. a higher content of terephthalic acid (polyols 2-90 or 4-90), fit as well into this frame when the hydroxyl number is beyond 320 mg KOH/g. Changing the glycols, i. e. substitute the diethylene glycol by higher ethylene glycol homologues or by dipropylene glycol or higher homologues always leads to reduced property levels at comparable hydroxyl numbers. The substitution of terephthalic acid by any other acid has a similar effect. Larger amounts of adipic acid condensed into the polyester chain reduce the thermal stability as shown by the reduced dimensional stability. Phthalic acid as well reduces the dimensional stability to a lower extent but keeps the compressive strength. Lower hydroxyl numbers lead to a loss in mechanical properties and especially the dimensional stability since the crosslinking by the polyisocyanate does not equalize the functionality of 2 in these polyester polyols.

Generally, to produce suitable rigid foams the hydroxyl number of the polyester polyols has to exceed 360 mg KOH/g even at high terephthalic acid content. When the hydroxyl number or the amount of terephthalic acid is lowered the dimensional stability are reduced. The introduction of aliphatic dicarboxylic acids (adipic acid) or phthalic acid leads to a reduction both of dimensional stability (in case of adipic acid based polyols it is lower than 80°C) and flammability. While in these cases of lower hydroxyl numbers or adipic acid addition the brittleness of the foams is reduced and they exhibit some elasticity the mechanical properties and especially the dimensional stability are reduced since the crosslinking by the polyisocyanate leads to a rather high average molecular weight between crosslinks (M_n) compared to typical polyether based rigid polyurethane foams. In this structure the polymer chains are more flexible and this flexibility increases the segment mobility of the structural units.

The polyester polyols with hydroxyl numbers lower than 300 mg KOH/g are used with higher isocyanate indices and appropriate catalysts to produce polyurethane polyisocyanurates [16] which give parameters of higher quality with respect to mechanical and flammability properties (table 9). Frequently, a hydroxyl number of aromatic polyester polyols of 240 mg KOH/g is used in this case with isocyanate indices up to 900. The reduction in flammability is but an optimum mostly depending on the overall structure of the polymer.



Materials/No.	F14-6	F17-3	F24-6	F145-5	F137-4
Polyester polyol					
6-14 (g)	18.6	0	0	0	0
6-17 (g)	0	19.4	0	0	0
P4-24 (g)	0	0	13.4	0	0
4-145 (g)	0	0	0	33.0	0
4-137 (g)	0	0	0	0	22.1
Lupranat®M20A (g)	81.0	81.0	67.5	94.5	81.0
Isocyanate Index	400	400	300	500	400
Properties:					
Density (g/dm ³)	44.1	45.7	41.7	56.7	46.7
Compressive strength (N/mm ²)	4.76	4.88	3.68	5.34	4.23
Dimensional stability at 120°C (%)	-0.2	+0.4	-0.5	+0.2	-0.3
140°C (%)	+1.2	+1.4	+1.0	+2.1	+1.5
Burn length following ATSM 1692 (mm)	3	3	4	3	3

Tab. 9: Polyisocyanurate foams based on low hydroxyl number polyester polyols

According to the tests used in this investigation the improvement in flammability according to the test procedure ASTM 1692 beyond an index of 400 could not be proved.

The polyester polyols with hydroxyl numbers lower than 200 mg KOH/g are used as additives to polyurethane soft foam formulations which rises their comfort factor in typical moulded polyether foams when used with a percentage up to 15 % by weight. The lower limit of polyester polyols of this type with useful properties is in the range of a hydroxyl number of about 120 mg KOH/g.

4 Discussion of results

Based on two wastes – an industrial residue OEK and a consumer waste PET mixed colour flakes – aromatic polyester polyols of various properties could be produced by variation of the ratio of these two components and the addition of other components like glycols and/or other dicarboxylic acids. In several experimental series the effect of these components on the properties both of the polyester polyols and rigid polyurethane foams derived from them was investigated. By using only PET waste and OEK residue it is possible to obtain liquid products showing very high viscosity and a tendency to recrystallize. Therefore, it is useful to add at least one glycol which can be chosen from a broad series of ethylene glycols or propylene glycols up to molecular weights of 2000 g/mol or copolyethers of both structural units as being prepared by ionic polymerization of ethylene oxide and propylene oxid either as statistical or block copolyethers. It turned out that diethylene glycol is the most suitable glycol to be used in these transesterifications but the addition of some other, i. e. longer chained glycols, may in some cases add further advantages to the polyester polyols derived especially with respect to their viscosity or to avoid recrystallization to keep the viscosity of the polyols constant on storage.

The reduction of the hydroxyl number of the polyols generally leads to high viscous products. To compensate for this effect it seemed an opportunity to use glycols of longer molecular chains with molecular weights up to 1000 g/mol. While the viscosity of the polyol could be adjusted to values between 10,000 and 15,000 mPas the rigid foams produced from these polyols using a standard formulation showed a reduced dimensional stability which in turn could be compensated for only by

the addition of high functional polyethers or amino polyethers. On the other hand, such polyester polyols are useful as basic polyols to produce polyisocyanurate foams with isocyanate indexes up to 400.

Introducing a second or third dicarboxylic acid like adipic or phthalic acid into the polyester polyols leads as well to a reduction in viscosity and in recrystallization. While these effect is desirable both acids used as structural components in the polyester polyol chains again lead as well to an adverse effect on the properties of the rigid foams. In general, the incorporation of both dicarboxylic acids reduces the dimensional stability of rigid foams. Additionally, with higher proportions of adipic acid in the chain the flame retardancy is reduced. Such polyester polyols are suitable in applications like polyisocyanurate foams or coatings or sealants where flame retardancy is mainly adjusted either by the isocyanuric acid rings or by the addition of solid flame retardants.

Aromatic polyester polyols with a high terephthalic acid content and diethylene glycol as the main glycol component lead with specially designed polyurethane formulations to rigid polyurethane foams with exceptional high dimensional stability up to 145°C and simultaneously good mechanical properties. Thus, the rigid foams prepared on this way may be used in such cases where typically the more costly polyisocyanurate foams are used.

Further applicational areas of the aromatic polyester polyols are coatings and sealants when the viscosity at hydroxyl numbers of 200 to 240 mg KOH/g is in the range up to 20.000 mPas (25°C) or additives to soft block foam production in amounts up to 15% by weight when the hydroxyl number is as low as 90 to 120 mg KOH/g. To increase the flame retardant activity of such polyester polyols dispersions with certain solid flame retardants are obtained by adjusting the polyol structure to become self-stabilizing [17]. Furthermore, binder systems based on certain types of these polyester polyols had been developed to form composite materials with natural products [18].

5 Literature

- [1] A. Lobeda, H. Becker, G. Behrendt, Aromatische Polyester-alkohole aus Oligokondensaten, unveröffentlichte Ergebnisse, Berlin, 1994
- [2] U. R. Vaidya, V. M. Nadkarni, Polyester Polyols for Polyurethanes from PET Waste, in J. Appl. Polym. Sci. 35, 775-785 (1988)
- [3] U. R. Vaidya, V. M. Nadkarni, Polyester polyols from PET waste: effect of glycol type on kinetics of polyesterification in J. Appl. Polym. Sci. 38, 1179-1190 (1991)
- [4] S. Baglia, W. T. Wong, Depolymerization of polyethylene terephthalate recycled from postconsumer softdrink bottles, J. Polym. Sci, Part A 27, 2071-2082 (1989)
- [5] DE-AS 2.238.109 (1973) to Upjohn Co.
- [6] DE-OS 2.557.172 (1976) to Bridgestone Tire Co.
- [7] DE-OS 2.711.145 (1978) to Bayer AG
- [8] DE-OS 2.834.431 (1980) to Th. Goldschmidt AG



- [9] J. Y. Chen, C. F. Ou, Y. C. Hu, C. C. Lin, Depolymerization of polyethylene terephthalate resin under pressure, J. Appl. Polym. Sci. 42, 1501-1507 (1991)
- [10] S.U. R. Vaidya, V. M. Nadkarni, Unsaturated polyester resins from PET waste: 1. Synthesis and characterization, in Ind. Engng. Chem. Res. 26, 194-198 (1987)
- [11] G. Behrendt, A. Lobeda, M. Pohl, Verfahren zur Herstellung von Polyesteralkoholen sowie Polyesteralkohole, DE Anm. 198 17 538.8 vom 16. 4. 1998, PCT WO
- [12] G. Behrendt, M. Pohl, Verfahren zur Herstellung von Polyurethanen, DE-OS 198 17 539 (16.04.1998)
- [13] G. Behrendt, M. Pohl, Polyesterpolyole mit niedriger Viskosität, DE-Anm. 199 15 128.8 vom 25.03.1999
- [14] G. Behrendt, M. Pohl, Polyurethanmassen und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE-Anm. 198 52 151.0 vom 04.11.1998
- [15] R. K. Traeger, J. Cellular Plast. 3, 405 (1967)
- [16] M. Pohl, G. Behrendt, Polyisocyanurat-Formstoffe und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE-Anm. 199 15 126.1 vom 25.03.1999
- [17] G. Behrendt, M. Pohl, H.-D. Hunger, Neue Polyester-Polymerpolyole für Polyurethane, DE-Anm. 199 15 125.3 vom 25.03.1999
- [18] M. Pohl, U. Lehrack, J. Volk, G. Behrendt, Verbundmaterial und Verfahren zu seiner Herstellung, DE-PS 198 17 541 vom 16.04.1998, erteilt 18.02.2002

Prof. Dr. Gerhard Behrendt

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Telefon +49 3375 508-591

E-Mail: behrendt@vt.tfh-wildau.de

Acknowledgement

The authors are grateful for financial support of the studies by the Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) and the International Bureau of the German Federal Ministry of Education (BMBF).

Authors**Prof. Dr. Roseta Evtimova**

University of Chemical Technology and Metallurgy

Bul. Kl. Ohridski 8, 1175 Sofia, Bulgaria

Telefon +359 2 681513

Dipl.-Ing. Yordanka Lozeva

University of Chemical Technology and Metallurgy

Bul. Kl. Ohridski 8, 1175 Sofia, Bulgaria

Telefon +359 2 681513

Dr. Peter Wagner

GKT Gräfenthaler Kunststofftechnik GmbH

Coburger Straße 56-58, 98743 Gräfenthal, Germany

Telefon +49 36703 85-0

E-Mail: info@gkt.de

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Schmidt

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Telefon +49 3375 508-176

E-Mail: khschmid@igw.tfh-wildau.de

Dipl.-Ing. Michael Wotzka

CTA Anlagenbau GmbH

Julius-Pintsch-Ring 18, 15517 Fürstenwalde, Germany

Telefon +49 3361 3621-0

E-Mail: cta_anlagenbau@t-online.de

Berechnungsmodell für die Elektrodialyse von Salzlösungen

Jens-Uwe Gerking, Josef Schmadl

Elektromembranverfahren spielen eine wichtige Rolle in natürlichen Vorgängen, wie z. B. bei der Ernährung von Gehirnzellen, und sind von der Solarenergienutzung (elektrolytische Wasserstoffherzeugung) und der elektrischen Energieerzeugung (PEM-Brennstoffzelle) über Abwasserreinigung, Wasserentsalzung und Wertstoffrückgewinnung (Elektrodialyse mit bipolaren Membranen oder mit Ionenaustausch) bis hin zum Einsatz in chemischen Syntheseverfahren auch technisch vielseitig einsetzbar. Sie sind aber noch wenig bekannt und längst nicht ausreichend erforscht. Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag geleistet werden zur mathematischen Modellierung der Elektrodialyse mit Ionenaustauschermembranen.

1 Prinzip der Elektrodialyse

Eine Elektrodialyseapparatur mit Ionenaustauschermembranen besteht aus einer Folge von Kammern, die alternierend durch Anionen- und Kationenaustauschermembranen getrennt sind, wie in Abb. 1 dargestellt. Über zwei Elektroden an beiden Enden kann ein elektrisches Feld quer zur Durchströmungsrichtung angelegt werden. Unter seinem Einfluss wandern in den sog. Diluatkammern die Kationen durch die Kationenaustauschermembran (K) und die Anionen durch die Anionenaustauschermembran (A) in die jeweils benachbarten sog. Konzentratkammern. Ihre Weiterwanderung in Richtung Anode bzw. Kathode wird durch die nachfolgenden Ionenaustauschermembranen mit entgegengesetzter Ladung verhindert. Auf diese Weise wird ein Feedstrom in ein weitgehend entsalztes Diluat und ein Konzentrat aufgespalten. Die Grundeinheit besteht somit aus einer Diluat- und einer Konzentratkammer.

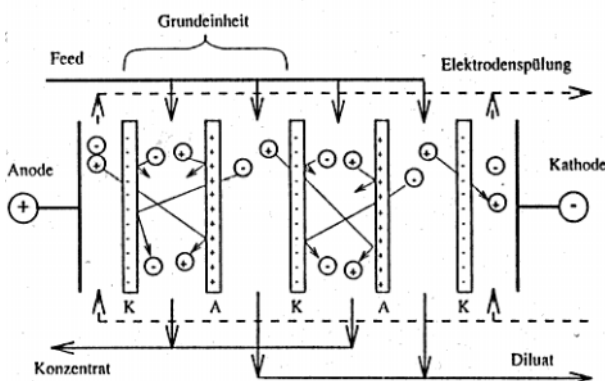


Abb. 1: Prinzipschema der Elektrodialyse mit alternierend angeordneten Ionenaustauschermembranen

In Abb. 1 ist das kontinuierliche Verfahren dargestellt. Die Messungen in dieser Arbeit wurden jedoch in einer diskontinuierlich betriebenen Apparatur durchgeführt, bei

der Vor- und Rücklauf jeweils für Diluat, Konzentrat und Elektrodenspülung über einen Vorratbehälter kurzgeschlossen sind und mit einer Pumpe in geschlossenem Kreislauf umgepumpt werden. Mit fortschreitender Elektrodialysezeit reichert sich dabei im Konzentratkreislauf das Salz an, im anderen, dem Diluatkreislauf, fällt die Konzentration.

2 Theoretisches Modell

Bei dem im folgenden dargestellten Berechnungsansatz wird angenommen, dass sich die Elektrodialyse von Salzen mit dem Beladen eines Kondensators vergleichen lässt.

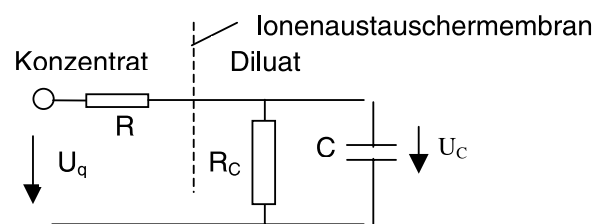


Abb. 2: Elektrisches Vergleichsschaltbild

U_q steht für die angelegte Quellspannung. Die Konzentratkammer wird durch einen elektrischen Widerstand R , die Diluatkammer durch einen Kondensator mit der Kapazität C und dem Rückdiffusionswiderstand R_c simuliert. Diesem Vergleichsschaltbild liegt die Annahme zugrunde, dass der Widerstand in der Diluatkammer klein gegenüber dem der Konzentratkammer ist, also vernachlässigt werden kann. R ist durch Konvektion, R_c dagegen durch elektrische Anziehung bestimmt.

Die Parallelschaltung mehrerer Kammerpaare n_M zur Erhöhung des Durchsatzes stellt sich elektrisch als Reihenschaltung dar, wie in Abb. 3 dargestellt.

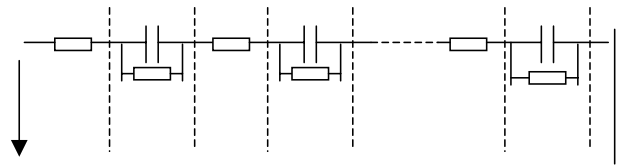


Abb. 3: Erweitertes elektrisches Vergleichsschaltbild

Für die Gesamtwiderstände aller Konzentrat- und Diluatkammern bzw. für die Gesamtkapazität gelten dann die Beziehungen:

$$R = R_0 \cdot n_M \quad (1)$$

$$R_c = R_{c0} \cdot n_M \quad (2)$$

$$C = \frac{C_0}{n_M} \quad (3)$$



Herleitung der Differentialgleichung für die Spannung U_c , die am Kondensator anliegt:

$$I = I_{RC} + I_C \text{ mit } I_{RC} = \frac{U_C}{R_C}, \quad I_C = C \frac{dU_C}{dt}$$

$$U_q = U_R + U_C \text{ mit } U_R = I \cdot R = \left(\frac{U_C}{R_C} + C \frac{dU_C}{dt} \right) \cdot R$$

$$U_q = \left(1 + \frac{R}{R_C} \right) \cdot U_C + R \cdot C \frac{dU_C}{dt} \quad (4)$$

Die Verbindung zum Stoffübergang ergibt sich über die Faraday-Konstante, zunächst für $V_{\text{Konzentrat}} = V_{\text{Diluat}} = V$, dem Vorlagevolumen

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt} = \frac{n \cdot F}{n_M} \frac{dN}{dt} = \frac{n \cdot F \cdot V}{n_M} \cdot \frac{dc_{\text{Konzentrat}}}{dt}$$

mit $C \frac{dU_C}{dt}$, dem am Kondensator anliegenden elektrischen Strom

$\frac{dN}{dt}$, dem übergehenden Stoffstrom

$c_{\text{Konzentrat}}$, der Konzentration auf der Konzentratseite, im folgenden c_K

$$F = 96490 \frac{\text{As}}{\text{eq}}, \text{ der Faraday-Konstanten}$$

n , der Ladungszahl

$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{n \cdot F \cdot V}{C \cdot n_M} \cdot \frac{dc_K}{dt} \quad (5)$$

Durch Integration erhält man:

$$U_C = \frac{n \cdot F \cdot V \cdot c_K}{C \cdot n_M} + K \text{ mit } K = 0, \text{ da für}$$

$$c_K = 0 \quad U_C = 0 \text{ ist} \quad (6)$$

Gl.(5) und (6) in Gl.(4) ergibt

$$\frac{U_q \cdot C \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V} = \left(1 + \frac{R}{R_C} \right) \cdot c_K + R \cdot C \cdot \frac{dc_K}{dt} \quad (7)$$

und umgestellt

$$\frac{dc_K}{dt} = \frac{U_q \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V \cdot R} - \left(\frac{1}{R \cdot C} + \frac{1}{C \cdot R_C} \right) \cdot c_K \quad (8)$$

Nimmt man weiterhin an, dass sich der Widerstand R umkehrt proportional zu der Leitfähigkeit κ der Salzlösung verhält, und nähert man die Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit durch die lineare Beziehung

$$\kappa = a \cdot c_K \quad (9)$$

$$\text{mit } a = \frac{\kappa}{c_K} = \Lambda \cdot n = \text{const} \left[\frac{\text{S}}{\frac{\text{cm}}{\frac{\text{mol}}{\text{l}}}} \right]$$

und Λ als Äquivalentleitfähigkeit an, lässt sich ein Wider-

stand R_K definieren, der leitfähigkeitsbestimmt ist:

$$R_K = \frac{L \cdot n_M}{\kappa \cdot A_M} = \frac{L \cdot n_M}{a \cdot c_K \cdot A_M} \quad (10)$$

mit A_M , der aktiven Querschnittsfläche einer Membran und

L , der Breite einer Konzentratkammer.

Bezieht man R auf den Widerstand R_K , so erhält man einen dimensionslosen und konzentrationsunabhängigen Widerstand r :

$$r = \frac{R}{R_K} = \frac{\text{Elektrischer Widerstand bei Konvektion}}{\text{Elektrischer Widerstand aufgrund von Leitfähigkeit}} \quad (11)$$

Einsetzen von (10) in (11) ergibt:

$$R = r \cdot R_K = \frac{r \cdot n_M \cdot L}{a \cdot c_K \cdot A_M} \quad (12)$$

und (12) in (8):

$$\frac{dc_K}{dt} = \frac{U_q \cdot a \cdot c_K \cdot A_M \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V \cdot r \cdot L \cdot n_M} - \left(\frac{a \cdot c_K \cdot A_M}{r \cdot C \cdot L \cdot n_M} + \frac{1}{C \cdot R_C} \right) \cdot c_K$$

$$\frac{dc_K}{dt} = - \frac{a \cdot A_M}{r \cdot C \cdot L \cdot n_M} \cdot c_K^2 + \left(\frac{U_q \cdot a \cdot A_M}{n \cdot F \cdot V \cdot r \cdot L} - \frac{1}{C \cdot R_C} \right) \cdot c_K \quad (13)$$

Die Lösung der Differentialgleichung vom Typ

$$\frac{dc_K}{dt} = A \cdot c_K^2 + B \cdot c_K \quad (14)$$

lautet

$$t - t_0 = - \frac{2}{B} \cdot \operatorname{arctanh} \left(2 \cdot \frac{A}{B} c_K + 1 \right)$$

mit t_0 , der Integrationskonstante (15)

nach c_K umgeformt

$$c_K = - \frac{B}{2 \cdot |A|} \cdot \left[\tanh \left(- \frac{(t - t_0) \cdot B}{2} \right) - 1 \right] \quad (16)$$

In Abb. 4 ist der Funktionsverlauf zur Veranschaulichung dargestellt.

$$c_K = - \frac{1}{2} \cdot 0.9 \cdot \left[\tanh \left(- \frac{(t - 0) \cdot B}{2} \right) - 1 \right]$$

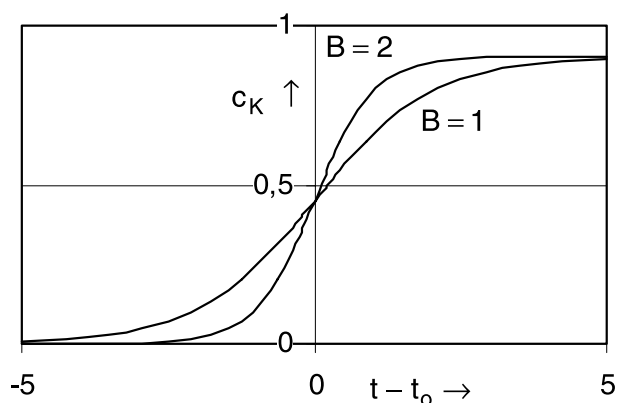


Abb. 4: Tangens hyperbolicus mit $B/|A| = 0.9$, $t_0 = 0$ und dem Parameter $B = 1$ und 2 .



Wie zu erkennen ist, gibt $B/|A|$ den gesamt durchfahrenen Konzentrationsbereich, beginnend bei 0, an.

$$\frac{B}{|A|} = c_{K\infty} \text{ mit } c_{K\infty}, \text{ der Konzentration,} \quad (17)$$

die sich für $t \rightarrow \infty$ einstellt

Aus Gl.(13) und (14) ergibt sich

$$\frac{B}{|A|} = \frac{U_q \cdot C \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V} - \frac{r \cdot L \cdot n_M}{R_C \cdot a \cdot A_M} \quad (18)$$

mit

$$A = -\frac{a \cdot A_M}{r \cdot C \cdot L \cdot n_M} \quad (19)$$

und

$$B = \frac{U_q \cdot a \cdot A_M}{n \cdot F \cdot V \cdot r \cdot L} - \frac{1}{R_C \cdot C} \quad (20)$$

Für den Fall, dass $V_K \neq V_D$ ist, ergeben sich für die Gl. (18), (19) und (20) folgende Veränderungen:

$$\frac{B}{|A|} = \frac{U_q \cdot C \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V_K} - \frac{r \cdot L \cdot n_M \cdot V_D}{R_C \cdot a \cdot A_M \cdot V_K} \quad (18a)$$

$$A = -\frac{a \cdot A_M \cdot V_K}{r \cdot C \cdot L \cdot n_M \cdot V_D} \quad (19a)$$

$$B = \frac{U_q \cdot a \cdot A_M}{n \cdot F \cdot V_D \cdot r \cdot L} - \frac{1}{R_C \cdot C} \quad (20a)$$

Der erste Term in Gl. (18a) gibt die erreichbare Konzentration für den idealen Fall $R_C = \infty$ an. In diesem Falle würde sich die gesamte Stoffmenge für $t \rightarrow \infty$ auf der Konzentratseite befinden, d. h. $c_{Diluat} = 0$

$$c_{K\max} = \frac{U_q \cdot C \cdot n_M}{n \cdot F \cdot V_K} = \frac{N_{\text{Ges}}}{V_K} = \frac{c_K(t_1) \cdot V_K + c_D(t_1) \cdot V_D}{V_K} \quad (21)$$

mit t_1 , einem beliebigen Zeitpunkt.

Aus Gl. (21) lässt sich die Kapazität C berechnen.

$$C = \frac{N_{\text{Ges}} \cdot n \cdot F}{U_q \cdot n_M} \left[\frac{As}{V} \right] \quad (22)$$

Der zweite Term in Gl. (18a) ist demnach

$$c_{K\text{Verlust}} = c_{K\max} - c_{K\infty} = \frac{V_D}{V_K} c_{D\infty} = \frac{r \cdot L \cdot n_M \cdot V_D}{R_C \cdot a \cdot A_M \cdot V_K} \quad (23)$$

mit $c_{D\infty}$, der Diluatendkonzentration für $t \rightarrow \infty$. Damit ist

$$\frac{B}{|A|} = c_{K\infty} - \frac{V_D}{V_K} \cdot c_{D\infty} = \frac{N_{\text{Ges}}}{V_K} - \frac{r \cdot L \cdot n_M \cdot V_D}{R_C \cdot a \cdot A_M \cdot V_K} \quad (24)$$

Geht man davon aus, dass der Diffusionskoeffizient D_M durch die Membran in Richtung Diluat sehr viel kleiner als die Stoffübergangskoeffizienten β an der Membran sind und dass $c_{K\max} \gg c_{K\text{Verlust}}$ ist, lässt sich folgender Zusammenhang für R_C herstellen:

$$R_C = \frac{U_q}{I} = \frac{U_q}{\dot{N} \cdot n \cdot F} = \frac{U_q}{d_M \cdot A_M \cdot c_{K\max} \cdot n \cdot F} \quad (25)$$

$$\text{mit } \dot{N} = \frac{D_M \cdot A_M}{s_M} \cdot (c_{K\infty} - c_{D\infty}) = d_M \cdot A_M \cdot c_{K\max} \quad (26)$$

mit $\dot{N}$, dem Stoffstrom, der für t in eine Diluatkammer zurückströmt,
 s_M , der Dicke der Membran,
 d_M , dem spezifischen Diffusionskoeffizienten,

eingesetzt in Gl. (23) ergibt die Berechnungsgleichung für $c_{D\infty}$:

$$c_{D\infty} = \frac{r \cdot d_M \cdot c_{K\max} \cdot n \cdot F \cdot L \cdot n_M}{U_q \cdot a} \quad (27)$$

Die Integrationskonstante t_0 lässt sich aus der Beziehung $t - t_0 = 0$ bei $0.5 \cdot c_{K\infty}$ bestimmen.

$$\text{Für } c_{K\text{Anfang}} < \frac{c_{K\infty}}{2} \text{ ist } t_0 > 0;$$

$$c_{K\text{Anfang}} = \frac{c_{K\infty}}{2} \text{ ist } t_0 = 0;$$

$$c_{K\text{Anfang}} > \frac{c_{K\infty}}{2} \text{ ist } t_0 < 0$$

Die Gleichungen (16), (20a), (24) und (27) enthalten die wichtigsten prozess- und apparatespezifischen Größen.

Experimentell bestimmt werden muss lediglich noch die Abhängigkeit des dimensionslosen Widerstandes r von der Strömungsgeschwindigkeit sowie der spez. Diffusionskoeffizient d_M .

Üblicherweise werden aus Gründen der Messgenauigkeit Messwerte in der Form $c_{Diluat} = f(t)$ aufgenommen. Die Umrechnung in c_K erfolgt mit Gl. (21) über

$$c_K = c_{K\max} - \frac{V_D}{V_K} \cdot c_D \quad (28)$$

Der dimensionslose Widerstand r lässt sich über B bestimmen (Gl. (15), (17), (20a))

$$B = -\frac{2}{(t - t_0)} \cdot \operatorname{arctanh} \left(1 - \frac{2 \cdot c_K}{c_{K\infty}} \right) = \frac{U_q \cdot \Lambda \cdot A_M}{F \cdot V_D \cdot r \cdot L} \quad (29)$$

(der zweite Term in Gl. (20a) kann vernachlässigt werden, wenn $c_{K\max} \gg c_{K\text{Verlust}}$ ist), der spez. Diffusionskoeffizient d_M über c_D nach Gl. (27).

3 Messergebnisse

Die Größen B und r lassen sich mit Hilfe von Messdaten errechnen. Nach Gleichung (29) benötigt man dazu den zeitlichen Konzentrationsverlauf für das Konzentrat, $c_K = f(t)$, der sich experimentell ermitteln lässt.



Die nachfolgend dargestellten Messergebnisse wurden mit einer Apparatur, bestehend aus 20 Kammerpaaren, ausgestattet mit Membranen der Firma Stantech vom Typ AMX und CMX 16x16 cm, durchgeführt. Die Kammerbreite betrug 0,2 cm, die aktive Membranfläche 65 cm². Als Salz kam Na₂SO₄ zur Anwendung, die Ausgangskonzentration betrug für Diluat und Konzentrat 0,03 mol/l, was einer einprozentigen Lösung hydratisierten Salzes entspricht.

Die Volumenströme wurden zur Vermeidung von Leckageverlusten auf beiden Seiten gleich gehalten. Die gleiche Konzentration wurde zur Elektrodenspülung verwendet, der Volumenstrom betrug für Diluat, Konzentrat und Elektrodenspülung jeweils 200 l/h, die Quellspannung 40 V und die Vorlagevolumen für die drei Kreisläufe jeweils 5 l. Als mittlere Äquivalentleitfähigkeit für Na₂SO₄ wurde 0,1175 $\frac{\text{S}}{\text{mol}\cdot\text{cm}}$ verwendet.

Die Ergebnisse der mit den Messergebnissen durchgeführten Berechnungen sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt.

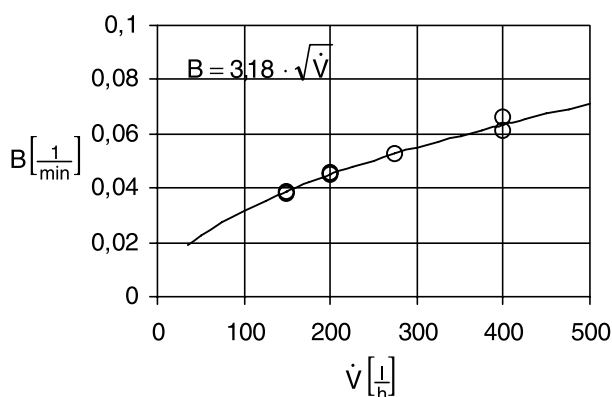


Abb. 5: B als Funktion des Diluat- und Konzentratvolumenstromes

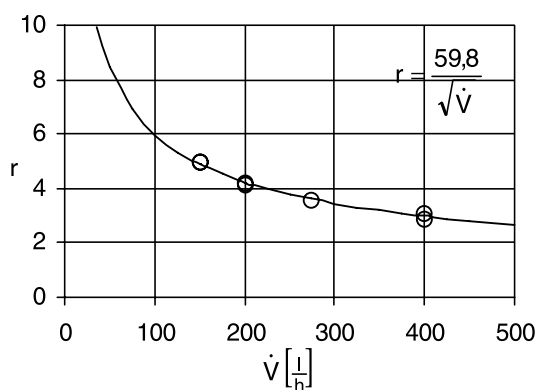


Abb. 6: Der dimensionslose Widerstand r als Funktion des Volumenstromes

Theoretisch, d. h. unabhängig von den durchgeführten Messungen muss der dimensionslose Widerstand r für kleine Volumenströme sehr groß sein, weil die Konvektion dann schwach und der Zähler in Gleichung (11) somit groß ist. Mit steigendem Volumenstrom fällt der Zähler in Gleichung (11) im Extremfall bis zu $r = 1$, d. h. der Widerstand entspricht dann dem mit Leitfähigkeit und Geometrie berechneten Wert. Der Leitfähigkeitswiderstand R_K wurde mit Hilfe von Wechselspannung bestimmt, um Polarisation zu vermeiden und den Übergangswiderstand zu minimieren, das Konzentrationsprofil zwischen beiden Elektroden ist dabei kolben-

förmig. Diesen Zustand erreicht man in der mit Gleichspannung betriebenen Elektrodialyse nur bei technisch nicht realisierbarer Turbulenz, da die hohen Volumenströme zu nicht handhabbaren Drücken führen würden.

Die aus Messergebnissen errechneten und in Abb. 5 und 6 dargestellten Größen zeigen den erwarteten Verlauf. B steigt und r fällt erwartungsgemäß mit steigenden Volumenströmen. Beide Größen verhalten sich gegenläufig gemäß Gleichung (29).

Mit diesem Modell können Messergebnisse modelliert werden. So z. B. zeigen Abb. 7 und 8 ein typisches Ergebnis für eine solche Modellierung. In Abb. 7 ist B , in Abb. 8 die gemessene und die mit diesem Modell errechnete Diluatkonzentration über der Zeit dargestellt. Wie man sieht, sank die Diluatkonzentration im Laufe des knapp vierstündigen Versuches von 0,015 mol/l auf unter 0,00005 mol/l. Die gemessenen Werte werden durch die errechnete Ausgleichskurve sehr gut wiedergegeben. Als Funktion für die Berechnung wurde dabei verwendet:

$$C_D = \frac{V_K}{V_D} \left[C_{K_{\max}} + \frac{C_{K_{\infty}}}{2} \left\{ \tanh \left(-\frac{B \cdot (t - t_0)}{2} \right) - 1 \right\} \right] \quad (30)$$

mit $C_{K_{\max}} = \frac{N_{\text{ges}}}{V_K}$; N_{ges} gesamte Stoffmenge im Diluat und Konzentrat

und $C_{K_{\infty}}$ = maximal erreichte Konzentrat-Konzentration.

Gleichung (30) erhält man aus Gleichung (28) mit C_K nach Gl. (16) und B nach Gl. (29).

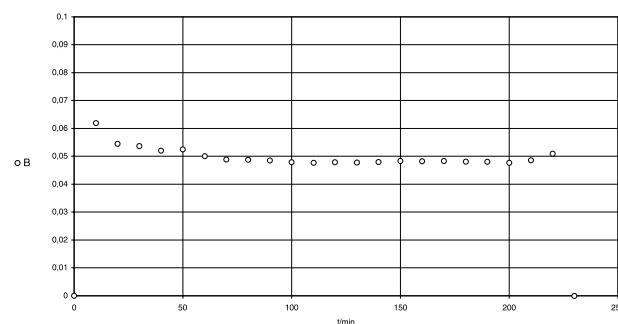


Abb. 7: Abhängigkeit des aus Messwerten ermittelten Faktors B von der Zeit

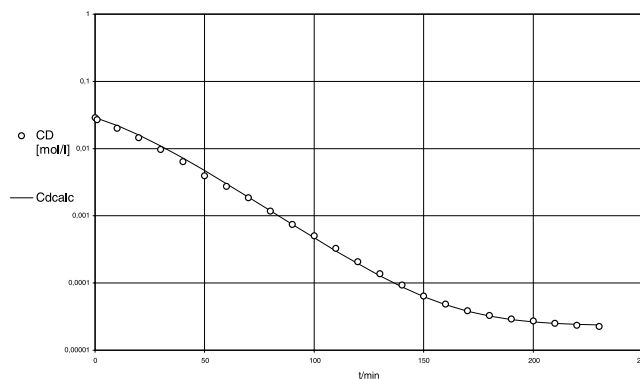


Abb. 8: Abhängigkeit der gemessenen und der nach Gl. (30) errechneten Konzentration C_D von der Zeit



4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein theoretisches Modell für die Elektrodialyse mit Ionenaustauschermembranen in Anlehnung an den elektrischen Kondensator entwickelt und anhand von experimentellen Messwerten, die mit einer vorhandenen Apparatur gewonnen wurden, überprüft. Es zeigte sich, dass die aus Messwerten bestimmten Parameter B und r des Modells bei Variation des Volumenstroms den erwarteten Trend zeigen und dass sich die Zeitabhängigkeit der Konzentrationen, im dargestellten Beispiel die Diluatkonzentration, mit diesem Modell im Rahmen der Messgenauigkeit nahezu exakt beschreiben lässt.

Das entwickelte Modell soll in Folgearbeiten auf seine Tauglichkeit auch für andere Anwendungen der Elektrodialyse mit Ionenaustauschermembranen untersucht und gegebenenfalls weiterentwickelt werden.

Für die Überlassung der Versuchsanlage sind wir Herrn Prof. Dr. rer. nat. Franz Wildenauer zu Dank verpflichtet.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Josef Schmadl

Dipl.-Ing. Jens-Uwe Gerking

Technische Fachhochschule Wildau

Technikum für Thermische Verfahrenstechnik

Telefon +49 3375 508-110

E-Mail: jschmadl@igw.tfh-wildau.de



Neue Entwicklungstendenzen an deutschen Hochschulen

Christoph Helm

1 Einleitung

Ich freue mich sehr, hier über „Neue Entwicklungstendenzen an deutschen Hochschulen“ zu berichten.¹ Zum einen natürlich, weil aus dem Wunsch nach diesem Referat das fortbestehende Interesse am deutschen Hochschulwesen spricht. Wir wissen um den Wert dieses Interesses und bemühen uns, es zu erhalten. Zum anderen erhoffe ich mir aus den Diskussionen aber auch weitere Anregungen und Erkenntnisse, um den internationalen Stellenwert deutschen Hochschulen weiter zu steigern.

Erlauben Sie eingangs einen kurzen historischen Exkurs zu den Wurzeln des deutschen Hochschulwesens des früheren 19. Jahrhunderts. Mein Exkurs ist mit dem Namen Humboldt in doppelter Weise verbunden: Ebenso wie Wissenschaft und Forschung mit dem Namen Alexander von Humboldt ist das deutsche Hochschul- und Bildungswesen mit dem Namen seines zwei Jahre älteren Bruders Wilhelm von Humboldt verbunden.

2 Die Hochschulreform Wilhelm v. Humboldts

Mit der Bestellung Wilhelm v. Humboldts zum Direktor für Unterricht und Erziehung im preußischen Innenministerium durch König Friedrich Wilhelm III. im Jahr 1809 erfuhr die Institution Universität eine ihrer umfassendsten Reformen. Mit dem 1810 vorgestellten Gründungskonzept der Universitas litterarum (heute Humboldt-Universität) als Einheit von Lehre und Forschung, die eine allseitige humanistische Bildung der Studierenden ermöglichen soll, wurde ein neuer Prototyp einer Universität entwickelt, der in den folgenden 150 Jahren weltweit viele Universitäten ihrer Art entstehen ließ.

Was waren die Kernpunkte der Hochschule humboldtscher Prägung?

- Die Einheit von Lehre und Forschung.
- Die Einheit von Lernenden und Lehrenden.
- Die Freiheit der Wissenschaften.
- Die Autonomie der Hochschulen.
- Die Berufung von Professoren durch den Staat und damit die Sicherstellung von Qualität.
- Die Gleichheit aller Fakultäten.

Diese Grundsätze sind auch heute *conditiones sine quibus non* des deutschen Hochschulwesens. Beibehalten wurde ebenfalls die föderale Struktur des deutschen Bildungswesens, also die Verantwortlichkeit der Bundesländer u. a. für die Hochschulen.

3 Die Hochschulreform der 90er Jahre

Allerdings hat sich spätestens zu Beginn der 90er Jahre die Erkenntnis durchgesetzt, dass eine Reform des Hochschulwesens unbedingt notwendig ist, damit die Hochschulen auch künftig ihre bestehenden Aufgaben erfüllen und neuen Herausforderungen gerecht werden können. Ich nenne hier insbesondere die Felder „Neue Rolle der Hochschulen in der Wissensgesellschaft“, „Globalisierung und Internationalisierung“ und „Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft“. Insbesondere Letzteres wird zuweilen mit dem Schlagwort „Weg von Humboldt“ belegt. Damit wird meiner Meinung nach die Zielrichtung der mittlerweile in Schwung gekommenen Hochschulreform in Deutschland verkannt. Es geht nicht darum, die humboldtschen Prinzipien aufzugeben. Vielmehr müssen sie den neuen Herausforderungen angepasst werden.

Wir befinden uns dabei in einer vergleichbaren Lage wie Wilhelm von Humboldt und seine Zeitgenossen Freiherr vom Stein, Johann Wolfgang von Goethe, Friedrich von Schiller, Johann Gottfried Herder, Immanuel Kant und Jean-Jaques Rousseau. Auch damals stand das deutsche Hochschulwesen einer sich verändernden Welt gegenüber: Bestehende Grenzen – damals zwischen den unzähligen deutschen Kleinstaaten – zerflossen, die Verfügbarkeit von Informationen nahm rasant zu, breite Bevölkerungsschichten mussten Zugang zur Schulbildung erhalten. Die Gesellschaft benötigte besser ausgebildete Akademiker.

3.1 Rolle der Hochschulen in der Wissensgesellschaft

Wie sieht es heute aus? Auf dem Arbeitsmarkt wird sich die Nachfrage nach Hochschulabsolventen weiter verstärken. Das Schwergewicht wird sich weiter in Richtung wissenschaftlich fundierter, praxisorientierter Ausbildungs- und Qualifikationsprofile verschieben. Gleichzeitig wird aber auch der Bedarf an Hochschulabsolventen mit forschungsorientierter Ausbildung für Tätigkeiten außerhalb von Lehre und Forschung wachsen. Die Vielfalt der Tätigkeitsbereiche von Hochschulabsolventen und die Dynamik der Veränderung ihres Anforderungsprofils erfordern eine stärkere Differenzierung der Studiengänge und -abschlüsse, eine größere Vielfalt der Studienangebote.

3.2 Neue Abschlüsse/Bolognaprozess

Der Wissenschaftsrat hat daher im Januar 2000 eine Empfehlung zur Einführung neuer Studienstrukturen



und -abschlüsse verabschiedet.² Er sprach sich dafür aus, an Universitäten und Fachhochschulen eine klare und flexible Grundstruktur für Studium und Lehre einzuführen.

Das grundständige Studium soll früher als bisher zu einem berufsqualifizierenden Abschluss führen. Neu strukturierte Studienprogramme und neue Studienabschlüsse sollen die unterschiedlichen Interessen Studierender, späterer Arbeitgeber und der Gesellschaft berücksichtigen. Sie sollten generalistische, forschungs- oder anwendungsorientierte Profilschwerpunkte erkennen lassen und das hohe Niveau der wissenschaftlichen Ausbildung in Deutschland wahren. Zur Realisierung des Studienziels „Beschäftigungsfähigkeit“ sind neue inhaltliche und zeitliche Verbindungen zur beruflichen Anwendung und Praxis sowie zu lebenslangem Lernen erforderlich.

Die Einführung neuer Studienstrukturen in Deutschland kann nur eingebettet in den sogenannten Bologna-Prozess der EU erfolgen. Im Rahmen des weiteren Ausbaus der EU wird die Schaffung eines einheitlichen Europäischen Hochschulraums angestrebt. In der Bologna-Erklärung vom 19. Juni 1999 haben die für Hochschulwesen zuständigen Minister von 30 europäischen Staaten beschlossen, bis zum Jahr 2010 einen einheitlichen Europäischen Hochschulraum zu verwirklichen und zu diesem Zwecke auf eine Konvergenz der jeweiligen Hochschulsysteme in Europa hinzuarbeiten. Diese Bestrebung haben die Minister in einer turnusmäßigen zweiten Konferenz nach zwei Jahren in Prag bestätigt (Prager Communiqué vom 19.05.2001).

Die nächste Konferenz fand im September 2003 in Berlin statt, auf der eine Berliner Erklärung zu den Fortschritten bzw. bezüglich der Leitlinien und Schwerpunkte für die nächsten Schritte des Prozesses zur Schaffung eines Europäischen Hochschulraums veröffentlicht wurde. Die Fassung der Erklärung anlässlich der Berliner Konferenz wird durch die Bologna-Preparatory-Group (BPG) auf europäischer Ebene vorbereitet.

In Umsetzung der Zielstellung der Bologna-Erklärung werden seit Ende der 90er Jahre an deutschen Hochschulen mehr und mehr neue Studiengänge mit den Abschlüssen „Bachelor“ und „Master“ angeboten. Mit kürzeren und strafferen Studiengängen ist ein schnelleres Reagieren auf aktuelle Entwicklungen möglich; gleichzeitig können sich die Studierenden entsprechend ihren Interessen und Fähigkeiten für ein Studium entscheiden.

Mit der Einführung von konsekutiven BA/MA-Studiengängen an Universitäten und Fachhochschulen besteht die Notwendigkeit und die Chance,

- das bestehende begrenzte Fächerspektrum der Fachhochschulen deutlich zu erweitern,
- das quantitative Schwergewicht in den Bereich der praxisorientierten Studienangebote, die auf eine wissenschaftlich fundierte Qualifizierung für berufliche Tätigkeitsfelder ausgerichtet sind, zu verlagern,
- die Heranbildung eines exzellenten und international konkurrenzfähigen wissenschaftlichen Nachwuchses

und die forschungsorientierte Ausbildung für berufliche Tätigkeiten außerhalb von Lehre und Forschung an den Universitäten zu verstärken.

3.3 Qualitätssicherung

Mit der Einführung konsekutiver Studiengänge in Deutschland stellt sich die Frage nach einem neuen Verfahren der Qualitätssicherung, das unter Beachtung von Mindeststandards die Vergleichbarkeit und die Qualität von Lehre, Studium und Abschlüssen sichert. Akkreditierungsverfahren, wie sie in vielen Ländern bereits Praxis sind, werden als besonders geeigneter Weg angesehen,

- den Wettbewerb zwischen den Hochschulen zu fördern,
- Vielfalt zu ermöglichen,
- Qualität zu sichern und
- Transparenz herzustellen.

Akkreditierungsverfahren müssen, wenn sie die Funktion der Qualitätssicherung erfüllen wollen, überregional angelegt sein. Deshalb wurde in Deutschland im Jahre 2001 ein länderübergreifender Akkreditierungsrat gebildet, dem Wissenschaftler, Vertreter der Berufspraxis, Studierende sowie Vertreter der Hochschulen und der Länder angehören. Die fachlich-inhaltliche Begutachtung der Bachelor- und Masterstudiengänge wird von Akkreditierungsagenturen durchgeführt. Gegenstand der Akkreditierung der Studiengänge ist, ob ein bestimmtes Studienangebot von der nach wissenschaftlichen und berufsbezogenen Kriterien zu beurteilenden Qualität und Aktualität geeignet ist, den Studierenden bzw. den Absolventen sinnvolle, berufsverwertbare Kenntnisse zu vermitteln und sich international vergleichbar in ein Gefüge akademischer Studienangebote einzuordnen.

3.4 Wettbewerb um die besten Köpfe

Ein weiterer Aspekt der Qualitätssicherung ist die Gewinnung und Auswahl des Lehrpersonals. Es ist ein offenes Geheimnis, dass der „Wettbewerb um die besten Köpfe“ weltweit schärfer geworden ist und dass deutsche Wissenschaftler häufig eine Beschäftigung im Ausland einer Tätigkeit an deutschen Hochschulen vorziehen. In seiner Empfehlung zur Personalstruktur der Universitäten und zur Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses vom Januar 2001 spricht sich der Wissenschaftsrat³ für eine Reform der Personalstruktur und der Qualifizierungswege für den wissenschaftlichen Nachwuchs aus. Danach muss die Eignungsfeststellung für Hochschullehrer künftig durch ein im Anspruchsniveau gleichwertiges, international anschlussfähiges und wettbewerbsorientiertes Verfahren erfolgen.

Der Wissenschaftsrat empfiehlt weiter, eine auf fünf Jahre befristete Nachwuchs- oder Juniorprofessur zu schaffen. Nachwuchsprofessoren sind den übrigen Professoren korporationsrechtlich gleichzustellen und in die Grundausrüstung der Fachbereiche einzubinden. Die Besetzung von Nachwuchsprofessuren erfolgt durch ein Berufungsverfahren. Voraussetzungen für die Berufung sind eine herausragende Promotion, Lehrerfahrung und



zusätzliche wissenschaftliche Leistungen, über deren Umfang die aufnehmende Hochschule je nach Bedarf und Profil entscheiden muss. Der Nachwuchsprofessor muss mindestens einmal die Einrichtung wechseln, entweder bei Berufung oder nach Ablauf der fünf Jahre. Falls er von außen berufen worden ist, sollte die Nachwuchsprofessur nach positivem Ausgang eines Begutachtungsverfahrens nach fünf Jahren in eine unbefristete Professur umgewandelt werden können („tenure track“).

Das System der Nachwuchs- bzw. Juniorprofessuren wurde mittlerweile durch die Bundesländer umgesetzt. Wo erforderlich, werden noch in diesem Jahr die Hochschulgesetze angepasst.

3.5 Stärkere Autonomie der Hochschulen

Die Hochschulen stehen vor der Herausforderung, sich im internationalen und nationalen Wettbewerb mit anderen Hochschulen erfolgreich behaupten zu müssen. Profilbestimmung/Schwerpunktbildung, Spezialisierung und Kooperation stehen dabei im Mittelpunkt. Mehr Autonomie der Hochschulen ist die Voraussetzung für die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und die Entfaltung weiterer Leistungspotenziale. Der Staat als wichtigster Förderer der institutionalisierten Wissenschaft muss sich aus der Detailsteuerung der Hochschulen zurückziehen, der Übergang zu Deregulierung und Dezentralisierung muss konsequent gegangen werden.

Die Leitung einer Hochschule entscheidet über die Gestaltung der Fachbereiche und evaluiert sie auf der Grundlage von Lehr- und Forschungsberichten. Sie stellt den Haushalt auf, bewirtschaftet ihn und weist den Fachbereichen Stellen und Mittel befristet und leistungsbezogen zu. Sie bereitet die Konzepte für die Hochschulentwicklung vor und setzt sie nach Entscheidung des Senats um. Gleichzeitig ist sie Dienstvorgesetzter. Dieses Aufgabenprofil erfordert Leiterpersönlichkeiten, die nicht nur in der Scientific Community anerkannt sind, sondern auch Kompetenzen im Managementbereich von Wissenschaft und Wirtschaft haben müssen.

Auf der Fachbereichsebene wurde das Amt des Dekans aufgewertet. Zusätzliche Aufgaben führen zu erweiterten Befugnissen. So stellt der Dekan das Lehr- und Prüfungsangebot sicher und erhält in diesem Zusammenhang ein Weisungsrecht gegenüber den Professoren und Mitarbeitern. Als neue Aufgabe kommt die Evaluation der Einrichtungen des Fachbereichs hinzu, die in Lehr- und Forschungsberichte an den Präsidenten einmünden und zu einer leistungsbezogenen Mittelvergabe führen soll.

Um die Mitbestimmung der Mitglieder der Hochschule zu sichern, wird der Senat zum verfassungsgebenden Organ und zugleich unter Zuordnung zusätzlicher Kontrollbefugnisse zum Aufsichtsgremium in akademischen Fragen ausgestaltet.

In Zeiten knapper öffentlicher Finanzen ist eine zielorientierte Steuerung notwendig. Den Hochschulen muss mehr Finanzverantwortung übertragen werden;

Anreize zu effizienterem wirtschaftlichen Handeln sind zu schaffen. Ein Instrument dafür ist die leistungsbezogene Mittelvergabe. Die leistungsorientierte Mittelverteilung trägt der wachsenden Eigenverantwortung der Hochschulen Rechnung, setzt Anreize für eine Erhöhung der Leistungen auf allen Ebenen und fördert die Wettbewerbsorientierung im Hochschulsystem.

In verschiedenen Ländern werden bereits Modelle zur leistungsbezogenen Mittelvergabe angewendet. Sie beschränken sich in der Regel auf die Zuschüsse für Lehre und Forschung. Alle Modelle differenzieren zwischen einem volumen- bzw. belastungsorientierten und einem leistungs- bzw. anreizorientierten Teil.

Die Anwendung von Modellen der leistungsabhängigen Mittelvergabe ist Teil einer umfassenden Reform der staatlichen Steuerungsmodelle für die Hochschulen. Wesentliche Bausteine des Modells sind: Grundzuweisung, die leistungsbezogene Zuweisung und die Zuweisung für Strukturentwicklung. Die Hochschulen werden Globalhaushalte erhalten, sodass sie die ihnen nach dem Verteilungsmodell zustehenden Mittel flexibel einsetzen und eigenverantwortlich Schwerpunkte setzen können. Ein angemessenes Berichtswesen sorgt dafür, dass der Einsatz der Mittel transparent bleibt und die Hochschulen Rechenschaft über die Verwendung öffentlicher Mittel geben.

An den Hochschulen wird derzeit eine neue Professorenbesoldung eingeführt, die leistungsbezogene Elemente beinhaltet und damit auch Anreize für die Erhöhung der Leistungen der einzelnen Professoren gibt.

Zunehmend entstehen private Hochschulen in Deutschland, die das Studienangebot staatlicher Hochschulen zwar nicht ersetzen, aber sinnvoll ergänzen können, innovative Anstöße geben und belebend auf Wettbewerb/Reform des Hochschulsystems wirken.

Die Qualität eines Landes als „Wissenschaftsstandort“ und die Qualität der Hochschulen hängt auch davon ab, ob die zukünftigen Forscher Studienbedingungen vorfinden, die Mit- und Selbsttätigkeit erleichtern. Hochrangige Forschung verlangt auch Nachwuchsförderung. Diese ist aber nur dann wirklich möglich, wenn die Hochschulen der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses gezielt Priorität einräumen. Die Ressourcen der Hochschulen und der außerhochschulischen Forschungseinrichtungen müssen dafür stärker genutzt, die Kooperation zwischen ihnen muss vertieft werden – das betrifft die Forschungsgegenstände wie die gemeinsame Betreuung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

3.6 Netzwerkbildung/Campus Germany

Neben der Kompatibilität und Internationalität der Studienabschlüsse ist ein weiteres wichtiges Feld die Vernetzung der Hochschulen. Hier bietet sich übrigens – um zur Familie Humboldt zurückzukehren – Alexander von Humboldt als historisches Vorbild an: Er gilt als einer der größten Kommunikatoren seiner Zeit. Die Namen der-



jenigen, mit denen er in Kontakt stand, würden Telefonbücher füllen. Er hat mehr Briefe verfasst als Goethe. Man schätzt deren Zahl auf 50.000 (allein rund 13.500 sind im Wortlaut oder in Ausschnitten erfasst). In unsere Begriffswelt übertragen könnte man ihn durchaus als einen Meister des Networking bezeichnen.

Netzwerkbildung spielt heute für die Entwicklung von Lehre und Forschung an deutschen Hochschulen eine wichtige Rolle. Ihre Bedeutung nimmt weiter zu. Dabei beschränkt sich die Vernetzung nicht auf die Hochschulen untereinander. Über den Hochschulsektor hinaus werden mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Wirtschaft Verknüpfungen geschaffen. Den Schwerpunkt bilden heute noch regionale Netzwerke zwischen den Hochschulen und Einrichtungen im Bundesland oder der Region. Die überregionale und internationale Vernetzung insbesondere in der Lehre steht noch am Anfang. Sie wird aber gezielt vorangetrieben. Ein realistisches, wenn auch fernes Ziel ist die vernetzte europäische Hochschule.

Was bedeutet Vernetzung im Hochschulbereich konkret?²⁴ Lassen Sie mich beispielhaft den Prozess der Vernetzung der Hochschulen des Landes Brandenburg darstellen, der – abgesehen von einigen Besonderheiten, die sich insbesondere aus der Lage des Landes am Schnittpunkt zu Osteuropa ergeben – beispielhaft für die Entwicklung des deutschen Hochschulwesens gesehen werden kann.

Die Hochschulen des Landes Brandenburg orientieren sich in ihrer Entwicklung am Bild einer offenen und vernetzten Hochschule. Sie reagieren flexibel auf die sich rapide verändernden Bedingungen des Arbeits- und Bildungsmarktes. Sie nehmen die steigenden Legitimationsanforderungen an Lehre und Forschung an. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden partnerschaftlich mit anderen Hochschulen und Forschungseinrichtungen, der Wirtschaft und der Verwaltungen realisiert. Die Erfahrungen aus diesen Kooperationen wiederum werden für die Entwicklung modularisierter, kombinierter und vernetzter Angebote in der Lehre genutzt. Hier einige Beispiele:

1. An der BTU Cottbus wurde als In-Institut das „Forschungszentrum Bergbaulandschaften“ gegründet. Dieses organisiert sowohl den regional auf das Fallbeispiel Niederlausitz ausgerichteten Forschungsverbund des SFB 565 „Entwicklung und Bewertung gestörter Kulturlandschaften“, als auch das „European Network for long-term Forest Ecosystem and Landscape Research“ ENFORS, das „Research Network Minesite Recultivation“ (RENET) sowie zahlreiche mit weltweiten Partnern durchgeführte Forschungsvorhaben. Das Zentrum unterhält ein internationales Forschungsnetzwerk zum Austausch von wissenschaftlichen Ergebnissen und Publikationen, in das aktuell 50 Partnerinstitutionen aus 20 Ländern einbezogen sind. An der Hochschule ist weiter ein „Landeskompetenzzentrum Energie“ im Aufbau, in dem die regionalen Stromerzeuger und -verteiler wie Vattenfall u. a. sowie zahlreiche kleinere Unternehmen in Beziehung

zu den energietechnisch und energiewirtschaftlich ausgerichteten Forschungsressourcen der BTU gesetzt werden. Die Landesregierung plant, mit Unterstützung dieses Kompetenzzentrum die „Energiestrategie 2010“ des Landes umzusetzen. Gemeinsam mit der FH Lausitz wird derzeit ein Studiengang „Computational Mechanics“ aufgebaut. Mit der FH Brandenburg wird gemeinsam der Studiengang „Technologie- und Innovationsmanagement“ angeboten.

2. Wissenschaftler der Universität Potsdam arbeiten intensiv mit Forschern der Berliner Hochschulen zusammen. Es entstehen regionale Netzwerke, die äußerst befruchtend auf die Entwicklung der Forschungslandschaft Berlin-Brandenburg wirken. So wurde an der Universität Potsdam ein gemeinsam mit den drei Berliner Universitäten getragener interdisziplinärer Masterstudiengang „Master of Polymer Science“ eingerichtet.
3. Im kürzlich gegründeten „Institutionellen Netzwerk zur Bioinformatik“ kooperieren Arbeitsgruppen des Instituts für Informatik und des Instituts für Biochemie und Biologie der Universität Potsdam, des Max-Planck-Instituts für Molekulare Pflanzenphysiologie und des Fraunhofer-Instituts für Biomedizinische Technik mit dem Ziel, die Bioinformatik am Wissenschaftsstandort Golm zu fördern und neue Aktivitäten aufzubauen.
4. Die europaweit einmalige wissenschaftliche, mediale und softwaretechnische Kompetenzkonzentration im Raum Potsdam soll für den Aufbau eines zukunftsorientierten Kompetenzzentrums für nonlineare Medien genutzt werden. Unter Federführung der Hochschule für Film und Fernsehen in Potsdam Babelsberg sollen die medialen nonlinearen Aktivitäten der Universität Potsdam, der FH Potsdam und des Hasso Plattner Instituts zusammengeführt werden. Vorgesehen ist eine enge Zusammenarbeit mit Rundfunk- und Fernsehanstalten (u. a. RBB, ARD Digital), mit kleinen und mittleren Unternehmen der Medienindustrie sowie mit weltweit tätigen Großunternehmen.
5. Der Wissenschafts- und Forschungsaustausch zwischen der Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder) und der Adam-Mickiewicz-Universität Poznan führte zum Aufbau des Collegium Polonicum, einer gemeinsam mit Polen betriebenen Wissenschaftseinrichtung in Slubice, die in der Hochschullandschaft einmalig ist. Ziel ist die Unterstützung der Zusammenarbeit polnischer und deutscher Wissenschaftler und Studierender; die Durchführung von Forschungsprogrammen unter besonderer Berücksichtigung der Probleme der europäischen Integration und die vergleichende Forschung unter internationalem und interkulturellem Aspekt.
6. Vom DAAD gefördert wird das International Quality Network „Kopplungsprozesse und ihre Strukturen in der Geo- und Biosphäre“. Es handelt sich um ein Graduiertenzentrum an der Universität Potsdam, das



den internationalen Austausch von Postdocs und Doktoranden sowie die Mobilität zwischen unterschiedlichen wissenschaftlichen Einrichtungen fördern soll. Beteiligt sind Wissenschaftler aus den Bereichen Erd- und Lebenswissenschaften sowie der Mathematik und Physik. Partnereinrichtungen sind im Land Brandenburg ansässige Forschungseinrichtungen.

3.7 Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft/ Stärkung des Praxisbezugs

a. Fachhochschulen

Die Fachhochschulen des Landes Brandenburg sind in der anwendungsbezogenen Forschung und Entwicklung äußerst aktiv und werben beachtliche Drittmittel ein. Sie kooperieren dabei insbesondere mit der regionalen Wirtschaft, aber auch mit anderen Hochschulen und außerhochschulischen Forschungseinrichtungen. Die Fachhochschulen haben sich als unverzichtbares Element des deutschen Hochschulsystems erwiesen. Durch anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung und die Einrichtung konsekutiver Studiengänge haben sie zusätzliches Profil gewonnen. Allerdings – so forderte der Wissenschaftsrat in seiner Empfehlung zur Entwicklung der Fachhochschulen vom Januar 2002 – muss das vorhandene wissenschaftliche Potenzial künftig noch intensiver genutzt werden.⁵ Der Wissenschaftsrat sieht insbesondere folgende Defizite:

- Der Ausbaustand der Fachhochschulen ist angesichts des zukünftigen Bedarfs an praxisorientiert ausgebildeten Hochschulabsolventen und der inhaltlichen Anforderungen an eine qualitativ hochwertige Ausbildung nicht befriedigend.
- Das Fächerspektrum der Fachhochschulen sollte weiter ausgebaut werden. Die Fachhochschulen können noch nicht in hinreichendem Maße eigenständig Forschung betreiben.
- Wissenschaft und Forschung müssen sich heute ebenso wie die Lehre verstärkt nach dem konkreten Nutzen, sprich dem wirtschaftlichen Wert ihres Wirkens fragen lassen.

b. Duale Studiengänge

Ein augenfälliges Beispiel für die fließend gewordenen Grenzen zwischen betrieblicher Ausbildung und Hochschulausbildung sind die dualen Studiengänge. Hier wird bereits während des Hochschulstudiums begleitend eine betriebliche Ausbildung absolviert. Das duale System zielt auf eine größere Praxisnähe und ganzheitliches Denken in technischen und wirtschaftlichen Zusammenhängen. An der Fachhochschule Wildau werden gegenwärtig in enger Kooperation mit Unternehmen zwei duale Studiengänge mit einer Regelstudienzeit von drei Jahren erprobt: Bioinformatik/Biosystemtechnik und Telematik. Die Praxispartner stammen überwiegend aus der Region Berlin-Brandenburg.

Anfang 2001 startete das Bundesministerium für Bildung und Forschung eine Initiative zur Bündelung optischer Technologien in regionalen Netzwerken. Ziel ist es, die optischen Technologien zu einer wesentlichen Querschnitt-Schlüsseltechnologie zu entwickeln. Eines von

insgesamt acht Kompetenznetzen für „Optische Technologien“ in Deutschland ist OpTecBB e.V. In Zusammenarbeit zwischen den Technischen Fachhochschulen in Berlin und Wildau sowie der Fachhochschule Brandenburg und Wirtschaftsunternehmen aus dem Raum Berlin-Brandenburg wurde der Modellstudiengang „Master of Engineering in Photonics“ geschaffen. Kooperationsverträge und Zielvereinbarungen fixieren die von allen Seiten zu erbringenden Leistungen.

4 Schlussbetrachtung

Die mit den Namen Wilhelm v. Humboldts verbundene Universitätsidee zu Beginn des 19. Jahrhunderts hat das Hochschulwesen in Brandenburg/Preußen und Deutschland nachhaltig befruchtet. Die durch sie bewirkte Entwicklung der Wissenschaft, insbesondere der Naturwissenschaften, hat die preußischen und deutschen Universitäten in der Zeit des Kaiserreiches in eine führende Position gebracht.

Wenn gegenwärtig so viel Bewegung in die deutschen Hochschulen gekommen ist, hat das damit zu tun, dass die Hochschulen den veränderten Rahmenbedingungen nicht mehr gerecht werden konnten. Das Humboldtsche Prinzip der Einheit von Lehre und Forschung ließ sich unter den Bedingungen der Massenuniversität, wie sie sich vielerorts in Deutschland herausgebildet hat, nicht mehr für alle Studierenden verwirklichen. Hinzu kam, dass die Praxis nicht von allen Hochschulabsolventen eine gleichermaßen hohe Forschungsbefähigung erwartet. Nur an diejenigen, die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu lösen haben, sind entsprechende Erwartungen gerichtet.

Das neue konsekutive Ausbildungssystem wird den differenzierten Praxisanforderungen an die Hochschulabsolventen gerecht. Es gewährleistet, dass die Master-Absolventen eine dem Prinzip der Einheit von Lehre und Forschung entsprechende Forschungsqualifizierung erfahren. So gesehen geht es bei den sich gegenwärtig vollziehenden Veränderungen im deutschen Hochschulwesen um die Bewahrung des Humboldtschen Erbes in Deutschland. Am Ende dieser Entwicklung, die mit Differenzierungen zwischen den Hochschulen verbunden ist, gibt es dann hoffentlich herausragende Fakultäten und herausragende Hochschulen, die den Vergleich mit internationalen Spitzenuniversitäten nicht zu scheuen brauchen und für Studieninteressierte aus aller Welt attraktiv sind.

Anmerkungen

- 1 Zu den Neuansätzen ab 1990, die sich aus dem Umbau des Wissenschaftssystems in den neuen Bundesländern ergeben haben, vgl. Christoph Helm/Eberhard Ambos/Dierk Behrmann/Hannes König: Erfahrungen und Erkenntnisse zur Gewinnung von Studenten für das Ingenieurstudium, in: Gießerei 86, Zeitschrift der Deutschen Gießereivereinigungen, 12/1999, S. 65-68.



ders.: Verwaltungsinformatik als Teil der Hochschulentwicklung und Hochschulreform in Sachsen-Anhalt, in: Verwaltungsinformatik 2000. 3. Internationale Fachtagung „Verwaltungsinformatik“ der Gesellschaft für Informatik, S. 181-188, Halle 2000.

ders.: Ludwig Ross und seine Bedeutung für die Klassischen Altertumswissenschaften, Akzidenzen 12, Flugblätter der Winckelmann-Gesellschaft, Stendal 2000. (auch abgedruckt in: Orientwissenschaftliche Hefte 1/2001, Orientwissenschaftliches Zentrum der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, S. 1-13).

ders.: Zehn Jahre Wissenschaftsentwicklung in den neuen Bundesländern an Hand des Paradigmas Sachsen-Anhalt, Kurzinformation HIS, Hannover 2001.

ders.: Hochschulen und Forschungseinrichtungen Ostdeutschlands in Kooperation mit Osteuropa, in: Forum der Forschung. Wissenschaftsmagazin der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Heft 12, S. 13-33, Cottbus 2001.

ders.: Europäische Integration, Bildung und Forschung – die Erfahrungen des Landes Brandenburg. in: Societas Humboldtiana Polonorum, Band 9, S. 117-125, Warschau 2001.

ders.: Innovation für Sachsen-Anhalt, in: Aufbruch. Festschrift zur zehnjährigen Gründung des Standortes Dessau der Hochschule Anhalt, S. 15-19, Dessau 2002.

ders.: Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit durch den Aufbau regionaler Innovationssysteme, in: Regionale Innovationssysteme, Wildauer Schriftenreihe Innovationsmanagement, Bd. 2, S. 19-24, Wildau 2002.

ders.: Ausblick: Neues Lernen und Multimedia, in: Wissenschaftliche Beiträge der Fachhochschule Lausitz, 1. Ausgabe, S. 69-74, Senftenberg/Cottbus 2002.

ders.: Die Fachhochschulen in den Hochschulsystemen der Länder. Möglichkeiten und Grenzen in Brandenburg, in: Hochschullehrerbund, Band 43, Heft 5, S. 40 – 44, Bonn 2002.

- 2 Vgl. Empfehlung zur Einführung neuer Studienstrukturen und -abschlüsse (Bakkalaureus/Bachelor – Magister/Master) in Deutschland vom 21.01.2000 (Drs. 4418/00).
- 3 Vgl. Personalstruktur und Qualifizierung: Empfehlungen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses vom 19.01.2001 (Drs. 4756/01).
- 4 Vgl. dazu im Detail:
Helm: Wissenschaftsentwicklung, S. 25 ff.
ders.: Hochschulen, S. 18 ff.
ders.: Integration, S. 120 ff.
ders.: Wettbewerbsfähigkeit, S. 22 ff.
- 5 Vgl. Empfehlungen zur Entwicklung der Fachhochschulen vom 18.01.2002 (Drs. 5102/02).

Autor

Dr. Christoph Helm

Staatssekretär im Ministerium für Wissenschaft,
Forschung und Kultur des Landes Brandenburg
Dortustraße 36, 14467 Potsdam
Tel. +49 3375 866-4557
E-Mail: christoph.helm@mwfk.brandenburg.de

Auszeichnung einer hervorragenden Diplomarbeit der Technischen Fachhochschule Wildau mit dem GfPM-Preis 2002

Alfred Hentschel, Stephan Jahnke

Jährlich wird durch die Gesellschaft für Produktionsmanagement e. V. (GfPM) für sehr gute Diplomarbeiten auf dem gleichnamigen Fachgebiet der GfPM-Preis an Universitäts- und Fachhochschulabsolventen vergeben. Der Begriff „Produktionsmanagement“ wird durch die GfPM nicht nur auf das Thema „Fertigung“ reduziert, sondern umfasst darüber hinaus auch die Arbeitsvorbereitung, die Fertigungssteuerung, die Logistik, den Einkauf, die Qualitätssicherung, Personal- und Organisationsfragen und die Produktionsinformatik. Nicht zuletzt gehört mehr als nur oberflächliches Wissen zum Finanz- und Rechnungswesen sowie zum Controlling und zum Produktentstehungsprozess bis hin zu den Vertriebsbelangen dazu.

Die Gesellschaft für Produktionsmanagement wurde 1976 als eingetragener Berufsverband gegründet. Im Brennpunkt stehen gesamtheitliche Aufgaben des Produktions- und produktionsnahen Dienstleistungsmanagements.

Für den GfPM-Preis 2002 wurden für diesen sehr komplexen Anspruch von namhaften Universitäten und Fachhochschulen sehr gute Diplomarbeiten mit einem hohen Bezug zur betrieblichen Praxis eingereicht, von denen in diesem Jahr ein 2. und 3. Preis vergeben wurden. Den 3. Preis erhielt die vorliegende Diplomarbeit mit dem Thema: „Schaffung von Planungsgrundlagen für die Produktionsvorbereitung in der Firma HUCH GmbH Behälterbau Neuruppin unter Beachtung von Kosten Gesichtspunkten und wirtschaftlichen Losgrößen.“



Abb. 1: Firmenlogo

Dies freut uns um so mehr, weil die Bewerbung dieser Arbeit für ein klein- bzw. mittelständisches Unternehmen gegenüber namhaften Unternehmen und Universitäten den Zuschlag bekommen hat.



Abb. 2: Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Stephan Jahnke und Prof. Dipl.-Ing. Alfred Hentschel

Die HUCH GmbH, ein Familienunternehmen mit 75-jähriger Geschichte, stellt Druck- und drucklose Behälter aus Stahl in zylindrischer Form her, die sowohl flüssige als auch gasförmige Medien aufnehmen können. Die Behälter werden in mehreren Größen (von 75 bis 3000 l) und Ausfertigungen auf Basis der Kundenwünsche hergestellt. Die etwa 600 verschiedenen Erzeugnisse des Fertigungssortimentes können in 13 Erzeugnisgruppen eingeteilt werden. Die größte Bedeutung haben die Druckwasserkessel, Solarspeicher und Luftbehälter. Damit ist die HUCH GmbH vor allem Zulieferer für Pumpenhersteller und Anbieter von Solar- und Heiztechnik.



Abb. 3: Erzeugnisse der Fa. HUCH GmbH

Angesichts steigender Produktionszahlen und wirtschaftlicher Expansion in den letzten zehn Jahren sind auch die Anforderungen des Marktes in Bezug auf die Qualität der Produkte und die Flexibilität und Innovation der Fertigung gestiegen. Um den Erwartungen der Kunden hinsichtlich kurzer Lieferzeiten und Termintreue gerecht zu werden, ist es notwendig, den Produktionsablauf und im Speziellen die Produktionsvorbereitung systematisch zu planen und ständig zu optimieren. Der vermehrte Einsatz von Planungstechniken in Verbindung mit adäquater Rechentechnik wird somit auch in klein- und mittelständischen Unternehmen wie der HUCH GmbH mit ihren rund 50 Beschäftigten und einer Produktionsfläche von etwa 2.500 m² unumgänglich.



Abb. 4: Werk I der Fa. HUCH GmbH



Die angefertigte Diplomarbeit steigt in diesen Veränderungsprozess in der Produktionsvorbereitung ein.

Es wurden grundlegende betriebliche Daten erstellt, die für die später beabsichtigte Implementierung in das vorhandene PPS-System unentbehrlich sind. Zunächst wurde der Ist-Zustand der betrachteten Produktionsstätte dargestellt und im Laufe dessen die vorhandenen Probleme und Schwachstellen aufgezeigt. Als Schwerpunkt in diesem Zusammenhang ist die Erfassung von arbeitsplatzbezogenen Kosten (Maschinenstundensätze) zu nennen.

Im Anschluss daran wurden aus dem Produktionsprogramm Typenvertreter ausgewählt, die das gesamte Produktspektrum repräsentieren. Für die Typenvertreter wurden die Arbeitsabläufe analysiert und Zeitmessungen durchgeführt. Da die aufgenommenen Zeiten stark von bestimmten Einflussgrößen abhingen, war die Anwendung von Planzeiten sinnvoll. Auf Basis des damit geschaffenen Zeitsystems in Form von Vorgabezeiten wurden dann die Arbeitspläne erstellt. Diese waren so gestaltet, dass sie als Typenarbeitsplan für jeden Behälter der jeweiligen Produktgruppe und für Neuentwicklungen als Arbeitsgrundlage genutzt werden können.

Die Arbeitspläne und vor allem die Festlegung von Zeiten (Vorgabezeitbestimmung) waren in diesem Zusammenhang der erste Schritt im Rahmen des Planungsprozesses in der Fertigung, ohne die eine weitergehende Planung von Auslastungen, Kapazitäten und Terminen gar nicht möglich war. Darüber hinaus ermöglichte die Erfassung der Zeiten je Einheit und der Rüstzeiten produktbezogene Kostenbetrachtungen. Dementsprechend mündeten die bisher gewonnenen Erkenntnisse in eine Kalkulation der Selbstkosten auf Basis von Maschinenstundensätzen, die zu einer Überprüfung des bestehenden Kalkulationsschemas führten.

Die Grundlage für eine weiterführende Betrachtung auf Teilkostenbasis war die Erfassung von fixen und variablen Stückkosten. Im Ergebnis dessen wurden zunächst wirtschaftliche Losgrößen bestimmt, um die Fertigung von Aufträgen zu minimalen Herstellkosten zu realisieren. Durch eine anschließende Untersuchung der Deckungsbeiträge und Gewinnschwellen für die ausgewählten Typenvertreter ließen sich dann objektive Aussagen über deren Wirtschaftlichkeit treffen.

Demzufolge werden hier Möglichkeiten aufgezeigt, wie neben den Marktforderungen an klein- und mittelständischen Unternehmen auch wirtschaftliche Aspekte bei der Zusammensetzung des Fertigungssortimentes stärkere Beachtung finden können.

Nun zu den einzelnen Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen: Durch die Anwendung des Kalkulationsschemas auf Basis von Maschinenstundensätzen wurde deutlich, dass einige Produktgruppen durch die pauschale Umlage der Fertigungskosten bisher zu hoch, andere wiederum zu niedrig kalkuliert wurden (Abweichung von +20 bis – 5 %). Dies ist mit der unterschied-

lichen Inanspruchnahme der Arbeitsplätze zu erklären und zeigt deutlich, dass die Selbstkosten entsprechend dem tatsächlichen Werteverbrauch der Erzeugnisse kalkuliert werden müssen, um Unter- bzw. Überbewertungen zu vermeiden. Denn durch das bestehende Kalkulationsschema werden die Kosten der Maschine auf alle Erzeugnisse gleichmäßig in Form der Fertigungsgemeinkosten verteilt. Infolge der Erweiterung der differenzierenden Zuschlagskalkulation durch die Rechnung mit Maschinenstundensätzen erhöht sich dementsprechend die Objektivität der Selbstkosten. Damit kann die Wirtschaftlichkeit eines Erzeugnisses besser beurteilt werden. So ist es nun möglich, vor allem im Bereich der Vorkalkulation für neue Produkte relativ genau festzustellen, welche Kosten zu erwarten bzw. durch die Erlöse zu erwirtschaften sind.

Aus der Aufteilung der Selbstkosten in fixe und variable Bestandteile ist zu erkennen, dass den fixen Kosten bei der HUCH GmbH mit etwa 10 bis 20 % nur sehr geringe Bedeutung zukommt. Die variablen Kosten dagegen bestimmen die Höhe der Selbstkosten entscheidend. Der größte Teil der variablen Kosten, die Materialkosten, nehmen somit in Bezug auf Kostensenkungspotenziale die höchste Priorität ein.

Die Ermittlung optimaler Losgrößen ergibt im Vergleich zur bisher gängigen Praxis in der HUCH GmbH, die Aufträge in Lose zu fünf oder zehn Einheiten aufzuteilen, starke Abweichungen. So schwanken die Stückzahlbereiche der optimalen Losgröße in den einzelnen Produktgruppen von 10 bis 60 Einheiten.

Die bedeutende Stellung der Materialkosten ist auch bei der Untersuchung der Deckungsbeiträge und Gewinnschwellen erkennbar. So weisen die Produkte der HUCH GmbH meist positive Deckungsbeiträge und eine Gewinnschwelle im positiven Stückzahlbereich auf. Die Gewinnzone wird also in vielen Fällen erreicht und eine wirtschaftliche Fertigung ist gegeben, mit Ausnahme der Produkte, welche einen extrem hohen Materialeinsatz bedingen. Hier muss es zu einer Reduzierung des Materialkostenanteils kommen, damit der Gewinn des Unternehmens nicht weiter belastet wird. Höhere Verkaufserlöse unterstützen zwar dieses Ziel, sind aber in einem stark kundenorientiertem Markt nicht in dem Maße durchsetzbar.

Aus den beschriebenen Betrachtungen ergibt sich ein Weg von aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten, der eine durchgängige Planung in der Arbeitsvorbereitung und eine objektive Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Fertigung ermöglicht. Die ganzheitliche Betrachtung des Planungsprozesses wird in Abbildung 5 noch einmal verdeutlicht.

Eine programmiertechnische Umsetzung dieser Problematik wurde der Arbeitsvorbereitung des Unternehmens in Form von zwei miteinander verknüpften Programmdateien auf Basis der Tabellenkalkulation „Excel“ zur Verfügung gestellt. Damit entstand ein Hilfsmittel, durch dessen Anwendung für jedes Erzeugnis ein Arbeitsplan mit der Festlegung der Vorgabezeiten erstellt werden kann. Aufbauend darauf können die auf dieser Weise im

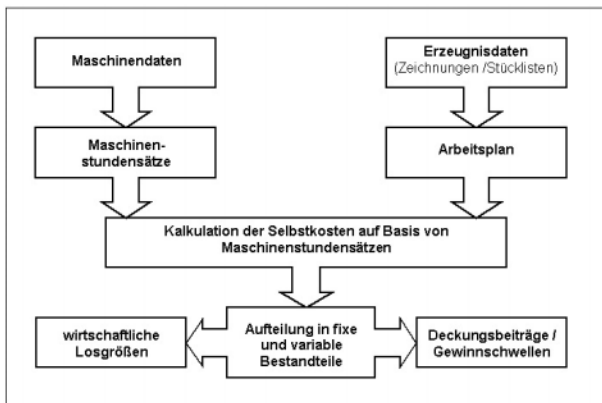


Abb. 5: Planungsprozess

Arbeitsplan zusammengefassten Daten und die auf Basis der Maschinendaten errechneten Maschinenstundensätze für eine Kalkulation der Selbstkosten mit Maschinenstundensätzen verwendet werden. Die dann wiederum die Grundlage für die weiteren Kostenbetrachtungen laut Abb. 5 bildet. Mit diesem Arbeitsmittel ist eine umfassende Betrachtung jedes Erzeugnisses in einer Datei möglich. Der Arbeitsaufwand wird so minimal. Die Excel-Datei, in der die Maschinenstundensätze berechnet werden, liefert die Datengrundlage für die Kalkulation der Selbstkosten. Die Maschinendaten sollten hier jährlich den betrieblichen Veränderungen angepasst werden. Die zweite Excel-Datei ist die Basis für die angestrebte Implementierung der Arbeitsplanung in das PPS-System und muss daher für jedes Erzeugnis erstellt werden. Danach ist zu überlegen, auf welche Art und Weise eine Zusammenführung der einzelnen Erzeugnisdaten in eine Datenbank erfolgen muss.

Grundprinzip der Excel-Programmierung ist es, Daten, die einmal erfasst bzw. errechnet worden sind, jeweils für die folgenden Berechnungen weiter zu nutzen. Das bedeutet, dass die einmal erfassten Maschinendaten für die Berechnung der Maschinenstundensätze dienen. Diese werden dann im Rahmen der Kalkulation der Selbstkosten mit den jeweiligen Vorgabezeiten multipliziert. Bei der Aufteilung der Selbstkosten in fixe und variable Bestandteile werden dieselben Maschinenstundensätze wieder verwendet und getrennt jeweils mit Rüstzeit und Zeit je Einheit multipliziert. Aus diesem Berechnungsschema werden anschließend bei der Ermittlung der wirtschaftlichen Losgröße die soeben bestimmten fixen und variablen Herstellkosten verwendet. Letztlich finden die fixen und variablen Selbstkosten im Rahmen der Berechnung der Deckungsbeiträge und Gewinnschwellen Anwendung.

Damit wird deutlich, dass die Aufgabe für den Arbeitsplaner nur darin liegt, für jedes Erzeugnis die Produktdaten einzugeben und im Rahmen der Vorgabezeitbestimmung die arbeitsplatzspezifischen Einflussgrößen festzulegen. Die Ergebnisse (Arbeitsplan, Selbstkosten, Losgröße, Deckungsbeitrag und Gewinnschwelle) werden dann automatisch berechnet. Somit erscheinen mit der Anwendung dieses Schemas die Entscheidungen der Arbeitsvorbereitung nicht mehr isoliert, sondern fügen sich vielmehr in ein Gesamtbild ein. Denk- und Hand-

lungsweisen in der Arbeitsvorbereitung sollten damit tiefgreifend verändert werden. Die vielfältigen, auf den Fertigungsprozess einwirkenden Faktoren können nun im stärkeren Maße in die betrieblichen Entscheidungen mit einbezogen werden. Die zu treffenden Entscheidungen werden dadurch im stärkeren Maße an wirtschaftlichen Aspekten ausgerichtet und so besser nachvollziehbar. Dies stellt die Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens dar.

Im Folgenden soll noch einmal zusammenfassend erörtert werden, welche längerfristigen Maßnahmen sich für die HUCH GmbH aus der angefertigten Diplomarbeit ergeben und in der nächsten Zukunft sinnvollerweise umgesetzt werden sollten.

Die bisher gewonnenen Aussagen führen zu dem Schluss, dass sich die bestehende Situation in der HUCH GmbH durch die zukünftige Entwicklung stark verändern wird. So wird sich der allgemeine Arbeitsaufwand, der im Zusammenhang mit der Fertigung der Behälter, aber auch immer mehr mit der Verwaltung steht, auf Grund steigender Produktionszahlen erhöhen. Dieser Mehraufwand lässt sich mit einer Hebung der Arbeitsproduktivität (durch Optimierung in der Arbeitsorganisation und stärkere Automatisierung) und mit einer Aufstockung des Personalbestandes in ausgeglichenem Maße abdecken. Im Zuge dieser expansiven Entwicklung des Unternehmens verändert sich auch die Stellung im Markt. Das hat Auswirkungen auf die Beziehungen sowohl zu den wirtschaftlichen Partnern (Kunden, Lieferanten, Banken), als auch zu den Konkurrenten. Im Allgemeinen verbessert sich dann die Verhandlungsposition so, dass jetzt beispielsweise bei der Beschaffung auf Grund der gesteigerten Abnahmemenge günstigere Einstandspreise erreicht werden. Damit wachsen die wirtschaftlichen Möglichkeiten vor allem in Bezug auf die Preisgestaltung. Demzufolge wird der allmähliche Übergang von einem eher handwerklichen Klein-Unternehmen mit geringem wirtschaftlichem Einfluss hin zu einem mittleren Industrie-Unternehmen mit größerer Bedeutung vollzogen.

Um sich auf die angesprochenen Veränderungen einstellen zu können und damit den Erfolg des Unternehmens weiterzuführen, sind geeignete Maßnahmen zu finden und umzusetzen. Zu diesem Zweck wurde ein Maßnahmenplan entwickelt, der die wichtigsten Erkenntnisse der Diplomarbeit zusammenfasst. Der nachfolgend abgebildete Maßnahmenplan beinhaltet Handlungsweisen, die vier Bereichen zugeordnet sind (s. Abb. 6). Die aufgeführten Maßnahmen sind Vorschläge, die eine innerbetriebliche Diskussion anregen sollen. Da Veränderungen im Unternehmen häufig mit einem Investitionsaufwand verbunden sind, ehe diese dann zu einer langfristigen Einsparung von Kosten führen, bleibt es natürlich der Geschäftsführung des Unternehmens vorbehalten, welche Bestandteile letztlich verwirklicht werden.

Die Ziele der HUCH GmbH für die Zukunft sind klar gesteckt. Durch die Überschreitung der Schwelle, zu einem mittleren Industrieunternehmen heranzuwachsen, erreicht die steigende Komplexität der Fertigung einen



Bereich	Maßnahme	Wirkung
Organisation / Personal	• Verstärkung des Vertriebs im Außendienst • Verstärkung im Lagerbereich • Festlegung von Zuständigkeiten und genaue Verteilung der Arbeitsaufgaben	Entlastung der Innendienstmitarbeiter Entlastung der Produktionsmitarbeiter Verringerung von Fehlsteuerungen und Mehrarbeit
Produktion / Logistik	• Verringerung des manuellen Transportes • einheitliche Transportmittel • Einsatz von mehrstöckigen Paletten-Regallagern, anstatt der Bodenlagerung im Freien • einheitliche Lagerformen • Erstellung von Arbeitsplänen	Verkürzung der Übergangszeiten zwischen den Arbeitsplätzen Abbau von Anpassungsproblemen Erhöhung der Effektivität der Lagerfläche Abbau von Anpassungsproblemen verbesserte Planbarkeit der Fertigung
Materialwirtschaft	• make-or-buy-Entscheidung bei Materialbeschaffung • Bestellmengen optimieren • Losgrößen optimieren	Senkung der Materialkosten Senkung der Bestell-/Lagerkosten Senkung der Herstellkosten
Kostenrechnung	• Differenzierte Kostengliederung nach Kostenarten/-stellen • Kalkulation der Selbstkosten mit Maschinenstundensätzen • Untersuchung der Deckungsbeiträge u. Gewinnschwellen	genauere Bestimmung der Gemeinkostenzuschläge Erhöhung der Objektivität Überwachung der Wirtschaftlichkeit

Abb. 6: Maßnahmenplan

Grad, der eine manuelle Regelung der Fertigungsprozesse unmöglich macht. Daher müssen Planungstechniken zum Einsatz kommen, die den unweigerlich steigenden Arbeitsaufwand der unternehmerischen Tätigkeit durch Automatisierung abzudecken versuchen. Um den betrieblichen Werteverzehr besser überwachen und steuern und damit eine kostenminimale Fertigung realisieren zu können, muss ein effektives Kosten-Controlling eingeführt werden. Nur so kann die bisherige Erfolgsgeschichte der HUCH GmbH auch in der Zukunft fortgesetzt werden.

Um den allgemein steigenden Ansprüchen, denen sich die heutigen Unternehmen gegenübergestellt sehen, gerecht zu werden, ist es notwendig, ingenieurtechnische und betriebswirtschaftliche Sichtweisen zu kombinieren. So können Betriebswirte nur mit Kenntnis der technischen Hintergründe und Ingenieure nur auf der Grundlage von Kosteninformationen vernünftige Entscheidungen treffen. Mit der bereichsübergreifenden Betrachtung der Aufgaben in der Arbeitsvorbereitung versuchte die vorliegende Diplomarbeit dieser Richtung zu folgen und so anhand von Beispielen Hilfsmittel für die Lösung von Problemen in der HUCH GmbH zu entwickeln. So zeigten die Ergebnisse der Kostenbetrachtung, dass die bisher vom Unternehmen getroffenen Aussagen zu pauschal sind und zu falschen Entscheidungen führen können. Auch die Einsparung von Kosten kann nur dann zielgerichtet erfolgen, wenn der betriebliche Werteverzehr detailliert aufgeschlüsselt wird. Eine an die Diplomarbeit anknüpfende Auseinandersetzung mit den angearbeiteten Themen erfolgt in Form von weiteren Praktikanten- und Diplomandentätigkeiten in Zusammenarbeit mit der TFH Wildau.

Autor

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Stephan Jahnke
 Dieselstraße 54
 14482 Potsdam

Sept. 1997 – 2001: Studium Wirtschaftsingenieurwesen an der TFH Wildau; Feb. – Juni 2001: Diplomarbeit bei der HUCH GmbH; seit Juli 2001: Tätigkeit als Projektingenieur für Zeitwirtschaft/Logistik bei der ThyssenKrupp Umformtechnik GmbH Ludwigsfelde (Aufgabenbereich: Arbeitsstudium, Prozessrationalisierung; Durchführung von Ablauf-, Zeit- und Multimomentstudien; Neu- und Weiterentwicklung von Planzeitkatalogen; Erstellung von Kostenvergleichen/Wirtschaftlichkeitsrechnungen; Gestaltung und Optimierung der innerbetrieblichen Logistik; Angebotserstellung zu Transport und Verpackung)

Betreuer der Diplomarbeit

Prof. Dipl.-Ing. Alfred Hentschel
 Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieur-/Wirtschaftsingenieurwesen
 Labor Produktionstechnik/Produktionsvorbereitung
 Telefon +49 3375 508-117, -133
 E-Mail: hentsch@igw.tfh-wildau.de

Internationale Forschungsk Kooperation mit der Slovakei:

Poröse Sinterkeramikformstoffe mit katalytischer Wirkung durch thermische Behandlung von mit Zeolithen hochgefüllten Schaumstoffen auf der Basis von Recyclaten

Martin Lorko, Peter Oravec, Karl-Heinz Schmidt, Hans-Dieter Hunger, Gerhard Behrendt

1 Einleitung

Poröse Sinterkeramikwerkstoffe mit unterschiedlichen Porenstrukturen werden heute in vielen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt, z. B. als Trennmembranen, als Katalysatorträger, als Trägermaterialien in der Biotechnologie. Dabei sind zwei Arten von Sinterkeramiken zu unterscheiden: zum einen wabenförmige Sinterkeramiken und zum anderen schaumförmige Sinterkeramiken. Die wabenförmigen, oft als Strang hergestellten Sinterkeramiken, werden in immer größerem Maße als Trennmedien, z. B. in der Wasser- und Abluftreinigung, verwendet. Sie sollen hier jedoch nicht weiter betrachtet werden. Die schaumförmigen Sinterkeramiken mit unterschiedlich großer Zellgröße bzw. Zellgrößenverteilung werden als Träger oder als Hochtemperaturisolation eingesetzt. Sie werden nach zwei verschiedenen Technologien hergestellt: zum einen durch die Füllung der keramischen Massen mit organischem Material, das beim Brennprozess verdampft wird, und zum anderen durch Beschichten von Schaumstoffen mit Keramikschlämmen und deren Brennen, wobei während des Brennens das organische Schaummateriale verdampft wird.

An der Technischen Universität Kosice werden Untersuchungen mit schalldämmenden Materialien für Verbrennungskraftmaschinen durchgeführt, für die verschiedene Stoffe eingesetzt und mittels schalltechnischer Messungen untersucht werden. Weiterhin stehen in der Slowakischen Republik natürliche Zeolithe zur Verfügung, die bereits bei relativ niedrigen Temperaturen zu sintern beginnen. An der Technischen Fachhochschule Wildau wurden im Rahmen von Forschungsk Kooperationen mit der mittelständischen Wirtschaft Hartschaumstoffsysteme speziell für einen hohen Füllstoffgehalt auf der Basis von Recyclaten entwickelt. Aus diesen Recyclat-Systemen und den Zeolithen der slowakischen Partnerinstitution wurde ein Verfahren zur Herstellung von Sinterkeramikwerkstoffen entwickelt (1).

In einem vom Internationalen Büro des BMBF geförderten Forschungsvorhaben wurden in den Jahren 2000 bis 2003 Untersuchungen zur Herstellung von keramischen Schaumstoffen und ihrer Charakterisierung hinsichtlich der Schalldämmung sowie der Adsorption von Schadstoffen auf ihrer Oberfläche durchgeführt. Die gemeinsam erhaltenen Ergebnisse sollen hier kurz dargestellt werden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Verwendete Materialien

2.1.1 Zeolithe

Als keramisches Basismaterial wurden in der Slowakischen Republik natürlich vorkommende Zeolithe der Lagerstätte Ni•ný Hrabovec verwendet (Abbildung 1).



Abb. 1: Zeolith aus der Grube Ni•ný Hrabovec (Originalzustand)

Die Zusammensetzung der Mineralien ist

Clinoptilolit	60,0 %	Plagioklas	5,2 %	Quartz	3 %
Cristobalit	8,6 %	amorphe Phase	8,0 %	Biotit	1 %

Die chemische Zusammensetzung ist:

Al ₂ O ₃	11,5 - 13,10 %	CaO	2,70 - 5,20 %
K ₂ O	2,2 - 3,40 %	Fe ₂ O ₃	0,70 - 1,90 %
MgO	0,6 - 1,20 %	MnO	0,12 %
FeO	0,39 %	Na ₂ O	0,20 - 1,30 %
SiO ₂	65,0 - 71,30 %	TiO ₂	0,10 - 0,30 %

Die Ionenaustauschereigenschaften sind:

Austauscherkapazität:	Ca ²⁺	0,64 - 0,98 mol/kg
	K ⁺	0,22 - 0,45 mol/kg
	Mg ²⁺	0,06 - 0,19 mol/kg
	Na ⁺	0,01 - 0,19 mol/kg
Gesamtaustauscherkapazität:		1,20 - 1,50 mol/kg
Erweichungstemperatur:		1260°
Dichte:		2200 - 2440 kg/m ³
Schmelztemperatur:		1340 °C

Das Schmelzverhalten der Zeolithe wurde durch die Bestimmung der Schmelzpeaks in der DTA bestimmt und zeigt folgendes Ergebnis:

1. Schmelzpeak 832 - 956 °C
2. Schmelzpeak 1087 - 1123 °C
3. Schmelzpeak 1335 - 1378 °C

Durch den niedrigen Schmelzbeginn konnte für die Herstellung der Keramikschäume eine niedrige Sintertemperatur gewählt werden.

Zur Einarbeitung in die schäumfähigen Gemische wurden verschiedene Mahlgutqualitäten mit unterschiedlichen Teilchengrößen verwendet. Das eingesetzte Mahlgut hatte folgende mittlere Teilchengrößen

MGZ 3	2 mm,
MGZ 7	0,5 mm,
MGZ 11	0,1 mm.

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Teilchengrößenverteilungen der verwendeten Mahlgüter.

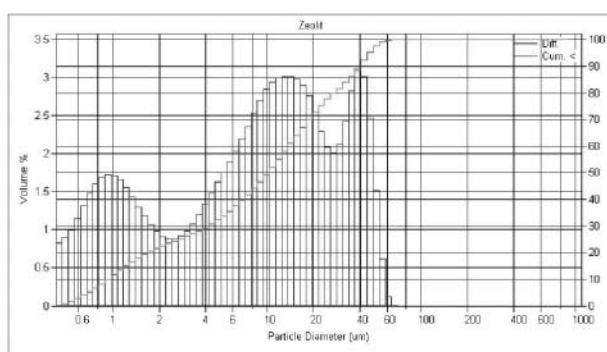


Abb. 2: Korngrößenverteilung des verwendeten Zeolith-Pulvers

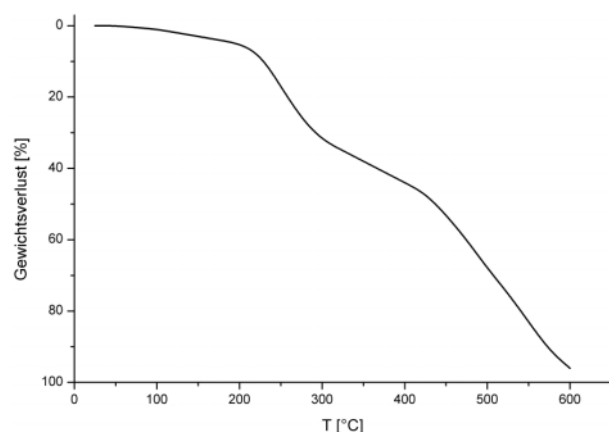


Abb. 3: TGA-Kurve des Polyurethanhartschaumstoffs auf der Basis von P-185



Abb. 4: Sinterkeramikschaumstoff 51 nach dem Brennprozess

Das Mahlgut wurde mit der jeweiligen Polyolkomponente auf der Brabender® Labstation mit Knetervorsatz 30 Minuten homogenisiert und in dieser Form mit den weiteren Formulierungsbestandteilen versetzt und verschäumt.

2.1.2 Herstellung der Hartschaumstoffsysteme

Als Hartschaumstoffsysteme wurden Zwei-Komponenten-Systeme auf Polyurethanbasis eingesetzt. Die Formulierungen wurden mit Polyolen entwickelt, die durch Solvolyse von Polyurethan-Weichschaumstoffen (RP-V02) (1) bzw. durch Glykolyse von Polyethylenterephthalat (P-185) (2) hergestellt wurden.

Die Basisformulierungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Komponente/Formulierung	RP-213	RP-238
Polyol RP-V02	172,5	
Polyol P-185		153,7
Dimethylethanolamin	0,5	0,6
Dimethylcyclohexylamin		0,3
Polycat NP-40	0,3	0,2
Tegostab B-	0,4	0,5
Wasser	4,5	4,5
Lupranat M 20 A®	202,5	200,0
Rührzeit im Handansatz (s)	10	10
Startzeit (s)	16	18
Steigzeit (s)	68	72
Abbindezeit (s)	90	94

Tab. 1: Basisformulierungen für PUR-Hartschaumstoffe auf der Basis von PUR-Recyclatpolyol (RP-V02) und aromatischem Polyesterpolyol (P-185)

Bei den größeren Mahlgütern wurden 100, 200 und 300 Gew.-Prozent bezogen auf die A-Komponente, bei den feineren Mahlgütern 250, 400, 500 und 600 Gew.-Prozent bezogen auf die A-Komponente verwendet. Die Schaumstoffe wurden zunächst im Handansatz in 1 Liter-Bechern freiverschäumt hergestellt. Für die Brennversuche wurden die Schaumstoffe in einer 2 Liter-Aluminiumform von 10 x 10 x 20 cm unter Druck hergestellt. Aus den Schaumstoffblöcken wurden nach einer einwöchigen Nachhärtungszeit drei Prüfkörper von 5 x 5 x 5 cm solcherart herausgeschnitten, dass jeweils 2,5 cm der Außenzonen als Verschnitt entstanden und ausschließlich die Innenzonen für die Versuche verwendet wurden. An diesen Schaumstoffen wurden die Rohdichten und eine mittlere Zellgröße bestimmt.

2.2 Ausbrennversuche

Die Schaumstoffwürfel wurden einer thermischen Behandlung in einem Carbolite-Hochtemperatur-Muffelofen Typ 2408 unterworfen. Die thermische Behandlung wurde mit den vorher auf der Basis von DTA-Messungen bestimmten Abbautemperaturen festgelegt. Die Temperaturprogramme berücksichtigten insbesondere die maximalen Abbaugeschwindigkeiten der organischen Komponente, die nach TGA/DTA folgende Maxima aufweist (Beispiel RP-238 ohne Füllstoff, die Formulierung RP-213 weicht nur unwesentlich von diesen Werten ab):

1. Maximum bei 249°C
2. Maximum bei 432°C
3. Maximum bei 539°C

Der Gewichtsverlust wurde über die TGA bestimmt (siehe Abbildung 5). Der maximale Gewichtsverlust erfolgt im Bereich oberhalb 420°C.

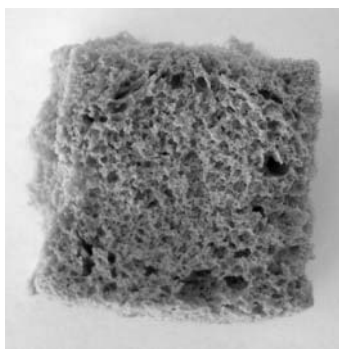


Abb. 5: Sinterkeramikschaumstoff 36 nach dem Brennprozess

Die zum Ausbrennen verwendeten Temperaturprogramme wurden so ausgelegt, dass bei 600°C noch ein Rest an organischem Material zur Bindung der Zeolithe vorhanden sein soll; in Tabelle 2 sind die im wesentlichen angewandten Temperaturprogramme dargestellt:

Temperaturbereich/ Programm	TP1	TP3	TP6	TP9
20 – 250°C	3 h	2 h	2 h	2 h
250 – 500°C	2 h	2 h	1,5 h	2 h
500 – 680°C	2 h	1,5 h	2 h	1,5 h
680 – 900°C	4 h	3 h	3 h	1,5 h
900 – 1050°C			3 h	3 h
900 – 1250°C	4 h			

Tab. 2: Beispiele für Temperaturprogramme der Ausbrennversuche

Weitere Beispiele für individuelle Ausbrennprogramme werden unter Punkt 5 „Diskussion der Ergebnisse“ unter Bezugnahme auf die damit erhaltenen Keramikschaumstoffe dargestellt. Nach dem Ende des Temperaturprogramms wurden der Ofen mit dem Material über Nacht heruntergekühlt und das Material am folgenden Tag entnommen (Abkühlzeit 14 Stunden).

2.3 Charakterisierung der Keramikschaumstoffe

Die nach dem Brennvorgang erhaltenen Materialien wurden hinsichtlich ihrer Farbe und ihrer visuellen Erscheinung geprüft. Weiterhin wurde die Dimensionsveränderung (Schrumpfung) gemessen. Die Offenporigkeit wurde durch die aufgenommene Menge an Wasser (über Dichtemessungen) bestimmt. Nach dieser Methode wurde ein Offenporigkeitsgrad von >97 % bei allen Keramikschaumstoffen ermittelt.

Die Schrumpfung der Keramikschaumstoffe wurde durch Ausmessen mit einer Schublehre und mit Bezug auf die Ausgangsdimensionen bestimmt; bei einer Schrumpfung unter 10 % wurden die Keramikschaumstoffe einem Testprogramm zur Ermittlung der Schalldämmung und der Adsorption von Gasen unterworfen.

Die Schalldämmung wurde mit einem Modul-Schallpegel-Analysator „Investigator“ mit BZ7210 sowie einem Uni-Gain-DetaShear-Beschleunigungsaufnehmer 1pC/ms-2 von Brüel & Kjaer gemessen. Dazu wurde folgende Versuchsanordnung verwendet: Die Schadstoffadsorption wurde an einem 50 mm langen Material in einem Abgasstrom eines Dieselmotors (Skoda 120 bzw.

Skoda Favorit 136 L) in einem 50 mm Abgasrohr bestimmt, indem die Zusammensetzung des Abgasstromes bei konstant laufender Verbrennungskraftmaschine vor und nach dem Adsorptionsmaterial über 24 Stunden mittels GC-MS (Hewlett-Packard GC Typ 5890, MS Typ 5970) sowie die an Aktivkohle absorbierten polycyclischen Kohlenwasserstoffe (PAK) mittels HPLC bestimmt wurden. Aus der Differenz der Schadstoffe im Gasstrom vor und nach der Passage des Filtermaterials wurden der Adsorptionsgrad über 24 Stunden errechnet und eine Adsorptionskurve ermittelt.

3 Ergebnisse

3.1 Herstellung von Keramikschaumstoffen nach dem Verfahren des direkten Ausbrennens gefüllter PUR-Hartschaumstoffe

Keramikschaumstoffe wurden mit unterschiedlichen Gehalten an Zeolithen in der Polymermatrix (Anteil zwischen 22 und 50 Gew.-Prozent) unterschiedlichen Temperaturen und Temperaturprogrammen unterworfen. Die Schaumstoffe wurden aus aromatischen Polyesterpolyolen (auf PET-Basis durch Umesterung in einem Glykollgemisch nach (2) hergestellt) bzw. aus Recyclatpolyolen auf der Basis von PUR-Schaumstoffen (3), in die durch Kneten die erforderliche Menge an Zeolithpulver eingearbeitet worden war, in Gegenwart von tertiären Aminen als Katalysatoren, Wasser als Treibmittel und einem Silikonpolyether als Stabilisator im direkten Freischäumverfahren bzw. im Druckschäumverfahren in der geschlossenen Form hergestellt (siehe Tabelle 1). Die Knettechnik zur Herstellung der Premixes und daraus der A-Komponente des Polyurethan-Systems erwies sich als der günstigste Weg zur Herstellung der hochgefüllten Hartschaumstoffe. Das Polyol hatte dabei auf die Verarbeitungseigenschaften wenig Einfluss, da sich die Viskositäten der beiden ausgewählten Polyole bei 25°C nur wenig unterschieden. Wasser als Treibmittel wurde gewählt, um ein hohes Maß an Offenporigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus ist Wasser das umweltfreundlichste Treibmittel und erzeugt beim Schäumprozess aus der Umsetzung mit dem Polyisocyanat Kohlendioxid, das langsam aus den Zellen diffundiert.

Eine erste Serie von gefüllten Hartschaumstoffen wurde mit 22 bis 25 Gew.-Prozent Zeolith hergestellt (Versuche 5, 8, 9). Diese Schaumstoffe wurden in einer ersten Ausbrennreihe verschiedenen Temperaturprogrammen unterworfen: Der Hartschaumstoff aus Versuch 5 mit 24 Gew.-Prozent Zeolith wurde schnell auf 900°C erwärmt und drei Stunden bei dieser Temperatur gehalten. Anschließend wurde eine Sinterzeit von vier Stunden bei 1150°C gewählt. Im Ergebnis wurde ein stark geschrumpftes Produkt mit sehr geringer Festigkeit erhalten, das für die weiteren Untersuchungen ohne Nachbehandlung nicht geeignet war. Es erfolgte eine weitere Sinterung des keramischen Produktes bei 1200°C über fünf Stunden. Das führte zu einem teilweisen Verschmelzen der Schaumstoffzellen, so dass die Sintertemperatur zu hoch eingestellt worden war.



Mit dem Hartschaumstoff aus Versuch 8 mit 24,5 Gew.-Prozent Zeolith wurde der Versuch wiederholt, jedoch wurde das Temperaturprogramm folgendermaßen eingestellt: Aufheizrate 30 Minuten auf eine Temperatur von 800°C, Ausbrennen bei 800°C innerhalb einer Stunde, Sintervorgang bei 1000°C über sechs Stunden. Das Ergebnis war ein feinporiger keramischer Schaumstoff mit einer guten Festigkeit, jedoch mit einer Schrumpfung von 36 % in der Länge. Der Versuch wurde mit dem Hartschaumstoff aus Versuch 9 mit 24 Gew.-Prozent Zeolith wiederholt. Es wurde jedoch eine weitere Variante eines Temperaturprogramms verwendet: Zunächst wurde der Schaumstoff innerhalb von drei Stunden auf 380°C erwärmt, danach innerhalb einer Stunde auf 500°C, danach innerhalb von zwei Stunden weiter auf 920°C und schließlich innerhalb weiterer zwei Stunden auf 1150°C. Als Ergebnis wurde ein stark geschrumpfter Keramikschaumstoff mit geringer Festigkeit erhalten.

In einer zweiten Versuchsserie wurden 35 Gew.-Prozent Zeolith in das schaumfähige Gemisch eingearbeitet und die Ausbrennversuche weitergeführt, um die Ausbrennbedingungen weiter zu optimieren (Versuche 2, 28, 41, 51, 52, 72). Die Temperaturprogramme wurden weiter variiert:

Nr.	2	28	41	51	52	71
1. Schritt (°C/h)	900/3	380/3	800/2	800/2,5	1000/6	800/2
2. Schritt (°C/h)	1150/4	500/1	1000/6	1000/1		1000/1
3. Schritt (°C/h)		920/3		1100/2		1100/4
4. Schritt (°C/h)		1150/2				

Tab. 3: Temperaturprogramme für die Ausbrennversuche von Hartschaumstoffen mit 35 Gew.-Prozent Zeolith

Das beste Ergebnis wurde beim Versuch 51 erhalten: ein Keramikschaumstoff mit einer Schrumpfung von 11 %, einer sehr feinen Struktur (Zellgröße zwischen 0,4 und 1,8 mm) und einer ausreichenden Festigkeit, so dass eine Weiterverarbeitung (Formgebung) möglich ist. Bei der Anwendung eines Temperaturprogramms wie im Versuch 52 wird bei gleicher Zusammensetzung des Schaumstoffs eine wesentlich höhere Schrumpfung und eine deutlich gröbere Zellstruktur festgestellt.

In einer dritten Serie wurden die Hartschaumstoffe mit 44 bis 47 Gew.-Prozent Zeolith hergestellt und wiederum dem Brennprozess bei unterschiedlichen Temperaturen unterworfen. Ausgewählt wurden die Schaumstoffe der Versuche 16 und 36 (45 Gew.-Prozent Zeolith). Diese wurden jeweils zwei unterschiedlichen Temperaturprogrammen unterworfen:

Nr.	16	16	36	36
1. Schritt (°C/h)	380/3	350/2	380/3	350/2
2. Schritt (°C/h)	500/2	600/2	500/2	600/3
3. Schritt (°C/h)	920/2,5	1150/4	920/2	1150/4
4. Schritt (°C/h)	1150/1		1150/2	

Tab. 4: Ausbrennprogramme der Hartschaumstoffe mit 45 Gew.-% Zeolith

Die Hartschaumstoffe mit höherem Gehalt an Zeolithen (Versuche 16 und 36) wiesen trotz unterschiedlicher Ausbrennprogramme eine deutlich schlechtere Festig-

keit als die Schaumstoffe mit 35 Gew.-Prozent Zeolith auf. Außerdem war überraschenderweise die Schrumpfung wieder größer als im Falle der Schaumstoffe mit ca. 35 Gew.-Prozent Zeolith. Die aus den Versuchen 16 und 36 mit 45 Gew.-Prozent Zeolith hergestellten Keramikschaumstoffe wurden auf Grund ihrer schlechteren Qualität für die weiteren Versuche nicht verwendet.

3.2 Untersuchungen zur Schadstoffadsorption an Keramikschaumstoffen auf der Basis von Zeolithen

Zielrichtung des Einsatzes der Keramikschaumstoffe sind die Schalldämpfung und die Eliminierung von Schadstoffen bei Verbrennungskraftmaschinen (4). Als Verbrennungsmotoren wurden als Modell zwei Serienmotoren aus den Skoda-Werken verwendet (Skoda 120 und Skoda Favorit 136 L). An diese wurde in das Abgasrohr ein zusätzliches Rohrstück mit dem eingepassten Keramikschaum angeschlossen. Die Länge des Keramikschaumstoffs betrug 100 mm bei einem Durchmesser von 65 mm. Die Messungen wurden jeweils über einen Zeitraum von einer Stunde in Intervallen von fünf Minuten durchgeführt, wobei die Motoren eine Drehzahl von 1500 min⁻¹ hatten.

ŠKODA 120	Interval of measurements [min]	CO [%]	C _x H _y [ppm]	revs./min [min ⁻¹]
Cold start without filter	5	7,57	843	638
Warm motor without filter	5	8,66	920	673
Warm motor with cold filter	5	6,61	517	667
Warm motor, warm filter	5	7,57	492	252
Warm motor, warm filter	5	7,76	534	710

Tab. 5: Ergebnis der Messungen der Kohlenwasserstoffe und von Kohlenmonoxid beim Motor Skoda 120

ŠKODA FAVORIT 136	Intervals of measurements [min]	Temp. of exhaust gases [°C]	Temp. of environment [°C]	rev./min [min ⁻¹]	CO [%]	CO ₂ [%]	C _x H _y [ppm]
Cold motor without filter	6	40	21	911	1,02	13,55	333
Cold filter	6	30	21	899	0,77	11,87	298
Warm filter	6	50	21	954	0,53	9,93	211

Tab. 6: Ergebnisse der Messungen von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid beim Motor Skoda Favorit 136 L

Bei der Verbrennung in Motoren entstehen neben dem Hauptverbrennungsprodukt Kohlendioxid (CO₂) Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Art (aliphatische Kohlenwasserstoffe aus der unvollständigen Verbrennung und PAK aus Zusätzen bzw. durch thermische Prozesse im Motorenraum) sowie Stickoxide (bei Temperaturen oberhalb 700°C aus den Elementen im Verbrennungsraum) (6). Die Mengen an Kohlenmonoxid



und Kohlendioxid aus der Verbrennung in Abhängigkeit von der Art des Adsorbens sind in den Tabellen 5 und 6 dargestellt. Die Untersuchung der cyclischen Kohlenwasserstoffe erfolgte an Proben, die vom Keramikschaum desorbiert wurden. Ihre Zusammensetzung war folgende (HPLC):

Pyrene	310,43 ppb
Phenanthrene	2,5 ppb
Benzo(a)pyrene	0,37 ppb
Benzo(a)anthracene	31,4 ppb
Benzo(b)fluoranthene	11,7 ppb
Dibenzo(a,h)anthracene	2,09 ppb

Damit konnte nachgewiesen werden, dass zum einen die Zeolithe nach der thermischen Behandlung noch zur Adsorption von Schadstoffen befähigt sind und zum anderen die adsorbierte Menge an Kohlenmonoxid ca. 50 %, die der cyclischen Kohlenwasserstoffe ca. ein Drittel beträgt.

4 Diskussion der Ergebnisse

Auf der Basis von Recyclat-Polyolen, die zum einen aus PET und zum anderen aus PUR-Schaumstoffen durch Glykolyse erhalten wurden, konnten Formulierungen zur Herstellung von PUR-Hartschaumstoffen entwickelt werden, in die auf das Polymer bezogen bis zu 50 Gew.-Prozent an anorganischen Füllstoffen in Form natürlich vorkommender Zeolithe eingearbeitet werden konnten. Die mit Zeolithen gefüllten PUR-Hartschaumstoffe wurden verschiedenen Ausbrennprogrammen unterworfen, durch die die organische Schaumstoffmatrix abgebaut und in gasförmige Bestandteile umgewandelt wurde. Dadurch verbleibt ein rein anorganisches Gerüst, das durch eine erhöhte Temperatur seine Schaumstruktur behält. Die Temperatur zum Sintern der Zeolith-Teilchen beträgt nur 1100°C und liegt damit wesentlich unter den meisten gegenwärtig eingesetzten keramischen Materialien, aber mit einer Einsatztemperatur bis 950°C immer noch so hoch, dass die Keramikschaumstoffe in der Schalldämmung oder als Entgiftungsmatrizes bei Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt werden können. Der gesamte Ausbrennprozess dauert bei einem optimierten Temperaturprogramm fünf bis sechs Stunden zuzüglich der Abkühlzeit. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass als Polymermatrix zu ca. 50 % kostengünstige Recyclingmaterialien und als keramisches Material ein natürlich vorkommendes Mineral verwendet werden und der Herstellungsprozess vergleichsweise einfach ist, steht mit diesem Verfahren und diesem Material eine kostengünstige Alternative zur Verfügung. Wie die bisherigen Untersuchungen an Verbrennungskraftmaschinen gezeigt haben, behalten die gesinterten Zeolithe in der Schaumstruktur ihre Adsorptionsfähigkeit bei und adsorbieren ca. 50 % der mit dem Abgasen transportierten Schadstoffe (5). Überraschend ist in diesem Zusammenhang, dass auch der Kohlenmonoxidanteil im Abgas um ca. 50 % gesenkt wird. Wesentlich ist, dass polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zu einem großen Teil aus dem Abgas bereits bei relativ kleinen Filterlängen entfernt und an die Matrix gebunden werden.

5 Anmerkungen/Literatur

- (1) H.-D. Hunger, G. Behrendt, R. Langenstraßen, K.-H. Schmidt: Poröse Sinterkeramikwerkstoffe und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE-OS 199 63 554 (22.12.1999/05.07.2001)
- (2) G. Behrendt, A. Lobeda, M. Pohl: Verfahren zur Herstellung von Polyesteralkoholen sowie Polyesteralkohole, DE Anm. 198 17 538.8 vom 16.04.1998, PCT WO 99/54380 (28.10.99)
- (3) G. Behrendt, M. Pohl: Verfahren zur Herstellung von Polyolen und diese Polyole, DE Anm. 198 17 536.1 vom 19.04.1998, DE-OS 199 17 932 (21.10.99)
- (4) M. Lorko, I. Pandova: The possibilities of zeolites utilisation on manufacture of the filters for the combustion engines exhaust systems, Manufacturing engineering, 1/2003
- (5) M. Sucha, T. Gondova, I. Pandova, K. Florian, K. Reiffova, P. Oravec, J. Macala: The utilisation of zeolites for exhaust gases contaminant adsorption, Chemicke listy 96/2002.
- (6) I. Pandova: The possibilities of zeolites for detoxikation of exhaust of the combustion engines, Acta Montanistica Slovaca, 6/2001

Danksagung

Die Autoren danken dem Internationalen Büro des BMBF für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens. Weiter gilt der Dank der Autoren der Th. Goldschmidt AG für die kostenlose Überlassung der Stabilisatoren sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Tietgens für die Bestimmung der Korngrößenverteilungen der Zeolithe.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Martin Lorko

Technickej univerzitet Košice
Fakulta Vyrobných Technologii
Plzenska 10, SK-08001 Prešov, Slowakei
Telefon +421 51 7723012
E-Mail: lorko.martin@fvt.sk

Dr. Peter Oravec

Technickej univerzitet Košice
Fakulta Vyrobných Technologii
Plzenska 10, SK-08001 Prešov, Slowakei

Dipl.-Ing. (FH) Karlheinz Schmidt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-176
E-Mail: khschmid@igw.tfh-wildau.de

Dr. sc. nat. Hans-Dieter Hunger

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-176
E-Mail: hdhunger@igw.tfh-wildau.de

Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Behrendt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-591
E-Mail: behrendt@vt.tfh-wildau.de



Virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften: Lernen mit neuen Medien

Petra Maier

Das Internet und digitale Medien erhalten zunehmend eine zentrale Funktion bei der gesellschaftlichen Kommunikation von Wissen und sind zu einem Träger von Bildung und Kultur geworden. Auch Hochschulen setzen verstärkt diese Komponenten ein, um Lerninhalte mehrdimensional aufbereitet in Höchstgeschwindigkeit übertragen zu können und den Studenten zur Verfügung zu stellen. Die neuen Medien eröffnen ungeahnte Möglichkeiten für das heute unabdingbare lebenslange Lernen. Wissen soll spielerisch, einfach, intuitiv, aber auch effizient, kostenoptimierend und in Zeiten der Globalisierung unabhängig von Zeit, Ort und Datenmengen erworben und genutzt werden.

Der Prozess von „Wissen überall und zu jeder Zeit“ muss aktiv gestaltet werden, dessen Herausforderungen angenommen und die Konsequenzen erkannt werden. Im Moment wird an jeder Lehrereinrichtung über das „ob überhaupt“ und wenn ja mit welchen Gestaltungsmöglichkeiten und in welchem Rahmen diskutiert. Über die Attraktivität des Lernens zu jeder Zeit und an jedem Ort sollten sich allerdings alle einig sein. Daraus ergeben sich nun zahlreiche Fragen: Wie verändern sich die Kommunikationsprozesse zwischen Lehrenden und Lernenden? Wie beeinflussen die Möglichkeiten der Digitalisierung die Lehrinhalte? Die Frage bezieht sich auf einen möglichen Wissenswandel durch den eintretenden Medienwandel. Welche Medienkombination bietet Lernenden wie Lehrenden die beste Unterstützung? Mittelpunkt aller Diskussionen ist heutzutage, wie überzeugend die Visionen für die neuen Lernumgebungen sind. Es ist also zu klären, ob es sinnvoll ist, den „Tafel- und Kreide-Professor“ in einem kurzen oder langen Prozess über den „PowerPoint-Professor“ in den kompletten „Multimedia-Professor“ umzuwandeln.

Es wird oft die Meinung vertreten, dass derjenige, der nichts zu sagen hat, in seiner Vorlesung eine PowerPoint-Präsentation benutzt. Das ist natürlich eine sehr grobe Beschuldigung derjenigen, die die Qualität ihrer Vorlesung auch durch den Einsatz neuerer Medien versuchen zu verbessern. Aber gehören nicht wenigstens ein paar Abbildungen in die Präsentation, die ohne PowerPoint nur schwierig darstellbar wären?

Oft wird auch auf die Wichtigkeit der Abschreibzeit hingewiesen. Von „der Hand in den Kopf“-Lehrmethode ist dann die Rede, die Lernenden brauchen Zeit zur Verinnerlichung des Lehrstoffes, er soll nicht nur an ihnen vorbeirauschen und dann erst wieder in der Prüfungsphase auftauchen und wirken wie „nie vorher gesehen“. Die Bereitstellung des Lehrstoffes an die Studenten ist vielfältig. Oft

sind die Studenten zum Mitschreiben animiert, oft legen die Lehrenden auf reines Zuhören Wert und teilen zusätzlich Scripte aus, oder die Unterlagen werden auf einem Server hinterlegt.

Wesentlich für alle Überlegungen zum Einsatz Neuer Medien im Unterricht sind die Akzeptanz bei Lehrenden und Lernenden, also die Frage nach dem Mehrwert gegenüber herkömmlichen Methoden und Materialien, sowie die praktische Möglichkeit der Nutzung. Selbstverständlich soll kein Lehrender zur Nutzung von neuen Medien gezwungen werden, auch mit Tafel und Kreide lässt sich didaktisch wertvoller Unterricht machen. Es ist auch bekannt, dass die Vorbereitung von Lehrveranstaltungen aufwendiger wird, wenn man von Tafel und Kreide abweicht. Aber sind wir den jungen Studenten nicht ein bisschen „Neues“ schuldig?

Berechtigt ist auch die Angst vor leeren Vorlesungsräumen, wenn man die Lehrinhalte vorzeitig zur Verfügung stellt. Der Lehrende sollte immer noch der „guide by the side“ sein, sonst wird die Wissensaufnahme ziellos. Man hört auch oft von Studenten, dass es ihnen schwer falle, in der Prüfungsvorbereitungsphase für mehr als zwei Prüfungen „on screen“ zu lernen. Sie wünschen sich oft noch die Druckvariante, die allerdings dem „papierlosen“ Unterrichtsraum widerspricht.

Bis zum vollausgerüsteten Vorlesungsraum mit z. B. „Tablet PC“ ist es noch weit. Ob es größerer Anstrengungen bedarf, die Barrieren in den Köpfen, die eine Sinnigkeit dessen in Frage stellen, abzubauen oder die finanziellen Mittel aufzubringen, wird sich bald zeigen. Es sollte nicht vergessen werden, dass wir es mit jungen, modernen und wissbegierigen Studenten zu tun haben, die im High-Tech-Zeitalter aufwachsen. Für diese Generation ist Multimedia Gang und Gebe, so wie sie Software mit Leichtigkeit über „Try and Error“ erlernen.

Umsetzung an der TFH Wildau

Auch an der Technischen Fachhochschule in Wildau findet ein Medienwandel statt. Alle multimedialen Angebote gewährleisten, dass das Wissen nicht auf der Strecke bleibt.

Ein Beispiel dafür ist der „Basic Support for Cooperative Work“ (BSCW) Server. Dieses System unterstützt die Zusammenarbeit durch die Bereitstellung eines gemeinsamen Arbeitsraumes im Internet. Ein geteilter Arbeitsbereich erlaubt Ablage und Aufruf von Dokumenten und



gemeinsamer Bearbeitung innerhalb einer Gruppe. Diese Funktionalität wird in einen Ereignismechanismus integriert, um jeden Benutzer mit einem Bewusstsein der Tätigkeiten von anderen innerhalb des Arbeitsbereichs zu versehen. Der Server enthält zahlreiche Eigenschaften: z. B. Unterstützung für verzweigte Diskussionen, Management der Dokumente, Suchfunktionen und vieles mehr. Das System wurde hauptsächlich entwickelt, um selbst organisierende Gruppen zu stützen. Die BSCW-Entwicklungen sind teilweise durch die Europäische Union (das CoopWWW-Projekt und das CESAR-Projekt des Telematik-Anwendungsprogramms der EU) finanziert worden. Partner dieser Projekte trugen zur Entwicklung des Systems bei.

BSCW unterstützt sowohl die asynchrone und als auch die synchrone Zusammenarbeit mit Partnern über das Internet, im Intranet oder in einem Netz mit Kollegen („Extranet“).

Für die asynchrone (nicht-gleichzeitige) Zusammenarbeit bietet BSCW gemeinsame Arbeitsbereiche, in denen Gruppen ihre Dokumente ablegen, verwalten, gemeinsam bearbeiten und austauschen können. Die wesentlichen Vorteile des BSCW-Arbeitsverzeichnisses sind, dass Arbeitsgruppen Dokumente gemeinsam nutzen, unabhängig von dem Computersystem, mit dem die Mitglieder arbeiten. Die Mitglieder müssen dafür keine Software installieren, sie brauchen nur einen der marktführenden, frei erhältlichen Web-Browser. Es kann auf BSCW-Arbeitsbereiche zugegriffen, Ordner-Übersichten können durchgesehen und Dokumente auf den eigenen Rechner heruntergeladen werden wie von „normalen“ Seiten im WWW. Der BSCW informiert über alle wichtigen Ereignisse in gemeinsamen Arbeitsbereichen. Dokumente können mit einem Web-Browser in einem gemeinsamen Arbeitsbereich abgelegt werden.

Für die synchrone (gleichzeitige) Zusammenarbeit bietet BSCW Werkzeuge für die Planung und Organisation von Treffen, den technischen Aufbau 'virtueller' Treffen auf der Basis von Conferencing-Programmen oder per Telefon, ad hoc-Kommunikation mit Partnern, die gerade in einem gemeinsamen Arbeitsbereich aktiv sind, also im weitesten Sinne an der gemeinsamen Aufgabe arbeiten.



BSCW © 1995-2000 GMD

Abb. 1: Übersicht der BSCW-Server-Benutzeroberfläche (www.bscw.de)

Abbildung 1 zeigt die Benutzeroberfläche des BSCW-Servers an der Technischen Fachhochschule Wildau. Der Kopfbereich einer Ordnerübersichtsseite wird in der Kopfzeile mit dem Benutzernamen angezeigt [hier username]. Die obere Menüleiste zeigt Menüs zum Handhaben von Objekten in Ordnern. In der darauffolgenden Navigationsleiste findet man den Verzeichnispfad bzw. die gegenwärtige Position [hier Studiengang]. Die Menüs werden in der unteren Menüleiste nochmals wiederholt. Ordner und Objekte können nach verschiedenen Sortierkriterien sortiert angezeigt werden. Aktionsflächen (siehe Symbole dem Studiengang folgend) erlauben im aktuellen Ordner [hier Studiengang] das Erzeugen von Objekten wie Dokumenten, Ordnern oder Diskussionen, den Start einer Suche oder den Zugriff auf Informationen über den aktuellen Ordner. Die Fußzeile ist die Schnellzugriffsleiste, und es wird ein Zugriff auf persönliche Objekte wie Kalender, Hauptordner, Papierkorb und Ablage gewährt.

In vielen Fachbereichen wird der BSCW-Server an der Technischen Fachhochschule Wildau erfolgreich eingesetzt. Dozenten stellen den Studenten ihre Unterrichtsmaterialien zur Verfügung und die einzelnen Studiengänge hinterlegen Informationen über den Studienablauf, Veranstaltungshinweise, Praktikumangebote und Zusammenfassungen von Präsentationen in der Öffentlichkeit.

Weiterhin hat die „e-learning“-Plattform CLIX Campus der Firma IMC AG in die Lehre und Administration der Technischen Fachhochschule Wildau Einzug erhalten (denkbar als Virtuelle Hochschule, als Fernstudienanbieter, als Ergänzung zum Präsenzstudium oder im Rahmen von hochschulübergreifenden Verbundprojekten). CLIX Campus bietet eine Plattform zur Initiierung, Steuerung und Administration von Lehr- und Lernprozessen und wird bereits im Fernstudium und Präsenzstudium erfolgreich genutzt.

Der Einsatz der Software „FAVORIT®-OfficeFlow®“ soll in diesem Beitrag nur kurz genannt werden, um zu unterstreichen, dass multimediale Komponenten den Unterricht sehr lebendig gestalten können und damit die Motivation der Lernenden erhöht wird. Favorit ist das flexible Archivierungs- und Vorgabebearbeitungssystem im IT-gestützten Geschäftsgang, welches im Fachbereich „Wirtschaft, Verwaltung und Recht“ angewendet wird. Die Studierenden können in verschiedene Rollen schlüpfen, um Schritte im Verwaltungsablauf über das „papierarme Büro“ zu simulieren. In ersten Simulationsobjekten wurden Teile der Hochschulverwaltung simuliert. FAVORIT®-OfficeFlow® ist Testsieger nach den Kriterien des Konzeptes „Papierarmes Büro“ des Bundesministerium des Innern.

Durch den Einsatz der FAVORIT®-OfficeFlow®-Software wird auch die soziale Komponente gefördert: Lernende sind aufgefordert miteinander zu arbeiten, sich zu verständigen und in virtuellen Gruppen zu agieren. Dies ist als großer Vorteil von multimedialen Plattformen bekannt. [TFH –INFO Wildau 4/2002]

Virtuelle Medien im Projekt

Projekthinhalt

Das Projekt „Virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften“ an der Technischen Fachhochschule Wildau wird im Rahmen des Hochschulsonderprogramms des Landes Brandenburg „Chancengleichheit für Frauen“ durchgeführt und von Frau Prof. Dr. Asta Richter geleitet. Das Projekt begann im Juli 2001 und endet im Dezember 2003. Der Hauptinhalt dieses Projektes ist das Erstellen von multimedialen e-learning-Plattformen. Den Studenten soll die Möglichkeit gegeben werden, den Vorlesungsstoff elektronisch aufgearbeitet jederzeit und an jedem Ort nutzen zu können. Auch sollen die Bedingungen für die Nutzung beachtet werden; das heißt, die Studenten sollen auch lokal (ohne Verbindung zum Internet) in der Lage sein, auf die Daten zuzugreifen. Weiterhin sind multimediale Komponenten in die Vorlesungen und den Laborbetrieb einzubauen. Ein PC-Arbeitsplatz mit attraktiver Multimedia-Software steht dem Projekt zur Verfügung. Weiterhin kann auf eine digitale Kamera zurückgegriffen werden, um kleine Filme einzubinden. Diese können geschickt mit den theoretischen Lehrinhalten verknüpft werden.

Einer der größten Vorteile von multimedialen Lernkomponenten ist die Interaktivität, das heißt die Möglichkeit von Feedback, wodurch das Leistungsvolumen der Lernenden erhöht wird. „Learning by doing“ hat an Gültigkeit nicht verloren. Wird man nun wirklich schlau durch den Mausclick? Der Einbau von Fragen in Tutorials erweist sich als großer Vorteil. Dem Studenten kann sich erst seine eigenen Gedanken machen und dann nach der Antwort suchen. Es hat sich auch als lehrreich herauskristallisiert, die einfachen „Weiter“-Befehle durch eine Auswahl von Themen zu ersetzen. Der Lernende muss nun über den Ablauf seines Tutorials selbst nachdenken.

Viele Firmen und Institute beschäftigen sich momentan mit der Erstellung von e-learning-Plattformen. Neben dem individuellen Lernen wird auch das kooperative Lernen durch Chats, Instant Messaging und Foren unterstützt. Unterstützung finden die Lernenden durch elektronische und menschliche Tutoren. Im Rahmen des Projektes Virtuelle Medien an der Fachhochschule Wildau entschied man sich für die elektronische Plattform des individuellen Lernens und den Dozenten als „menschlichen“ Tutor. Die erstellten Plattformen bieten dem Studenten ein attraktives Tutorial zum individuellen Lernen in starker Anlehnung an die Vorlesungsinhalte.

Lehrinhalte in „Multimedia“

Das erste hier erwähnte Tutorial ist das zur Vorlesung „Virtuelle Realität“. Die Vorlesung wird im Studiengang Telematik im vier Semester gehalten. Die Lehrinhalte reichen von der technischen Entwicklung über Anwendungsfelder bis hin zur virtuellen Gesellschaft. Abbildung 2 zeigt das Frontcover zur CD mit der Darstellung eines virtuellen Büros. Nun könnte der Lernende mit seinem Laptop auch von zu Hause aus der Vorlesung fol-

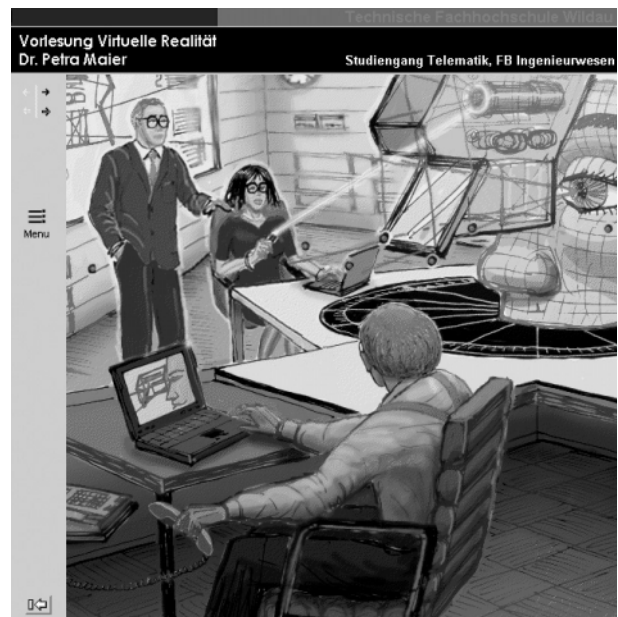


Abb. 2: Frontcover des Tutorials „Virtuelle Realität“ zum elektronischen Lernen im Studiengang Telematik

gen. Multimedia zeigt also deutlich eine Auflösung der Trennung von Räumen, ob nun Arbeitsraum, Vorlesungssaal oder zu Hause. Dieses Tutorial wurde mit Hilfe der Software Macromedia Authorware erstellt.

Abbildungen 3 und 4 zeigen Ausschnitte aus dem Tutorial „Virtuelle Realität“. Dem Lernenden kann sich weitere Informationen zu einer Grundseite anzeigen zu lassen. Die Knöpfe sind deutlich als Aktionsfelder zu erkennen, da sich der Cursor der Maus in eine Hand umwandelt. Nutzt der Student dieses Tutorial nun als Prüfungsvorbereitung, kann er sich zum angegebenen Stichwort erst selbst Gedanken machen und dann die Definition anzeigen lassen. Im Beispiel der Abbildung 3 geht es um die Faktoren, die die virtuelle Einbindung bestimmen. Die Auswahl fiel auf das Blickfeld [field of view], siehe dazu die Markierung. Es erscheint die Erläuterung in der unteren Bildhälfte neben den Auswahlknöpfen: Wieviel Blickfeld wird durch ein Bild gefüllt? An dem Beispiel wird auch deutlich, dass dieses Tutorial in deutscher und englischer Sprache erstellt ist. Abbildung 4 zeigt eine weitere Seite aus dem Tutorial „Virtuelle Realität“. Hier wird die virtuelle Medizin (der virtuelle Patient) behandelt. Über neun verschiedene Auswahlknöpfe lassen sich

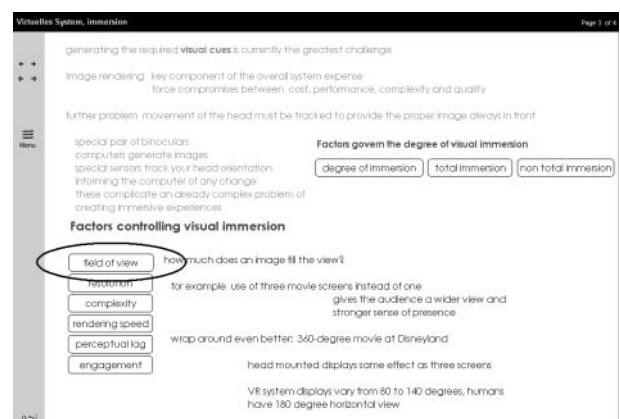


Abb. 3: Auszug aus dem Tutorial „Virtuelle Realität“ zur Immersion im virtuellen System: Darstellung der Auswahlmöglichkeiten; Studiengang Telematik

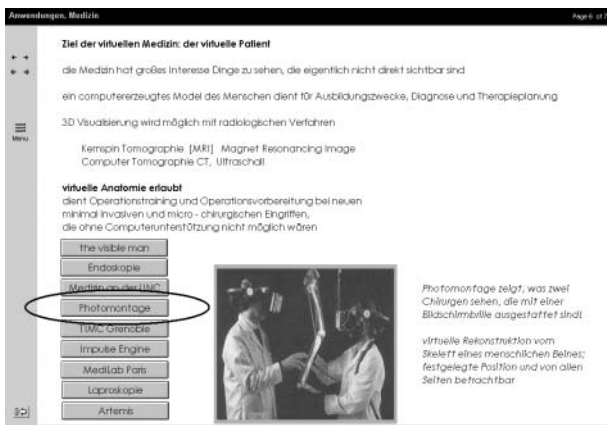


Abb. 4: Auszug aus dem Tutorial „Virtuelle Realität“ zur virtuellen Medizin: Darstellung der Auswahlmöglichkeiten; Studiengang Telematik

weitere Informationen anzeigen. Der Einführungsteil zum Thema bleibt auf der Seite der Übersicht halber stehen. So ist immer eine Zuordnung zum Thema gegeben. Auch hier besteht die Möglichkeit, sich Informationen erst nach Selbstüberlegung anzeigen zu lassen. Es gibt keine eigentliche „Weiter“-Taste. Die linke feststehende Spalte führt durch die Oberthemen und Unterthemen hin und zurück. Mit Hilfe des Menüpunktes kann die Reihenfolge selbst gewählt werden und ein Springen im Tutorial nach Eigeninteresse wird ermöglicht.

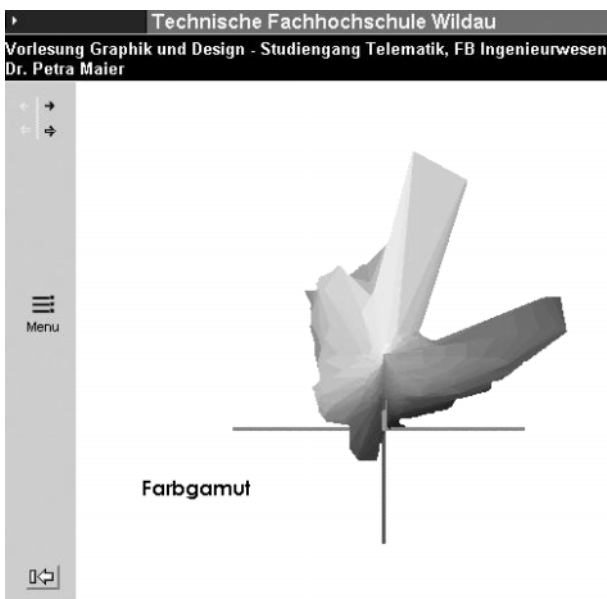


Abb. 5: Frontcover des Tutorials „Graphik und Design“ zum elektronischen Lernen im Studiengang Telematik

Abbildung 5 zeigt das Frontcover zur CD „Graphik und Design“ mit der Darstellung eines Farbgamuts. Dieses Lehrfach wird im Rahmen des Projektes im Studiengang Telematik (5. Semester) unterrichtet. Die Farbenlehre sowie Typographie und Layout sind Schwerpunkte und auch eine wichtige Voraussetzung zur Erstellung von multimedialen Lernkomponenten. Das Grundgerüst des Tutorials ist an alle anderen Tutorials angepasst, um eine Einheitlichkeit zu gewährleisten.

Ein Kernstück der Tutorials ist das Menü, es bietet eine bedienerfreundliche Navigation durch die Inhalte. Die Ober- und Unterthemen sind im Menü nicht nur aufgelistet, sondern auch direkt anwählbar. Abbildung 6 zeigt

das Menü zum Tutorial „Graphik und Design“. Unterthemen sind versetzt zum Oberthema gezeigt, so zum Beispiel die Unterthemen Titel, Primärfarben, Sekundärfarben usw. zum Oberthema Farbenlehre. Die ausgewählte Seite erscheint sofort im aktuellen Frame. In der Kopfzeile sind die jeweiligen Themen und deren Umfang einblendend (hier Unterthemenliste 16 von 26 Seiten).

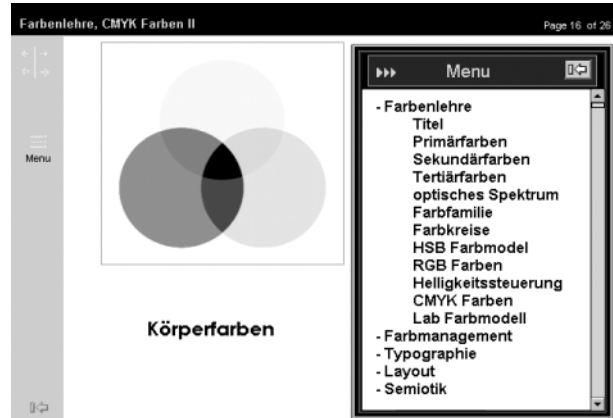


Abb. 6: Tutorial „Graphik und Design“ zu Druckfarben CMYK in der Farbenlehre: Darstellung des Menüs zur Navigation; Studiengang Telematik

Bereits erwähnt wurde die Wichtigkeit des Einbeziehens von Fragen. Abbildung 7 zeigt einen weiteren Auszug aus dem Tutorial „Graphik und Design“. Die Lernenden können sich erst selbst Antworten überlegen und dann die Auflösung anzeigen lassen. Weiterhin werden komplexe Sachverhalte an einfachen und alltäglichen Gegebenheiten erläutert, so zum Beispiel die Frage nach dem Aussehen der Zitrone. Dass diese Frucht gelb ist, ist allgemein bekannt. Dass die Zitronenschale Lichtanteile unterschiedlich absorbiert und reflektiert, ist auch noch jedem klar. Dass das Absorbieren des blauen Lichtanteils mit der subtraktiven Farbmischung gleichzusetzen ist und so auch die normalen Druckfarben (Körperfarben) arbeiten, ist meist etwas Neues. Ebenso lässt sich die additive Farbmischung am Beispiel Zitrone einfach erklären. Die Lernenden verinnerlichen die Mischung aus Rot und Grün zur Farbe Gelb durch „educational games“ und verstehen dadurch die Farbmischung von RGB-Farben (Lichtfarben) an z. B. Monitoren besser.

„Gaming for learning“ ist pädagogisch immer noch sehr wertvoll. Erinnern wir uns an die Software FAVORIT®.



Abb. 7: Tutorial „Graphik und Design“ zur Farbenlehre: eingebaute Fragen; Studiengang Telematik

OfficeFlow®. Lernende sind aufgefordert in virtuellen Gruppen einerseits die Hochschulverwaltung, andererseits die Software selbst zu verstehen. Das Rollenspiel sollte nach der 13. Klasse nicht aufhören. Semestervorträge lassen sich gut als Jobinterviewvorträge verkaufen und das Arbeiten in Gruppen bei semesterbegleitenden Projekten und Belegen erhöht auf jeden Fall die Sozialkompetenz des einzelnen Studierenden.

Zwei weitere Tutorials zum Thema „Dünnschichttechnik“ und „Nanotechnologie“ für den Studiengang Physikalische Technik sind in Arbeit. Für weitere Tutorials sind in Absprache mit den Fachdozenten Konzepte zu erarbeiten.

Vorlesungs- oder laborbegleitende multimediale Möglichkeiten

Die folgenden multimedialen elektronischen Lernkomponenten wurden mit Hilfe verschiedener Software-Programme erstellt. Macromedia Flash und Adobe Premiere fanden hauptsächlich ihren Einsatz für die vorlesungs- oder laborbegleitenden Lernkomponenten. Diese dienen nicht unbedingt dem elektronischen Selbststudium, sondern der Dozent nutzt diese Multimediakomponente, um die Vorlesung oder das Laborpraktikum zu bereichern. Durch den Einbau von Filmen lassen sich Maschinen oder Apparaturen nicht nur als Einzelbild zeigen, sondern die Wirkungsweise kann auch in Wort und Bild erklärt werden. Ob der Dozent zum Film referiert oder dieser Film durch ihn oder andere dokumentiert wird, ist der Situation anzupassen.



Abb. 8: Auszug aus der multimedialen Lernkomponente zum Laborpraktikum zur Sputtertechnik im Labor für Oberflächentechnik; Studiengang Physikalische Technik

Die ersten dieser vorlesungs- oder laborbegleitenden Lernkomponenten zum Praktikum in der Physikalischen Technik sind fertig gestellt. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt aus der Lernkomponente zum Laborversuch „Sputtertechnik“. Der linke Teil des Bildes stellt einen Ausschnitt aus einem digital aufgezeichneten Laborversuch dar, welcher in dem Moment von einem Standbild überblendet wird. Die Überblendung geschieht meistens mit einem animierten Übergang. Die Lernkomponente „Sputtertechnik“ besteht somit aus Filmen und Standbildern, die sinnvoll miteinander verknüpft sind. Die Filme sind einschließlich dem Ton übernommen, dieser muss allerdings nicht genutzt werden.

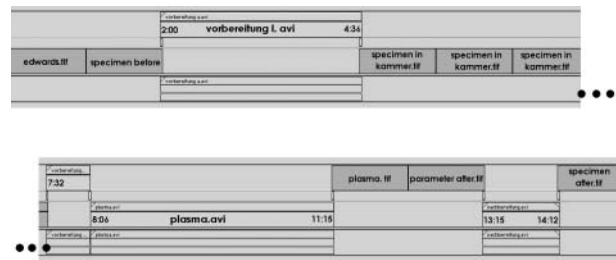


Abb. 9: Übersicht der multimedialen Lernkomponente zum Laborpraktikum zur Sputtertechnik im Labor für Oberflächentechnik des Studiengangs Physikalische Technik

Die Zeitlinie der Lernkomponente ist in Abbildung 9 dargestellt. Mit Hilfe dieser Zeitlinie können sich Dozent und Lernende einen Überblick über die Anordnung und deren Zeitrahmen verschaffen. Die Reihenfolge von Einzelbildern und Filmen ist schnell erfassbar. Der Einbezug von Filmen ist an konkreten Zeitfenstern zu erkennen. Für Einzelbilder steht jeweils ca. eine Minute zur Verfügung. Diese Zeit soll dem Vortragenden zur Erläuterung des Gezeigten zur Verfügung stehen. Ist dieser Zeitraum zu kurz, kann der Film auch jederzeit gestoppt werden. Für den Einsatz im Selbststudium (in der Annahme, der Student konnte an dem besagten Laborpraktikum nicht teilnehmen) lassen sich Einzelbilder auch vorspulen. Die Einzelkomponenten sind jeweils mit Namen genannt, um eine Art Inhaltsverzeichnis zur Verfügung zu stellen.

Diese multimediale Lernkomponente kann nicht nur im Laborpraktikum, sondern auch in Vorlesungen eingesetzt werden. Sie lässt sich auch gut auf die Vorbereitung und Einführung in Experimente im Grundlagenpraktikum der Physikalischen Technik oder anderer Studiengänge anwenden. Somit können Experimente und Darstellungen praxisnah in den Vorlesungsraum gebracht werden, ohne dass sich eine Heerschar von Studenten zu den technischen Anwendungen begibt. Im Rahmen eines Laborpraktikums ist dies natürlich gewollt, aber im Rahmen einer Firmenbesichtigung nicht unbedingt immer organisatorisch möglich und oft auch nicht gewünscht. Man sollte die Tatsache nicht außer acht lassen, dass Exkursionen den Studenten ermöglichen, Apparaturen und Verfahren live in voller Größe und Beschaffenheit zu sehen. Dies fördert die Vorstellungskraft und ist ein wichtiger Aspekt im Verstehen von technischen Abläufen. So wird im Fach „Virtuelle Realität“ im Studiengang Telematik jedes Jahr eine Exkursion durchgeführt, um sich Geräte und Labore näher anzuschauen. Auch ein Besuch im Labor zur Medizintechnik steht auf dem Programm. Sollte uns diese interessante Möglichkeit nicht mehr zur Verfügung stehen, könnte man den „Besuch“ auch multimedial in die Vorlesung einbringen.

Im letzten Beispiel soll eine kurze Animation beschrieben werden, die als Teil einer Einführungsvorlesung zum Thema „Nanohärte“ im Labor für Oberflächentechnik im Studiengang Physikalische Technik genutzt wird. Die multimediale Komponente wurde mit der Software Macromedia Flash erstellt und als Movie abgespeichert (siehe Abbildung 10). Bekannt sind solche „Intros“ von animierten Internetseiten. In einem kurzen Film werden das verwendete Gerät und erläuternde Folien zu den



Abb. 10: Multimediale Lernkomponente (Intro) zum Laborpraktikum zur Nano Härte im Labor für Oberflächentechnik; Studiengang Physikalische Technik

Grundlagen der Nanohärtemessung gezeigt. Es gibt die Optionen Stop und Play über die gesamte Länge des Filmes. In dieser Form wurde auch ein Intro zur Sputtertechnik erarbeitet (siehe Abbildung 11).



Abb. 11: Multimediale Lernkomponente (Intro) zum Laborpraktikum zur Sputtertechnik im Labor für Oberflächentechnik; Studiengang Physikalische Technik

Das Projekt virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften befindet sich nun im letzten Drittel der Projektzeit. Weitere Projekte sollen sich nicht nur auf die Studienrichtung „Physikalische Technik“ und den Studiengang „Telematik“ beziehen, sondern auch auf weitere Themen aus den Ingenieurwissenschaften.

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass multimediale Lernkomponenten an der Technischen Fachhochschule Wildau nicht nur im Rahmen des Projektes „Virtuelle Medien“ eine wichtige Rolle spielen. Der BSCW-Server bietet eine ausgezeichnete Plattform zur Zusammenarbeit durch die Bereitstellung von gemeinsamen Arbeitsräumen über das Internet. Vorlesungsskripte (vom Dozenten auf dem Server hinterlegt) können vom Studenten überall abgerufen werden. Das Projekt „Virtuelle Medien“ gibt den neuen

Medien durch die Bereitstellung von e-learning-Komponenten zum Selbststudium eine andere attraktive Richtung. Die Aufarbeitung der Tutorials mit Hilfe von Interaktionen und Fragestellungen erweist sich als pädagogisch wertvoll. Weiterhin können Vorlesungen durch den Einsatz von Filmkomponenten und Flashanimationen bereichert werden. Der Einsatz von Multimedia-Komponenten sollte allerdings gut durchdacht werden und eine gewisse Notwendigkeit mit sich bringen.

Eine Umfrage an der Technischen Fachhochschule Wildau hat ergeben, dass viele Dozenten bereits Komponenten wie den BSCW-Server, Videosequenzen, Flash-Filme, PowerPoint-Präsentationen und Simulationsprogramme einsetzen, um ihre Vorlesungen zu bereichern. Der pädagogische Aspekt der Wissensvermittlung darf dabei allerdings nicht verloren gehen. Laborexperimente und Exkursionen in Multimedia-Form haben Eintritt in den Vorlesungssaal und schließlich in die Vorlesungsskripte der Studenten erhalten. Weiterhin wird im Fernstudium die e-learning-Plattform Clix Campus der Firma IMC AG zur Gestaltung von „Online-Universitäten“ für die virtuelle Lehre eingesetzt. Diese Plattform soll auch auf das Direktstudium übertragen werden. Erste Versuche wurden erfolgreich durchgeführt. Dem neuen Trend von „Anywhere and Anytime“-Learning steht also auch in Wildau nichts mehr im Wege!

Quellen

- Labor für Oberflächentechnik der TFH Wildau (Abb. 8, 10, 11)
 Petra Maier: persönl. Notizen vom „Education Quality Forum zu Neuen Medien in der Bildung“, Dortmund Nov. 2002
 Margit Scholl/Sabine Schröter: Medienintegrierende und praxisorientierte Verwaltungsinformatik, in: TFH-INFO Wildau 4/2002
 Bodo Wolf: Folien eines Vortrags auf der Frühjahrstagung des Arbeitskreises „Rastersondenmikroskopie“, BAM Berlin Febr. 2002 (Abb. 10)
 www.bscw.de (Abb. 1)
 www.im-c.de (e-learning-Plattform Clix Campus)

Danksagung

Die hier dargestellten Lernkomponenten konnten erstellt werden durch die Finanzierung und Förderung im Rahmen des Hochschulsonderprogramms des Landes Brandenburg „Chancengleichheit für Frauen“, Frauenförderung HSP-N Projekt Nr. 7. Besonderen Dank an die Projektleiterin Prof. Dr. Asta Richter und das „Telematik“-Team für interessante Diskussionen und die gute Zusammenarbeit.

Autor

Dr. Petra Maier

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Telefon +49 3375 508-359
 E-Mail: pmaier@igw.tfh-wildau.de

Analyse und Auswertung von Besonderheiten und Problemen bei der Konstruktion einer Serienvorrichtung im Rahmen einer praxisnahen Aufgabenstellung für die Lehre

Norbert Miersch, Gero Busse, Jörg Fricke, Alexander Stengl

1 Einleitung

Der Kontakt und die Zusammenarbeit mit Klein- und Mittelständischen Unternehmen in der Umgebung der Technischen Fachhochschule Wildau ist eine wichtige Wissensquelle zur Bereicherung von Lehre und Forschung. Dabei werden praxisnahe Problemstellungen im Hauptstudium in den belegbegleitenden Fächern der Spezialisierungsrichtung Maschinenbau von Studenten zunehmend angestrebt.

Im Zuge der sich verschärfenden Arbeitsmarktsituation kann der Nachweis solcher Aktivitäten bei der Bewerbung durchaus förderlich sein. Basierend auf bestehenden Kontakten zur Firma Tema Fischer GmbH in Berlin Rudow war es möglich, für zwei Studenten eine praxisnahe Belegaufgabe für das Lehrgebiet Vorrichtungskonstruktion zu formulieren. Dabei konnten der Aufgabenumfang und die zeitliche Terminstellung mit der Firma entsprechend dem Lehrplan angepasst werden.

2 Zielstellung

Vorgesehen war, zwei Serienvorrichtungen für die mechanische Bearbeitung eines Getriebegehäusehinterteiles des „Porsche Cayenne“ mit Hilfe eines 3D-CAD-Systems zu konstruieren. Vereinbart wurde dabei die Erstellung der Zeichnungssätze, der Dokumentationen sowie einer abschließenden Präsentation.

Das Werkstück „Getriebegehäusehinterteil“ sollte durch den Einsatz der beiden Vorrichtungen in zwei Aufspannungen auf einem Bearbeitungszentrum „MORI SEIKI SH-633“ bearbeitet werden. Der zeitliche Rahmen und das Arbeitsvolumen mussten in zehn Semesterwochen mit jeweils vier Semesterwochenstunden zuzüglich Selbststudienzeit durch den Einsatz der zwei Studenten bewältigt werden. Außerdem war es aufgrund des vorliegenden Datenformates der 3D-CAD-Daten des Getriebegehäusehinterteiles notwendig, Schnittstellenuntersuchungen durchzuführen. Diese eigenständige Aufgabenstellung sollte im parallel laufenden Lehrgebiet „Rechnerintegrierter Betrieb“ von den zwei Studenten bearbeitet werden.

Eine wichtige Aufgabe bestand darin, das optimale Datenformat für die Vorrichtungskonstruktion und damit im Zusammenhang das zweckmäßigste verfügbare 3D-CAD-System zu ermitteln.

3 Aussagen zur Herstellung des Werkstückes

Das Werkstück „Getriebegehäusehinterteil“, das in seiner Serienvariante mit 20 000 Stück pro Jahr in der Firma Tema Fischer GmbH hergestellt werden soll, ist ein Druckgussteil aus dem Werkstoff GD-ALSi9Cu3. Die mechanische Teilebearbeitung ordnet sich dabei in die Herstellung der Fertigteile wie folgt ein (Abbildung 1):

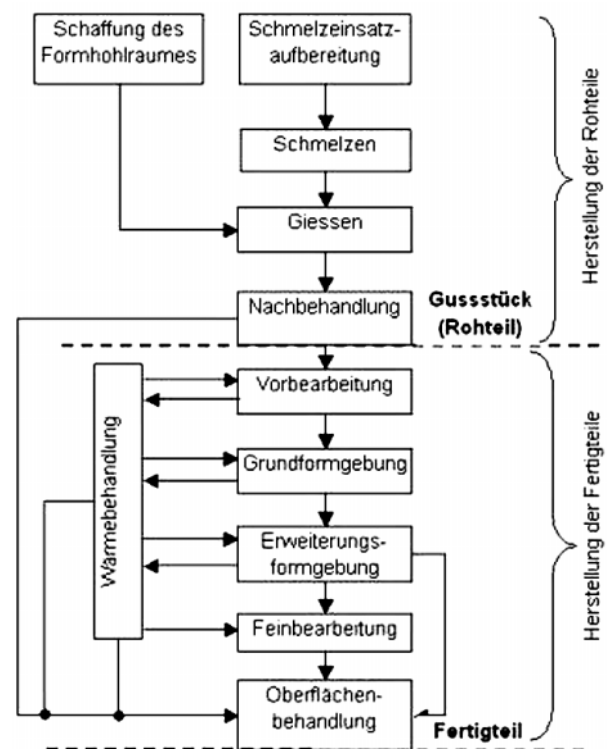


Abb. 1: Abgrenzung von Roh- und Fertigteil im Teilefertigungsprozess von Gussstücken [1]

In einer modernen mechanischen Werkstatt wie in der Firma Tema Fischer GmbH wird eine Komplettbearbeitung der Werkstücke angestrebt. Das bedeutet, dass alle notwendigen spanenden Arbeitsschritte auf einer einzigen Werkzeugmaschine durchgeführt werden.

Eine solche Verfahrensweise ist auch beim Getriebegehäusehinterteil möglich. Durch das Vorgießen von Formelementen, wie beispielsweise der Grund- oder Durchgangsbohrungen, der Verrippungen, der Nuten und der Schlitze, konnte bereits am Gussteil selbst eine hohe Annäherung der Rohteilgeometrie an die Fertigteilgeometrie erfolgen (Abbildung 2).

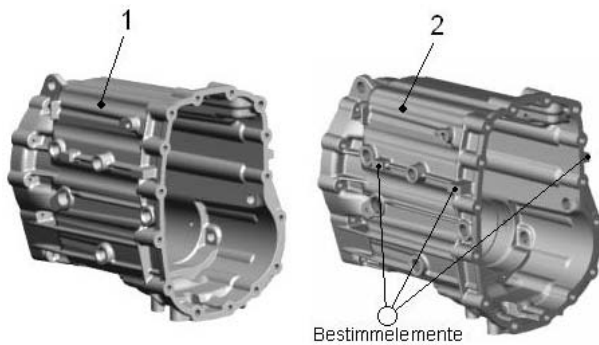


Abb. 2: Getriebegehäusehinterteil für den Porsche Cayenne (1 – Druckgussrohteil in perspektivischer Darstellung; 2 – Fertigteil in perspektivischer Darstellung)

Der Ablauf in Abbildung 1 kann demzufolge durch Zusammenlegung der Schritte Vorbearbeitung, Grundformgebung, Erweiterungsformgebung und Feinbearbeitung für das Getriebegehäusehinterteil präzisiert werden. Für Druckgussteile aus Aluminiumguss wird allgemein nach [2] von folgenden technisch- technologischen Richtwerten ausgegangen (siehe Tabelle 1):

Bearbeitungszugaben	: 0,3 mm bis 0,5 mm
Aushebeschrägen	: 1° bis 5°
Mindestwanddicken	: 1 mm bis 3 mm
Maßabweichungen	: ca. $\pm 0,2$ mm
Mindestradien	: bis 1 mm möglich

Tab. 1: Richtwerte für Druckgussteile aus Aluminiumlegierungen nach [2]

Die mechanische Bearbeitung des Getriebegehäusehinterteiles macht es notwendig, Grund-, Durchgangs- und Gewindebohrungen sowie Flächen in einer nach Fertigteilzeichnung vorgeschriebenen Qualität herzustellen. Dafür werden die spanenden Bearbeitungsverfahren Bohren, Senken, Reiben, Zirkularfräsen, Gewindeformen, Planfräsen und Ausdrehen angewandt. Durch den Einsatz eines Bearbeitungszentrums ist eine Komplettbearbeitung des Getriebegehäusehinterteiles in zwei Aufspannungen mit einem entsprechenden Werkzeugsatz möglich.

Die Entwicklung eines serientauglichen Gussrohteiles für das Getriebegehäusehinterteil dauert nach Untersuchungen [3] ca. zwei Jahre. Dem Serienteil läuft bereits nach einem halben Jahr in einer begrenzten Stückzahl ein Prototyp voraus. Das Gussrohteil für die Serienfertigung wird dabei auf Grundlage der Fertigteilzeichnung in der Gießerei konstruiert [3]. Es erfolgen umfangreiche Absprachen zwischen dem Getriebekonstrukteur und dem Rohteilkonstrukteur in der Gießerei.

Das Rohteil ist durch eine Vielzahl von Parametern gekennzeichnet. Um die Wichtigsten zu nennen, sind dies die Formteilung, Kerne, Bearbeitungszugaben, Aushebeschrägen, Gussradien, vorgießbare Formelemente, Markierungen der Anguss-, Speisungs- und Entlüftungsstellen und die Definition von Spannungspunkten sowie Auf- und Anlageflächen zur nachfolgenden mechanischen Bearbeitung [1].

Gerade die Definition der Auf- und Anlageflächen stellt für die technologische Basierung der Bearbeitungsoperationen wie Abspannen, Beschichten, Montage- und Prüfoperationen eine wichtige Grundlage dar. Spannungspunkte dienen zu unmittelbaren Kraftübertragung durch Spannmittel am Gussteil [1]. Durch das Festlegen zweckmäßiger Auf- und Anlageflächen bzw. Spannungspunkte kann der Fertigungsaufwand reduziert werden.

Dieser Sachverhalt wurde auch beim Getriebegehäusehinterteil berücksichtigt. Um ein Verspannen und ein zeitaufwändiges Vermitteln einzusparen, wurden Auf- und Anlageflächen berücksichtigt (Abbildung 3).

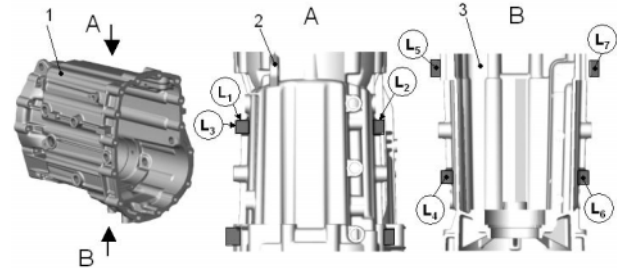


Abb. 3: Definition der An- und Auflageflächen durch den Getriebekonstrukteur (1 – Fertigteil in perspektivischer Darstellung; 2 – Ansicht der An- und Auflageflächen von oben (Ansicht A); 3 – Ansicht der An- und Auflageflächen von unten im Schnitt (Ansicht B); L1, L2, L3 – Fest- und Anlageflächen für Rohkontrolle und Erstbearbeitung; L4, L5, L6 – Fest- und Auflageflächen für Rohkontrolle und Erstbearbeitung; L7 – bewegliche Auflagefläche für die Erstbearbeitung (Stütze))

Um jedoch zweckentsprechende Auf- und Anlageflächen zum Bestimmen¹ in einer Vorrichtung zu erhalten, sind Absprachen des Getriebekonstrukteurs mit dem Vorrichtungskonstrukteur erforderlich. In den wenigsten Fällen wird dieser Sachverhalt berücksichtigt, so dass in der mechanischen Bearbeitung ein hoher Kostenaufwand entsteht.

4 Besonderheiten zur Vorrichtungskonstruktion

Im Folgenden wird auf die Besonderheiten bei der Vorrichtungskonstruktion für die erste Aufspannung der Komplettbearbeitung des Getriebegehäusehinterteiles auf dem Bearbeitungszentrum „MORI SEIKI SH-633“ eingegangen.

4.1 Anforderungen an die Vorrichtung der ersten Aufspannung

In Abstimmung mit der Firma Tema Fischer GmbH konnte zur Konstruktion der Vorrichtung eine Anforderungsliste erstellt werden (Tabelle 2).

Zur Herstellung der ersten Getriebegehäusehinterteile wurde bereits ein Vorrichtungsprototyp genutzt. Nach einer Analyse der Fertigung mit diesem Prototyp und dem Erfahrungswissen von Spezialisten der Firma Tema Fischer GmbH konnte diese Anforderungsliste nach Tabelle 2 für eine Serienvorrichtung erstellt werden.



Anforderungen	Begründung
Einfachspannung	Da sich die Vorrichtung im Bearbeitungszentrum auf einem Drehtisch befindet, müssen alle vier Seiten zugänglich sein. Eine Vorrichtung die das gewährleistet, ist bei dieser Teilegröße nicht zu realisieren.
Eine Bedienstelle	Wichtig bei größeren Stückzahlen ist die Reduzierung der Haupt- und Nebenzeiten. Durch eine Bedienstelle werden die Nebenzeiten gering gehalten.
Hydraulisches Spannsystem	Zum Spannen von Gussteilen wurden bereits Erfahrungen mit hydraulischen Spannelementen gesammelt. Durch die Funktion dieser Spannelemente können die Nebenzeiten ebenfalls gering gehalten werden. Hier wurde vorzugsweise auf den Einsatz von Schwenkspannern verwiesen.
Vermeidung von Verspannungen (Offset)	Um Verspannungen zu vermeiden, ist es zwingend notwendig, die festgelegten Auf- und Anlageflächen, sowie Spannflächen des Konstrukteurs zu nutzen. Außerdem können hierdurch komplizierte Toleranzuntersuchungen vermieden werden.
Schwingungsdämpfung	Durch den Einsatz des Vorrichtungsprototypen waren bei der Bearbeitung erhebliche Schwingungen und Geräusche zu verzeichnen. Die neuen Vorrichtungen sollen das Schwingungsproblem durch einen entsprechenden Vorrichtungsrundkörper aus EN-GJL und eine kompaktere bzw. steifere Auslegung eingrenzen.
Betrachtung der Punktauflage	Das Bestimmen des Gussteiles auf den Vorrichtungsflächen soll durch eine Punktauflage erfolgen. Die hierbei entstehenden Spannmarken drücken sich in die vom Konstrukteur vorgesehenen Auflageflächen ein. Sie sind zulässig, da sie auf die Funktion des Getriebes keinen Einfluss haben. Jedoch kann das Absenken des Gussteiles Einfluss auf die Toleranzen haben. Dieser Einfluss (Hertz'sche Pressung) ist wenn möglich zu überprüfen.
Überwachung, Sicherheit	Überwachung der Spannkraft durch Kopplung eines Kraftsensors mit der Steuerung der Maschine. Bei größeren Spannkraftschwankungen ist die Werkzeugmaschine (BAZ) außer Betrieb zu setzen. Die Komplettbearbeitung des Getriebegehäuses wird durch den Einsatz mehrerer Werkzeuge realisiert. Diese Sonderwerkzeuge stellen einen erheblichen Kostenfaktor dar. Werkzeugbruch und Maschinenzerstörung soll dadurch verhindert werden.

Tab. 2: Anforderungsliste zur Vorrichtungskonstruktion

4.2 Die Bedeutung von 3D-CAD-Werkstückdaten bei der Vorrichtungskonstruktion

Für eine 3D-CAD-Vorrichtungskonstruktion ist es zweckmäßig, die 3D-CAD-Werkstückdaten des Getriebegehäusehinterteiles zu nutzen. Das ist beispielsweise zur Überprüfung von Kollisionen vorteilhaft, die beim Einlegen oder Herausnehmen des Werkstückes aus der Vorrichtung auftreten können.

Das Bestimmen und die eventuell erforderlichen Toleranzuntersuchungen werden in der gängigen Praxis anhand vorhandener 2D-CAD-Fertigteilzeichnungen im Papierformat durchgeführt. Gegenüber einer 3D-CAD-Darstellung enthalten diese Zeichnungen zusätzliche geometrische und technologische Informationen. Es können beispielsweise neben dem Werkstoff wichtige Maß-, Form-, Lage- und Oberflächentoleranzen abgelesen werden.

Zum Getriebegehäusehinterteil lagen 2D-Zeichnungen für das Rohteil und das Fertigteil im Papierformat vor. Die Daten des Getriebegehäusehinterteiles wurden zusätzlich der Firma Tema Fischer GmbH vom Getriebe konstrukteur im Pro/ENGINEER-Format übermittelt. Ein entsprechendes 3D-CAD-System war an der TFH Wildau und der Firma Tema Fischer GmbH nicht verfügbar. Auf Anfrage beim Getriebe konstrukteur war es möglich, mehrere neutrale Datenformate zu erhalten. Diese wurden gesondert im Lehrgebiet „Rechnerintegrierter Betrieb“ auf ihre Verwendbarkeit überprüft.

Aufgrund dieser Untersuchungen stellte sich für die Vorrichtungskonstruktion das 3D-CAD-System Solid Works2002 als günstigstes heraus. Einen qualitativen Vergleich der verschiedenen Datenformate zum entsprechenden an der TFH Wildau verfügbaren 3D-CAD-System zeigt Tabelle 3.

	IGES (V 5.3)	STEP (AP214)	VDAFS (V 2)
Catia V5	↙ genügend Flächenorientierung	↑ sehr gut	↓ ungenügend
SolidWorks2002	↙ genügend Flächenorientierung	↑ sehr gut	↓ ungenügend
Mechanical Desktop 6	↑ sehr gut	↓ ungenügend	↓ ungenügend
Inventor 5	↓ ungenügend	↑ sehr gut	↓ ungenügend

Tab. 3: Qualitativer Vergleich ausgewählter 3D-CAD-Systeme hinsichtlich ihrer Datenaufnahme und -verarbeitung über ausgewählte neutrale Schnittstellen

4.3 Lösung wichtiger Probleme bei der Werkstückbestimmung

Wie bereits im Punkt 3 erwähnt, wurden durch den Getriebe konstrukteur Auf- und Anlageflächen am Werkstück definiert (siehe Abbildung 3). Auf diese Flächen wurde ein Referenznullpunkt festgelegt. Alle für die mechanische Bearbeitung zutreffenden Maße sind auf diesen Referenznullpunkt bezogen und entsprechend toleriert. Werden die vorgesehenen Werkstückbestimm-

flächen mit den Vorrichtungsbestimmflächen in Übereinstimmung gebracht, liegt ein Bestimmfehler zweiter Ordnung vor. Bei diesem Bestimmfehler ist es nicht notwendig eine Toleranzuntersuchung durchzuführen, um die Genauigkeit der zu bearbeitenden Formelemente in Abhängigkeit von den Vorrichtungsbestimmflächen am Werkstück nachzuweisen [4].

Aufgrund einer günstigeren Vorrichtungsvariante war das Bestimmen auf einige dieser Auf- und Anlageflächen nicht möglich. Die vom Getriebekonstrukteur vorgesehenen Bezugsebenen² L_4 , L_5 und L_6 in Abbildung 3 konnten mit den Bestimmebenen³ nicht in Übereinstimmung gebracht werden (Abbildung 4/1). Durch den nun vorliegenden Fehler erster Ordnung [4] war es notwendig, eine Toleranzuntersuchung durchzuführen (Abbildung 4/2).

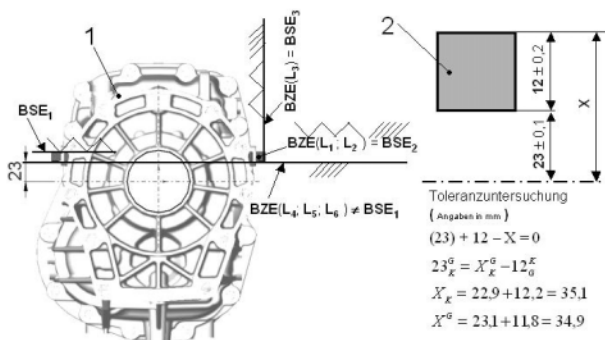


Abb. 4: Werkstückaufbereitung und Toleranzuntersuchung am Getriebegehäusehinterteil (Werkstück) (1 – Werkstückaufbereitung; 2 – Toleranzkette; BSE – Bestimmebene; BZE – Bezugsebene)

Das Ergebnis der Toleranzrechnung weist ein größeres Kleinstmaß ($X_K = 35,1$ mm) als das Größtmaß ($X_G = 34,9$ mm) aus. Um diesen Bestimmfehler auszugleichen, wurden folgende Möglichkeiten betrachtet und miteinander verglichen:

1. Gewährleistung der Übereinstimmung von Bezugsebene und Bestimmebene durch Änderung der Lage der Bestimmebene. Damit verbunden ist eine für die Serienfertigung unwirtschaftliche Vorrichtungsvariante.
2. Gewährleistung der Übereinstimmung von Bezugsebene und Bestimmebene durch Änderung der Bemaßung durch den Getriebekonstrukteur (Veränderung des Bezuges der Bemaßung zu den Auflageflächen). Damit verbunden ist eine Änderung der Getriebe konstruktion und der Konstruktion des Druckgusswerkzeuges.
3. Veränderung der Maßtoleranzen durch den Getriebe konstrukteur. Das hat eine Veränderung des Gussroh teiles und des Druckgusswerkzeuges zur Folge.
4. Beibehaltung der Bemaßung und der Maßtoleranzen. Zusage einer höheren Genauigkeit in der Rohteil fertigung unter Berücksichtigung des Werkzeugverschleißes.

In Absprache mit dem Werkzeugkonstrukteur der Druckgussform, dem Gießer und der Firma Tema Fischer GmbH konnte die vierte Möglichkeit gewählt werden. Die vorgesehene Vorrichtungsvariante konnte somit berücksichtigt werden.

4.4 Einsatz moderner Spannelemente im klassischen Spannkonzep

Um ein sicheres, verzugsfreies und reproduzierbares Spannen⁴ des Werkstückes in der Vorrichtung zu gewährleisten, müssen schrittweise folgende Kriterien berücksichtigt werden:

1. Ermittlung der vorhandenen Schnitt- und Vorschubkräfte (Kraftangriffspunkt, Betrag und Wirkungsrichtung). Berücksichtigung der ungünstigsten Bearbeitungsaufgabe für jede Koordinatenrichtung [5]. In diesem Zusammenhang kann gleichzeitig eine Überprüfung der vorhandenen Maschinenleistung erfolgen.
2. Ermittlung des Korrekturfaktors für elastisches bzw. starres Spannen und Korrektur der Schnittkraft- und Vorschubkräfte [6].
3. Festlegung der Spannstellen am Werkstück.
4. Berechnung der notwendigen Spannkkräfte. Dazu ist das Aufstellen eines Kräfteplanes zweckmäßig.
5. Auswahl bzw. Berechnung der Spannelemente. Nutzung von entsprechenden Herstellerkatalogen.⁵
6. Nachrechnung gefährdeter Bauteilquerschnitte.
7. Überprüfung auf Spannmarken am Werkstück.

Zur Ermittlung der vorhandenen Schnitt- und Vorschubkräfte wurde das NC-Programm des Bearbeitungszentrums „MORI SEIKI SH-633“ ausgewertet. Unter Berücksichtigung der ungünstigsten Bearbeitungssituation (Bearbeitung der größten Bohrung) wurde daraus die Mindestspannkraft für jede Spannstelle errechnet. Im Ergebnis waren geringe Spannkkräfte erforderlich. Begründet werden kann dies durch die geringen Bearbeitungszugaben am Rohteil (siehe Tabelle 1) und geringen Vorschübe bei der Bearbeitung.

Als Spannelemente wurden doppelt wirkende hydraulische Schwenkspanner eingesetzt (Firma Römheld). Die Schwenkspanner werden beim Spannen und Entspannen hydraulisch betätigt und verfügen über einen Spann- und einen Schwenkhub. Durch das Ausschwenken der Spanner beim Entspannen wird ein leichtes Be- und Entladen der Vorrichtung möglich. Das Bedienen aller Schwenkspanner durch die Hydraulikanlage ist an einer Bedienstelle möglich.

Um das Überbestimmen des Werkstückes zu vermeiden, aber gleichzeitig eine stabile und schwingungsarme Werkstücklage zu gewährleisten, wurde ein hydraulisches Abstützelement eingesetzt (Firma Römheld). Die Steuerung dieses Stützelementes ist zeitversetzt im Zusammenhang mit einem hydraulischen Schwenkspanner durch den Einsatz eines Stromregelventils im Hydraulikkreislauf möglich (Abbildung 5).

4.5 Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen beim Einsatz des Vorrichtungsprototypen (siehe auch Punkt 4.1) traten bei der Bearbeitung des Gehäusehinterteiles selbst-erregte Schwingungen auf. Dieser Sachverhalt kam

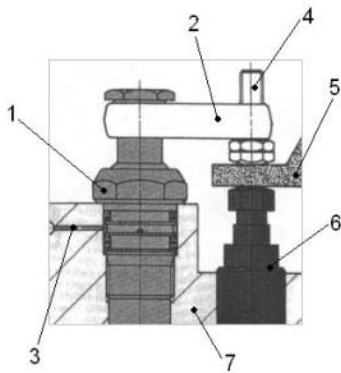


Abb. 5: Kombiniertes Einsatz hydraulischer Stütz- und Spannelemente (1 – doppelt wirkender Schwenkspanner; 2 – Schwenkeinheit des Schwenkspanners; 3 – Hydraulikleitung; 4 – verstellbares Druckelement; 5 – Werkstück; 6 – hydraulisches Abstützelement)

besonders durch die entstehenden Geräusche bei der Fertigung zum Tragen. Der Einfluss wurde bei der Konstruktion des Vorrichtungsgrundkörpers berücksichtigt. Dieser wurde besonders massiv und schwer mit 160 kg zu 9,3 kg Werkstückmasse sowie dem Werkstoff EN-GJL ausgeführt.

In Abstimmung mit der Firma Tema Fischer GmbH wurden zum Bestimmen Punktauflagen verwendet. Eine entsprechende Spannmarkenbetrachtung ist hierbei nicht notwendig, da es in jedem Fall zu Spannmarken am Werkstück kommt und sie die Funktion des Getriebes nicht beeinflussen. Sie können nach Absprache mit dem Getriebekonstrukteur am Werkstück verbleiben.

Der nach Anforderungsliste zu untersuchende Einfluss der Eindringtiefe auf die Fertigungstoleranzen wird von der Firma Tema Fischer GmbH empirisch untersucht. Eine analytische Betrachtung wurde aufgrund der Kompliziertheit des Problems (plastische und elastische Analyse) und des damit verbundenen hohen Zeitaufwandes nicht durchgeführt. Diese Entscheidung wurde mit der Firma Tema Fischer GmbH abgestimmt. Das Sicherheitskonzept nach Anforderungsliste (Tabelle 2) wird von der Firma Tema Fischer GmbH selbst ausgeführt.

4.6 Die Ausführung der Vorrichtung für die erste Aufspannung

Der Aufbau der Vorrichtung wird in Abbildung 6 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass für den Schwenkspanner noch keine aktualisierten 3D-CAD-Daten durch den „Anbieter“ zur Verfügung standen, obwohl der komplette Schwenkspanner bereits im Handel erhältlich ist. Bezüglich der Schwenkarme müssten die Zeichnungen der Vorrichtung dann noch ergänzt werden.

Im Weiteren wird die Funktion der Vorrichtung erläutert. Im Ausgangszustand sind die Schwenkspanner (Positionen 6.1 bis 6.4 in Abb. 6) vor dem Einlegen der Werkstücke zur Seite geschwenkt. Die Klemmung der hydraulische Stütze (Positionen 2 in Abb. 6) ist entriegelt.

Bei der Bestückung der Vorrichtung wird zunächst das Werkstück auf die Bestimmelemente der Vorrichtung gelegt. Dabei werden die Auf- und Anlageflächen (siehe

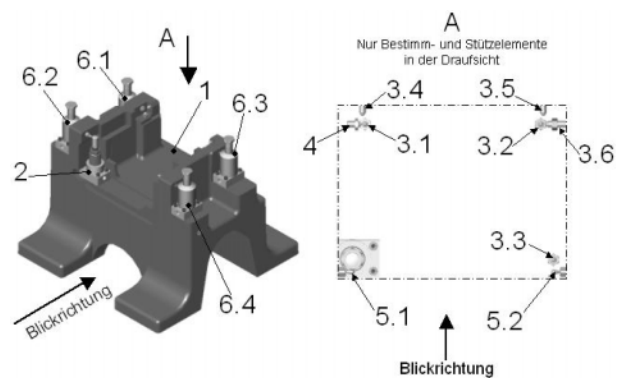


Abb. 6: Vorrichtung für die mechanische Bearbeitung von Getriebegehäusehinterteilen des Porsche Cayenne (1 – Vorrichtungsgrundkörper; 2 – hydraulisch betätigte Stütze; 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6 – Kugelaufleger M8; 4 – Druckstift M8; 5.1; 5.2 – Seitendruckstück M12; 6.1; 6.2; 6.3; 6.4 – Schwenkspanner)

Abb. 4 und Abb. 6) des Werkstückes mit den Bestimmebenen BSE_1 , BSE_2 und BSE_3 über Kugelaufleger (Positionen 3.1 bis 3.6 in Abb. 6) an der Vorrichtung in Berührung gebracht. Durch das Eigengewicht des Werkstückes wird dies selbstständig an die Kugelaufleger (Positionen 3.1 bis 3.3 in Abb. 6, Bestimmebene BSE_1 in Abb. 4) gedrückt. Hierbei werden dem Werkstück drei Freiheitsgrade entzogen. Durch die Seitendruckstücke (Positionen 5.1 bis 5.2 in Abb. 6) wird das Werkstück gleichzeitig mit 150 N an die Kugelaufleger (Positionen 3.4 und 3.5 in Abb. 6, Bestimmebene BSE_2 in Abb. 4) gedrückt. Es werden dem Werkstück weitere zwei Freiheitsgrade entzogen. Der federnde Druckstift (Position 4 in Abb. 6) sorgt für die Lagesicherung des Werkstückes an einer weiteren Kugelaufleger (Position 3.6 in Abb. 6, Bestimmebene BSE_3 in Abb. 4). Hierbei wird dem Werkstück ein Freiheitsgrad entzogen. Danach erfolgt der Einsatz der ersten drei Schwenkspanner (Positionen 6.1 bis 6.3 in Abb. 6). Sie spannen das Werkstück gegen die Kugelaufleger (Positionen 3.1 bis 3.3 in Abb. 6, Bestimmebene BSE_1 in Abb. 4).

Anschließend wird die hydraulische Stütze (Position 2 in Abb. 6) soweit an die Auflagefläche des Werkstückes (Bestimmebene BSE_1 in Abb. 4) herangefahren, bis eine Federkraft von ca. 15 N auf die Auflagefläche des Werkstückes wirkt. Die Stütze wird danach hydraulisch geklemmt. Es erfolgt das Einschwenken des vierten Spanners (Position 6.4 in Abb. 6) und das Fixieren der letzten Spannstelle.

Bei der Entnahme der Werkstücke aus der Vorrichtung werden durch die hydraulische Steuerung die Schwenkspanner (Positionen 6.1 bis 6.4 in Abb. 6) gleichzeitig nach oben gefahren und schwenken kollisionsfrei um 90° nach außen. Die hydraulisch betätigte Stütze (Position 2 in Abb. 6) wird gleichzeitig entsperrt. Die Werkstücke können aus der Vorrichtung entnommen werden.

Die Vorrichtung wird an einem Schalter der Hydraulikanlage betätigt. Der Ablauf des Spannens erfolgt automatisch durch die Nutzung von Wege- und Stromregulventilen im Hydraulikkreislauf. In Abbildung 7 wird die Vorrichtung mit dem Werkstück „Getriebegehäusehinterteil“ dargestellt.

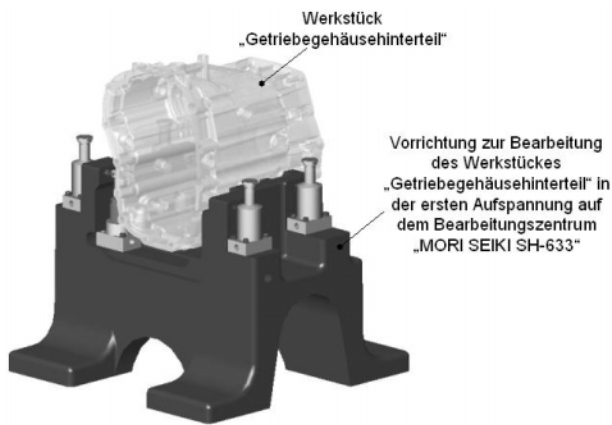


Abb. 7: Vorrichtung zur mechanischen Bearbeitung mit Werkstück „Getriebegehäusehinterteil“ des Porsche Cayenne

5 Analyse der Ergebnisse

Die vorgegebene Zielstellung unter Punkt 2 wurde erfüllt. Es wurden die Vorrichtungen für beide Aufspannungen konstruiert. Die Firma Tema Fischer GmbH konnte die vorgelegten Ergebnisse nutzen, um die Fertigung der Vorrichtungen einzuleiten. Es erfolgte eine erfolgreiche Verteidigung der Lösung durch beide Studenten im Unternehmen.

Beide Vorrichtungen wurden mit Hilfe des 3D-CAD-Systems SolidWorks konstruiert. Dabei konnten die Werkstückdaten des Getriebekonstrukteurs konvertiert und genutzt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Artikel beschreibt ausgehend von den Betrachtungen zum Werkstück „Getriebegehäusehinterteil“ Besonderheiten und Probleme bei der Konstruktion einer Serienvorrichtung für die erste Aufspannung der Komplettbearbeitung auf einem Bearbeitungszentrum. Durch die Zusammenarbeit mit erfahrenen Spezialisten aus der Fertigung war es möglich, einige Besonderheiten und praxisorientierte Probleme unter Berücksichtigung des bekannten Konstruktionsablaufes (Bestimmen und Spannen) zu beschreiben.

Der Artikel macht deutlich, dass trotz intensiver Absprachen zwischen Fertigteilkonstruktion und Rohteilfertigung während der Entwicklungsphase eines Serienteiles die Besonderheiten der mechanischen Bearbeitung nicht berücksichtigt wurden. Dieser Sachverhalt wurde bei der Betrachtung der An- und Auflageflächen am Getriebegehäusehinterteile des Porsche Cayenne erkannt.

Weiterführend ist geplant, das erarbeitete Wissen im Rahmen des Lehrgebietes „Vorrichtungskonstruktion“ an die Studenten zu vermitteln und durch neue Aufgabenstellungen mit dem Kooperationspartner zu erweitern. Aufgrund einer sehr gut funktionierenden Zusammenarbeit mit der Firma Tema Fischer GmbH ist die Bearbeitung weiterer Problemstellungen möglich. Der Erfolg wird jedoch in erster Linie von der Motivation der Stu-

denten beeinflusst, denn die Bearbeitung einer solchen Aufgabe erfordert ein hohes Maß an persönlichen Engagement verbunden mit einem überdurchschnittlichen Zeitaufwand.

Danksagung

Die Autoren danken an dieser Stelle Herrn Professor Kuchling und Frau Dipl.-Ing. (FH) Gabriele Wille für die sehr gute Zusammenarbeit, ohne die die Schnittstellenuntersuchungen zu den 3D-CAD-Daten nicht möglich gewesen wären.

Anmerkungen

- 1 Das Bestimmen ist das Einordnen des Werkstücks in eine eindeutige, für die Durchführung der Arbeitsverrichtung erforderliche Lage [4]. Die Vorgehensweise beim Bestimmen wird als Methode des Entzuges der Freiheitsgrade bezeichnet [5].
- 2 Bezugsebenen sind die Ebenen, auf die der Konstrukteur des Werkstücks die maßlichen Festlegungen bezieht [4].
- 3 Bestimmebenen sind die Ebenen, die durch den Kontakt zwischen Werkstück und Bestimmelementen der Vorrichtung entstehen [4].
- 4 Spannen ist das sichere Festhalten der bereits bestimmten Werkstücke oder Werkzeuge während der Fertigung [4].
- 5 Zur Lieferung von Bestimm- und Spannelementen sowie Normteilen für den Vorrichtungsbau gibt es „Anbieter“. Diese präsentieren sich über Kataloge im Papierformat und über das Internet. Bei der Nutzung des Internets besteht dabei die Möglichkeit, Daten der Vorrichtungselemente in einem maschinenlesbaren Datenformat herunterzuladen. Es werden hier die gängigen Datenformate wie IGES, DXF, STEP, DWG, SAT angeboten. Einige ausgewählte Anbieter sind RÖMHELD, NORELEM und HASCO.

Literaturverzeichnis

- [1] Miersch, N.: Rechnerunterstützte Generierung von Gussrohteilen aus Eisengusswerkstoffen, Dissertationsschrift, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 2002.
- [2] Ambos, E.; Soethe, M.; Hofmann, I.: CITIM – Datenbank Gießereitechnologie. Ein Hilfsmittel zur Gestaltung von Bauteilen aus metallischen Gusswerkstoffen, Gießereipraxis (1994) 15/16, S. 405-411.
- [3] Swat, H.: Analyse des technologischen Gussteiledurchlaufs vom Eingang der Anfrage bis zur Serienfertigung in der Kloth-Senking Metallgießerei Hildesheim, Praktikumsbericht 2002, Technische Fachhochschule Wildau
- [4] Fronober, M.; Henning, W.; Thiel, H.; Wiebach, H.: Vorrichtungen. Gestalten, Bemessen, Bewerten, VEB Verlag Technik, Berlin 1982.
- [5] Trummler, A.; Wiebach, H.: Vorrichtungen der Produktionstechnik, Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1994.
- [6] Perovic, B.: Werkzeugmaschinen und Vorrichtungen. Berechnung und Konstruktion, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1999.



Autoren

Dr.-Ing. Norbert Miersch

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-161
E-Mail: miersch@hrz.tfh-wildau.de

Dipl.-Ing. (FH) Gero Busse

TEMA-Fischer GmbH
Kanalstraße 7 A, 12357 Berlin
Telefon +49 30 6606066
E-Mail: g.busse@tema-fischer.de

Jörg Fricke

Finowstraße 6, 10247 Berlin
Telefon +49 30 29494661
E-Mail: jfricke@igw.tfh-wildau.de

Alexander Stengl

Blumberger Damm 3, 16306 Casekow OT Wartin
Telefon +49 33331 65105
E-Mail: a.stengl@gmx.net

Vom Indent zum Scratch – Nanomechanische Tests

Marcel Mück, Alexander Soshnikov, Bodo Wolf, Asta Richter

1 Einleitung

Da Bauteile immer kleiner und Beschichtungen immer dünner werden, erlangt die direkte und genaue Bestimmung mechanischer Eigenschaften im Nanobereich immer größere Bedeutung. Versteht man die Effekte im Nanobereich, wird es einfacher, auch Effekte im Makrobereich vorherzusagen. Damit bekommen die entsprechenden Messmethoden eine entscheidende Bedeutung bei der Entwicklung der Materialien und Herstellungsmethoden im Hinblick auf optimierte Produkteigenschaften [1]. Aus diesem Grund entwickelte sich jenseits der klassischen mechanischen Prüfverfahren, welche in der Makrodimension angesiedelt sind, in den letzten fünf Jahren ein neuer Zweig der Werkstoffprüfung, der sich mit den Materialeigenschaften im Nanobereich beschäftigt. Dies ist von grundlegender Bedeutung für die Nanotechnologie.

Unter Nanotechnologie fasst man die Manipulation einzelner Atome und Moleküle zusammen mit dem Ziel, im weitesten Sinne neue Werkstoffe mit Strukturen im Nanometer-Bereich zu erzeugen: Hochdichte Datenspeicher für superschnelle Computer, funktionelle superharte Beschichtungen, extrem feste molekulare Klebeverbindungen, effektive Katalysatoren und Membranen oder hoch selektiv wirkende Pharmazeutika sind einige Beispiele dafür [2].

In diesem Bericht sollen zwei Geräte in Bezug zueinander gesetzt werden, die die Messung verschiedener nanomechanischer Eigenschaften erlauben. Dabei handelt es sich um das TriboScope (Hysitron Inc.) [3] als Aufsatz für ein Rasterkraftmikroskop (SFM) und das Nanoscan (Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials; Troitsk/Russland) [4], dargestellt in den Abbildungen 1 und 2. Diese ermöglichen die Messung von Härte und E-Modul einer Oberfläche.

Zum Vergleich beider Geräte soll das Augenmerk auf die Bestimmung der Nanohärte gerichtet werden. Bei deren Ermittlung werden zwei unterschiedliche Wege beschritten. Das TriboScope verwendet die klassische Methode eines Indents, während das Nanoscan mittels eines Scratches (=Ritzes) die Bestimmung der Härte ermöglicht. Diese unterschiedlichen Herangehensweisen und die daraus resultierenden Ergebnisse sollen in den folgenden Abschnitten dokumentiert werden.

2 Aufbau und Funktion des TriboScopes und des Nanoscans

2.1 Allgemeine Betrachtungen

Beide hier beschriebenen Messverfahren bieten die Möglichkeit, mittels einer Sonde (= Spitze) die Oberfläche abzutasten und damit ein Höhenprofil zu messen. Gleichzeitig kann dieselbe Tastspitze zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften genutzt werden. Veränderungen der Oberfläche liegen beim TriboScope als Indent und beim Nanoscan als Scratch vor.

2.2 TriboScope

Das TriboScope [3] ist ein Zusatzmodul (Abb. 1a) für ein SFM (Abb. 1b). Es ersetzt dessen Standardmikroskopkopf



Abb. 1a: TriboScope der Firma Hysitron Inc. als Aufsatz für das SFM



Abb. 1b: Ansicht des Multimode SFM der Firma Veeco Instruments Inc.

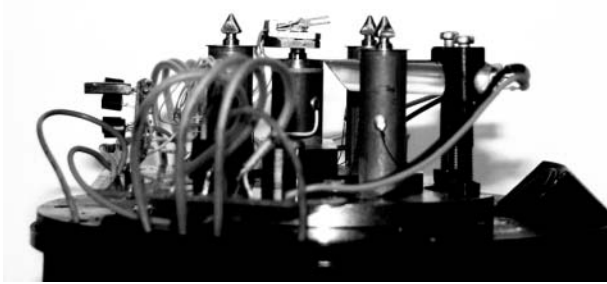


Abb. 2a: Geöffnetes Gehäuse des Nanoscans; zu erkennen sind die drei Auflagepunkte für die Probe und der doppelarmige Cantilever.



Abb. 2b: Ansicht des Geräts Nanoscan vom Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials in Troitsk, Russland

und nutzt die vorhandene Hard- und Software zur Umsetzung der Messwerte in ein Oberflächenprofil. Das Prinzip der Abtastung unterscheidet sich dabei aber grundsätzlich von dem eines Rasterkraftmikroskops. Bei diesem wird das Oberflächenprofil durch eine Nadel an einem biegsamen Cantilever (= Federbalken) abgetastet. Durch ein optisches System wird die Auslenkung der Nadel registriert und der somit detektierte Höhenunterschied der Oberfläche als elektrisches Signal erfasst. Über eine elektronische Rückkopplungsschleife wird dieses Signal auch an den Piezokristallträger der Probe übermittelt, der dann eine vertikale Probensteuerung vornimmt. Dadurch wird die Probe in einem konstanten Abstand unter der Nadel entlanggeführt. Die Z-Steuerung des Piezokristalls kann auch als Abtastsignal abgebildet werden und enthält die wahren Höhenwerte des Probenprofils [5-8].

Das Kernstück des TriboScopes ist ein 3-Plattenkondensator. An dessen mittlerer, beweglicher Platte, welche mit je zwei Federn an den äußeren Platten befestigt ist, befindet sich eine Diamantspitze (Abb. 3). Zwischen der mittleren und den äußeren Platten wird jeweils eine Wechsellspannung angelegt. Beide Spannungen (U_1 , U_2) haben den gleichen Betrag, sind aber um 180° phasenverschoben.

Um eine Oberfläche abzubilden, wird diese an die Nadel herangefahren, bis eine Auslenkung der beweglichen Kondensatorplatte erfolgt. Als Folge dessen ändert sich das Spannungsverhältnis zwischen U_1 und U_2 . Der Piezoaktuator, auf dem sich die Probe befindet, wird nun so justiert, dass die Differenz beider Spannungen nahe Null

3-Plattenkondensator

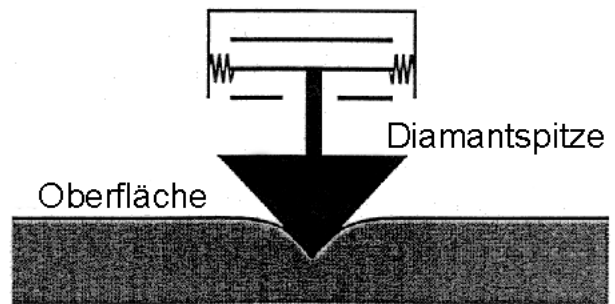


Abb. 3: Aufbau und Funktionsweise des TriboScopes

wird. Dies ergibt dann den Nullpunkt als Bezug für die Höhenmessungen.

Die Abbildung des Oberflächenprofils erfolgt nun zeilenweise, ähnlich wie beim Bildaufbau eines Monitors oder TV-Geräts. Dabei verschiebt der Piezoaktuator die Probe in x- und y-Richtung unter der Nadel. Die sich ändernden Spannungsverhältnisse der Kondensatorplatten werden als Signal in ein Strombild umgewandelt und übernehmen die Steuerung der Piezoaktuatoren. Diese verfahren die Probe so, dass die bewegliche Kondensatorplatte wieder in ihre Nulllage gebracht wird. Das Höhenbild entsteht durch das gleiche Prinzip wie beim oben beschriebenen SFM.

Zur Messung der Härte wird ein Indent erzeugt. Dazu wird die Diamantspitze an der gewünschten Stelle positioniert. Durch eine gezielte Änderung der Spannung lässt sich nun über eine Kondensatorplattenbewegung eine definierte Kraft auf die Oberfläche ausüben. Diese wird bestimmt durch:

$$F = 0.5 \varepsilon A \left(\frac{U}{d} \right)^2 \sim U^2. \quad (1)$$

U entspricht dabei der Spannung zwischen einer der äußeren Kondensatorplatten und der beweglichen Mittelplatte, A entspricht dem Plattendurchmesser, ε der Dielektrizitätskonstante und d dem Abstand der Platten.

Mittels der Steuerungssoftware werden die maximale Kraft sowie der zeitliche Verlauf des Krafteintrags vorgegeben. Während des Indentens wird ein Kraft-Weg-Diagramm aufgenommen (Abb. 4). Dieses stellt die Belastung und Entlastung der Probe als eine Funktion der Eindringtiefe dar. Die Steuerungssoftware gibt als Ergebnis aus diesem Diagramm die Härte nach folgenden Formeln aus [9]:

$$F = K(h - h_f)^m \quad (2)$$

$$h_c = h_{\max} - 0.75 \frac{F_{\max}}{S} \quad (3)$$

$$H = \frac{F_{\max}}{A(h_c)} \quad (4)$$

Um die Kraft F in Abhängigkeit von h zu bestimmen, wird die Gleichung 2 verwendet. Der Parameter h ist hier die

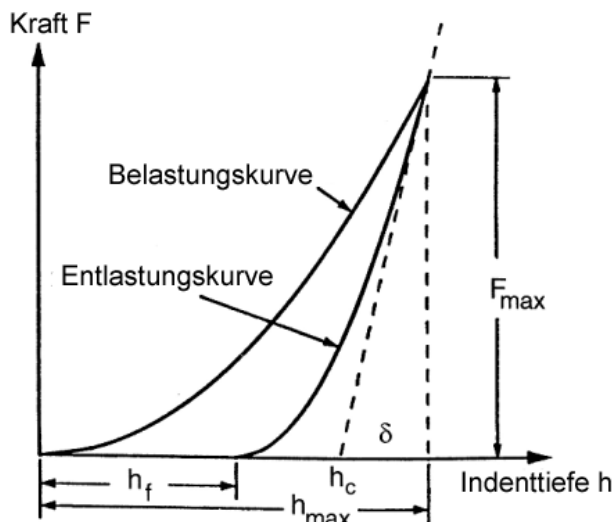
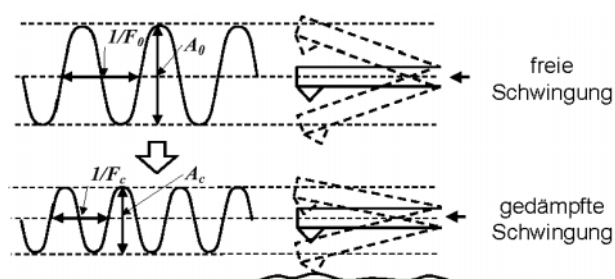


Abb. 4: Schematisiertes Kraft-Weg-Diagramm [9]

Eindringtiefe, h_f die Tiefe des verbleibenden Eindrucks, K ist eine Fitkonstante und m der Fitexponent, welcher zwischen 1 und 2 liegt. Um nun die Härte zu ermitteln, wird Gleichung 4 benötigt. In dieser wird die maximale Kraft F_{max} durch die Funktion der Kontaktfläche $A(h_c)$ geteilt. Aus Gleichung 3 kann die Kontakttiefe h_c bestimmt werden. Als Parameter in diese Berechnung fließen die maximale Eindringtiefe h_{max} , die maximale Kraft F_{max} an der Stelle h_{max} und die Steifheit $S = (dF/dh)_{h=max}$ ein. Als Ergebnis aus Gleichung 4 erhält man die Härte in GPa.

2.3 Nanoscan

Das Nanoscan [4] ist ein SFM, welches im dynamischen Kontaktmodus mittels oszillierender Spitze arbeitet, ähnlich dem Tapping-Modus [5-8]. Das Nanoscan wird zum Scratching von Materialien unterschiedlichster Festigkeit benutzt. Es können auch Materialeigenschaften wie Haftfestigkeit, Materialermüdung und Reibungsverhalten ermittelt werden. Kernstück dieses Gerätes ist ein doppelarmiger piezokeramischer Cantilever, an dem eine Spitze aus Diamant bzw. Fullerit befestigt ist (Abb. 2a). Die Spitze kann mittels eines Piezodrives von unten an eine Probe herangefahren werden. Sie wird auf drei Punkten gelagert, die mittels mehrerer Piezokristalle in x- und y-Richtung bewegt werden können. Das ganze System ist in einem zylindrischen Gehäuse (Abb. 2b) untergebracht und auf einer schwingungs isolierten Plattform befestigt.

Abb. 5: Schematischer Verlauf der freien und gedämpften Schwingung bei Annäherung der Sonde an die Oberfläche; A_0 und F_0 entsprechen der Amplitude und Frequenz der freien, A_c und F_c der Amplitude und Frequenz der gedämpften Schwingung.

Um eine Oberfläche abzubilden, wird diese genau wie beim TriboScope nach dem Rasterprinzip abgetastet. Der piezokeramische Cantilever wird zum Oszillieren gebracht. Trifft die Spitze die Oberfläche, verringert sich die Amplitude und mit zunehmendem Maße auch die Frequenz. Es handelt sich dabei, wie in Abbildung 5 dargestellt, um eine gedämpfte Schwingung.

Eine Rückkopplungsschaltung misst nun entweder die Änderung der Amplitude oder die der Frequenz und regelt diese auf den ursprünglichen Wert zurück. Diese Änderung wird aufgenommen und ist ein Maß für die Höhe der Oberfläche an der gemessenen Stelle. Der für dieses Signal genutzte Parameter entscheidet darüber, was für Informationen sich aus dem Höhenbild ablesen lassen (Abb. 6). Wird die Amplitude als Steuersignal verwendet, so erhält man das Profil der viskosen, bei Nutzung der Frequenz das der elastischen Oberfläche [4].

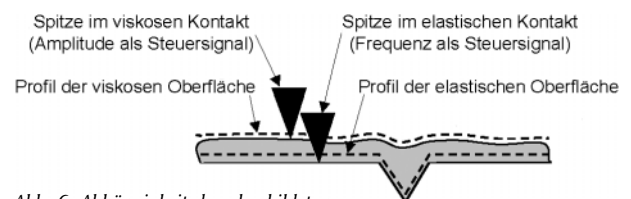


Abb. 6: Abhängigkeit des abgebildeten Oberflächenprofils von der Wahl des Steuersignals

Um die Härte einer Oberfläche zu messen, wird in ihr ein Scratch erzeugt. Mit einer bestimmten Kraft dringt die Spitze in das Material ein und wird anschließend in eine Richtung mit dem Scanner über eine festgelegte Strecke bewegt. Aus der Breite b des Scratches wird die Härte H nach folgender Formel berechnet:

$$H = \frac{kF}{b^2} \quad (5)$$

Der Parameter k ist dabei ein Formfaktor für die Spitze. Dieser kann mittels eines Materials ermittelt werden, von dem die Härte bekannt ist. Dazu wird im Eichmaterial ein Scratch mit der Kraft F_1 und der Breite b_1 erzeugt. Nun lässt sich k ausrechnen.

Bedingung für den Vergleich zweier Messungen ist, dass die Eindringtiefe der Spitze und damit die Breite des Scratches gleich sind, da sich ansonsten k , aufgrund der veränderten Spitzengeometrie, ändern würde. Also kann dieser Koeffizient, bei gleichbleibender Breite b des Scratches, als konstant angenommen werden, womit sich folgende Formel ergibt:

$$H = \frac{H_1 b_1^2 F}{F_1 b^2} \quad (6)$$

Zur Härtemessung mit dem Nanoscan muss also ein Referenzmaterial herangezogen werden, da es sich bei der Formel zur Härtebestimmung um eine Gleichung mit zwei unbekannten Variablen handelt.

Bei der Bestimmung der Härte mit dem Nanoscan handelt es sich um ein vergleichendes Verfahren, welches keine absolute Härtemessung erlaubt.

2.4 Zusammenfassung

Beide Geräte bieten die Möglichkeit, eine Oberfläche topographisch darzustellen und an einer gewählten Stelle die Härte zu messen. Das TriboScope nutzt für die Abtastung und den Indent ein 3-Platten-Kondensatorsystem, das Nanoscan eine piezoelektronische Sonde. Ersteres kann eine absolute Härtemessung durchführen, während letzteres ein Referenzmaterial benötigt. Der Vorteil des Nanoscans liegt darin, dass Spitzen mit beliebiger Geometrie verwendet werden können, während die für das TriboScope eine festgelegte Form aufweisen müssen, da diese in die Berechnung einfließt. Für das TriboScope wird zum Beispiel eine dreiseitige Spitze mit 90° Öffnungswinkel verwendet [10].

3 Härtmessung an Lime Glas, Quarz und Saphir

3.1 Vorbetrachtungen

Im Folgenden soll auf die Bestimmung der Härte von Lime Glas, fused Quarz (gleichzeitig Referenzprobe für Nanoscan) und Saphir mittels des Tribosscopes und des Nanoscan eingegangen werden.

3.2 Messung der Härte mit dem Nanoscan

Wie unter 2.2 beschrieben, ist eine Standardprobe erforderlich, um die Härte eines unbekannten Materials zu messen. Dafür wurde eine isotrope Milchquarzprobe (= fused Quarz) mit einer angegebenen Härte von 10 GPa gewählt. In diesem Material wurden zwei Scratches (Abb. 7a) mit einer Kraft von 0,5 mN und 0,6 mN erzeugt und deren Breite b gemessen. Dazu wurde mit der zugehörigen Auswertungssoftware ein Profilschnitt (Abb. 7b) durch das zweidimensionale Abbild der Scratches gelegt. Für den Profilschnitt errechnet die Software dann aus den Grauwerten ein Höhenprofil, wo auch die Ritzbreite abgelesen werden kann.

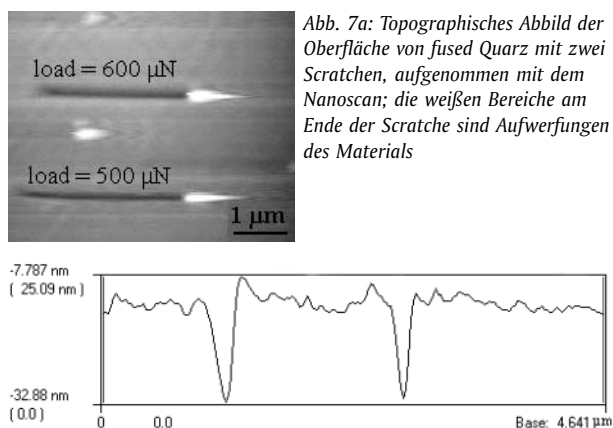


Abb. 7b: Profilschnitt senkrecht zu den Scratches

In den folgenden Scratchtests wurden in Saphir und Lime Glas Scratches erzeugt, die möglichst die gleiche Breite b erreichen. Versuche mit unterschiedlichen Kräften waren erforderlich. Der Scratch mit der am nächsten an den Referenzwert heranreichenden Breite wurde dann

ausgewählt und die Parameter F und b in die Berechnung nach Gleichung (5) übernommen. Saphir wurde aufgrund seiner hohen Festigkeit mit 1 mN anstatt 0,5 mN geritzt, um die Oberfläche gut sichtbar zu modifizieren.

3.3 Messung der Härte mit dem TriboScope

Da mit dem TriboScope eine absolute Härtemessung möglich ist, wurden alle drei Proben vermessen. Es wurden die Kraft-Weg-Kurven für mehrere aufeinanderfolgende Indents, sogenannte Multiindents [11], aufgenommen. Dabei wurde vom gleichen Messort eine vorher festgelegte Anzahl von Indents mit steigender Kraft bis maximal 6 mN durchgeführt, um schnell und effektiv eine größere Menge von Messwerten zu erhalten. Aus ihnen ermittelte die Software dann die Härtewerte in GPa. Ein Beispiel für einen Indenteindruck, aufgenommen mit dem TriboScope, ist in Abbildung 8 zu sehen.

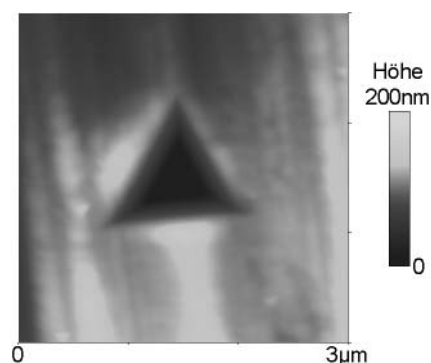


Abb. 8: Abbildung eines typischen Indenteindrucks mit einer Kraft von 4 mN

3.4 Ergebnisse und Auswertung

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Härtemessung für das Nanoscan zusammengestellt. Bei der Nanoscan-Messung wurde in fused Quarz eine durchschnittliche Scratchbreite von 190 nm erzielt. In Saphir konnte diese mit einer geringen Abweichung des Mittelwertes von b bezogen auf den Wert von fused Quarz (193 nm zu 190 nm) relativ genau erreicht werden. In Lime Glas ist die Abweichung mit 216 nm größer.

Messung	fused Quarz b [nm] $F = 0,5$ mN	Lime Glas b [nm] $F = 0,5$ mN	Saphir b [nm] $F = 1$ mN
1	204	221	204
2	187	198	198
3	202	205	195
4	184	236	210
5	175	207	191
6	178	218	178
7	201	229	181
8	184	214	184
9	197	207	202
10	187	225	187
Mittelwert:	(190 ± 15)	216 ± 20	193 ± 17
Härte [GPa]:	-	7,7	19,4

Tab. 1: Ergebnisse für die Scratchbreite b und die Härte H der Nanoscan-Messungen

Nach Gleichung 6 wurde die Härte berechnet. Für Saphir ergab sich ein Härtewert von 19,4 GPa, der deutlich unter dem mit dem TriboScope gemessenen Wert von 36,8 GPa liegt. Die für Lime Glas ermittelte Härte von 7,7 GPa hingegen liegt im erwarteten Bereich. Die hohe Diskrepanz des Wertes für Saphir kann unter Umständen darauf zurückgeführt werden, dass das Referenzmaterial



h [nm]	H [GPa]	h [nm]	H [GPa]	h [nm]	H [GPa]
46	7,9	33	10,4	22	34,0
87	7,6	44	10,6	30	38,3
122	7,4	56	10,6	40	38,6
155	7,1	65	10,5	49	38,5
183	7,0	77	10,1	56	39,3
208	7,0	89	10,2	66	38,4
233	6,9	98	9,7	76	37,2
254	6,9	107	9,6	86	35,6
275	6,8	117	9,4	93	35,7
296	6,7	138	9,3	109	35,3
339	6,5	157	9,3	137	34,5
Mittelwert:	7,1	Mittelwert:	9,9	Mittelwert:	36,8
Abweichung vom Mittelwert:	±0,8	Abweichung vom Mittelwert:	±0,7	Abweichung vom Mittelwert:	±2,9

Tab. 2: Härtewerte aufgenommen mit dem TriboScope in Abhängigkeit von der Indenttiefe für (a) Lime Glas (lks.), (b) fused Quarz (Mi.), (c) Saphir (re.)

von der Härte her zu weit vom getesteten Material entfernt liegt. Das Prinzip der vergleichenden Härtebestimmung eignet sich besonders für Proben geringer Härte-differenz.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse für die Multiindents in Saphir, Lime Glas und fused Quarz mit dem TriboScope zusammengestellt. Auffällig ist die Tendenz, dass die Härte H mit zunehmender Tiefe h im Messbereich abnimmt. Dies resultiert daraus, dass die Härte keine Materialeigenschaft an sich ist, sondern durch die Realstruktur bestimmt wird. In kleinen Deformationsvolumina, wie für die Nanoindentation charakteristisch, ist die Anzahl vorhandener Gitterbaufehler gering und wird beim Indentieren erhöht. Mit zunehmender Dichte von Versetzungen wird zunächst die Möglichkeit des Materialtransports vereinfacht, bis bei hohen Versetzungsdichten eine gegenseitige Blockierung eintritt. Dies verdeutlicht sich in dem Verlauf der tiefenabhängigen Härte.

Der gerundete Mittelwert der Härte von fused Quarz entspricht genau den bekannten 10 GPa. Die Ergebnisse für Saphir und Lime Glas sind ebenfalls positiv zu beurteilen und entsprechen jeweils den Erfahrungswerten. Die Streuung der Messwerte bewegt sich im normalem Rahmen von fünf bis zehn Prozent.

3.5 Zusammenfassung

In den Versuchen konnte gezeigt werden, dass die Vergleichbarkeit der ermittelten Härtewerte beider Geräte nicht ohne weiteres gegeben ist. Eine Möglichkeit für die unterschiedlichen Messergebnisse liegt in den verschiedenen Messmethoden. Die Methode der Indentation wird dem Scratchtest gegenübergestellt. Für einen direkten Vergleich müssen die theoretischen Beschreibungsmodelle speziell für das Nanoscan weiterentwickelt werden.

Die mittels Nanoscan ermittelte Härte von Saphir unterscheidet sich von der vom TriboScope ermittelten um ca. 17 GPa. Gute Übereinstimmung ergab sich bei Lime Glas, wo die Differenz beider Messungen bei nur rund 0,7 GPa lag.

Da es sich beim TriboScope um ein kalibriertes Gerät handelt und eine Vielzahl bestätigter Ergebnisse vorliegen [3, 9-11], sollte für zukünftige Arbeiten der Fokus auf die Optimierung und Kalibrierung des Nanoscan gerichtet werden.

4 Ausblick

Eine zukünftige Anwendung beider hier vorgestellter Geräte soll die qualitative und quantitative Untersuchung von neuartigen Kompositwerkstoffen sein. In dem ProInno-Projekt, in dessen Rahmen das Nanoscan entwickelt wurde, geht es dabei speziell um die Charakterisierung von Diamantschleifpads, bei denen Diamanten in eine Metall-Matrix eingebettet werden. Es handelt sich dabei um ein Kooperationsprojekt zwischen der Technischen Fachhochschule Wildau und der Vollstädt Diamant GmbH mit dem Ziel, neuartige Schleifkörper, zum Beispiel für Optiken, zu entwickeln und im Markt zu platzieren.

Mit Hilfe von Scratchtests soll die Qualität der Einbindung der Diamantkörper in das Trägermaterial getestet werden, bevor Feldversuche durchgeführt werden. Ebenfalls zu ermitteln ist die Festigkeit der Schleifpads. TriboScope und Nanoscan eignen sich für diese Untersuchungen.

Die Verwendung einer ultraharten Fulleritspitze beim Nanoscan ermöglicht insbesondere das Scratching von sehr harten Materialien (→Diamant). Somit eröffnen sich für die Zukunft noch weitere Anwendungsgebiete für dieses Gerät auch außerhalb des Projektes.

Danksagungen

Die Forschungsarbeit wurde durch die „Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen“ (AiF) im Programm „Innovationskompetenz mittelständischer Unternehmen“ (ProInno KF 0132808 KUK2) gefördert und finanziert. Marcel Mück und Bodo Wolf danken ProInno für die finanzielle Unterstützung.

Alexander Soshnikow führte Untersuchungen im Rahmen des Programms „Internationale Qualitätsnetzwerke – IQN“ durch, welches durch den deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) und das Zukunftsinvestitionsprogramm Deutschlands (zip) gefördert wird. Er dankt dem DAAD und zip für die Förderung des Auslandsaufenthalts an der TFH Wildau, wo diese Untersuchungen durchgeführt wurden.

Für tatkräftige Hilfe und wissenschaftliche Diskussionen danken wir Herrn Dipl.-Krist. R. Ries, TFH Wildau und Herrn Dr. K. Gogolinski, Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials, Troitsk.

Literaturverzeichnis

- [1] Spectrum LOT 85 (2001) S. 6.
- [2] Physikalische Blätter 55 (1999) S. 57-61.
- [3] Hysitron Inc., TriboScope User Manual 1997.
- [4] Nanoscan Measurement User Manual 2001.
- [5] Ernst Meyer, Atomic Force Microscopy: Fundamentals to Most Advanced Applications, Springer New York 2002, ISBN 3540431802.
- [6] A. De Stefanis/A. A. G. Tomlinson, Scanning Probe Microscopies: from Surface Structures to Nano-Scale Engineering



- ring, Trans Tech Publications Ltd. Zürich 2001, ISBN 0878498680.
- [7] <http://www.veeco.com/html/library.asp>.
- [8] A. Richter and R. Smith, Scanning Probe Microscopy and Computer Simulations, Crystal Research & Technology, 38 (3-5) (2003).
- [9] W. C. Oliver and G. M. Pharr, J. Mat. Res. 7 (1992) 1564.
- [10] A. Richter, R. Ries, R. Smith, M. Henkel and B. Wolf, „Diamond and Related Materials“ 9 (2000) 170-184.
- [11] B. Wolf and A. Richter, New Journal of Physics 5 (2003) 15.1-15.17.
- [12] <http://www.mtu-net.ru/nanoscan>

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Marcel Mück

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Labor für Oberflächentechnik
Telefon +49 3375 508-286
E-Mail: mmueck@igw.tfh-wildau.de

Alexander Soshnikov

Technological Institute for Superhard
and Novel Carbon Materials
7a Centralnaja H., Troitsk, Moscow Reg., 142190 Russia
Telefon +7 095 3340855
E-Mail: nanoscan@mtu-net.ru

Dr. Bodo Wolf

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Labor für Oberflächentechnik
Telefon +49 3375 508-217
E-Mail: bwolf@igw.tfh-wildau.de

Prof. Dr. Asta Richter

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Labor für Oberflächentechnik
Telefon +49 3375 508-219
E-Mail: richter@pt.tfh-wildau.de



Empirische Studie zur Erlangung der interkulturellen Kompetenz deutscher Führungskräfte zur Vorbereitung auf die Entsendung in die VR China

Stephanie Nagel

1 Vorbemerkung

Im Rahmen der sich erweiternden Beziehungen zwischen dem Reich der Mitte und der Bundesrepublik Deutschland ist die Frage der interkulturellen Kompetenz deutscher Fachleute, die in China tätig sind, von immer größerer Bedeutung geworden. Die nachstehende Arbeit versucht, die Vorbereitungsmaßnahmen der Unternehmen gegenüber ihren Angestellten zu analysieren und zu evaluieren. Dabei sind zum Teil sehr ernüchternde Ergebnisse zu verzeichnen.

Auch die Erfahrungen des Autors, der seit 22 Jahren in und mit China tätig ist, zeigen, dass die Vorbereitung auf einen Tätigkeitsaufenthalt in China erheblich informativer sein sollte. Noch immer werden viele Entscheidungsträger aus der Industrie ohne interkulturelle und ohne Sprachvorbereitung nach China entsandt.

Die Mitwirkung des Autors bei der Inbetriebnahme von Metro Shanghai hatte eindeutig nachgewiesen, dass Sprachkompetenz verbunden mit Landes- und fachspezifischen Kenntnissen zu einer Bevorzugung führt gegenüber den nur in der Fachkompetenz besseren Mitarbeitern. Als Beispiel soll folgender Sachverhalt genannt werden: In der Endphase der Inbetriebnahmevorbereitungen des ersten Teilstücks der Linie eins der Metro Shanghai (SMC) hatte sich kurzfristig der Bürgermeister von Shanghai zu einer Probefahrt entschlossen. Der erste Zug war von AEG noch nicht übergeben und die Strecke nur bedingt betriebsfähig. In diesem Dilemma suchte nun der General Manager der SMC die Unterstützung des Autors, der aber bei weitem nicht so bahnfachkompetent war wie die anderen Mitarbeiter aus der Bundesrepublik. Der entscheidende Grund für die Wahl des Autors war – wie der General Manager später verriet – die Möglichkeit, direkt zu kommunizieren und dabei eine bestimmte Grundsachkompetenz zu nutzen.

Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass ohne eine solide Weiterbildung im interkulturellen Kompetenz ein Erfolg der deutschen Unternehmen in China auf die Dauer eher unbefriedigend ist. Die Autoren hoffen, mit diesem Artikel einen Beitrag zum „Wachrütteln“ der China orientierten Unternehmen geleistet zu haben.

Dr. Dirk Forschner, China-Institut

2 Einführung in das Thema der Diplomarbeit

Mit der Einschreibung im September 1998 an der TFH Wildau im Studiengang der Betriebswirtschaftslehre mit dem Schwerpunkt Internationales Marketing nahm die Autorin die Gelegenheit wahr, am dortigen China-Institut bei Dr. Dirk Forschner die chinesische Sprache zu erlernen und einen einmonatigen Sommersprachkurs an der International Youth University in Beijing zu absolvieren. Im direkten Anschluss daran folgte ein siebenmonatiges Praktikum bei Dräger Medical Instrument in Shanghai. Während dieses Praktikums ergab sich die Möglichkeit, ausländische Führungskräfte kennen zu lernen, die nur wenig über die chinesische Kultur und deren Mentalität wussten. Aufgrund dessen ergab sich die Frage, ob diese Situation auch für deutsche Führungskräfte zutreffend sein würde. Daher war die alles entscheidende Fragestellung für die zu erarbeitende Diplomarbeit, ob und inwiefern deutsche Führungskräfte für einen Chinaaufenthalt vorbereitet werden, da aufgrund der Erfahrungen im Praktikum die Annahme bestand, dass deutsche Führungskräfte nicht ausreichend interkulturell vorbereitet und versiert sind.

3 Zielsetzung der Arbeit

Damit die deutsche Wirtschaft an dem dynamischen chinesischen Markt partizipieren kann, müssen Präventionsmaßnahmen durchgeführt werden, um den kulturspezifischen Herausforderungen des chinesischen Marktes gewachsen zu sein. Ein erfolgreiches Engagement in China kann daher erst sichergestellt werden, wenn die zu entsendenden Führungskräfte zuvor gezielt vorbereitet und qualifiziert wurden. Sie sollten die erforderlichen Informationen erhalten und auf die Andersartigkeit der Führungsqualitäten vorbereitet sein.

Dementsprechend wurde für den empirischen Teil der Arbeit ein Fragebogen entwickelt, um die erwähnte Annahme feststellen zu können. Dieser half, die vorhandenen Informationen und Kenntnisse der Führungskräfte über China zu bewerten und darüber hinaus den Informations- und Bildungsbedarf zu ermitteln, der für eine Führungskraft in der VR China unbedingt erforderlich ist.

Daher ist das zentrale Anliegen der empirischen Untersuchung die Ermittlung des Status quo entsprechender Vorbereitungsmaßnahmen für Führungskräfte, und, unter Mitwirkung dieser, deren Verbesserung.

4 Probanden und Auswahlumfang

Die empirische Studie stützt sich auf die Expertenbefragung von Unternehmen, die bereits seit geraumer Zeit in China aktiv sind. Damit konnte gewährleistet werden, dass die Experten über einen entsprechenden Erfahrungshorizont verfügen. Aufgrund dessen umfasste die Studie nur solche deutsche Unternehmen, die entweder Repräsentanzen, Dienstleistungsbüros oder Jointventures und deutsche Mitarbeiter in der VR China haben. Die Erhebung der geeigneten Unternehmen wurde durch eine weniger konzentrierte Befragung durchgeführt, um eine höhere Erreichbarkeit dieser zu erzielen. Darüber hinaus entschloss sich die Autorin, bei der Befragung nur diejenigen anzusprechen, die zu der heterogenen Gruppe von Unternehmen zählen. Somit konnte eine Vielzahl von potenziellen Unternehmen erreicht werden, die in bisherigen Studien keine Berücksichtigung fanden.

5 Darstellung ausgewählter Ergebnisse der empirischen Studie

5.1 Branchenzugehörigkeit

Die statistische Auswertung der Unternehmensdaten zeigte, dass eine marginale Mehrheit der Unternehmen zu der Maschinen/Metall-Branche (34,8 %) gehört. Die Chemie-/Kunststoff- und Pharma-Industrie vertrat ihren Branchenzweig mit 30,4 %, gefolgt von der Elektrotechnik-/Elektronik-Branche und „Anderen“ (Dienstleister, Logistik, Handel und Anlagebau) mit zu je 17,4 %.

5.2 Durchführung von Vorbereitungsprogrammen/Workshops für den Einsatz in der VR China

Auf die Frage, ob in ihrem Unternehmen ein Vorbereitungsprogramm und/oder Workshop für den Einsatz in die VR China angeboten wird, antworteten nur 30,4 % der Probanden mit ja. Das heißt, mehr als zwei Drittel (69,6 %) werden ohne vorbereitende Maßnahmen für fast fünf Jahre nach China entsendet (die durchschnittliche Einsatzdauer der Befragten liegt bei 4,8 Jahren). Jene Aussagen spiegeln die bereits 1990 von Domsch/Lichtenberger und 1999 von Sader durchgeführten Studienergebnisse wieder. Diese bestätigten, dass nur ein relativ geringer Teil der zu Entsendenden Vorbereitungsmaßnahmen erhielten.¹ So ermittelte Frau Sader in ihrer Arbeit, dass nur 24 % aller Befragten ein Vorbereitungsseminar angeboten bekamen.² Daher ist es erschreckend feststellen zu müssen, dass sich innerhalb von 12 Jahren kaum etwas in den Unternehmen bezüglich der Vorbereitungsmaßnahmen für einen Auslandseinsatz geändert hat.

In diesem Zusammenhang überrascht sehr, dass es sich bei den nicht vorbereiteten Probanden mit einem Anteil von 62,5 % vornehmlich um Mitarbeiter von Großunternehmen handelte. Im Gegensatz dazu zählten die vorbereiteten Unternehmen zu je 42,9 % sowohl zu den Kleinals auch zu den Großunternehmen. Dieses ist insoweit überraschend, da die Annahme bestand, dass Kleinunternehmen sich kein Vorbereitungsprogramm leisten kön-

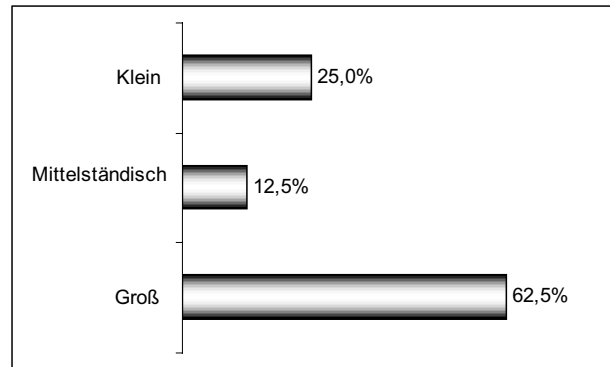


Abb. 1: Angehörigkeit der nicht vorbereiteten Probanden

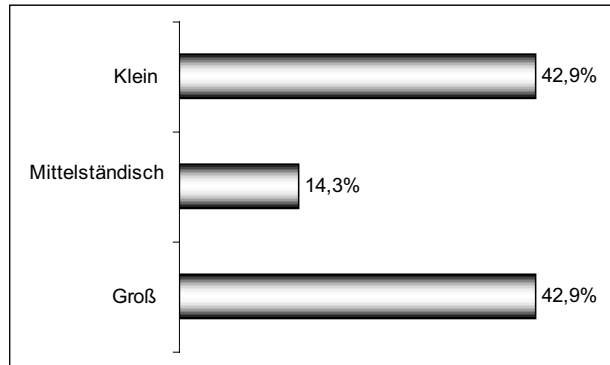


Abb. 2: Angehörigkeit der vorbereiteten Probanden

nen. Daher ist zu vermuten, dass die Kosten des entsprechenden Vorbereitungsprogramms nicht ausschlaggebend für das interne Vorbereitungsangebot sind, wenn sich selbst Kleinunternehmen solch ein Seminar leisten.

Die Bedeutung dieser Vorbereitungsmaßnahmen wird durch die folgende Tatsache noch deutlicher. So liegt der durchschnittliche Anteil der deutschen Belegschaft innerhalb eines Unternehmens in China bei 6,7 % und der der deutschen Führungskräfte bei 48,5 % (arithmetisches Mittel). Das heißt, obwohl die deutschen Mitarbeiter an der Gesamtbeschäftigtenzahl innerhalb des Unternehmens nur einen Anteil von 1/10 ausmachen, stellen sie trotz alledem knapp die Hälfte der Führungskräfte. Daraus resultiert folgende Berechnung: Wenn fast 70 % der Probanden nicht durch ein chinaspezifisches Seminar vorbereitet wurden, sind somit 33,9 % der deutschen Führungskräfte vor Ort unvorbereitet. Folglich wurden mehr als zwei Drittel der Führungskräfte nicht speziell auf ihren Einsatz geschult. Dabei bleiben die vorbereiteten Kollegen im Durchschnitt 4,3 Jahre und die nicht Vorbereiteten im Durchschnitt 4,95 Jahre in der VR China. Damit ist ihre Einsatzdauer um fast sieben Monate länger. Diese Daten verdeutlichen, dass für längerfristige Einsätze in der VR China eine Vorbereitung auf kulturelle Unterschiede unumgänglich erscheint.

5.3 Begründung für die Nichteinführung von Vorbereitungsprogrammen

Als Erklärung für das Nichteinführen von Vorbereitungsprogrammen und/oder Workshops wurden folgende Gründe von den Nichtvorbereiteten genannt, warum solch ein Seminar in ihrem Unternehmen als nicht zweckmäßig erscheint. Hierbei ist alarmierenderweise

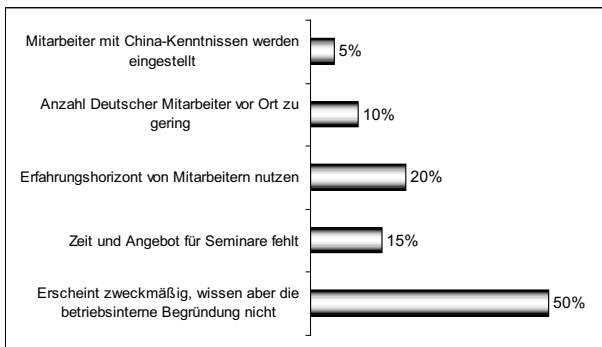


Abb. 3: Begründung für die Nichteinführung von Vorbereitungsprogrammen

festzustellen, dass 50 % der Befragten die interne Begründung für die Nichtdurchführung von Vorbereitungsmaßnahmen nicht kennen. Jedoch halten sie diese für einen erfolgreichen Aufenthalt in der VR China für sehr wichtig bzw. zweckmäßig.

20 % der Probanden gaben an, dass sie betriebsintern die gesammelten Erfahrungen der nach China entsandten Mitarbeiter nutzen. Dieses erscheint als problematisch, da sich die Kollegen auf die Erfahrungen und Angaben anderer verlassen. Viele dieser Erfahrungen beruhen auf subjektiven Empfindungen und Eindrücken, sodass aufgrund des fehlenden kulturellen Hintergrundwissens kein wirkliches kulturspezifisches Verständnis aufgebaut werden kann, um eine produktive interkulturelle Kommunikation zu führen und zu fördern. Dieses bedeutet nicht, dass niemand zu jenem in der Lage wäre. Es wird engagierte und motivierte Mitarbeiter geben, die willens sind, eigeninitiativ die Hintergründe für das Handeln und Denken der Chinesen zu ergründen und damit sehr kompetente Informationslieferanten darstellen. Jedoch kann durch die Angaben der Befragten angenommen werden, dass durch Zeitmangel sowohl in Deutschland (15 %) als auch in China (24 h-Dienst) die Möglichkeit fehlt, sich mit den chinesischen Gegebenheiten auseinander zu setzen und vertraut zu machen.

In Anbetracht dessen, dass deutsche Arbeitnehmer knapp die Hälfte der Führungskräfte an der Gesamtführungskräftezahl in China darstellen, erscheint die Äußerung von zehn Prozent der deutschen Befragungsteilnehmer als nicht tragbar. Sie berichteten, dass die Anzahl der deutschen Beschäftigten in der VR China zu geringfügig sei, als dass sich ein Vorbereitungsprogramm lohnen würde. Dennoch ergab die Datenauswertung, dass 43,5 % der Probanden vor ihrer Entsendung gezielt auf die chinesische Geschichte, Kultur und die Mentalität vorbereitet wurden. Die verbleibenden Befragungsteilnehmer (56,5 %) erhielten keinen speziellen Unterricht in den genannten Aspekten. Dies lag in der Eigenverantwortung der Mitarbeiter.

5.4 Beurteilung der betriebsinternen Vorbereitungsprogramme

Insgesamt beurteilten die Probanden die betriebsinternen Vorbereitungsprogramme hinsichtlich Arbeitsplatzspezifik und Praxisorientierung in einem sehr ausgewogenen Verhältnis. So waren diese ihrer Meinung

nach mit jeweils 28,6 % sowohl „zutreffend“, „kaum zutreffend“ als auch „nicht zutreffend“, 14,3 % hielten sie für „sehr zutreffend“. Dies zeigt, dass 57,2 % der betrieblichen Seminare zu wenig auf Praxis- und spezifische Arbeitsplatzinformationen der Mitarbeiter eingehen. Ein gewisses Maß an Theorie und Allgemeinwissen sollte vermittelt werden, es widerspricht sich jedoch nicht, dabei die jeweilige Branche und Arbeit mit einzubeziehen und so das Seminar speziell am Kunden auszurichten.

5.5 Problem- und Konfliktentstehung im Umgang mit chinesischen Mitarbeitern

Die Mehrheit der Befragungsteilnehmer (84,3 %) nannten, als Klassifizierungsmerkmal zusammengefasst, kulturelle Grundvoraussetzungen als Hauptursachen für Verständigungsschwierigkeiten im Umgang mit den chinesischen Mitarbeitern. Unter dieses Merkmal fiel die chinesische Sprache, Kultur, Denkweise und Wertvorstellungen. Sie würden erst die Probleme und Konflikte in der interkulturellen Kommunikation entstehen lassen.

Durch individuelle Bedingungen wie fehlende Zeit und mangelnde Kommunikation werden nach Auffassung der deutschen Führungskräfte seitens der Deutschen die zweithäufigsten Konfliktpotenziale (9,8 %) verursacht. Darüber hinaus tragen die Unkenntnis über das Vorgehen bei Problemen und von Bearbeitungsschritten zu keiner Behebung der Verständigungsschwierigkeiten bei.

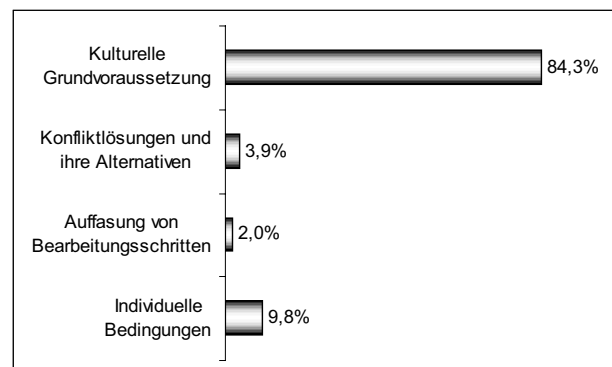


Abb. 4: Entstehung von Verständigungsschwierigkeiten

Da die Sprache das Denken, Fühlen und Wollen der Menschen eines Kulturkreises widerspiegelt, kann das Erlernen des Aufbaus bzw. des Konstruktes der chinesischen Sprache helfen, ein besseres Verständnis diesbezüglich aufzubauen. Denn die Kenntnis des Sprachsystems hilft Verständigungsschwierigkeiten vorzubeugen. So wird gewährleistet, dass die deutschen Führungskräfte für den chinesischen Partner sensibilisiert werden.

In diesem Zusammenhang nannten mehr als die Hälfte (52,2 %) der Probanden, dass sie durch die Divergenzen in den Standards während ihrer Arbeit mit den chinesischen Mitarbeitern konfrontiert werden. Zu diesen Standards zählten u. a. mangelnde Ausbildung, unterschiedliche Identifikation und Auffassung der Unternehmensziele und Situationen, Hierarchieverständnis sowie Denk- und Verhaltensmuster. 23,9 % der Befragten führten aus, dass die fehlende Flexibilität (Mitdenken, eigenverantwort-

wortliches Arbeiten, Kontrolle, Bereitschaft zu Problemvorschlägen) seitens der chinesischen Mitarbeiter zu Konflikten beitrage.

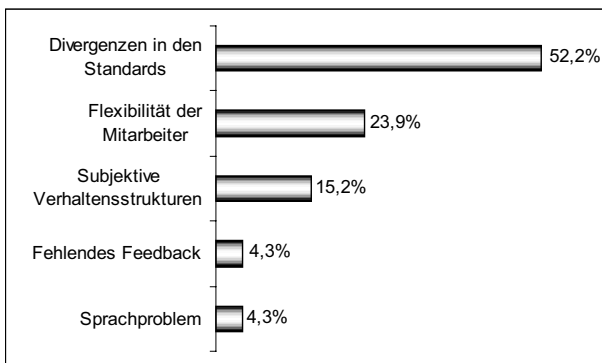


Abb. 5: Problemstellung durch Konfrontationen

Aufgrund ihrer kulturellen Prägung sind Chinesen es nicht gewohnt, in dem Maße eigenständig zu arbeiten, wie es die Erziehung in Deutschland von einem jeden Individuum verlangt. Daher dürfen die befragten Führungskräfte eigentlich nicht von ihren kulturellen Maßstäben auf die der Chinesen schließen. Da dies dennoch geschieht, wird mehr als deutlich, dass sie diesbezüglich nicht ausreichend geschult worden waren. Das heißt, die Aussage von 43,5 % der Probanden, dass sie gezielt auf die chinesische Geschichte, Kultur und Mentalität vorbereitet worden seien, trifft nicht in dem Maße zu. Erschreckend sind daher die Angaben der Befragten, die bei den häufigen Verständigungsschwierigkeiten genannt wurden. So waren 84,3 % auf kulturelle Grundvoraussetzungen zurückzuführen, wobei allein die fehlende Sprachkenntnis einen Anteil von 34,9 % ausmachte. Das heißt, fehlende Sprachkenntnisse sind zu einem erheblichen Teil für Probleme und Konflikte in der Zusammenarbeit mit den chinesischen Mitarbeitern verantwortlich.

5.6 Sprachkenntnis

Wie gerade aufgezeigt, ist die Sprachbarriere hauptverantwortlich für die Konfliktentstehung bei der deutsch-chinesischen Zusammenarbeit. Daher erstaunt auch nicht die Angabe auf die Frage, wie wichtig die Beherrschung der chinesischen Sprache im Chinageschäft sei. So erachteten 40 % der Probanden jene als „nicht wichtig“. Nur 22,9 % der Befragungsteilnehmer bestätigen, dass Sprachkenntnisse von Vorteil wären, sich diese jedoch aufgrund der Komplexität der chinesischen Sprache und des Zeitmangels nicht bewerkstelligen ließen. Einige der Befragungsteilnehmer (14,3 %) antworteten sogar, dass sie die chinesische Sprache gar nicht zu lernen hätten, da Englisch sowieso die Unternehmenssprache sei. Ebenfalls gaben in diesem Tenor 14,3 % der Führungskräfte an, in die sprachliche Aus- und Weiterbildung der chinesischen Mitarbeiter zu investieren. Jene sollten erst einmal besser Englisch lernen. Diese sehr arrogante und ignorante Einstellung zeigt jedoch sehr vehement, dass 68,6 % der deutschen Führungskräfte als Gast in der VR China verlangen, dass die chinesischen Mitarbeiter ihre Englischfähigkeiten verbessern müssen, bevor die Führungskräfte selber in Betracht ziehen, die chinesische Sprache zu erlernen.

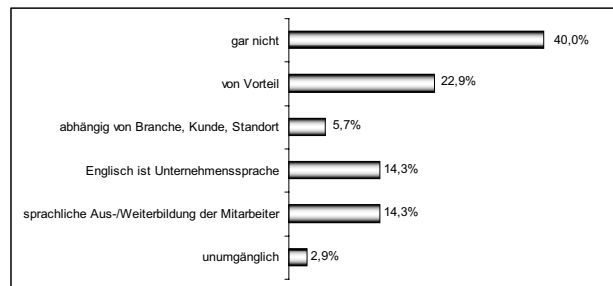


Abb. 6: Beherrschung der chinesischen Sprache

Nur 2,9% der befragten Teilnehmer sind der Meinung gewesen, dass die Beherrschung der chinesischen Sprache unumgänglich sei.

Dabei sollten die Befragungsteilnehmer es sich nicht zu einfach machen, denn die Beherrschung einer Fremdsprache ist nicht gleichbedeutend mit der Abschaffung von Verständnisschwierigkeiten. Dieses ist nicht der Fall, da innerhalb einer jeden Fremdsprache die jeweiligen kulturspezifischen Varietäten und Kontextdualisierungshinweise der Muttersprache weiterhin beibehalten und angewandt werden. D. h. sowohl der Deutsche als auch der Chineser werden miteinander in Englisch kommunizieren und dennoch Verständnisprobleme nicht aus dem Weg gehen können. Infolgedessen sind Englischkenntnisse keine Garantie für eine fehlerfreie gegenseitige Verständigung, weil die unterschiedlichen Konventionen, Einstellungen, Werte, Normen und Verhaltensweisen nicht in dem Moment aufgegeben werden, in dem eine andere als die Muttersprache gesprochen wird.

Daher plädiert die Autorin, obwohl er sich der Schwierigkeit des Erlernens der chinesischen Sprache bewusst ist, dafür, Grundkenntnisse dieser Sprache zu erwerben, um zum einen Respekt gegenüber den chinesischen Mitarbeitern zeigen und zum anderen die Logik, Denk- und Verhaltensweise besser verstehen zu können.

5.7 Primäres Ziel eines Vorbereitungstrainings

Was die Probanden zu Anfang als Verständigungsschwierigkeiten bzw. Konfliktursachen definierten, spiegelte sich auch tendenziell in den wichtigsten Vorbereitungszielen eines möglichen Seminars wieder, um einen wirkungsvollen Chinaeinsatz zu ermöglichen und zu gewährleisten. Daher kann behauptet werden, dass insgesamt die Führungskräfte sehr wohl zum einen einschätzen können und zum anderen eine eindeutige Vorstellung haben, was für sie für einen erfolgreichen Aufenthalt von Bedeutung ist, trotz mangelnder Vorbereitung.

In den Augen der Probanden zählten aufgrund dessen folgende fünf Themenkomplexe zu den wichtigsten Zielen eines Vorbereitungstrainings:

1. vertraut sein mit dem Gastland und deren Kultur (15,7 %),
2. auf interkulturelle Konflikte vorbereitet sein (14,8 %),
3. Kenntnisse über die kulturspezifische Sensibilität (13,9 %),
4. Aufbau von kultureller Toleranz (12,25 %) sowie
5. kultureller Flexibilität (10,4 %).



Leider kann diese sehr genaue Vorstellung der deutschen Führungskräfte nicht auf die der Arbeitgeber übertragen werden. So legen die Verantwortlichen bei der Personalauswahl gesteigerten Wert auf die überdurchschnittlichen Fachqualifikationen der in Betracht kommenden Führungskräfte. Dabei sind für die Befragungsteilnehmer die „Soziale Kompetenz“, das heißt Persönlichkeitsmerkmale, viel prägnanter für die Auswahl.

Dieses verdeutlicht die divergenten Vorstellungen der beteiligten Parteien über die Situation in der VR China. So existiert ein unterschiedliches Bild von den herrschenden Gegebenheiten vor Ort in den Köpfen der Vorgesetzten und Arbeitnehmer. Das bedeutet wiederum, dass kein informeller Austausch zwischen diesen beiden Gruppen stattfindet.

6 Quintessenz

Die Annahme, dass die zu entsendenden deutschen Führungskräfte nicht ausreichend vorbereitet werden, hat sich anhand der Studie und der Ergebnisse bestätigt. Somit ist es für die Vielzahl der befragten Unternehmen eine Ausnahme und nicht die Regel, interkulturelle Vorbereitungsprogramme und/oder Workshops für den Chinaeinsatz durchzuführen.

Das veranschaulicht, dass sowohl interkulturelle Vorbereitungen als auch das (chinaspezifische) interkulturelle Management-Training bis heute keinen hohen Stellenwert innerhalb der befragten Unternehmen einnehmen und sich damit im Anfangsstadium befinden, obwohl diese von der Mehrheit der befragten Führungskräfte gefordert bzw. als wünschenswert erachtet werden.

Erschreckend ist allerdings die Tatsache, dass seit den Studien von M. Domsch und B. Lichtenberger im Jahr 1990 die Studienergebnisse bezüglich des Angebots von Vorbereitungsprogrammen und/oder Workshops keinen erwähnenswerten Veränderungen unterlagen. Vielmehr liegen die Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Arbeit auf gleicher Ebene mit den Ergebnissen der Arbeit vor 12 Jahren.

a. Dabei ist die interkulturelle Vorbereitung wichtiger als je zuvor, denn die VR China hat sich nach Jahrhunderten der Unterdrückung, Fremdherrschaft und innerer Zerrissenheit zu einer neuen aufkommenden Wirtschaftsgröße entwickelt. Unter Führung der Kommunistischen Partei Chinas (KPCh) spielt das Land aufgrund seiner politischen und militärischen Stärke eine immer bedeutsamer werdende internationale Rolle. So ist China auf der internationalen politischen Bühne zu einem wichtigen Akteur in der Weltpolitik und -wirtschaft geworden (z. B. Sitz im Ständigen UN-Sicherheitsrat-Ausschuss, damit Veto-Recht).

Mit einer Fläche von 9,562 Mio. qkm und einer Einwohnerzahl von 1,26 Mrd.³ Menschen stellt die VR China ein Fünftel der Weltbevölkerung dar. Damit gilt China bei ausländischen Unternehmen als der größte und geschlossene und zu erschließende Markt der Erde, der ein

hohes Potenzial an zukünftigen Konsumenten generiert. Dementsprechend müssen sich langfristig die Strategien deutscher Konzerne an diesem wichtigen Zukunftsmarkt orientieren.

Festzustellen ist jedoch, dass die Rangstellung Deutschlands, die sie innerhalb der Weltwirtschaft an der Volkswirtschaft Chinas einnimmt, interessanterweise weit unter seinen wirtschaftlichen Möglichkeiten liegt. Zwar werden immer die Paradebeispiele der deutschen Wirtschaft wie Volkswagen, Hoechst, BASF, Bayer, Henkel, Siemens, Thyssen Krupp, Dresdner Bank und Allianz⁴ in diesem Zusammenhang genannt, aber die Engagements dieser Unternehmen können nicht über die tatsächliche wirtschaftliche Situation hinwegtäuschen.

Es ist richtig, dass Deutschland knapp fünf Prozent des Handelsvolumen trägt, jedoch nur drei Prozent der Direktinvestitionen.⁵ „Für die viertgrößte Volkswirtschaft der Welt ... eine sehr magere Bilanz.“⁶ Noch deutlicher drücken die Jointventure-Abschlüsse ausländischer Firmen die Tendenz Deutschlands aus. So wurden über 300.000 Jointventure-Verträge mit China abgeschlossen, wovon die BRD nur einen Anteil von 0,25 Prozent trägt.⁷

Um dieses Manko zu beheben, beabsichtigen der deutsche Bundeskanzler Gerhard Schröder und Außenminister Joschka Fischer die Beziehung zu China weiter auszubauen und zu fördern.

Ausgehend von den aufgezeigten Daten, erscheint es zwingend notwendig, dass die deutschen Führungskräfte für ihren Auslandsaufenthalt vorbereitet und geschult werden, um

- einen optimalen Einsatz für das deutsche Unternehmen im Ausland,
- eine Umsatz- und Absatzmaximierung für die Unternehmen und
- eine Erhöhung des Marktanteils am chinesischen Markt für das betreffende deutsche Unternehmen zu ermöglichen.

b. Die durchgeführte wissenschaftliche Arbeit hat sehr deutlich gemacht, dass die interkulturelle Vorbereitung Basis für ein erfolgreiches Engagement des Unternehmens in der VR China ist. Demzufolge muss als Voraussetzung für eine grundlegende Verbesserung der Situation deutscher Führungskräfte im Auslandsdienst die Teilnahme und Durchführung eines Vorbereitungsstrainings und/oder Workshops verpflichtend sein.

c. Wäre ein solches Seminar nicht bindend, dann ist keine Verbesserung der Situation der deutschen Führungskräfte vor Ort zu erwarten. Die dargestellte heutige unbefriedigende Situation würde sich also nicht verändern.

d. Nur wer

- den kulturspezifischen Herausforderungen gewachsen ist und diese kennt,
- gut und ausreichend für einen Chinaaufenthalt vorbereitet ist und dementsprechend in der Lage ist, alle



wichtigen Faktoren zu berücksichtigen, der ist befähigt, die Grundbedingung für einen erfolgreichen Auslandseinsatz zu erfüllen.

Anmerkungen

- 1 Vgl. Domsch, M./Lichtenberger, B.: Vorbereitungsmaßnahmen für den Auslandseinsatz, 1990, S. 400 ff.
- 2 Vgl. Sader, K.: Deutsche Mitarbeiter in China, 1999, S. 143
- 3 Vgl. Maurer, J./Hüssen, H.-P.: Wirtschaftstrends, 2002, S. 7
- 4 Vgl. Eli, M.: China als Wirtschaftspartner und Konkurrent, 1997, S. 34 ff.
- 5 Vgl. Maurer, J./Hüssen, H.-P.: Wirtschaftstrends, 2002, S. 36, 42
- 6 Ederer, G./Franzen, J.: Der Sieg des himmlischen Kapitalismus, 1996, S. 384
- 7 Vgl. Ederer, G./Franzen, J.: Der Sieg des himmlischen Kapitalismus, 1996, S. 384

Literaturhinweise

- Domsch, M./Lichtenberger, B.: Vorbereitungsmaßnahmen für den Auslandseinsatz, in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, Herne, 42/1990
- Ederer, Günter/Franzen, Jürgen: Der Sieg des himmlischen Kapitalismus – Wie der Aufstieg Chinas unsere Zukunft verändert, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1996
- Eli, Max: China als Wirtschaftspartner und Konkurrent – Bericht über ein China-Symposium, das am 27. und 28. Mai 1997 im World Trade Center zu Dresden stattfand, ifo Institut, Dresden 1997
- Maurer, Jürgen/Hüssen, Hans-Peter: VR China, Hongkong, SVR – Wirtschaftstrends – Zum Jahreswechsel 2001/02, Bundesagentur für Außenwirtschaft (bfai) Köln 2002
- Sader, Karoline: Deutsche Mitarbeiter in China – Eine Analyse und Bewertung verschiedener Akkulturationsmuster, Mensch & Buch Verlag, Berlin 1999

Autoren

Dipl.-Betriebswirtin (FH) Stephanie Nagel

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik

Dr. phil. Dirk Forschner

Technische Fachhochschule Wildau

China-Institut

Telefon +49 3375 508-365 und +49 3379 208740

E-Mail: dforsch@sprz.tfh-wildau.de

Logistikprozesse für ein zentrales Motorenprüffeld – Planung und Bewertung von Systemalternativen des Materialflusses

Bianca Pellegrini, Herbert Sonntag

1 Einleitung

Ein funktionelles Materialflusssystem mit koordinierten Objektflüssen bildet die Basis für ein Unternehmen, effizient zu arbeiten und konkurrenzfähig zu bleiben. Zentrale Problemstellung dabei ist es, die einzelnen Teilbereiche aufeinander abzustimmen und in das Gesamtsystem zu integrieren. Prozessanalyse und Schnittstellendefinition sind die dazu erforderlichen Kernelemente. Sie schaffen die Voraussetzung dafür, Optimierungspotenziale zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu planen. Die Tatsache, dass Logistik die methodische Entwicklung von solchen kompakten, systemübergreifenden Konzepten anbietet, offenbart den hohen Stellenwert, den sie inzwischen vornehmlich im wirtschaftlichen Bereich einnimmt.

Ziel dieser Untersuchung war es, verschiedene Alternativen für das spezifische Materialflusssystem „zentrales Heißprüffeld“ in einem Motorenwerk der Automobilindustrie aufzuzeigen und durch die vergleichende Bewertung der erarbeiteten Varianten die Grundlage für eine Entscheidung seitens des Unternehmens zu schaffen. Am Ende steht ein Konzeptvorschlag, der die gestellten Anforderungen und Bedingungen bestmöglich erfüllt.

Vor dem Hintergrund von Materialdisposition und werk-internen Transport-, Umschlag-, Lagerungsprozessen (TUL) zählt die Bereitstellung der Prüfmotoren zum Aufgabenbereich der Produktionslogistik. Als Teilgebiet der Unternehmenslogistik umfasst Produktionslogistik die Planung, Steuerung und Überwachung der Material- und Informationsströme innerhalb eines Industriebetriebes. Sie stellt das Bindeglied zwischen Beschaffungs- und Distributionslogistik dar und organisiert die Güterbewegung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Werkzeugen, Kauf- und Ersatzteilen sowie Halbfertig- und Fertigfabrikaten zwischen Wareneingang und Distributionslager über die unterschiedlichen Produktionsstufen der Fertigung und Montage. Im bearbeiteten Fall sollen Materialien (Prüfmotoren) und zugehörige Informationen aus den verschiedenen Montagebereichen des Werkes zur zentralen Prüfstation und zurück fließen. Die Konzipierung der notwendigen Transport- und Zwischenlagerungsvorgänge muss dazu möglichst optimal auf die einzelnen Produktionsabläufe abgestimmt werden.

2 Untersuchungsbereich und Systemschnittstellen

Die Planung eines auf die neuen Anforderungen angepassten Material- und Informationsflusssystems inner-

halb des Teilprojekts „Logistik“ wurde nochmals unterteilt in die Aufgabenpakete „Externe Logistik“ und „Interne Logistik“. Letztgenanntes Thema ist Gegenstand dieser Arbeit gewesen.

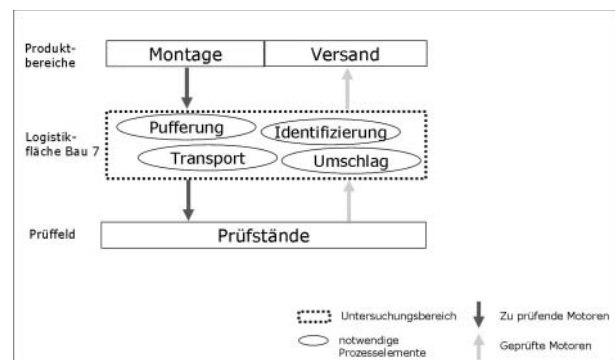


Abb. 1: Abgrenzung des Untersuchungsbereiches

Abbildung 1 verdeutlicht, welche Prozesse bei der Gestaltung des internen Logistikkonzeptes betrachtet werden sollten. Im Vordergrund standen dabei die TUL-Vorgänge zwischen der Anlieferung aus den Montagelinien und den Produktionsabläufen im Heißprüfzentrum. Die Planung der internen Prüffeldlogistik umfasste Entwicklung, Auswahl, Darstellung und Bewertung mehrerer Alternativen, die folgende Elemente abbilden:

- interner Materialfluss und Handling im Prüffeld: An- und Ablieferprozess für die Rüstplätze (Motorenzuführung, LT-Pufferung),
- Dimensionierung, Gestaltung und Organisation des Prüffeldpuffers,
- Transportabläufe und Fördertechnik,
- begleitender Informationsfluss im Prüffeld/Materialflussteuerung.

Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Abstimmung der Logistik mit der Layout- und Einrichtungsplanung.

3 Ausgangssituation, Rahmenbedingungen und Planungsgrundlagen

In der industriellen Motorenmontage der Automobilherstellung hat es sich inzwischen zum Standard herausgebildet, die Komponenten, Baugruppen und Fertigprodukte in unterschiedlichen Produktionsstufen mehreren Qualitätsprüfungen zu unterziehen. Unter verschiedenen Bedingungen werden diverse Parameter getestet, um die volle Funktionstüchtigkeit nachzuweisen und diese dem Kunden gegenüber gewährleisten zu können.

Im themenstellenden Unternehmen durchlaufen die montierten Motoren drei Funktionsprüfungen – einen

sogenannten Kalt-Test (Endfunktionstest), einen Hot-Test (produktionsbegleitende Heißprüfung) und eine Gütesicherung (GüSi). Unmittelbar vor dem Einbau ins Fahrzeug werden im Rahmen der Heißprüfungen Funktionalität und Dichtheit der Motoren bei eigenem Antrieb überprüft. Unter stufenweise zunehmender Belastung lässt man den Prüfmotor warmlaufen, bis eine bestimmte Öltemperatur erreicht ist. Dabei werden alle für eine Produktionskontrolle wichtigen Motordaten gemessen, überwacht und dokumentiert. Zum Schluss der Warmlaufphase wird ein kurzer Leistungstest durchgeführt. Im Gegensatz zum Kalt-Test werden Heißprüfungen im Werk zentral abgewickelt und stichprobenhaft durchgeführt, wobei die Auswahl der Testmotoren nach einer internen Vorschrift erfolgt. Für die Prüfquote entscheidend sind Produktionsalter der Variante, Qualitätsergebnisse und Kalt-Testrate.

Alle Motortypen müssen aus den verschiedenen Produktionsstätten dem Prüffeld zugestellt und von diesem wieder abgeholt werden. Die Quellen und Senken der Prüfmotoren liegen im Werk verstreut, räumlich weit voneinander entfernt. Die Abwicklung des Prüfmotorentransportes zwischen dem Prüffeld und den Kundenabteilungen wurde im Umfeld der „Externen Logistik“ untersucht und erfolgt im Rahmen eines Ringroutenverkehrs. Ein LKW-Anhänger befördert Motoren aus den verschiedenen Produktionsstätten regelmäßig und sammelt auf einer festen Route zur zentralen Logistikfläche im Prüffeld.

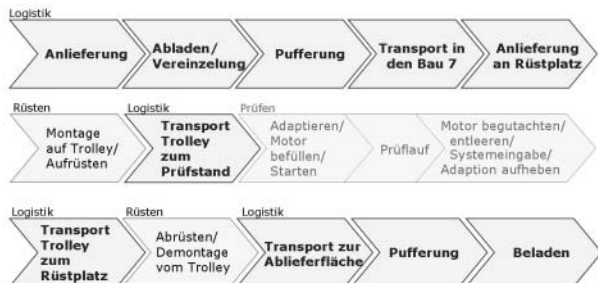


Abb. 2: SOLL-Prozess

In Abbildung 2 ist die Prozesskette des geplanten Ablaufs im Heißprüfzentrum dargestellt. Der von der „Externen Logistik“ empfohlene Routenverlauf mit einem ca. zweistündigen Umlauf ist die vorgegebene Einflussgröße bei der Dimensionierung des Prüffeldpuffers. Um den arbeitstäglichen Prüfumfang gleichmäßig zu verteilen und die Kapazität der Prüfstände optimal auszunutzen, sollen 12 Motoren pro Stunde bereitgestellt werden. Erfolgt die An- und Ablieferung alle zwei Stunden, sind demzufolge je 24 Ladeeinheiten mit einer Ladung umzuschlagen.

Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse soll kein Sicherheitsbestand im Prüffeldpuffer vorgehalten werden. Allerdings werden zum Ausgleich der Zeitversetzungen zwischen Anlieferungs- und Prüfzyklus je drei zusätzliche Stellplätze (Redundanz) eingeplant. Aus diesen Angaben resultiert die Bemessung der Stellplätze im Puffer:

Eingang: 24 LE + 3 LE Redundanz
 Ausgang: 24 LE + 3 LE Redundanz
 Leergut: 10 LE

Im „Eingang-Puffer“ befinden sich die angelieferten, zu prüfenden Motoren; der „Ausgang“ (Versandpuffer) puffert die bereits geprüften Motoren bis zum Rücktransport in die jeweiligen Produktionsbereiche. Die Leergutplätze sind für leere Ladungsträger, die während der Prüfprozedur nicht am Rüstplatz verbleiben können und zwischengelagert werden müssen. Dies betrifft insbesondere Gütesicherungs- und Nacharbeitsmotoren. Der Leergutpuffer ist in Nähe des Rüstbereichs abzubilden und wird in Form von Bodenlagerung oder eines einfachen Fachbodenregals realisiert. Wie groß die Fläche des Puffers sein wird, ist vom zu wählenden System abhängig. Hier spielen Faktoren wie Abmessungen der technischen Einrichtungen, Anzahl und Größe der benötigten Verkehrs- und Bedienwege, Sicherheitsabstände usw. eine Rolle.

Voraussetzung für die Prozesssicherheit des Pufferlagers ist die physische und optische Trennung zwischen Eingang und Ausgang. Innerhalb des Eingangspuffers ist eine chaotische Lagerung möglich, da mit Hilfe der Transponder eine eindeutige Zuordnung von Motornummer und Lagerplatz gewährleistet wird. Beim Lagerausgang ist eine feste Lagerplatzvergabe zu empfehlen, damit die Lagergüter leichter zu unterscheiden sind und für die Beladung des LKW-Anhängers eine Vorsortierung entsprechend der zu beliefernden Abteilungen erfolgen kann. Die chaotische Lagerung erfordert, dass die Auslegung der Materialflusstechnik anhand der Abmessungen der größten Ladeinheit erfolgt. Auf diese Weise kann jeder Stellplatz jede Ladeinheit aufnehmen.

Eine große Herausforderung für die Logistik bestand in der Vielfalt der zu handhabenden Ladeeinheiten. Eine Ladeinheit setzt sich jeweils aus Motor und Ladehilfsmittel (Motorladungsträger) zusammen. Insbesondere die heterogenen Eigenschaften der LT traten bei der Auswahl der Materialflusstechnik häufig als restriktiver Faktor auf. Als Prämisse müssen die Prüfmotoren außerdem im selben LT ausgeliefert werden, in dem sie dem Prüffeld bereitgestellt wurden.

4 Varianten für die Materialflussprozesse

4.1 Variante 1 „Schwerlastregal“

Als Lagermittel wurde ein Fachbodenregalsystem gewählt, das räumlich zwischen LKW-Anhänger-Stellplatz und Prüfstandsgebäude gelegen ist und beidseitig bedienbar ist. Es werden konventionelle Schwerlastregale mit einer Mindest-Tragfähigkeit von 400 kg pro Stellplatz verwendet. Holzböden garantieren, dass die verschiedenen Größen der Lagergüter aufgenommen werden können. Die unterste Ebene wird in Form von Bodenlagerung, also ohne Regalböden, genutzt. Jedes Regalfach im Puffereingang ist mit einem Transponder ausgestattet, der die Stellplatz-ID speichert.

Prozessablauf

Angelieferte Ladeeinheiten werden von Norden mit einem Stapler in das Regal eingelagert, auf der Südseite von einem Elektro-Deichselstapler entnommen und

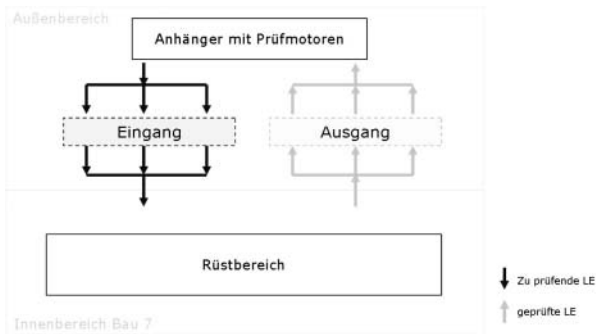


Abb. 3: Prinzipskizze der Regalbestückung

weiter zum Rüsbereich befördert. Für den Puffer-Ausgang ist der Ablauf umgekehrt. Somit wird die Kreuzung der verschiedenen Materialflüsse vermieden.

Systemkosten

In Tabelle 1 sind die Gesamtkosten für Variante 1 in einzelne Kostenblöcke aufgeschlüsselt. Auffallend sind die äußerst geringen Investitionen.

	Menge Einheit	Preis/Einheit [C]	Kosten [C]
Investitionskosten:			194.800
Frontgabelstapler	1 Stück	25.000	25.000
Teleskopgabeln (Anbaugerät)	1 Stück	7.000	7.000
Schwerlastregal (54 Stellplätze)	54 Stellplätze	250	13.500
Vordach	270 m ²	250	67.500
Transponder	250 Stück	10	2.500
Schreib/Lesegeräte mobil	15 Stück	3.500	52.500
Schreib/Lesegeräte stationär	14 Stück	1.200	16.800
DV-Technik	1 Stück	10.000	10.000
einmalige Gemeinkosten:			2.000
Baumaßnahmen (Bodenaufbereitung, Stellplatzmarkierung)			2.000
laufende Kosten pro Jahr:			242.730
Personal (indirekte MA)	4 MA p.a.	52.000	208.000
Abschreibung kalkulatorische Zinsen			14.159
Betriebskosten			7.305
			13.266
Kosten/LE			5,71
(bei 42.500 LE/Jahr)			

Tab. 1: Kostenkalkulation für die Variante 1

Prozessbeurteilung

Diese Variante zeichnet sich durch einen souveränen Prozess aus, der mit kleinstmöglichen Anschaffungskosten realisierbar ist. Vorteile sind:

- einfacher, sicherer Prozess,
- hohe Transparenz,
- hohe Flexibilität,
- geringe Investitionen,
- keine Baumaßnahmen am Gebäude und
- geringer Flächenverbrauch.

Nachteile:

- häufiges Handling => dadurch hohe Prozesskosten

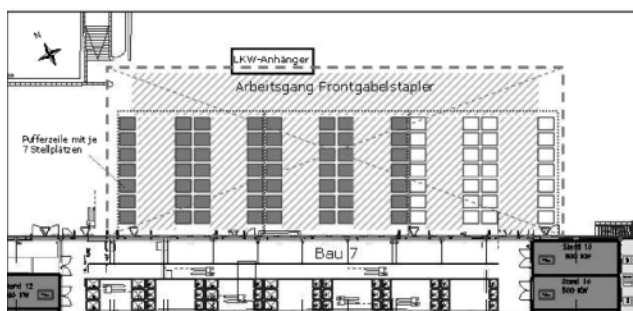


Abb. 5: Layout und Prinzipskizze Variante 2

4.2 Variante 2 „Fahrgestelle“

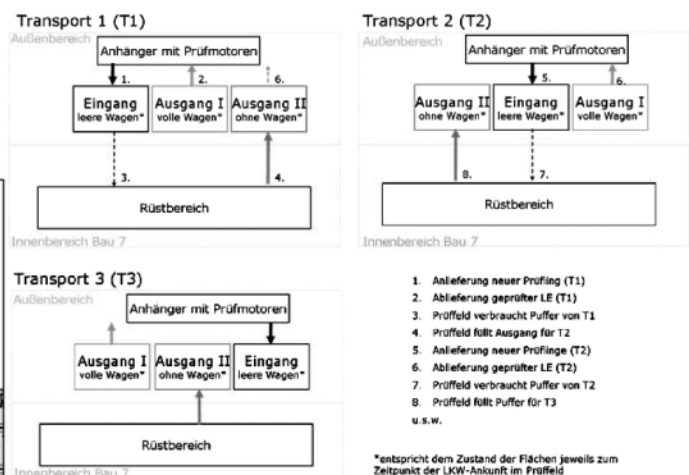
Bei dieser Alternative werden die Ladeeinheiten per Stapler direkt vom Anhänger auf speziellen, fahrbaren Gestellen (Wagen) abgesetzt. Für die gesamte Zeit im Prüffeld verbleiben die Ladungsträger auf diesen Wagen, auch während der Motor den Ladungsträger zum Rüsten und Prüfen verlässt. Die Fahrgestelle haben eine Holzbodenplatte mit einer Ladefläche von 1010 x 1210 mm, eine Ladehöhe von 280 mm und eine maximale Tragfähigkeit von 500 kg. Zur leichteren Handhabung sind sie mit zwei lenkbaren und zwei fixen großen Rädern sowie einer Bremse ausgestattet und werden beim Be- und Entladen zusätzlich durch eine Spurführungsschiene am Fußboden fixiert und ausgerichtet. Transponder-Tags, die auf den Boden aufgeschraubt sind, ermöglichen die Stellplatzzuordnung im Eingangspuffer. Da der Zugriff auf jede Ladeeinheit zu jeder Zeit möglich sein muss, werden die Wagen in Zeilenform angeordnet. Stapler und Fahrgestelle, die zwischen Puffer und Rüsbereich verkehren, nutzen im Puffer die gleichen Bedienwege. Das Personal muss entsprechend der erhöhten Unfallgefahr vorsichtig und rücksichtsvoll arbeiten.



Abb. 4: Anwendungsbeispiel und Funktionsweise einer Andockstation

Prozessablauf

Die Bestückung und Entleerung der Pufferwagen übernimmt ein Frontgabelstapler. Da die Platzierung der Ladeeinheiten auf den Fahrgestellen für einen Stapler komplizierter ist als z. B. die Einlagerung in einem feststehenden Regal, verlängern sich die Be- und Entladezeiten. Der Transport zwischen der vorgesehenen Pufferfläche und den Rüstplätzen erfolgt mit Hilfe der Fahrgestelle, indem ein Mitarbeiter sie verschiebt. Dabei minimiert eine spezielle Rahmen-Andockstation (Abb. 4) die erhöhte Unfallgefahr und die starke körperliche Belastung des Bedienpersonals beim Bewegen der schweren,



unhandlichen Fahrgestelle. Die Station wird per Knopfdruck mit einer speziellen Technik automatisch an den Fahrgestellrahmen „angedockt“ und ebenso schnell wieder entkoppelt. Der Einsatz solcher Andockstationen erleichtert und beschleunigt die Handhabung der Wagen, besonders den Transport zwischen Puffer und Rüstbereich. Mit der Anschaffung solcher Stationen ist auf der anderen Seite ein entsprechender Mehraufwand an Investitionen verbunden.

Beim Platzieren der Transportgestelle am Rüstplatz muss die Bremse festgestellt werden. Wagen mit Leergut von GüSi- und Nacharbeits-Motoren werden, um Platz zu schaffen, auf eine gekennzeichnete Fläche am Rand des Gebäudes geschoben. Wenn die Wagen auf die Außenpufferfläche geschoben werden, ist darauf zu achten, dass sie in die Bodenschiene eingeführt werden. Außerdem sollten sie innerhalb der Stellplatzmarkierung abgestellt werden, damit sie andere Plätze nicht blockieren und die Zuordnung über den Transponder eindeutig ist. Um eine relativ hohe Prozesssicherheit gewährleisten zu können, ist die Ordnung des Puffers mit einem hohen Steuerungsaufwand verbunden ist. Die Ursache hierfür liegt darin, dass der Verbrauch im Puffer nicht zeitsynchron zur Motoren-Anlieferung getaktet ist.

Systemkosten

Im Vergleich zu anderen Varianten zeigen sich bei den Fahrgestellen vor allem die Gemeinkosten für bauliche Veränderungen und der Investaufwand für das relativ große Vordach dominant. (Tabelle 2)

	Menge	Einheit	Preis/ Einheit [€]	Kosten [€]
Investitionskosten:				301.300
Frontgabelstapler	1	Stück	25.000	25.000
Teleskopgabeln (Anbaugerät)	1	Stück	7.000	7.000
Fahrgestelle	100	Stück	160	16.000
Spurführung	65	m	100	6.500
Andockstationen	3	Stück	7.500	22.500
Vordach	570	m ²	250	142.500
Transponder	250	Stück	10	2.500
Schreib/Lesegeräte mobil	15	Stück	3.500	52.500
Schreib/Lesegeräte stationär	14	Stück	1.200	16.800
DV-Technik	1	Stück	10.000	10.000
einmalige Gemeinkosten:				15.000
Baumaßnahmen				
(Bodenaufbereitung, Maßnahmen gegen Schmutzeinschleppung, Stellplatzmarkierungen, Montage Spurführung und Transponder,)				15.000
laufende Kosten pro Jahr:				262.979
Personal (indirekte MA)	4	MA p.a.	52.000	208.000
Abschreibung				23.162
kalkulatorische Zinsen				11.299
Betriebskosten				20.519
Kosten/LE				6,19
(bei 42.500 LE/Jahr)				

Tab. 2: Kostenkalkulation für die Variante 2

Prozessbeurteilung

Vorteile:

- keine weiteren Umbauarbeiten am Gebäude notwendig
- äußerst flexible Handhabung im Prüffeld
- keine weiteren Umschlagvorgänge für Leergut im Rüstbereich

Nachteile:

- schwieriges Handling => längere Be- und Entladezeiten
- Dreckverschleppung
- hoher Flächenverbrauch, lange Fußwege für Logistikmitarbeiter

- erhöhte Unfallgefahr
- Organisation des Puffers schwierig => eingeschränkte Transparenz und Prozesssicherheit

4.3 Variante 3 „Staukettenförderer“

Ein Tragkettenförderer mit Rollenketten als Trag- und Zugorgan soll bei dieser Variante eine dynamische Lagerung abbilden. Das System ist mit zwei angetriebenen, dreistrangigen Stauförderstrecken ausgestattet. Eine Förderzeile ist als Eingangspuffer zu belegen. Sie befindet sich an der nördlichen Innenwand des Gebäudes. Die andere Förderstrecke dient als Ausgangspuffer und ist dem Gebäude außen vorgelagert. Die Kettenförderer sind als eine Art Durchlaufsystem gestaltet, bei dem an einer bestimmten Stelle die Ladeeinheiten aufgegeben und von dort bis zum letzten freien Stellplatz befördert werden. An den Aufgabepunkten befinden sich Wandöffnungen nach außen. Diese sind mit einer Schleuse in Form von Schnelllauf Türen verschlossen. Statt am Stapler ist das stationäre Schreib-/Lesegerät zur Wareneingangserfassung am ersten Stellplatz der Eingangspufferzeile angebracht. Für die Stellplatzzuordnung ist es bei dieser Variante nicht notwendig, jeden Platz mit einem Transponder auszustatten.

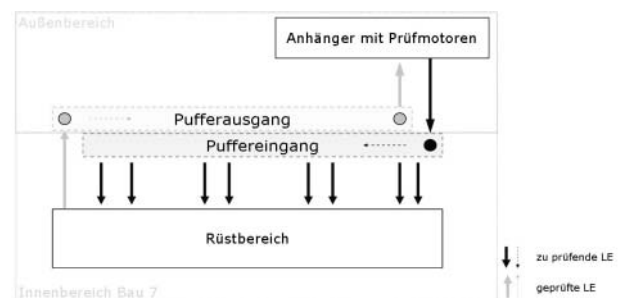


Abb. 6: Prinzipskizze der Pufferbedienung (Staukettenförderer)

Prozessablauf

Beim Puffereingang werden die Ladeeinheiten mit einem Stapler von außen durch eine Schleuse nach innen auf den letzten Stellplatz gesetzt. Jeder Stellplatz ist durch eine Sperre vereinzelt, sodass zu jeder Zeit auf alle Ladeeinheiten zugegriffen werden kann. Die Bedienung der Förderzeilen erfolgt innerhalb des Gebäudes mit einem Elektro-Deichselstapler. Wenn eine Ladeeinheit aus der Reihe im Puffereingang entnommen wird, werden die Sperren der nachfolgenden Plätze in der Zeile gelöst und die Ladeeinheiten rücken automatisch auf. Für den Ausgangspuffer ist der Ablauf analog. An einer Übergabestelle werden die geprüften Ladeeinheiten durch eine Schleuse nach außen geleitet. Dort werden sie auf dem Kettenförderer bis zum letzten freien Platz weitertransportiert. Aufgrund des hohen Staudrucks, der entstehen würde, wenn mehrere Ladeeinheiten aufeinander geschoben werden, kann auch hierbei nicht auf eine Vereinzelung jedes Stellplatzes verzichtet werden.

Systemkosten

Tabelle 3 beinhaltet die Kostenaufteilung der Variante „Staukettenförderer“. Es fallen vor allem die hohen Investitionen für das spezielle Fördersystem ins Gewicht.



	Menge	Einheit	Preis/ Einheit [C]	Kosten [C]
Investitionskosten:				430.800
Frontgabelstapler	1	Stück	25.000	25.000
Teleskopgabeln (Anbaugerät)	1	Stück	7.000	7.000
Staukettenförderer	2	Stück	160.000	320.000
Vordach	50	m²	250	12.500
Schleuse	2	Stück	5.000	10.000
Transponder	200	Stück	10	2.000
Schreib/Lesegeräte mobil	15	Stück	3.500	52.500
Schreib/Lesegeräte stationär	14	Stück	1.200	16.800
DV-Technik	1	Stück	10.000	10.000
einmalige Gemeinkosten:				3.000
Baumaßnahmen (Wanddurchbrüche, Stellplatzmarkierung)				3.000
laufende Kosten pro Jahr:				287.118
Personal (indirekte MA)	4	MA p.a.	52.000	208.000
Abschreibung				33.626
kalkulatorische Zinsen				16.155
Betriebskosten				29.337
Kosten/LE				6,76
(bei 42.500 LE/Jahr)				

Tab. 3: Kostenkalkulation für die Variante 3

Einsparungen bei den Kosten für Überdachung und Transponder können diese Unterschiede bei weitem nicht ausgleichen.

Prozessbeurteilung

Die Vorzüge dieser Alternative, nämlich geringer Flächenverbrauch und Teilautomatisierung, können die schlechte Wirtschaftlichkeit nicht kompensieren.

Vorteile:

- im Gebäude integrierbar & geringer Flächenverbrauch
- definierte Übergabepunkte => kurze Staplerwege, kleines Dach
- vereinfachte Transponder-Erfassung mit Lagerplatzzuordnung

Nachteile:

- hohe Investitionen durch Speziallösung
- unterschiedliche LHM problematisch
- Umbauten am Gebäude erforderlich
- häufiges Handling
- unflexibel

4.4 Variante 4 „LKW-Anhänger“

Gerade bei Zwischenlagerungsvorgängen im Fertigungsprozess kann es durchaus sinnvoll sein, ein Transportmittel gleichzeitig als Puffer zu nutzen. Neben finanziellen

Einsparungen für zusätzliche Lagertechnik (wie Regale) können häufig Reduzierungen hinsichtlich Flächenverbrauch und Handlingsaufwand erzielt werden. Grundsätzlich erscheint es also angebracht, das Prüffeld direkt aus dem anliefernden LKW-Anhänger mit Prüfmotoren zu versorgen, ohne dass weitere Umschlagstufen dazwischengeschaltet sind. Auf diese Weise entfallen Handhabungsvorgänge für die Bestückung und Entleerung des Puffers, die in diesem Fall mit der Be- und Entladung des Anhängers gleichzusetzen sind. Als weitere Konsequenz daraus verkürzt sich die Umlaufzeit des Routenverkehrs. Es wurde bereits angedeutet, dass dann alle anderthalb Stunden angeliefert werden kann. Folglich verringern sich die Stückzahlen pro Anlieferung und die im Puffer vorgehaltenen Stellplätze.

Beschreibung der Systemtechnik

Vier LKW-Anhänger und ein Gabelstapler sind die notwendigen Systembestandteile. Der als Planungsprämisse geforderte Direktzugriff auf alle Ladeeinheiten im Puffereingang kann bei dieser Systemalternative nur unter bestimmten Bedingungen realisiert werden:

- (1) Es muss eine beidseitige Entladung der Anhänger möglich sein.
- (2) Auf dem LKW-Anhänger dürfen maximal zwei Ladeeinheiten hintereinander stehen.
- (3) Es sind spezielle Anhänger erforderlich: Sie verfügen über zwei separate Ebenen, die durch eine Zwischenplattform getrennt sind. Ein weiterer Vorteil, der daraus entsteht, ist die Vermeidung von gelegentlichen Umstapelungen auf der Route sowie die Garantie, dass auch nicht stapelbare Ladeeinheiten übereinander gelagert werden können. Allerdings steigen die Investitionen in die Systemtechnik.

Um auch im Anhängerpuffer eine eindeutige Stellplatzzuordnung zu ermöglichen, ist pro Platz ein Transponder aufgeschraubt. Ähnlich wie bei den Fahrgestellen in Variante 2 ist die Voraussetzung, dass die einzelnen Stellplätze voneinander abgegrenzt sind und sich jeweils nur eine Ladeeinheit im Erfassungsbereich des Stellplatz-Transponders befindet. Die Abgrenzung wird in Form von L-Profilen erfolgen, die auf den Boden der Anhänger-ebenen montiert werden.

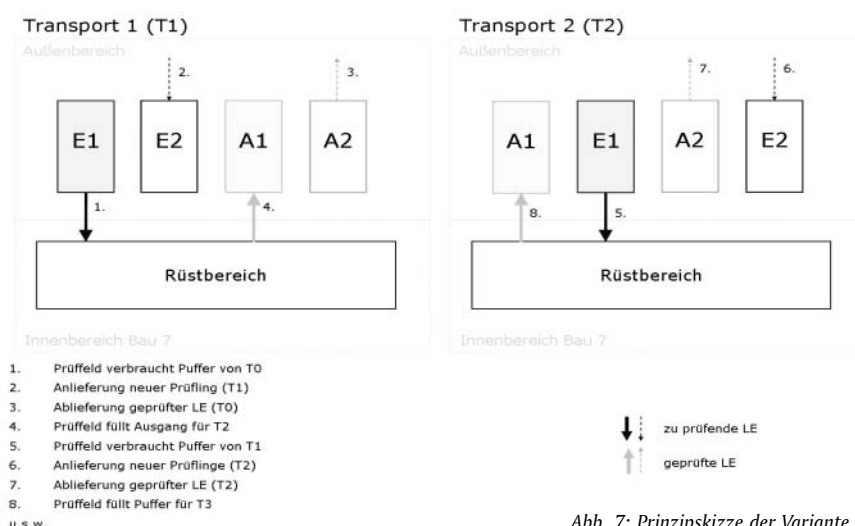


Abb. 7: Prinzipskizze der Variante 4

Systemkosten

In der Kostenbilanz (Tabelle 4) schlagen sich vor allem die geringen Personalkosten positiv nieder. Trotz relativ hoher Investitions- und Abschreibungskosten fallen die Stückkosten im Verhältnis zu den anderen Planungsvarianten extrem niedrig aus.

Prozessbeurteilung

Absolute Überlegenheit zeigen die Pufferanhänger mit dem minimalen Handlingsaufwand. Vorteile:

- Umbau am Gebäude nicht zwingend erforderlich
- geringer Handlingsaufwand, kurze Prozesszeiten



	Menge	Einheit	Preis/Einheit [€]	Kosten [€]
Investitionskosten:				294.300
Frontgabelstapler	1	Stück	25.000	25.000
Mehraufwand für 2-Ebenen-LKW	4	Stück	25.000	100.000
Vordach	350	m ²	250	87.500
Transponder	250	Stück	10	2.500
Schreib/Lesegeräte mobil	15	Stück	3.500	52.500
Schreib/Lesegeräte stationär	14	Stück	1.200	16.800
DV-Technik	1	Stück	10.000	10.000
einmalige Gemeinkosten:				500
Baumaßnahmen (Stellplatzmarkierungen)				500
laufende Kosten pro Jahr:				159.353
Personal (indirekte MA)	2	MA p.a.	52.000	104.000
Abschreibung				24.275
kalkulatorische Zinsen				11.036
Betriebskosten				20.042
Kosten/LE				3,75
(bei 42.500 LE/Jahr)				

Tab. 4: Kostenkalkulation für die Variante 4

Nachteile:

- mittlerer Flächenbedarf
- hohes Investitionsvolumen
- eingeschränkte Transparenz und Prozesssicherheit
- störanfällig

5 Variantenvergleich

5.1 Nutzwertanalyse

Als Entscheidungshilfe sollen die im vorangegangenen Kapitel ausgearbeiteten Varianten nun nach dem Nutzwertverfahren bewertet werden. Dazu wird eine Benotung anhand unterschiedlich gewichteter Kriterien durchgeführt. Diese Methode bietet sich besonders für einen nachvollziehbaren Vergleich an, der vorrangig auf der Basis qualitativer Merkmale beruht. Bei einer Nutzwertanalyse wird in fünf Schritten vorgegangen:

- (1) Zunächst werden die Bewertungskriterien definiert, wobei sich die Auswahl nach der Aussagekraft über die Zielführung der einzelnen Varianten richtet.
- (2) Jedes Kriterium fließt mit einer bestimmten Wertigkeit in die nachfolgende Nutzwertanalyse ein. Die Wertigkeit entspricht der relativen Bedeutung für die angestrebte Zielerfüllung. Um die Kriterien zu klassifizieren, werden sie einander gegenübergestellt. Im direkten Vergleich wird ihnen eine Wichtigkeit bezüglich der jeweils anderen Kriterien zugeordnet („wichtiger“, „gleichwertig“ oder „weniger signifikant“). Tabelle 5 zeigt die aufgrund ihrer besonderen Relevanz für die untersuchten Systemlösungen gewählten Kriterien und ihre Klassifikation.
- (3) Anschließend werden die einzelnen Systeme in Hinsicht auf die Erfüllung der verschiedenen Kriterien beurteilt, indem sie für jedes Kriterium benotet werden. Die Skala reicht hier von 5 „sehr gut“ bis 1 „sehr schlecht“. Diese Einschätzung entspricht im Großen und Ganzen dem Stärken-Schwächen-Profil der jeweiligen Variante.
- (4) Die relative Bewertung einer Variante bezogen auf ein Kriterium ergibt sich, wenn man absolute Benotung und Gewichtung multipliziert. Spaltenweise werden diese gewichteten Werte (Teilnutzen) zu einem Gesamtergebnis addiert. Gemäß den ermittelten Nutzwerten wird eine Rangfolge gebildet. Tabelle 6 verdeutlicht die Resultate dieses Schrittes.

	Flächenbedarf	Baumaßnahmen	Investitionsaufwand	Handling	Systemflexibilität	Transparenz	Prozesssicherheit	Punkte	Gewichtung*
Flächenbedarf		+	o	-	o	+	-	6	14%
Baumaßnahmen	-		o	-	-	o	-	2	5%
Investitionsaufwand	o	o		+	o	o	o	7	17%
Handling	+	+	-		-	o	-	5	12%
Systemflexibilität	o	+	o	+		o	o	8	19%
Transparenz	-	o	o	o	o		o	5	12%
Prozesssicherheit	+	+	o	+	o	o		9	21%
Summe:									42 100%

Bewertung: Zeile gegenüber Spalte

Symbol	Bedeutung	Punkte
+	Zeile bevorzugt	2
o	gleichwertig	1
-	Spalte bevorzugt	0

Tab. 5: Präferenzmatrix zur Ermittlung der Kriteriengewichtung (* Gewichtung = prozentualer Anteil an der Summe aller Punkte)

Entscheidungskriterium	Gewichtungsfaktor	Variante 1 "Schwerlastregal" Note gewichtet	Variante 2 "Fahrgestelle" Note gewichtet	Variante 3 "Tragkettenförderer" Note gewichtet	Variante 4 "LKW-Anhänger" Note gewichtet
Flächenbedarf	14%	4 0,6	1 0,1	5 0,7	3 0,4
Baumaßnahmen	5%	4 0,2	4 0,2	1 0,1	5 0,3
Investitionsaufwand	17%	5 0,9	4 0,7	2 0,3	3 0,5
Handling	12%	3 0,4	2 0,2	3 0,4	5 0,6
Systemflexibilität	19%	4 0,8	4 0,8	1 0,2	3 0,6
Transparenz	12%	4 0,5	3 0,4	4 0,5	3 0,4
Prozesssicherheit	21%	5 1,1	3 0,6	4 0,8	3 0,6
Summe:	100%	4,3	3,0	3,0	3,3
Rang:		1	3	3	2

Tab. 6: Nutzwertanalyse

- (5) Zum Schluss erfolgt die Aufbereitung der Ergebnisse: In der Rangliste führt Variante 1 mit großem Abstand. Das Schwerlastregal wird in fast allen Punkten am besten benotet. Diese relativ einfache Systemlösung besticht durch Flexibilität, hohe Prozesssicherheit und geringen Investitionsbedarf. Größter Mangel ist der Handlingaufwand, bei dem die LKW-Anhänger am besten eingeschätzt werden. Ansonsten wird Variante 4 eher mittelmäßig gewertet. Variante 2 und 3 erreichen trotz unterschiedlich bewerteter Teilnutzen den gleichen Gesamt-Nutzwert.

Zur Überprüfung der Ergebnisse in Tabelle 6 sowie zur Einschränkung ihres subjektiven Charakters wurde anknüpfend an die Nutzwertanalyse eine Sensitivitätsanalyse mit beliebig veränderten Gewichten der einzelnen Zielkriterien durchgeführt.

5.2 Kostenvergleichsrechnung

Um die finanziellen Gesichtspunkte gleichermaßen zu berücksichtigen, soll neben der Nutzwertanalyse eine Kostenvergleichsrechnung zur Auswahl einer Vorzugsvariante herangezogen werden. Vergleichsparameter ist hier der für die einzelnen Varianten ermittelte Preis pro Ladeeinheit. Aus Tabelle 7 geht hervor, dass Variante 4 dabei am besten abschneidet.

5.3 Kosten-Nutzen-Analyse

Die beiden Vergleichsverfahren Nutzwertanalyse und Kostenvergleichsrechnung ergeben zwei unterschied-



	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
	"Schwerlastregal"	"Fahrgestelle"	"Tragkettenförderer"	"LKW-Anhänger"
Kosten/LE [€]:	5,71	6,19	6,76	3,75

Tab. 7: Stückkostenvergleich

liche Lösungsempfehlungen. Da es außerdem nicht sinnvoll ist, Nutzwert und Kosten isoliert voneinander zu betrachten, wird hier als Kosten-Nutzen-Analyse für die Ermittlung einer zu favorisierenden Variante der „ordinale“ Nutzwert ins Verhältnis zu den Kosten gesetzt. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise gibt folgende Grafik wieder:

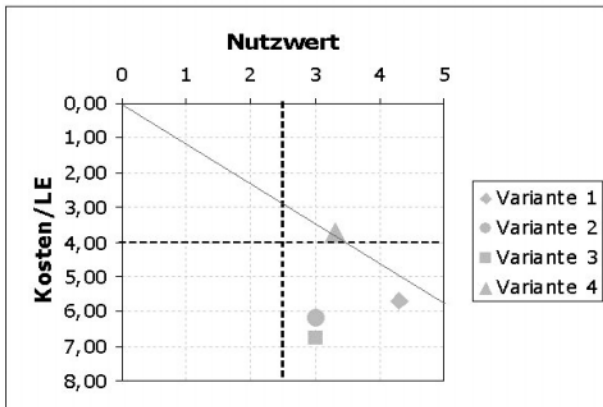


Abb. 8: Kosten-Nutzen-Verhältnis

Auf der X-Achse ist der Nutzwert entsprechend Tabelle 6 abgetragen, die Y-Achse stellt die Kosten aus Tabelle 7 dar. Zu präferieren sind dabei die Varianten, die sich in dem rechten oberen Viertel der Matrix befinden – also einen hohen Nutzwert bei geringen Stückkosten aufweisen. Im Gegensatz dazu bieten die Lösungen im linken unteren Viertel das schlechteste Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten. Demzufolge bietet die Lösung 4 offensichtlich die beste Kosten-Nutzen-Relation aller hier untersuchten Varianten. Die Gerade, die durch Variante 4 verläuft, kennzeichnet dabei alle möglichen Kombinationen mit dem gleichen Kosten-Nutzen-Verhältnis. Alle Punkte unterhalb der Geraden sind schlechter, alle darüber besser gestellt. Variante 1 nähert sich der Geraden am weitesten (von unten) und stellt somit das zweitbeste Kosten-Nutzen-Verhältnis.

6 Empfehlung

Wie die Kosten-Nutzen-Analyse gezeigt hat, ist die Variante 4 mit den LKW-Anhängern im Gesamtvergleich zu favorisieren. Die Vorzüge dieser Lösung liegen in dem minimalen Handlingaufwand sowie der damit verbundenen Konsequenz eines geringen Personalaufwandes. Dadurch wiederum können die Prozesskosten auf dem niedrigsten Niveau gehalten werden. Zwar geht die Variante „Schwerlastregal“ im qualitativen Vergleich als klarer Sieger hervor, gegenüber den LKW-Anhängern offenbart sie jedoch erhebliche Kostennachteile, die aus dem höheren Personalbedarf resultieren. Infolgedessen stellt sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Variante 1 schlechter dar als jenes der Variante 4. Fahrgestelle und Tragkettenförderer konnten sich dagegen weder im Kostenvergleich noch in der Nutzbewertung durchsetzen.

Als Ergebnis dieser Arbeit ist daher die Variante 4 für die weiterführende Feinplanung zu bevorzugen. Im Anschluss an die vorliegende Untersuchung wird die Entscheidung über eine umzusetzende Systemlösung getroffen werden und die Feinplanung der entsprechenden Logistikprozesse beginnen. Deren Aufgaben werden hauptsächlich darin bestehen, Realisierungsstufen zu planen, Schnittstellen zu überprüfen, Genehmigungsverfahren einzuleiten sowie später die Ausschreibungsphase zu betreuen. Diese umfasst die Lastenhefterstellung und den Vergleich von Angeboten verschiedener Hersteller. Nachdem letztlich ein Systemanbieter ausgewählt wurde, wird die Auftragsvergabe mit den zugehörigen Bestellvorgängen erfolgen.

Literatur

- Ihme, Joachim: Logistik im Fahrzeugbau; Manz Schulbuch, Wien 2000
- Jünemann, Reinhardt & Schmidt, Thorsten: Materialflusssysteme. Systemtechnische Grundlagen; 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin [u. a.] 2000
- Jünemann, Reinhardt & Beyer, Andreas: Steuerung von Materialfluß- und Logistiksystemen; 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin [u. a.] 1998
- Kluck, Dieter: Materialwirtschaft und Logistik; 2. Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 2002
- Martin, Heinrich: Transport- und Lagerlogistik – Planung, Aufbau und Steuerung von Transport- und Lagersystemen; 3. Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 2000

Autoren

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Bianca Pellegrini

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Logistik

Telefon +49 3375 508-924

E-Mail: hsonntag@igw.tfh-wildau.de



Personalentwicklung im Kontext der interkulturellen Kommunikation

Olga Rösch

1 Zum Ursprung des Fachgebietes Interkulturelle Kommunikation

Die Erweiterung der Europäischen Union in Richtung Osteuropa führt zu einer weiteren Zunahme von internationalen Wirtschaftsaktivitäten in deutschen Unternehmen. Dank den günstigen Rahmenbedingungen des gesamteuropäischen Marktes können auch mittlere und kleinere Unternehmen ihre Wirtschaftsaktivitäten auf dem osteuropäischen Markt nachhaltig ausbauen. Bei der Entwicklung von internationalen Unternehmens-tätigkeiten spielt die Qualifizierung der Mitarbeiter für die Zusammenarbeit in den bi- bzw. multikulturellen Teams eine besonders wichtige Rolle. Die Bedeutung der interkulturellen Kompetenz für die Bewältigung von Arbeitsaufgaben in den interkulturellen Kontaktsituationen ist längst erkannt. Der Bedarf an Wissen und Können für Lösungen von kulturbedingten Kommunikationsstörungen im Geschäftsbereich verhalf dem Fachgebiet Interkulturelle Kommunikation zur weitreichenden Anerkennung.

Mit der Problematik der interkulturellen Kommunikation beschäftigen sich bekanntlich mehrere Wissenschaftsdisziplinen: Kulturanthropologie, Fremdsprachephilologien, kulturvergleichende Psychologie, Kommunikationswissenschaften (z. B. auch Ethnorhetorik), Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, um hier nur einige zu nennen (vgl. Rösch, 1997). Das ist durchaus verständlich: Der Vorgang selbst, durch diverse fremdkulturelle Determination kolloziert, verursacht aufgrund seiner Komplexität allzu oft kommunikative Störungen und bietet auch deshalb viele interessante Aspekte für deren wissenschaftliche Untersuchung.

Die Problematik der Kommunikation mit kulturell Fremden ist in den USA seit den späten 50er Jahren ein aktuelles Forschungsthema. Die Beschäftigung mit derartigen Fragen stand und steht sicherlich im Zusammenhang mit den Erfordernissen der Innen- und Außenpolitik der USA als einer multikulturellen Gesellschaft und einer wirtschaftlich expandierenden Großmacht. Den Grundstein für das Fach Interkulturelle Kommunikation legte der bekannte amerikanische Kulturanthropologe Edward T. Hall mit dem 1959 erschienenen Buch „The Silent Language“. Die Genesis dieses Gründerwerkes und zugleich des Fachgebietes geht noch weiter zurück auf ein Projekt der US-Regierung, die 1946 das Foreign Service Institut am State Department eingerichtet und bedeutende Linguisten, Psychologen und Kulturanthropologen für die Arbeit herangezogen hat. Das Ziel des Unterfangens bestand darin, neue Qualifizierungskonzepte für

den diplomatischen und anderen auswärtigen Dienst auszuarbeiten und die amerikanischen Mitarbeiter für die Praxis der interkulturellen Kommunikation zu schulen. Das war für die „theoriegewohnten Geisteswissenschaftler“ keine einfache Aufgabe, ihr Wissen für die praktischen Aufgabenlösungen anwenderorientiert zu didaktisieren. Aber eben aus der „Begegnung von Wissenschaft und Praxis“ entstand das neue Fachgebiet, für dessen Selbstverständnis die Praxisnähe und Interdisziplinarität charakteristisch geblieben sind (vgl. Roth, 2001:10).

Interkulturelle Kommunikation ist seit mehreren Jahrzehnten ein ausgesprochen internationales Forschungsthema mit unterschiedlichen Ausrichtungen. Als Beispiel sei hier nur eine in Deutschland weniger bekannte Forschungsrichtung, die russische Ethnopsycholinguistik genannt, die in der damaligen UdSSR in den 70er Jahren entwickelt wurde (siehe z. B. Leontjev/Sorokin/Tarasov, 1977). Im Rahmen des sogenannten Lakunen-Modells, das seinen Ursprung in der Problematik des Übersetzens von schriftlichen Texten hatte, ging es um eine systematische Erfassung, Operationalisierung und Klassifizierung von kulturgebundenen Kommunikationsunterschieden (zur Rezeption des Modells in Deutschland vgl. Schröder, 1999).

Anfang der 90er Jahre fand die Thematik der interkulturellen Kommunikation mit diversen Schwerpunkten auf unterschiedlichen Wissensgebieten der Forschung und Lehre Eingang in deutschen Universitäten. Besonders bekannt wurde im In- und Ausland die interkulturelle Germanistik, die für das Verstehen der deutschen Kultur und die Vermittlung des Deutschen als Fremdsprache neue methodisch-didaktische Impulse gab.

Neben dem rein wissenschaftlichen, „ideellen“ Interesse am Thema gab es also schon immer ein praktisches: Die Zunahme von Kontakten mit kulturellen Fremden in den internationalen Wirtschafts- und Wissenschaftskooperationen sowie in vielen anderen Kontexten im eigenen Lande führte zur Notwendigkeit, die kommunikativen und wirtschaftlichen Misserfolge mit ihren unterschiedlich weit reichenden negativen Folgen zu minimieren und die Verständigung nach Möglichkeit zu optimieren. Es entstand auch ein großer Bedarf an Schulungen (vor allem für Fachkräfte in der Wirtschaft und öffentlichen Verwaltung) und logischerweise an Schulungspersonal, das dieses Wissen vermitteln konnte. Die Hochschulen in Deutschland reagierten darauf mit neuen Studiengängen, in denen die Studierenden entsprechend qualifiziert wurden.¹ Ein neuer Beruf entstand – interkul-



tureller Trainer. So kam ein weiterer Aspekt des Fachgebietes hinzu – die Methodik der Vermittlung der fremdkulturellen Kompetenz.

Das Lehr- und Forschungsgebiet Interkulturelle Kommunikation baut also auf Erkenntnissen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen. Zugleich widerspiegelt die hohe Interdisziplinarität des Faches objektiv die Gegebenheiten und Bedürfnisse der Realität. Seinen festen Platz unter den Hochschulfächern verdankt es sicherlich in erster Linie den Anforderungen des Arbeitsmarktes. Aber nicht nur Know-how-Vermittlung erfolgt in diesem Hochschulfach, sondern immer mehr wird erkannt, dass die Ausbildung der Studierenden insbesondere in den nicht geisteswissenschaftlichen Studienrichtungen (vor allen in den Ingenieurwissenschaften) auf dem Gebiet der Interkulturellen Kommunikation im hohen Maße persönlichkeitsbildend wirkt.

Durch einen übermäßigen Gebrauch des Begriffes Interkulturelle Kommunikation in der politischen Rhetorik (als ein positives, aktuelles Schlagwort) scheint ihm allerdings im Bewusstsein der Nichtfachleute etwas Inflationäres anzuhaften. Das hat jedoch die inhaltliche Entwicklung des Fachgebietes keineswegs gestört und führte eher zu einer schärferen Konturierung des Faches an den Hochschulen. Spezifizierungen lassen sich an diversen Bezeichnungen wie Interkulturelle Zusammenarbeit, Cross Culture, Diversity Management, Cultural Studies usw. erkennen. Als Oberbegriff für das umfassende Wissensgebiet bleibt Interkulturelle Kommunikation aber nach wie vor probat und der Sachlichkeit verpflichtet. Es geht nämlich immer wieder um den Erwerb von kulturellem Wissen und der kulturellen Kompetenz, die es einem erlauben, in einer interkulturellen Kontaktsituation kommunikative Zusammenhänge zu verstehen und angemessen zu handeln, in einem multinational besetzten Arbeitsteam arbeitsfähig zu bleiben und kulturell bedingte Konfliktsituationen zu meistern.

2 Personalentwicklung als Wettbewerbsvorteil

Die Globalisierung, die uns mit der EU-Osterweiterung vor unserer eigenen Haustür erreicht hat, stellt uns vor neuen Situation und neuen Herausforderungen. Hier sei zunächst an eine bekannte Geschichte von zwei amerikanischen Autoren, R. R. Thomas und M. L. Woodruff², über eine vorgenommene Zusammenarbeit erinnert: „Die Giraffe, ein aufstrebender Handwerker im Holzgewerbe, hat soeben einen Preis erhalten. Sein Haus ist zum Giraffenhaus des Jahres ernannt worden. Nun bekommt die Giraffe Besuch von einem guten Freund und Fachkollegen, dem Elefanten. Die beiden planen, zukünftig enger zusammen zu arbeiten und der Elefant möchte sich das Haus ansehen. Das bekommt verständlicherweise beiden nicht sehr gut – dem Elefanten nicht und dem Haus auch nicht. Die Giraffe meint: ‘Wenn wir wirklich hier zusammen arbeiten wollen, solltest du etwas abnehmen. Ich könnte zwar die Eingangstür verbreitern, sie muss nun sowieso repariert werden, aber es ist schon

ein bisschen eng mit dir drin. Was hältst du von einem Abonnement im Fitness-Studio?’ Der Elefant hält das für eine akzeptable Idee, will aber erst die Räumlichkeiten im oberen Stockwerk besichtigen. Als sich der Staub gelegt hat, meint die Giraffe: ‘Du solltest nach dem Fitnesskurs gleich auch Ballettstunden nehmen, damit du etwas leichter wirst. Sonst können wir in diesem Haus wohl kaum miteinander arbeiten.’ Der Elefant hat inzwischen seine Wunden verbunden und sagt: ‘Ich glaube kaum, dass Fitness-Studio und Ballettunterricht uns auf Dauer weiter bringen. Hast du mal daran gedacht, an deinem Haus etwas zu verändern?’“³

Wie gut haben wir uns denn selbst auf die Veränderungen in einem erweiterten Europa eingestellt? Wie nehmen wir hier in Deutschland die Reaktion unserer östlichen Partnern auf die Globalisierung wahr? Prozesse wie die künftige EU-Osterweiterung setzen positive Rahmenbedingungen für eine Kommunikation mit anderen Kulturen. Bieten derartige politische Änderungen nicht Anlass und Möglichkeiten zugleich, das eigene Konzept zur konfliktmindernden Begegnung mit anderen Kulturen zu überprüfen?

Die wachsende internationale Verflechtung wirtschaftlicher Aktivitäten ist die Realität von heute. Die Wirtschaft hat „das Haus“ tatsächlich verändert, indem sie ihre internationalen Unternehmungen, die immer interkulturell variablen Determinanten ausgesetzt sind, funktionsfähig machte. Dazu bieten erfolgreiche internationale Konzerne genügend Beispiele. Der grenzüberschreitende Austausch von Arbeit, Kapital, Wissen und Personal bleibt ein ständiger Lernprozess, den insbesondere die Großindustrie mit immer neuen, angepassten Konzepten, Strategien und Managementtechniken bewerkstelligt und weiter bewerkstelligen muss, wenn sie die Wettbewerbsfähigkeit nicht verlieren will. Erfahrungen und Wissen aus der Zusammenarbeit mit kulturell Anderen in multikulturellen Unternehmen fließen im Fachgebiet Interkulturelles Management zusammen, das ohne Grundlagen des Wissensgebietes Interkulturelle Kommunikation gar nicht bestehen kann.

Die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens hängt bekanntlich zu einem großen Teil von einer weitblickenden Personalentwicklungsplanung ab, die eine Antwort auf die Frage geben sollte, „mit welchen Mitarbeitern das Unternehmen seine Ziele in Zukunft realisieren will“ (Kühn, 2001:3). In einem international agierenden Unternehmen sieht sie auf jeden Fall eine Qualifizierung der Mitarbeiter für die Zusammenarbeit mit und in fremdkulturell geprägten Arbeitsorganisationen vor. Dies geschieht bereits in den großen Unternehmen, wie z. B. der Siemens AG oder der Volkswagen AG. In Bezug auf die Art der Personalentwicklung handelt es sich hier meist um die berufsbegleitende Personalentwicklung, die sowohl eine Anpassungsqualifikation angesichts der neuen Kommunikationssituationen (z. B. Gemeinschaftsarbeit in einem multikulturellen Team) als auch eine positionsorientierte Befähigung (z. B. Auslandsentsendung und Übernahme einer größeren Verantwortung) bezweckt (Kühn, 2001:4).



Die bekannte Definition des Begriffes Personalentwicklung beschreibt „die Summe aller personalbezogener Maßnahmen im Unternehmen [...], die dazu dienen, Mitarbeiter unter Berücksichtigung ihrer individuellen und beruflichen Neigungen und Interessen in fachlicher und verhaltensmäßiger Hinsicht anforderungsgerecht zu qualifizieren“ (Kühn, 1985:6). In unserem Zusammenhang wird der Begriff Personalentwicklung im engeren Sinne gebraucht, d. h. es geht hier speziell um die Personalbildung bzw. berufliche Bildung, und zwar um die Fortbildung. Die Personalbildung stellt nach Olfert/Steinbuch (2001:419 f.) die Basisaufgabe der Personalentwicklung dar. Die erstere gewinnt aus mehreren Gründen zunehmend an Bedeutung. Diese sind:

- der wirtschaftliche und technologische Wandel, der immer neue Anforderungen an die Mitarbeiter stellt,
- die mit dem Wandel verbundene Notwendigkeit, immer mehr Entscheidungen in immer kürzerer Zeit zu treffen,
- das Erfordernis, auf allen Hierarchieebenen Selbstkoordination und Flexibilität der Mitarbeiter zu verbessern, um auf Veränderungen schnell und flexibel reagieren zu können,
- die Auseinandersetzung mit neuen Situationen setzt Innovationsbereitschaft voraus und verlangt Problembewusstsein und Kreativität,
- eine erhöhte Bereitschaft, die Konflikte auszutragen und Lösungen zu finden (vgl. Olfert/Steinbuch, 2001: 421 f.).

Die Personalbildung hat zum Ziel, eine angemessene Handlungskompetenz des Mitarbeiters zu entwickeln. Die üblichen sozialwissenschaftlichen Modelle teilen die Handlungskompetenz in drei Teilbereiche ein: in die soziale, fachliche und methodische Teilkompetenzen ein (vgl. Olfert/Steinbuch, 2001:422). In anderen Darstellungen wird von vier Teilbereichen der Handlungskompetenz ausgegangen: individuelle, soziale, fachliche und strategische (= methodische) Kompetenz. Die Handlungskompetenz in interkulturellen Zusammenhängen wird dann um die Fremdsprachenkenntnisse, um das kulturelle (Fakten)-Wissen, um das Wissen um die Besonderheiten des interkulturellen Handelns und die Fähigkeit, dies umsetzen zu können, erweitert. Die Umsetzung erfolgt mit Hilfe von Werkzeugen wie Empathie, Rollendistanz und Metakommunikationsfähigkeit u. a., die z. T. auch in anderen Kompetenzbereichen zu finden sind (vgl. Bolten, 2001). Bolten schlägt deshalb vor, die interkulturelle Kompetenz als Fähigkeit zu verstehen, „individuelle, soziale, fachliche und strategische Teilkompetenzen in ihrer bestmöglichen Verknüpfung auf interkulturelle Handlungskontexte beziehen zu können. Unterschiedlich gegenüber intrakulturellen Handlungszusammenhängen ist dementsprechend die Qualität der einzelnen Teilkompetenzen.“ (vgl. Bolten, 2001:87 f.). Diese müssen für die Gegebenheiten der interkulturellen Kontaktsituation gezielt ausgebaut und trainiert werden.

Aber welche Eigenschaften und Merkmale von Kandidaten für Auslandspositionen werden als Grundvoraussetzung für die Auslandsentsendung berücksichtigt, bevor

man eine Fachkraft überhaupt einem interkulturellen Training unterzieht? Welche Anforderungen an die Auslandsmitarbeiter, an die sog. Expatriates, werden denn gestellt? Es gibt mehrere Erhebungen, die eine Antwort auf diese Frage geben (vgl. Bergemann/Sourisseaux, 2003:200 f.). Sie variieren zwar in Einzelheiten, stimmen aber im Kern weitgehend überein. Ohne auf die methodische Problematik bei der Erfassung dieser Kriterien einzugehen, sei hier als Beispiel das Ergebnis einer Studie zu Anforderungen an Expatriates von Wirth (1992:157) angeführt:

Genannte Anforderungen	Häufigkeit der Nennungen in %
Fachliche Eignung:	
– Fachliche Qualifikation	95
– Berufserfahrung	64
Persönliche Eignung:	
– Persönlichkeitsbild (Selbstdisziplin, Ausgeglichenheit, Toleranz)	75
– Physische und psychische Belastbarkeit	65
Kulturbezogene Eignung:	
– Sprachkenntnisse	68
– Vertrautheit mit der Unternehmenskultur	64
– Kommunikationsfähigkeit	56
– Lern- und Anpassungsfähigkeit	48
– Organisations- und Improvisationstalent	35
– Pädagogisches Geschick	3
Stabile Familienverhältnisse	16

(Mehrfachnennungen waren möglich)

Es gibt mehrere Instrumente interkultureller Personalentwicklung, mit denen in den Unternehmen gearbeitet wird, z. B. Coaching, Selbststudium, Informations- und Präsentationsseminare, Gruppendiskussion (international), Teilnahme an Bildungsangeboten der Hochschulen, Abordnung zur ausländischen Tochtergesellschaft, Urlaubsvertretung im Ausland, Mitnahme auf Auslandsreisen und vor allem interkulturelle Trainings. Bevorzugt wurden traditionell das Coaching und die Abordnung zur ausländischen Tochtergesellschaft. Erst seit weniger Jahren werden auch Ausbildungs- und Trainingsprogramme im größeren Umfang praktiziert, was auf die Einsicht in die Nützlichkeit dieser Weiterbildungsmaßnahme auch in der Personalentwicklung hindeutet (vgl. Fritz/Möllenberg, 2003:301 f.). Den Unternehmen steht inzwischen eine Reihe von ausgearbeiteten Trainingskonzepten zur Verfügung, um im Rahmen der berufsbegleitenden Personalbildung je nach Lernziel die interkulturelle Kompetenz der Mitarbeiter zu entwickeln. Hier als Beispiel vier Trainingsansätze im Vergleich, die je nach Intention und Dimension der interkulturellen Kompetenz eher kognitiv (vor allem 1 und 3), affektiv oder behavioral (zu unterschiedlichen Graden 2 und 4) orientiert sind. Sie entwickeln zunächst



Typ	1. Kulturinformationsseminare	2. Culture-Awareness (Sensibilisierung)	3. Kultur-Assimilator	4. Contrast-Culture-Training
Ziele	Faktenwissen über fremde Kultur, ergänzt durch Verhaltenstraining	Bewusstsein der eigenen kulturellen Prägung schaffen, Vorurteile aufarbeiten	Wissensvermittlung über fremde Kultur und Kulturstandards (Verhaltensmuster, Werte und Normen), Verhaltenstipps	Eigene Kulturstandards und die der Zielkultur aufzeigen, Konflikte im Kontakt verdeutlichen, schwierige Situationen ausprobieren
Methoden	Referate, Diavorträge, Filme, Lehrgespräche, Anekdoten	Gruppendynamische und Sensitivity-Methoden, z.B. Übungen mit gegensätzlichen Kulturen	Programmiertes Selbstlernen: Critical incidents sind mit Multiple-Choice-Antworten zu bearbeiten und werden kommentiert	Fallstudienarbeit, Rollenspiele mit Trainer aus Zielregion
Zentrale Themen	Religion, Kulturgeschichte, Tipps und Tabus, persönliche Erfahrungen der Referenten	Ängste und Hoffnungen bezüglich Fremdheit, Stereotype und Vorurteile	Arbeits- oder aufenthaltsrelevante Kulturstandards und Konfliktfelder	Arbeits- oder aufenthaltsrelevante Kulturstandards und ihr Hintergrund
Stärken	Geringer Zeitbedarf	Intensive Selbsterfahrung, allgemeine Erkenntnisse, die weltweit hilfreich sind, geringer Aufwand und Kosten	Flexibel planbare Einzelarbeit mit schriftlichen Unterlagen oder CD-ROM	Landes- bzw. regionenspezifisch, Praxisnähe und Alltagsrelevanz
Schwächen	Informationen zum Teil sehr subjektiv, kaum verhaltensrelevant	Wenig Bezug zur konkreten Situation in einer bestimmten Kultur, daher oft geringe Akzeptanz durch Teilnehmer	Hohe Selbstlernkompetenz erforderlich, trockene Vermittlung eines lebendigen Lernstoffs, kein Verhaltenstraining	Kaum geeignet, wenn Zielkultur unbekannt oder mehrere Zielkulturen

Quelle: IFIM, www.ifim.de ⁴

persönliche Eigenschaften des Mitarbeiters und schaffen günstigere Voraussetzungen für dessen Auslandseinsatz. Ein integrierendes und konsequent interdisziplinäres Trainings- und Ausbildungsmodell, das mehrere Erfolgskriterien berücksichtigt, ist ein Gegenstand aktueller methodischer Diskussionen in der Forschung (vgl. Fritz/Möllenberg, 2003:303-305).

3 Zur Realität der Personalbildung auf dem Sektor Interkulturelle Kommunikation

Die Qualifizierung des Personals gehört zwar in das Konzept einer modernen Personalentwicklung. Aber es wird immer wieder festgestellt, dass die Vorbereitung der Mitarbeiter auf Auslandseinsätze unzureichend ist (vgl. Fritz/Möllenberg, 2003; Frank, 2003). Besonders die kleineren und mittleren Unternehmen stehen „nicht ohne Skepsis“ (Kühn, 2001:3) den Personalentwicklungsmaßnahmen gegenüber mit der Begründung, man sei dem Aufwand personell nicht gewachsen und finanziell überfordert. Insbesondere betrifft es die interkulturellen Trainingsmaßnahmen, deren Nutzen die KMU unterschätzen in der irrigen Annahme, die Weltoffenheit der Mitarbeiter genüge (vgl. z. B. Stoessel, 2002:84). Dabei erkennt man, dass es bei der interkulturellen Kompetenz um eine Schlüsselqualifikation der Mitarbeiter im Auslandsgeschäft geht! Wenn eine Fach- und/oder Führungskraft sich bereits im Auslandseinsatz befindet, so steht sie in der Regel unter Leistungs- und Zeitdruck, so dass es ihr kaum noch möglich ist, den kulturell bedingten Missverständnissen bzw. Kommunikationsstörungen auf den Grund zu gehen und durch metakommunikative Bearbeitung der Konfliktsituation eine für beide Seiten annehm-

bare Lösung herbeizuführen. Es entstehen Reibungsverluste, Frustration, Resignation und finanzielle Einbußen. Eine gewisse Widersprüchlichkeit zwischen den steigenden Auslandsaktivitäten der Unternehmen auf der einen und der gleichzeitigen (in Kauf genommenen) mangelnden Vorbereitung der Mitarbeiter auf den Auslandseinsatz auf der anderen Seite ist besonders bei den KMU zu beobachten. Dieses Missverhältnis konnte auch im Rahmen des Projektes „Stereotype Einstellungen und Kulturstandards in der aktuellen interkulturelle Kommunikation mit Partnern aus dem östlichen Europa. Eine empirisch-analytische und diskursanalytische Untersuchung bei Wirtschaftsunternehmen im Land Brandenburg“, das an der TFH Wildau in enger Kooperation mit den KMU der Region durchgeführt wird⁵, vielfach bestätigt werden.

Neben der geläufigen Vorstellung, die Weltoffenheit des Mitarbeiters ersetze die interkulturelle Kompetenz, existiert eine weitere weitverbreitete irrtümliche Annahme, die Auslandserfahrung erhöhe automatisch die interkulturelle Kompetenz des Mitarbeiters. Eine Studie der TU Braunschweig⁶ geht dieser Frage nach und liefert ganz andere Belege aus der Praxis. So wurden in deutschen und US-amerikanischen Unternehmen Befragungen durchgeführt, um u. a. den Zusammenhang zwischen dem Auslandsaufenthalt der Mitarbeiter und den Ausprägungen von interkulturellen Kompetenzen, wie interkulturelle Sensibilität, soziale Kompetenz und situationale Anpassungsfähigkeit, zu ermitteln (vgl. Graf, 2003:19 f.). Es wurde festgestellt, dass sich die interkulturelle Sensibilität bei Mitarbeitern ohne Auslandserfahrung kaum von der der Mitarbeiter im Auslandseinsatz im Laufe der ersten sechs Monaten unterscheidet. Mehr noch: Bei amerikanischen Auslandsmitarbeitern sank sie nach ei-



nem halben Jahr sogar erheblich. Die soziale Kompetenz der deutschen und amerikanischen Auslandsmitarbeiter hat während der ersten 6 Monate des Auslandseinsatzes ebenfalls abgenommen und unterschied sich nachteilig von der der befragten Mitarbeiter ohne Auslandserfahrung. Die Fähigkeit zu situationsangepasstem Verhalten hat sich bei den Vertretern beider Kulturen durch den Auslandsaufenthalt kaum geändert. Diese zu Beginn des Auslandseinsatzes abnehmenden drei Fähigkeiten, die einen wesentlichen Bestandteil der interkulturellen Kompetenz ausmachen, lassen sich möglicherweise als Folge des Kulturschocks⁷ erklären, der bekanntlich phasenweise verläuft. Die interkulturelle Kompetenz in allen ihren Ausprägungen steigt laut Braunschweiger Studie erst nach einem längeren Arbeitsaufenthalt im Ausland. Den Höhepunkt erreichen die interkulturellen Kompetenzwerte bei Auslandsmitarbeitern erst während des fünften Jahres des Auslandseinsatzes. Dem Bericht über die Studie der TU Braunschweig lässt sich allerdings nicht entnehmen, wie die Mitarbeiter für ihren Auslandseinsatz vorbereitet wurden.

4 Schlussbemerkung

Bei den hier besprochenen Möglichkeiten der Qualifizierung für die Arbeit mit dem kulturell Fremden im Rahmen der Personalbildung ging es um die interkulturellen Trainings und andere Mittel und Wege als Maßnahmen „on the job“. Diese sind unter den Gegebenheiten eines international tätigen Unternehmens in Bezug auf die Personalentwicklung auch zweckmäßig und erforderlich. Die interkulturellen Trainings sind dabei nur eine der Möglichkeiten. Die crashkursmäßig verlaufenden Veranstaltungen haben natürlich nicht den Anspruch und auch kaum eine Chance, die Problemkomplexität zu erfassen, was dazu führt, dass akademisch gebildete Führungskräfte sich z. T. unterfordert fühlen. Zur Problematik der Evaluation von interkulturellen Trainings wird z. Z. viel geforscht (vgl. Thomas, A./Hagemann, K./ Stumpf, S., 2003:257 ff.).

Dagegen bietet die für den Erwerb der interkulturellen Kompetenz erforderliche Ausbildung im Rahmen des Studiums den angehenden Ingenieuren, Betriebswirten, Verwaltungsangestellten u. a. unvergleichbar bessere Möglichkeiten, das Wissen und eine Qualifikation auf dem Gebiet der interkulturellen Kommunikation zu erwerben. Die Dauer und die Intensität der Ausbildung, die Interdisziplinarität und Methodenkombination, der Stoffumfang und die Obligation, sich mit der Materie auseinander zu setzen, lässt bei den jungen Menschen in ihrem produktivsten Lebensalter mit Sicherheit eine größere „Tiefenwirkung“ zurück. In das Hochschulfach Interkulturelle Kommunikation fließen Forschungsergebnisse aus diesem umfangreichen Wissensgebiet auf einem direkteren Wege ein und können nach einer entsprechenden methodisch-didaktischen Aufarbeitung als Lernstoff vermittelt werden. Das Hochschulfach Interkulturelle Kommunikation – unter welcher Bezeichnung auch immer – ist außerdem der Zielsetzung verpflichtet, zur allgemeinen und allseitigen Persönlichkeitsbildung beizutragen und nicht nur die handwerkliche Herangehensweise zu üben.

Anmerkungen

- 1 z. B. Ludwig-Maximilian-Universität München, TU Chemnitz, Friedrich-Schiller-Universität Jena u. a.
- 2 Thomas, R. R./Woodruff, M. L. (1999): Building a House for Diversity ...
- 3 deutsch zit. nach Hansen, K. (2002:10): Vielfalt leben ...
- 4 zit. nach Stoessel, A. (2002:84-85): Interkulturelle Kompetenz erweitern.
- 5 s. Rösch, O./Loew, R./Pfeifer, A.: Interkulturelle Kompetenz ...; in diesem Heft.
- 6 referiert nach Graf, A. (2003): Trugschluss Auslandserfahrung ...
- 7 Zum Begriff Kulturschock s. Wagner, W. (1999): Kulturschock Deutschland. ...

Literaturverzeichnis

- Bergemann, Niels/Sourisseaux, Andreas L. J. (2003): Internationale Personalauswahl, in: Bergemann, N./Sourisseaux, A. L. J. (Hg.), Interkulturelles Management, S. 181-235, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/u. a. 2003.
- Bergemann, Niels/Sourisseaux, Andreas L. J. (Hg.) (2003): Interkulturelles Management, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 2003.
- Bolten, Jürgen (2001): Interkulturelle Kompetenz, Erfurt 2001.
- Bungarten, Theo (1999) (Hg.): Sprache und Kultur in der interkulturellen Marketingkommunikation, Beiträge zur Wirtschaftskommunikation Bd. 11, Veröffentlichungen des ARBUK, Attikon Verlag, Tostedt 1999.
- Ertelt-Vieth, Astrid (1990): Kulturvergleichende Analyse von Verhalten, Sprache und Bedeutung im Moskauer Alltag. Beitrag zu einer empirisch, kontrastiv und semiotisch ausgerichteten Landeswissenschaft, Frankfurt a. M. 1990.
- Frank, Sergey (2003): Der Lächerlichkeit preisgegeben, in: management & training 3/2003, S. 12-15.
- Fritz, Wolfgang/Möllenberg, Antje (2003): Interkulturelle Kompetenz als Gegenstand internationaler Personalentwicklung, in: Bergemann, N./Sourisseaux, A. L. J., Interkulturelles Management, S. 295-307, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/u. a. 2003.
- Graf, Andrea (2003): Trugschluss Auslandserfahrung, in: management & training 3/2003, S. 19-21.
- Hansen, Katrin (2002): Vielfalt leben, in: Social Management 1/2002, S. 10-15.
- Kühn, Gundolf (1985): Personalentwicklung. Grundlagen und Methoden wirksamer und motivierender Mitarbeiterqualifikation zur Sicherung des Unternehmenserfolgs, in: RKW-Handbuch Führungstechnik und Organisation. HFO, 15. Lfg., 1.85.
- Leontjev, A. A./Sorokin, Ju. A./Tarasov E. F. (Hg.) (1977): Nacional'no-kul'turnaja specifika recevogo povedenija, (Nationalkulturelle Spezifik des Sprachverhaltens), Moskva, Isdatel'stvo Nauka 1977.
- Olfert, Klaus/Steinbuch, Pitter A. (2001): Personalwirtschaft, Friedrich Kiehl Verlag GmbH, Ludwigshafen (9. Aufl.) 2001.
- Rösch, Olga (1997): Interkulturelle Kommunikation als wissenschaftliches Lehr- und Forschungsgebiet, in: Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 1/1997, S. 112-115.
- Rösch, Olga/Loew, Roswitha/ Pfeifer, Anke (2003): Interkulturelle Kompetenz – heute eine unerlässliche Schlüsselqualifikation. Zwischenbericht zu einem Forschungsprojekt an der TFH Wildau, in: Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2003.



- Roth, Juliana (2001): Interkulturelle Kommunikation – ein neues Studienfach an deutschen Universitäten, in: Kulturknall, Themen Service für Presse, Hörfunk und Fernsehen, April 2001, S. 10–11.
- Schröder, Hartmut (1999): 'Lakunen' und die latenten Probleme des fremdkulturellen Textverstehens – Anwendungsmöglichkeiten eines Modells der Ethnopsycholinguistik bei der Erforschung textueller Aspekte der internationalen Produktvermarktung, in: Bungarten, Theo (Hg.), Sprache und Kultur in der interkulturellen Marketingkommunikation“, Beiträge zur Wirtschaftskommunikation Bd. 11, Veröffentlichungen des ARBUK, Attikon Verlag, Tostedt 1999, S. 174-206.
- Stoessel, Annette (2002): Interkulturelle Kompetenz erweitern, in: managerSeminare Heft 53/2002, S. 83-88.
- Thomas, Alexander/Hagemann, Katja/Stumpf, Siegfried (2003): Training interkultureller Kompetenz, in: Bergemann, N./Sourisseaux, A. L. J. Interkulturelles Management, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/u. a. 2003, S. 237-272.
- Thomas, R. Roosevelt/Woodruff, Marjorie L. (1999): Building a House for Diversity. How a Fable About a Giraffe and an Elephant Offers new Strategies for Today's Workforce, New York et. al. 1999. In Deutsch erschienen 2001 im Gabler-Verlag unter dem Titel „Management of Diversity. Neue Personalstrategien für Unternehmen. Wie passen Giraffe und Elefant in ein Haus?“
- Wagner, Wolf (1999): Kulturschock Deutschland. Der zweite Blick, Rotbuch-Verlag, Hamburg 1999.
- Wirt, Ekkehard (1992): Mitarbeiter im Auslandseinsatz. Planung und Gestaltung, Gabler, Wiesbaden 1992.

Autorin

Prof. Dr. Olga Rösch

Technische Fachhochschule Wildau
Institut für Interkulturelle Kommunikation
Telefon +49 3375 508-367
E-Mail: roesch@sprz.tfh-wildau.de



Interkulturelle Kompetenz – heute eine unerlässliche Schlüsselqualifikation

Zwischenbericht zu einem Forschungsprojekt an der TFH Wildau¹

Olga Rösch, Roswitha Loew, Anke Pfeifer

Wer im internationalen Geschäft erfolgreich sein will, der braucht nicht nur Fachkenntnisse, sondern auch kulturelles Wissen. Sind Ihnen im Ausland schon einmal Verhaltensweisen von Einheimischen aufgefallen, die Sie sich nicht erklären konnten? Haben Sie schon einmal bei Begegnungen mit Franzosen oder Engländern, mit Polen, Russen oder Chinesen etc. Situationen erlebt, die Ihnen unverständlich waren, bei denen Ihr Gegenüber völlig anders reagierte, als Sie es erwartet hatten?

Ein Beispiel aus dem Wirtschaftsbereich: Erzielt ein deutscher Ingenieur bei Verhandlungen im Ausland, z. B. in Argentinien, einen aus seiner Sicht schnellen Konsens, erwartet sein Unternehmen ganz selbstverständlich einen raschen Vertragsabschluss. Doch stattdessen wird er möglicherweise wiederholt zu Werksbesichtigungen eingeladen, gefolgt von einigen Geschäftsessen und schließlich zu Segeltouren. Das kann ihn – und insbesondere seine Geschäftsleitung – an der Ernsthaftigkeit des Kontaktes, der so vielversprechend begann, zweifeln lassen. Wird die Entscheidung über den Vertragsabschluss immer wieder hinausgezögert, zeigt sich die deutsche Geschäftsleitung bald ungeduldig oder reagiert mit Verärgerung, versucht vielleicht sogar, Druck auf den ausländischen Verhandlungspartner auszuüben.

Was könnte dahinterstecken? Mehrmalige Geschäftsessen und andere Treffen können für den ausländischen Unternehmer gerade Mittel zum Zweck sein. Er möchte vielleicht mit der neuen Geschäftsbeziehung auch die persönliche Beziehungsebene etablieren, also den neuen Geschäftspartner außerhalb der Büroebene besser kennen lernen, um zu prüfen, ob das „Feeling“ zwischen ihnen stimmt. Außerdem kann es in dessen Land üblich sein, erst einmal sehr umfassende Informationen zu sammeln, um in Erfahrung bringen, ob der neue Geschäftspartner vertrauenswürdig ist. Für Deutsche, die bei der Anbahnung von Geschäftsbeziehungen zielorientiert auf einen Vertragsabschluss setzen, ist ein derartiges langwieriges Vorgehen oft gleichbedeutend mit verlorener Zeit.

Vielen Nationalkulturen ist das Gefühl für die Dringlichkeit einer Sache, wie wir Deutsche es kennen, ebenso fremd wie z. B. unser individualistisches Entscheidungsverhalten. Deshalb ist ein Deutscher immer gut beraten, für das Bedürfnis seiner ausländischen Geschäftspartner nach wiederholten Vertiefungen geschäftlicher Details ein erhebliches Zeitbudget einzuplanen. Sowohl eine langfristige Planung, Gelassenheit und auch eine gewisse

Anpassung an die kulturellen Denk- und Verhaltensweisen seiner ausländischen Partner können für den Geschäftserfolg von erheblichem Nutzen sein. In vielen Ländern, z. B. im arabischen Kulturkreis oder in China, ist Geduld bei Verhandlungen oberste Pflicht. Wer in solchen Situationen auf schnelle Entscheidungen drängt, zerstört die Beziehung, noch ehe sie richtig begonnen hat. So haben beispielsweise Verhandlungen ihre eigenen Regeln und Gesetze und hängen stark von kulturspezifisch geprägten Wertvorstellungen und Verhaltensweisen ab. Zur Illustration sei einmal angeführt, was für Franzosen, Russen und Deutsche als typisch in Bezug auf die Reihenfolge bei Geschäftsverhandlungen gelten kann:

- *Franzosen:* Verhandeln während des Geschäftsessens – Vertragsabschluss
- *Russen:* Geschäftsessen, gutes Klima schaffen – Verhandeln – Vertragsabschluss
- *Deutsche:* Verhandeln – Vertragsabschluss – Geschäftsessen.

Es sind – wie es die Praxis zeigt – oft kulturelle Unterschiede, die einer Begegnung einen unerwarteten Verlauf geben können. Bei grenzüberschreitenden Wirtschaftskooperationen ist deshalb immer zu beachten, dass die jeweiligen Partnerunternehmen nicht nur in unterschiedlichen politischen, rechtlichen und wirtschaftlichen, sondern auch in unterschiedlichen soziokulturellen Umfeldern agieren. Diese wirken sich auf alle Unternehmensabläufe aus. Sie beeinflussen Führungsstil, Kommunikation, das Arbeiten in Teams, Einstellungen zur Hierarchie und vieles andere mehr. Daraus können zum Teil recht massive Kooperationshindernisse resultieren.

>LAND A<

>LAND B<

Mögliche Kooperationshindernisse
in internationalen Wirtschaftsbeziehungen:

Kultur

Sprache und Kommunikationsstil
Werte, Normen, Regeln
Denk- und Verhaltensweisen
Hierarchien, Entscheidungsfindung, Zeitgefühl u. ä.

Recht, Verwaltung

Gesetze, Vertragswesen,
Strukturen, Finanzierung,
Zahlungsmodalitäten etc.

fachliche Divergenzen

Ausbildung,
Spezialisierung



Wie aus der Grafik ablesbar, sind Kooperationsbeziehungen wie jegliche Begegnungssituationen also immer verbunden mit dem Aspekt des kulturellen Verstehens des Partners, des Mitarbeiters etc., was eben nicht nur mit der Verständigung in einer Fremdsprache gleichzusetzen ist. Denken, Verhalten, Reaktionen oder Strategien können stark von der eigenen, das Handeln bestimmenden kulturellen Prägung abweichen und die ganze Skala der interpersonalen Zusammenarbeit tangieren. Dazu gehören zum Beispiel der Austausch von Informationen, Verhandlungen, Abstimmungen von Aktivitäten, Entscheidungsfindungsprozesse etc.

Fehlende Kenntnisse über kulturspezifische Arbeitsvorgehensweisen sind dabei noch immer ein oft unterschätzter Faktor. Wer ungeschriebene Regeln im internationalen Geschäftsleben ignoriert, wirkt seinerseits auf ausländische Gesprächspartner befremdlich. Ohne die nötige Sensibilität für andere Nationalkulturen gestaltet sich eine Wirtschaftskooperation deshalb oft schwierig und daraus resultierende Missverständnisse kosten viel Zeit und Geld.

Kulturelle Missverständnisse

So manche grenzüberschreitende, mit hohen Erwartungen begonnene Kooperation ist schon bald in eine Sackgasse geraten und abgebrochen worden, ohne dass den Partnern bewusst wurde, dass kulturelle Missverständnisse zu deren Scheitern beigetragen haben. Derartige Störungen basieren auf nicht adäquaten Interpretationen von kulturabhängigen Variablen wie Hintergrundwissen, Handlungsstrategien und kommunikativen Konventionen. Die jeweiligen Partner können mit ihren unterschiedlichen Erwartungshaltungen und dementsprechend Überzeugungen und Einstellungen unterschiedlich gelagerte Missverständnisse generieren. Von „interkulturellen Missverständnissen“ spricht man, wenn es den jeweiligen Beteiligten aufgrund unterschiedlicher Normen und Regeln ihrer Nationalkulturen nicht möglich ist, ein und dieselbe Situation in gleicher Weise zu interpretieren. Kulturabhängig kommen die beteiligten Personen dann zu ganz unterschiedlichen Bewertungen dieser Situation, was sich schließlich in Stereotypisierungen ausdrücken kann. Was vielleicht in der einen Kultur als ordentlich gilt, wird von der anderen als übertrieben penibel gewertet. Gilt in einer Kultur Improvisation als kreativ (z. B. in Polen), erscheint dies Angehörigen einer anderen Kultur (z. B. in Deutschland) als Folge fehlender Organisation.

Stereotypen begegnet man wohl auf allen Gebieten der menschlichen Kommunikation. Aus sozialpsychologischer Sicht erfüllen sie zwei wichtige Funktionen: Sie erleichtern zunächst einmal die Orientierung in einer komplexen Welt und dienen des Weiteren der Verteidigung der sozialen Position. Insofern erübrigt sich die mitunter gestellte Frage, wie man Stereotype beseitigen könnte. Wichtig ist vielmehr, wie man mit ihnen umgeht. Problematisch ist das Zurückgreifen auf Stereotype dann, wenn damit der Blick auf die Realität verstellt, das Verstehen des Anderen verhindert wird, wenn die Verwendung von

Stereotypen auf Ausgrenzung zielt, wo Verständnis und Kooperation angesagt wären. Begegnet man Fremden mit massiven stereotypen Vorstellungen, wird durch die Erwartungshaltung ein misslicher Kreislauf in Gang gesetzt, da geradezu nach erhärtenden Eindrücken, Ereignissen und Handlungsweisen des Fremden gesucht wird, um dann – vielleicht mit Genugtuung – die eigene Einstellung bzw. Überzeugung bestätigt zu finden.

Der Rückgriff auf Stereotype verrät – was dem Berichtenden selbst kaum bewusst sein dürfte – etwas über seine Einstellung zu sich selbst und dem Anderen gegenüber, etwas über seine Überzeugungen und gleichzeitig über wahrgenommene Unterschiede zwischen den Kulturen. Damit deuten Stereotypisierungen bei der Beurteilung des Anderen auf eine interessante Problemstellung hin. Es wird offenbart, was also als anders beim Partner angesehen wird, was einerseits positiv auffällt und gefällt oder aber was andererseits stört und kritikwürdig erscheint.

Beurteilungen von Fremden sind dabei normalerweise von den in der eigenen Kultur gängigen Deutungen von Zeichen und Handlungen sowie Werten geprägt. Dieser hier zu Grunde gelegte Maßstab wird dem Denken und Handeln des Gegenüber als Mitglied einer anderen Kultur aber zumeist nicht gerecht. Vereinfachend wird dann zu Stereotypisierungen gegriffen, die durchaus an reale Sachverhalte anknüpfen können (z. B. die Russen sind unpünktlich). Sie entstehen in der Regel aus Übergeneralisierung tatsächlich vorhandener Merkmale und stilisieren, verzerren oder verschleiern die Wirklichkeit. Wenn Inhalte von Stereotypen auf unterschiedliche kulturelle Prägungen verweisen, dann geben sie offenbar Auskunft sowohl über das fremde als auch über das eigene Werte- und Normensystem. Die Verwendung von Stereotypen deutet also demnach auch auf tradierte Konfliktsituationen hin, die ihre Wurzeln häufig in unterschiedlichen kulturellen Prägungen haben.

Unterschiedliche Zeitorientierung bzw. differierendes Zeitverständnis, geringe oder hohe Risikobereitschaft, Konfliktvermeidung oder Konfliktaustragung, das Favorisieren von Personenbeziehungen (Beziehungsorientierung) vor dem Sachbezug (Aufgabenorientierung), die Neigung zu kollektivistischen Entscheidungen – das sind nur einige jener Kulturspezifika, die zu Stereotypisierungen führen können. So ist die Auffassung von den „pünktlichen Deutschen“ im Ausland weitverbreitet. Gerade diese genannten Werte und Normen können Einfluss auf das jeweilige Geschäftsgebaren haben. Man muss bei Kulturspezifika gar nicht an weit entfernte, „exotische“ Länder denken, denn selbst die Geschäftstätigkeit zwischen Europäern, ja zwischen Nachbarländern verläuft oft nicht reibungslos. Auch im europäischen Raum gilt es, trotz Nähe und kultureller Gemeinsamkeiten, Unterschiede zu beachten.

Interkulturelle Kommunikation und Osteuropa

Seit den 90er Jahren haben die Wirtschaftsaktivitäten deutscher Unternehmen in Richtung Mittel- und Ost-



europa erheblich zugenommen. Die politischen Diskussionen über die Osterweiterung der Europäischen Union sind abgeschlossen und im Zuge dieser Erweiterung werden die Länder im östlichen Raum Europas für die deutsche Wirtschaft als Beschaffungs- und Absatzmarkt oder als Standort für ein eigenes Engagement immer interessanter.

Gerade den Unternehmen im Land Brandenburg bietet sich quasi vor ihrer Haustür ein breites Betätigungsfeld unternehmerischer Möglichkeiten und schon heute sind für sie Polen und Tschechien, aber auch Ungarn wichtige Exportmärkte. Doch nicht selten wird über massive Probleme geklagt. Neben finanztechnischen oder zollrechtlichen Ursachen gehören auch Schwierigkeiten im persönlichen Umgang miteinander dazu, die eben auf kulturelle Unterschiede zurückgeführt werden können. Mit welchen kulturspezifischen Unterschieden muss also ein deutscher Geschäftsmann rechnen, wenn er seine Aktivitäten in Richtung Osteuropa ausweitet? Welche Erfahrungen liegen hier in der Praxis schon vor?

Zum Forschungsprojekt

Diese Problematik kultureller Unterschiede bzw. des Kulturkontrastes zwischen Deutschen und Osteuropäern im Rahmen von Geschäftsbeziehungen im Land Brandenburg ist Gegenstand eines zur Zeit laufenden Forschungsprojektes. Es erkundet Probleme und Defizite, die sich auf dem Gebiet der interkulturellen Kommunikation bei internationalen Wirtschaftskontakten mit osteuropäischen Partnern offenbaren, klärt sie wissenschaftlich ab und stellt sich die Aufgabe, gewonnene Ergebnisse in Form von Anleitungen für das Handeln in der bilateralen Zusammenarbeit direkt an Unternehmen u. a. in Form von Workshops weiterzugeben. Gleichfalls wird mit dem Projekt ein wissenschaftlicher Vorlauf für die Ausbildung im Fach Interkulturelle Kommunikation an Hochschulen bereitgestellt.

Im Rahmen dieses Projektes wurden Gespräche in 25 ausgewählten Unternehmen technologieorientierter Branchen wie Metallverarbeitung, Geotechnologie, Maschinenbau, Elektrotechnik und Elektronik, Medizintechnik, Optik sowie in der Dienstleistungsbranche geführt, die Aufschluss über bestehende Probleme in der interkulturell geprägten Geschäftstätigkeit mit Osteuropa geben. Die persönlichen Berichte Brandenburger Unternehmer über ihre Erfahrungen in grenzüberschreitenden Kontaktsituationen vermitteln Einsichten zur spezifischen Perspektive dieses Personenkreises und geben ebenso Auskunft über ihre Wertvorstellungen, die für sie in Geschäftsbeziehungen mit Partnern aus dem östlichen Europa relevant sind.

Bezeichnend war die hohe Gesprächsbereitschaft der meisten angefragten Unternehmer. Sie gaben – trotz hoher Arbeitsbelastung – überraschend bereitwillig und ausführlich Auskunft über ihre Erlebnisse und Einschätzungen. Die Interviews mit den Schilderungen von mehr oder weniger erfolgreich verlaufenen Begegnungs- und

Gesprächssituationen wurden transkribiert und stellen einen über 400 Seiten umfassenden Fundus für die Interpretation dar. An diesem Materialkorpus wird derzeit in Form von Einzelfall- und Querschnittsanalysen zur Gewinnung von Erkenntnissen über die spezielle Kommunikationssituation zwischen deutschen Unternehmen und Partnern aus unterschiedlichen Ländern des östlichen Europa gearbeitet.

Stereotype in Geschäftsbeziehungen

Einen Untersuchungsaspekt stellen Stereotype und ihre Verwendung in den Beschreibungen und Erläuterungen der von uns befragten Unternehmer dar. Stereotype können nach unserer Auffassung als Indikatoren für Kulturunterschiede gelten. Wir gehen von der Vorannahme aus, dass in die Erfahrungsberichte Brandenburger Unternehmer bzw. Führungskräfte historisch tradierte Stereotypisierungen – expliziter wie impliziter Art – aus dem kollektiven Wissen der Deutschen über diese Fremden ebenso wie über sich selbst einfließen. Ausgehend von der Hypothese, dass sich in diesen Stereotypisierungen bestimmte, für die fremde Gemeinschaft „typische“ Eigenheiten ausdrücken, die jeweils der kulturellen Prägung der fremden Individuen geschuldet sind, werden dahinterliegende kulturelle Codes, die für Geschäftsbeziehungen von Relevanz sind, identifiziert und erklärt.

Gefragt wurde nach persönlichen Erfahrungen im Umgang mit osteuropäischen Wirtschaftspartnern, sowohl nach Schwierigkeiten und Missverständnissen als auch nach positivem Erleben. Dabei wurde bei den Unternehmern konkret nach deren Sicht gefragt, ohne durch Verweis auf tradierte Stereotype die Aussagen zu lenken, wie dies bei standardisierten Fragebögen häufig der Fall ist. Die meisten Befragten unterhielten nach eigenen Aussagen gute Geschäftsbeziehungen, daher wurden zu Beginn der Gespräche möglicherweise bestehende Schwierigkeiten verneint. Bis auf wenige Ausnahmen berichteten die Unternehmer von Erfolgen in ihrer Geschäftstätigkeit. Auf die Frage nach Erwartungen vor Kontaktabbau wurden zunächst keinerlei auf kulturspezifische Unterschiede abzielende Aussagen gemacht, die Stereotype enthielten. Im Mittelpunkt stand vor allem die Hoffnung auf befriedigende Erfüllung von Vertragsparametern.

Im Verlauf der Gespräche wurde bei der Beschreibung von Situationen und Handlungsweisen der osteuropäischen Partner schließlich doch auf Stereotype zurückgegriffen, und zwar insbesondere dann, wenn Konflikte geschildert wurden. Das heißt, konflikthafte Ereignisse zwischen Geschäftspartnern aus unterschiedlichen Ländern werden häufig über tradierte Stereotype reflektiert, die dem Alltagsdiskurs entstammen. So wurde z. B. die Nichtbestätigung eines mündlich vereinbarten Liefertermins trotz mehrerer Nachfragen per Fax genannt und damit auf die Unzuverlässigkeit des ausländischen Geschäftspartners geschlossen. Außer Acht blieb, dass es in dessen Kultur nicht zwingend notwendig ist, derartige Vereinbarungen schriftlich zu bestätigen.



Im Forschungsprojekt geht es dabei weder um eine Sammlung dieser stereotypen Aussagen noch um die Bestätigung oder Fortschreibung eines sogenannten Nationalcharakters. Ziel ist die Aufdeckung spezifischer Denk- und Handlungsweisen, die in der Begegnung zwischen deutschen und anderskulturell geprägten Wirtschaftspartnern aus verschiedenen Regionen Osteuropas relevant sind und die sich auch anhand von Stereotypen extrapolieren lassen.

Im Zusammenhang mit der Schilderung von Ereignissen wurden von den Befragten seltener explizite, häufiger aber implizite Stereotype für die Kennzeichnung von Unterschieden im Denken und Verhalten des anderskulturellen Partners verwendet. Ein Beispiel für die explizite Artikulation eines Stereotyps: Auf die Frage nach dem Beruf des polnischen Geschäftspartners antwortete der befragte Unternehmer: „Polen sind eigentlich Händler.“ Damit wollte er auf die Andersartigkeit seines Geschäftspartners, auf dessen vielfältige Fähigkeiten und die seiner Meinung nach untergeordnete Bedeutung beruflicher Ausbildung für die erfolgreiche Geschäftstätigkeit von Polen verweisen.

Stereotype treten aber auch implizit auf. Sie lassen sich dann mittels einer Analyse des Interviewtextes und der ihm eingeschriebenen Argumentationsstrategie erschließen. Das tradierte facettenreiche Stereotyp von der „Polnischen Wirtschaft“² wird in Interviews niemals direkt genannt, sondern lediglich implizit angeführt, durch persönliche Erlebnisse bestätigt, und zwar mit den Komponenten Unzuverlässigkeit, fehlendes Verantwortungsbewusstsein, aber auch Lebenslust. Es steht somit deutlich im Kontrast zum deutschen Eigenstereotyp von hoher Pflichterfüllung und Arbeitsethik.

Des Weiteren wurde Polen von den befragten Unternehmern z. B. zugeschrieben, Ordnungssinn und Pünktlichkeit seien wenig entwickelt, vieles laufe über persönliche Beziehungen, sie bräuchten Anleitung, müssten kontrolliert werden. Auffällig war das Bemühen einiger Befragter, in Bezug auf Polen tradierte negative Stereotype aus eigenem Erleben heraus zu entkräften, wobei sowohl eine grundsätzliche Entkräftung angestrebt wurde als auch unter Anerkennung prinzipieller Gültigkeit jenes Stereotyps konkrete Ausnahmen vorgeführt wurden.

Ein Interviewter widerlegte das ihm zweifellos bekannte Stereotyp vom unordentlichen Polen – ebenfalls Bestandteil des komplexen Stereotyps von der „Polnischen Wirtschaft“ –, indem er das Beispiel von einem muster-gültig ordentlichen polnischen Geschäftspartner anführte, mit dem die Zusammenarbeit seiner Aussage nach sehr gut klappt. Auf die Frage, wie er mit seinem polnischen Geschäftspartner zurecht komme, antwortete er: „Also super. So mancher deutsche Firmeninhaber würde sich wünschen, so'n Partner in Deutschland zu haben.“ Frage: „Können Sie das näher beschreiben?“

Antwort: „Weil er ordentlich ist. Ordentlich und zuverlässig... Jeder Arbeitsplatz exakt sauber. Wenn wir hinkommen wird die Werkstatt abends ordentlich verlassen. Werkzeuge liegen ordentlich auf Öllappen getränkt auf

den Tischen ..., die sind beschriftet, die sind immer wieder auffindbar ohne irgendwelche große, ja, Sucherei und dann wie gesagt die Sicherheitsbestimmungen. Also rein von der Ordnung der Räume her, Aufenthaltsräume für die Leute, die Sicherheitsvorkehrungen an den Maschinen, diese beschrifteten Wege, Holzplatten unter den Drehbänken, wo man also wirklich auch von der Wirbelsäule her entlastet wird.“

Stereotype und Kulturunterschiede

Als Maßstab bei der Beurteilung der Geschäftspartner zeichnen sich allgemeine Werte und Normen ab, die im deutschen Eigenbild zu den positiven Eigenschaften zu rechnen sind und gerade in der Wirtschaft und im Arbeitsleben generell eine herausragende Rolle spielen. Werte wie Fleiß, Arbeitsamkeit, Ehrgeiz, Beständigkeit, Solidität, Produktivität³ sind zu Auto- und Heterostereotypen in Bezug auf die Deutschen geworden. Der Wechselbeziehung von Fremd- und Eigenbild entsprechend ist es eher das Fehlen der eben genannten Eigenschaften, die bei ausländischen Partnern, mehr noch bei ausländischen Angestellten konstatiert wurde. Daher wurden von den Befragten vor allem stereotype Aussagen im Zusammenhang mit Problemen gemacht, denen solche Kulturspezifika wie Zeitverständnis (Polychronismus – Monochronismus), Personbezug (Beziehungsorientierung) – Sachbezug (Aufgabenorientierung), aber auch differenziertes Arbeits-/Leistungsverhalten und Qualitätsverständnis zugrunde liegen.

Bereits an diesen wenigen Beispielen kann ein Zusammenhang zwischen artikulierten Stereotypen und businessrelevanten kulturspezifischen Unterschieden aufgezeigt werden. Stereotype, die Unzuverlässigkeit, Unpünktlichkeit stigmatisieren, deuten zum Beispiel auf ein in der anderen Kultur vorherrschendes polichrones Zeitverständnis hin, das Deutschen mit überwiegend monochronem Zeitverständnis unverständlich und kritikwürdig erscheint. Stereotype, die Gastfreundschaft, Trinkverhalten, Vetternwirtschaft, ja gar Korruption benennen, beziehen sich auf die Spezifik hoher Beziehungsorientierung, die für osteuropäische Kulturen relevant ist, während die deutsche Kultur eindeutig aufgaben- bzw. sachorientiert ist, in der Persönliches vom Beruflichen getrennt und der schnellstmöglichen qualitätsvollen Lösung der Arbeitsaufgabe Priorität zugemessen wird. Stereotype Aussagen zu geringer Qualität und abweichendem Leistungsverhalten spiegeln kulturelle Unterschiede ebenfalls bezüglich des Zeitverständnis, der Aufgabenorientierung, aber auch der Bedeutung formaler Regeln wider. Die beklagte Unzuverlässigkeit bezüglich der Einhaltung von Terminen wird also vom Standpunkt deutscher Pünktlichkeit beurteilt. Das Stereotyp „Polen sind unzuverlässig“ deutet demzufolge auf ein anderes Zeitverständnis bei Polen hin.

Die praktische Bedeutung, die das Verharren in stereotypen Beurteilungen und die Nichtkenntnis bzw. Nichtberücksichtigung kultureller Unterschiede haben kann, zeigt das folgende Beispiel:



Für einen der Befragten war das Problem der Unpünktlichkeit und Unzuverlässigkeit so schwierig und gravierend, dass er letztlich die Geschäftsbeziehungen von seiner Seite abbrach. Er berichtete: „Dann sind wir zusammengekommen und dann hat es mal geknallt und wir haben gesagt, wir suchen uns einen anderen Partner.“ Frage: „Was heißt, es hat geknallt?“

Antwort: „Dass wir uns gesagt haben, Mensch wir haben Termine gehabt und die wurden nicht eingehalten: ‚Na wir liefern nächste Woche.‘ Und nächste Woche haben sie wieder nicht geliefert.“

Andere befragte Unternehmer zeigten sich kompetenter, entwickelten vielfältige Strategien für den Umgang mit osteuropäischen Geschäftspartnern und stellten in ihren Ausführungen ihre in der Praxis zur Lösung von kulturbedingten Konflikten realisierten Maßnahmen vor. Einige Unternehmer kalkulierten z. B. bei ihrer innerbetrieblichen Zeitplanung vorab Verzögerungen ein oder setzten dem Partner terminliche Puffer. Ein anderes Beispiel bezieht sich auf Kulturunterschiede bezüglich der Leistungsorientierung: Der Unternehmer nutzt z. B. ein Prämiensystem zur Durchsetzung eigenkultureller Normen.

Große Unterschiede im kulturellen Bereich bergen natürlich größere Schwierigkeiten. Bei gleichen oder wenig abweichenden Orientierungen ergaben sich dagegen geringe oder keine interkulturellen Probleme in der Wirtschaftskooperation. Kennen die jeweiligen Geschäftspartner aber die kulturelle Prägung ihrer Partner, können sie sich auf ihr Gegenüber besser einstellen, lassen sich Kompromisse finden oder Handlungen diesem Wissen entsprechend anpassen.

Unser Anliegen ist es also nicht, mittels Herausarbeitung kulturspezifischer Unterschiede Kulturen einfach zu vergleichen, sondern in erster Linie sollen Ergebnisse bereit gestellt werden, die der Förderung der interkulturellen Kommunikation und Unternehmenskooperation dienen können. Die Erarbeitung von Kulturspezifika des östlichen Europa kann die Grundlage für berechenbare Verhandlungen und Zusammenarbeit legen, interkulturelle Kompetenz vermitteln und zielt somit auf das Vermeiden von Missverständnissen und Misserfolgen. Die Erlangung von interkultureller Kompetenz steigert die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und führt als Synergieeffekt zu wirtschaftlichen Vorteilen. Auf diese Weise können wirtschaftliche und andere Kontakte zu Ost-, Mittelost- und Südosteuropa befördert und als ein Gesamtanliegen des Projektes Vorurteile und Fremdenfeindlichkeit abgebaut werden.

Anmerkungen

- 1 Siehe dazu die Vorstellung des Forschungsvorhabens: Loew, R./A. Pfeifer/O. Rösch: Stereotype Einstellungen und Kulturstandards in der aktuellen interkulturellen Kommunikation mit Partnern aus dem östlichen Europa. In: Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2001, S. 113-118.

- 2 Vgl. Orłowski, Hubert: „Polnische Wirtschaft“: Zur Tiefenstruktur des deutschen Polenbildes. In: Harth, Dietrich (Hg.): Fiktion des Fremden. Erkundung kultureller Grenzen in Literatur und Publizistik. Frankfurt am Main 1994, S. 113-136.
- 3 Vgl. Ramge, Hans: Die Deutschen, der ECU und die westlichen Nachbarn: Sprachliche Stereotype und Einstellungen in deutschen Kommentaren zum Maastrichter EG-Gipfel. In: Bredella, Lothar/Herbert Christ (Hg.): Zugänge zum Fremden. Gießen 1993 (= Gießener Diskurse), S. 75 nach Emnid-Umfragen

Autorinnen

Prof. Dr. Olga Rösch

Technische Fachhochschule Wildau
Institut für Interkulturelle Kommunikation
Telefon +49 3375 508-367
E-Mail: roesch@sprz.tfh-wildau.de

Dr. Roswitha Loew

Technische Fachhochschule Wildau
Telefon +49 3375 508-361
E-Mail: rloew@sprz.tfh-wildau.de

Dr. Anke Pfeifer

Technische Fachhochschule Wildau
Telefon +49 3375 508-361
E-Mail: apfeifer@sprz.tfh-wildau.de

Abscheideverhalten der Hochdruck-Wasserabscheider des Erdgasspeichers Berlin

Matthias Stark, Armin Schneider, Lothar Martini, Bernd Stark, Stephan Swientek, Rolf Nitzsche

1 Einleitung

Von der GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft wird zur Deckung von Bedarfsspitzen in der Gasversorgung der Stadt Berlin ein Erdgas-Untertagespeicher betrieben. Bei diesem Speicher handelt es sich um einen Porenspeicher. Das Erdgas wird in einem porösen Sandsteinpaket in rund 900 Meter Tiefe unter hohem Druck gespeichert und bei Bedarf in das Gasleitungssystem der GASAG eingespeist.

Die Verbindung zum Speicher stellen mehrere Tiefbohrungen her. Die Dichtheit des Speichers wird nach oben durch eine mehrere hundert Meter mächtige Schicht undurchdringlicher Gesteine über dem Sandstein-Paket gewährleistet. Zu den Seiten hin wird das Gas durch Lagerstättenwasser, das sich vor der Einspeisung des Gases im Speichersandstein befand, begrenzt. Nach unten dichten wiederum undurchlässige Gesteine den Speicher ab. In Abbildung 1 ist der Speicher dargestellt.



Abb. 1: Erdgas-Untertagespeicher mit Tiefbohrungen für Förder sonden

Bei der Ausspeisung des Gases aus dem Speicher wird auch Wasser mitgefördert, das sich neben dem Gas in den Poren des Sandsteins befindet, weil es nicht vollständig von Gas verdrängt wurde. Dieses Wasser muss aus dem Gas abgeschieden werden, bevor das Gas in das Berliner Gasnetz eingeleitet wird. Hierzu verfügt der Erdgasspeicher über verfahrenstechnische Anlagen mit Hochdruckabscheidern und Gastrocknungen.

2 Ausgangssituation

Alle Speicherbohrungen des Erdgasspeichers Berlin haben in der Gasleitung hinter dem Kopf der Bohrung einen Hochdruck-Wasserabscheider (siehe Abbildung 2).

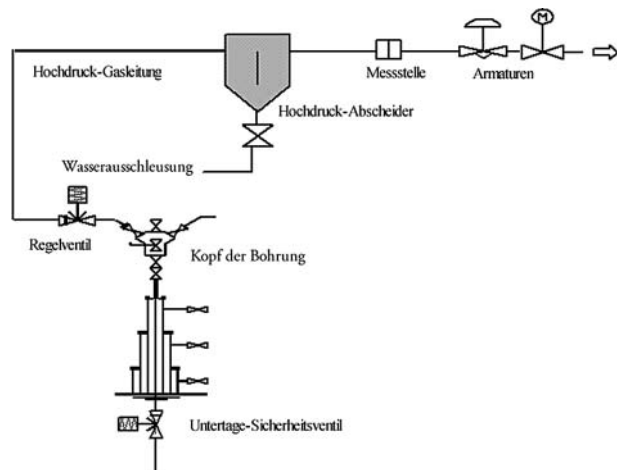


Abb. 2: Hochdruckabscheider mit Messstelle

Die Abscheideleistung der Hochdruck-Abscheider (HD-Abscheider) hängt von der Durchströmgeschwindigkeit und damit von der Durchsatzrate ab. Betriebserfahrungen mit den Abscheidern deuten darauf hin, dass insbesondere bei hohen Durchsatzraten keine vollständige Abscheidung der Wasserpartikel mehr erfolgt. Es sollte daher ermittelt werden, bei welchen Durchsatzraten keine vollständige Abscheidung mehr erfolgt. Darüber hinaus war von besonderem Interesse, wie groß die nicht abgeschiedenen Partikel sind.

3 Vorgehensweise

Das Abscheideverhalten und die Größenverteilung der nicht abgeschiedenen Partikel wurden bei unterschiedlichen Durchsatzraten ermittelt. Um eine stabile und messbare Wasserbeladung des Gasstromes vor den Abscheidern zu gewährleisten, wurde bei lagerstättenwasserfreier Gasförderung aus dem Speicher am Kopf einer Speicherbohrung definiert Wasser zugeführt. Eine einfache Transmissionsmessung mittels einer Laser-Dioden-Anordnung lieferte in Abhängigkeit von der Gasdurchsatzrate Informationen zum Vorhandensein von Wassertropfchen im Gasstrom hinter dem HD-Abscheider. Mit Hilfe einer Partikelgrößenmessung auf der Basis des Laserbeugungsverfahrens durch das Partikelgrößenmessgerät „Spraytec“ der Firma Malvern wurde die Größenverteilung der Tropfchen ermittelt [1, 2, 3, 4].

4 Messungen und Ergebnisse

4.1 Partikelgrößen

4.1.1 Messverfahren und Messaufbau

Das Messprinzip ist in Abbildung 3 dargestellt. Es beruht auf der Beugung eines Laserstrahls durch Tröpfchen. Diese Lichtbeugung führt zu einer Ablenkung von Teilen des Laserlichtes, wobei der Grad der Ablenkung von der Größe der Tröpfchen abhängt. Die Lichtintensität in der Strahlachse nimmt dadurch ab (Abfall der Transmission). Eine Transmissionsminderung zeigt an, dass sich Tröpfchen im Strahlengang des Lasers befinden. Aus einer Messung der radialen Verteilung der abgelenkten Strahlung kann die Tröpfchengrößenverteilung berechnet werden.

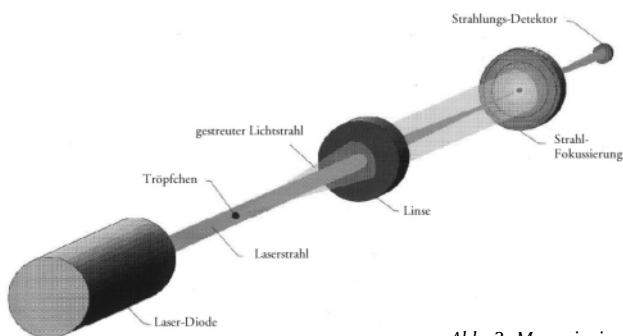


Abb. 3: Messprinzip

Um eine Durchleuchtung des Gasstromes zu ermöglichen, wurde ein Rohrstück hinter dem HD-Abscheider ausgebaut und durch einen speziell angefertigten Fensterflansch sowie ein verkürztes Rohrstück ersetzt. In den Fensterflansch wurden gegenüberliegende druckfeste Schaugläser eingebaut. Das Lasermessgerät für die Partikelgrößenbestimmung bzw. die Laser-Dioden-Anordnung für die Transmissionsmessung wurden am Fensterflansch montiert und justiert. Der Messaufbau ist für folgende Messparameter ausgelegt:

Gasdruck:	80 bis 120 bar
Strömungsgeschwindigkeit:	5 bis 25 m/s
Tröpfchengröße:	10 bis 200 μm

4.1.2 Ergebnisse der ersten Messung

Die erste Messung mit dem „Spraytec“-Partikelgrößenmessgerät erfolgte Anfang April 2000. Zu diesem Zeitpunkt betrug der Druck am HD-Abscheider der Speicherbohrung ca. 100 bar. Die Durchsatzrate durch den Abscheider wurde auf 25.000 $\text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ eingestellt. Dies entspricht etwa 250 $\text{m}^3(\text{B})/\text{h}$.^{*} Vor dem HD-Abscheider (am Sondenkopf) wurde Wasser mit einer zeitlich konstanten Rate von ca. 300 l/h zugeführt.

Bei der ersten Messung mit dem Partikelgrößenmessgerät wurde unmittelbar nach dem Anfordern der Speicherbohrung das Auftreten von Tröpfchen festgestellt. Die Fenster, die zum Durchleuchten des Gasstromes in der Gasleitung angebracht waren, verschmutzten sehr schnell. Dadurch wurde das Messsignal bereits nach kurzer Zeit so klein, dass die Messung abgebrochen werden musste. In der relativ kurzen Messzeit konnten jedoch genügend Daten aufgezeichnet werden, um eine

erste grobe Auswertung vorzunehmen. Diese Auswertung ergab, dass der Gasstrom Tröpfchen mit einem Durchmesser von etwa 8 bis 80 μm Durchmesser enthielt. Das Maximum der Verteilung lag bei ungefähr 40 μm . Eine Darstellung der gemessenen Tröpfchenverteilung findet sich in Abbildung 4.

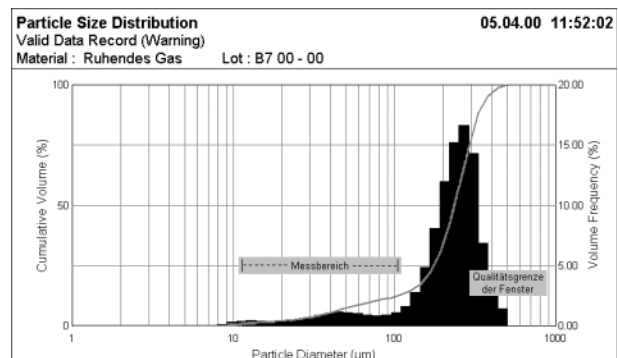


Abb. 4: Tröpfchengrößenspektrum der ersten Messung mit „Spraytec“

Der Niederschlag auf den Fenstern verdunstete nicht. Es musste daher davon ausgegangen werden, dass das Messergebnis stark von den Verschmutzungen auf den Fenstern beeinflusst wurde.

Der hohe Anteil von Teilchen mit Durchmessern größer 100 μm wird durch Einschlüsse im Fenster verursacht, nicht durch Tröpfchen. Da mit Tröpfchen größer als 100 μm nicht gerechnet werden musste, war diese Fensterqualität ausreichend [5].

Nach Ausbau der Fenster wurde festgestellt, dass es sich bei den Verschmutzungen um einen zum Teil öligen Niederschlag handelte. Es waren also zumindest nicht ausschließlich Wassertröpfchen, sondern auch Öl- oder Kondensatströpfchen im Gas, die vermutlich aus dem Abscheider mitgerissen worden sind.

Um eine starke Niederschlagsbildung auf den Fenstern bei weiteren Messungen zu vermeiden, wurde der HD-Abscheider zunächst gesäubert, so dass vorhandene Öl-, Fett- oder Kondensatrückstände nicht vom Gasstrom mitgerissen werden konnten. Darüber hinaus wurden alle weiteren Messungen in einem Temperatur- und Druckbereich durchgeführt, in dem eine Tröpfchenbildung durch Kondensation höherwertiger Kohlenwasserstoffe aus dem Gasstrom weitestgehend vermieden wurde.

Vor einer erneuten Messung der Partikelgrößenverteilung wurde eine Zwischenmessung durchgeführt, die zunächst nur zeigen sollte, ob bzw. wann Wassertröpfchen nicht mehr vollständig abgeschieden werden. Diese Messung lieferte keine Information über vorhandene Tröpfchendurchmesser, war aber weniger anfällig gegenüber einer Verschmutzung der Fenster.

Die Zwischenmessung erfolgte Anfang April 2000. Aufgrund der geringeren Schmutzanfälligkeit konnte über einen relativ langen Zeitraum gemessen werden.



4.2 Transmissionsmessung

4.2.1 Messaufbau und Messverfahren

Zur Realisierung einer optischen Transmissionsmessung durch die speziell gefertigte Hochdruck-Messküvette wurden ein Halbleiterlaser als Strahlungsquelle (unmoduliert; 1 mW Strahlungsleistung; 670 nm Wellenlänge; Strahlfläche $2 \times 1 \text{ mm}^2$) und eine Photodiode als Strahlungsempfänger mit integrierter Verstärkerschaltung (Typ Newport 818BB) gegenüberliegend außerhalb der Messküvette aufgebaut. Laser und Photodiode waren über eine x-y-z-Positioniervorrichtung und eine Winkelverstelleinheit gegeneinander justierbar. Diese Anordnung ermöglichte die Einstellung eines Strahlweges der Laserstrahlung durch die Fenster der Messküvette, der frei war von optischen Defekten in den Küvetten-Fenstern. Durch die Feinjustagemöglichkeit von Strahlungsquelle und Strahlungsempfänger im Zusammenhang mit den Schichten zur Entspiegelung der Küvettenfenster konnte weiterhin die Entstehung von Interferenzstrukturen durch Reflexion an den Fensteroberflächen vermieden werden. Diese Interferenzstrukturen würde der Partikelanalysator als Beugung an Partikeln deuten. Auf diese Weise war eine störungsfreie Transmissionsmessung durch die Messküvette gewährleistet. Signaländerungen des Strahlungsempfängers waren so nur Strahlungsleistungsänderungen durch Vorgänge innerhalb der Küvette zuzuordnen. Durch eine spezielle Blendenanordnung im Messstrahlengang empfing der Strahlungsempfänger nur die direkte, extrem in Vorwärtsrichtung gestreute Laserstrahlung. In Verbindung mit der Messwellenlänge war garantiert, dass die Extinktion der Strahlung auf reine Streuung an Wassertröpfchen im Strahlengang und nicht auf zusätzliche Absorption zurückzuführen ist. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgte mit einem 16 bit-Datenlogger hoher Samplingrate.

Bei Vorversuchen im Labor wurde in einem drucklosen Messaufbau mit Laser und Photodiode sowie im Strahlengang justierten Küvettenfenstern mit Hilfe unterschiedlicher künstlicher Wassernebel der Zusammenhang zwischen Nebeldichte, Tröpfchengröße und Signalgröße des Strahlungsempfängers nachgewiesen. Es wurde weiterhin nachgewiesen, dass die Drift der Ausgangsleistung des verwendeten Diodenlasers bei annähernd konstanten Umgebungsbedingungen zu vernachlässigen ist.

4.2.2 Ergebnisse der Zwischenmessung

In der Zwischenmessung wurde nur die Transmission des Laserlichtes gemessen. Ein Abfall des Messsignals zeigte also an, dass sich Tröpfchen im Gasstrom befanden. Zum Zeitpunkt der Messung betrug der Druck am HD-Abscheider der Speicherbohrung etwa 120 bar. Auf ein Heizen des Fensterflansches wurde verzichtet.

Nach einer Nullmessung (trockene Gasförderung, $20.000 \text{ m}^3(\text{Vn})/\text{h} = 170 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$) wurden zunächst verschiedene Durchsatzraten von 20.000 bis $55.000 \text{ m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ (170 bis $515 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$) eingestellt. Hierbei erfolgte am Sondenkopf vor dem HD-Abscheider eine zeitlich konstante Wasserzudüsung von 300 bzw. 500 l/h (1 bis 6 l

Wasser auf $1 \text{ m}^3(\text{B}) \text{ Gas}$). Aus der Lagerstätte wurde kein Wasser mitgefördert.

Die Messung der Transmission erfolgte kontinuierlich, wobei ab einer Rate von $260 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$ und einer Wasserbelastung von ungefähr $2 \text{ l/m}^3(\text{B})$ erste deutliche Anzeichen von Tröpfchenanfall hinter dem HD-Abscheider messbar waren. Bei Steigerung der Gasraten nahm auch die Transmission deutlich ab. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Messung durch einen zunehmenden Niederschlag auf den Fenstern beeinflusst wurde.

Bei einer Gasrate von $55.000 \text{ m}^3(\text{Vn})/\text{h} = 514 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$ wurde die Wasserzudüsung gestoppt. Mit geringer zeitlicher Verzögerung (Wegstrecke Sondenkopf – HD-Abscheider) nahm auch die Transmission wieder zu, wobei die ursprüngliche, während der Nullmessung gemessene Signalthöhe nicht mehr erreicht wurde. Dies war auf den Niederschlag, der sich auf den Fenstern gebildet hatte, zurückzuführen.

Im weiteren Verlauf der Messung wurden wiederum konstante Gasraten von 55.000 bis $10.000 \text{ m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ (515 bis $85 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$) eingestellt. Die Wasserzudüsung erfolgte jetzt aber bei jeder eingestellten Gasrate nur jeweils eine Minute lang (peakartige Zudüsung). Bei allen Raten wurde ein entsprechender Transmissions-Abfall gemessen. Die zeitliche Verzögerung vom Einsetzen der Zudüsung bis zum Abfallen der Transmission war hierbei abhängig von der Durchsatzrate (Strömungsgeschwindigkeit). Aufgrund der peakartigen Wasserzudüsung war die weitere Niederschlagsbildung auf den Fenstern nur noch gering.

Der Messverlauf mit Messsignal der Photodiode [V] (Transmissionsintensität), Durchsatzraten [Betriebskubikmeter/Std.] und Wasserzudüsung [Liter/Betriebskubikmeter-Gas] ist in Abbildung 5 dargestellt.

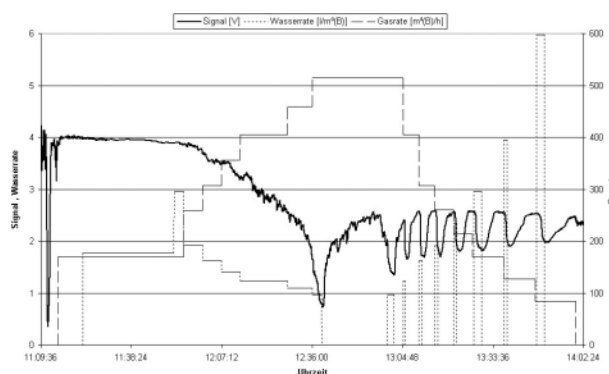


Abb. 5: Darstellung des Verlaufes der Transmissionsmessung

Wie der Messverlauf zeigt, tritt zum Ende der Messreihe bei Durchsatzraten von $10.000 \text{ m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ ($85 \text{ m}^3(\text{B})/\text{h}$) und peakartiger Zudüsung von 500 l/h ($6 \text{ l/m}^3(\text{B})$) im Gegensatz zum Messbeginn noch ein Transmissionsabfall auf. Es sind also noch Tröpfchen im Gasstrom vorhanden. Dies ist höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Wasserbelastung des Gasstromes extrem hoch ist ($6 \text{ l/m}^3(\text{B})$), wobei das Wasser durch die Zudüsung sehr fein vernebelt sein dürfte. Mit solchen extremen Verhältnissen ist im Betrieb nicht zu rechnen.



Während der kontinuierlichen Zudüsung von Wasser sank das Messsignal kontinuierlich ab und stieg nach Beendigung der Wasserzudüsung nur auf rund 60 Prozent des Ausgangswertes an. Der Abfall des Messsignals wurde durch einen leichten Niederschlag auf den Fenstern verursacht. Bei der nachfolgenden peakartigen Zudüsung des Wassers verstärkte sich der Niederschlag nicht mehr. Nach Abbruch der jeweils kurzen Zudüsungen (Peaks), wurde das Ausgangssignal der trockenen Gasförderung wieder erreicht.

Auf Grundlage der so erzielten Messergebnisse konnten zunächst folgende qualitative Aussagen gemacht werden:

- Bei Gasdurchsatzraten ab ca. 250 m³(B)/h und moderater Wasserbeladung des Gasstromes (ca. 2 l/m³(B)) wird das Wasser nicht mehr vollständig abgeschieden.
- Bei höherer Wasserbeladung (4 l/m³(B)) wird auch bei geringeren Gasraten das Wasser nicht mehr vollständig abgeschieden.

Da sich bei der peakartigen Wasserzudüsung nach den jeweiligen Peaks wieder reproduzierbare Messverhältnisse einstellten, wurde versucht, aus den Messergebnissen auch quantitative Aussagen abzuleiten. Die Vorgehensweise hierzu ist in Folgendem beschrieben.

Aus den Signalhöhen an der Photodiode wurden Koeffizienten errechnet, die einen quantitativen Ausdruck des Abscheideverhaltens liefern:

- Die Signalhöhe an der Photodiode während der peakartigen Wasserzudüsung vor dem Abscheider wurde ins Verhältnis zur Signalhöhe während trockener Gasförderung gesetzt, um ein Maß für Tröpfchenbeladung des Gasstromes hinter dem Abscheider bei Wasserzudüsung zu erhalten.
- Die Wasserzudüsung erfolgte mit konstanter Rate, während die Gasrate variiert wurde. Daraus ergaben sich in Abhängigkeit von der eingestellten Gasrate unterschiedliche Wasserbeladungen des Gasstromes vor dem Abscheider. Um dies zu berücksichtigen, wurde das o. a. Signalverhältnis auf die kleinste Wasserbeladung normiert.

Bei der quantitativen Auswertung wurden Koeffizienten ermittelt, die das Abscheideverhalten der HD-Abscheider in etwa beschreiben sollen. Sie sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Gasrate [m ³ (V _N)/h]	Gasrate [m ³ (B)/h]	Koeffizient Abscheidung
10.000	85	0,9
20.000	170	0,45
30.000	260	0,3
45.000	405	0,15
55.000	515	0,1

Tab. 1: Abscheidekoeffizienten

Diese Koeffizienten sind keine Abscheidegrade, da sie nicht auf der Messung von Wassermengen vor bzw. hinter dem Abscheider basieren, sondern nur aus Signalveränderungen aufgrund der Tröpfchenbeladung des Gasstromes resultieren. Der Zusammenhang zwischen Signalveränderung und Tröpfchenbeladung ist nicht bekannt. Die Koeffizienten liefern aber in jedem Fall Anhaltspunkte für das Abscheideverhalten: Je kleiner der Koeffizient,

desto geringer der Abscheidegrad. Die Abscheidekoeffizienten sind in Abbildung 6 über dem Gasdurchsatz durch den Hochdruckabscheider dargestellt.

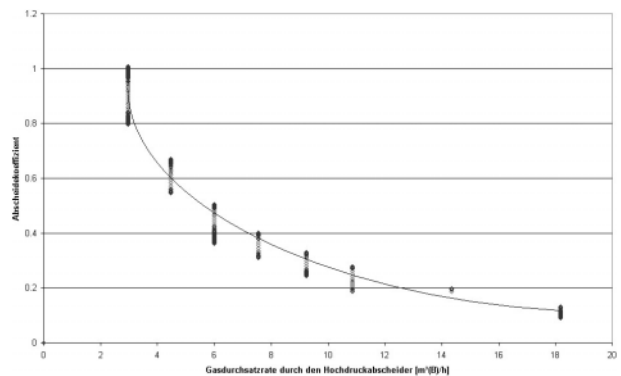


Abb. 6: Darstellung des Abscheideverhaltens des Hochdruckabscheiders in Abhängigkeit vom Durchsatz

4.3 Partikelgrößen – Ergebnisse der zweiten Messung

Aufgrund der Erfahrungen aus der Zwischenmessung wurde die zweite Messung mit dem Laser-Partikelgrößenmessgerät ebenfalls mit peakartiger Wasserzudüsung durchgeführt.

Die zweite Partikelgrößenmessung fand im Februar 2001 statt. Die Messanordnung entsprach der ersten Messung. Aufgrund der optimierten Messdurchführung (peakartige Zudüsung von jeweils 500 l/h für 1 bis 2 Minuten) konnte wesentlich länger als beim ersten Mal gemessen werden. Insgesamt wurden bei fünf verschiedenen Durchsatzraten die Partikelgrößen im Gasstrom hinter

P.C.-Zeit	Rate/Zudüsung/ Zeitdauer [m ³ /h / l/h / min]	Messergebnis	Bemerkungen
11:35	10.000 / 0	Background unverändert	
11:55	10.000 / 500 / 1	Background kaum verändert	vollständige Abscheidung
12:00	30.000 / 0	Auftreten von Partikeln 15 – 20 µm kurz darauf Auftreten von Partikeln 3 – 10 µm Abnehmen der Partikel 15 – 20 µm	Rüschigkeitspartikel werden aus den Demistoren des Abscheiders mitgerissen
12:05	30.000 / 500 / 1	nach mehr kleine Partikel 1 – 5 µm	keine vollständige Abscheidung kleinster Partikel mehr bzw. Verneblung hinter dem Abscheider
12:10	30.000 / 500 / 1	nach wie vor Partikel 1 – 10 µm	wie oben
12:15	60.000 / 0	zusätzlich zu den feinen Partikeln jetzt auch größere Partikel von 10 – 40 µm	größere Partikel werden aus den Demistoren mitgerissen
12:20	60.000 / 0 / 1	es kommen jetzt sehr viele große Partikel mit Durchmesser um 20 µm	große Partikel werden nicht mehr vollständig abgeschieden
12:30	60.000 / 0 / 1	wie 12:20	wie 12:20
12:50	30.000 / 0	im Bereich kleiner Partikel (< 15 µm) nur noch Background-Signal; von 20 – 60 µm Partikelgröße deutliche Anzeige, die konstant bleibt	keine Partikel werden nicht transportiert, die Anzeige bei den großen Partikeln wird durch Niederschlag auf den Fenstern hervorgerufen
12:54	30.000 / 500 / 2	deutlich mehr kleine Partikel 5 – 15 µm weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	es werden wieder keine Partikel durchgelassen; der Niederschlag bleibt bestehen
13:00	30.000 / 0	keine kleinen Partikel 5 – 15 µm mehr weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	der Niederschlag bleibt bestehen
13:02	40.000 / 500 / 2	deutlich mehr kleine Partikel 8 – 20 µm weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	es werden wieder keine Partikel durchgelassen; jedoch etwas größer als bei 30.000 der Niederschlag bleibt bestehen
13:08	40.000 / 0	keine kleinen Partikel 5 – 15 µm mehr weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	der Niederschlag bleibt bestehen
13:10	20.000 / 0	wie 40.000 / 0	wie 40.000 / 0
13:15	20.000 / 500 / 2	mehr kleine Partikel 7 – 12 µm, diese Anzeige bleibt lange bestehen weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	es werden nur feine Partikel mit dem Gas transportiert und dies für relativ lange Zeit der Niederschlag bleibt bestehen
13:25	Sonde zu	Background im Bereich 10 – 15 µm weiterhin Anzeige von Partikeln 20 – 60 µm	keine Partikel mehr im Gas der Niederschlag bleibt bestehen

Tab. 2: Messverlauf



dem Abscheider ermittelt. Der Messverlauf mit den Ergebnissen ist in Tabelle 2 detailliert aufgezeichnet.

In den folgenden Abbildungen 7 und 8 sind Beispiele für die gemessenen Partikelgrößenverteilungen dargestellt. Die Zeiten entsprechen dabei ungefähr den Zeiten in der obigen Tabelle.

In Abbildung 7 ist ein zweites Maximum der Partikelgrößenverteilung bei rund $80\ \mu\text{m}$ zu erkennen, das nicht von Tröpfchen herrührt, sondern von einer optischen Beeinträchtigung (Linsenwirkung) der stahlmantelten Schaugläser hervorgerufen wurde. Dieser Effekt war während der Messung nicht zu eliminieren. Er beeinflusste die Auswertbarkeit jedoch nicht, da die auftretenden Tröpfchen kleiner waren und sich deutlich von diesem Maximum absetzten.

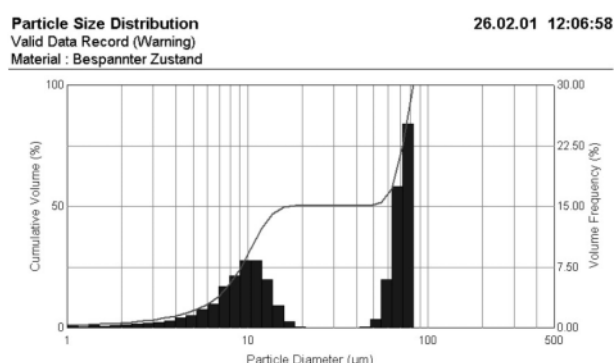


Abb. 7: Partikelgrößenverteilung bei $30.000\ \text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ Gasrate und $500\ \text{l/h}$ Zudüsung

Abbildung 8 zeigt die Partikelgrößenverteilung bei einer Gasrate von $50.000\ \text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$. Gut zu erkennen ist die Verschiebung des Größenspektrum hin zu größeren Tröpfchendurchmessern.

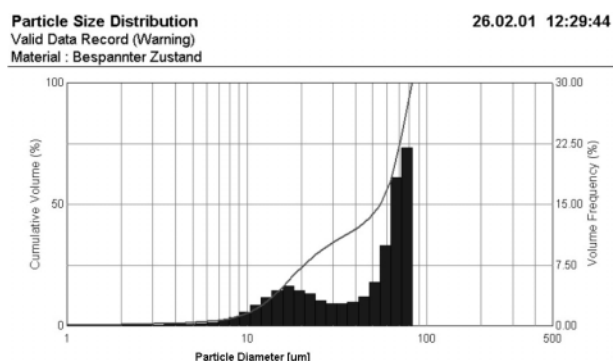


Abbildung 8: Partikelgrößenverteilung bei $50.000\ \text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ Gasrate und $500\ \text{l/h}$ Zudüsung

Nachfolgend sind die Partikel-Messergebnisse tabellarisch zusammengefasst.

Gasrate [$\text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$]	Partikelgröße [μm]	Maximum [μm]
10.000		
20.000	bis 12	10
30.000	bis 15	10
40.000	bis 20	15
50.000	bis 40	20

Tab. 3: Partikel-Messergebnisse

Die Messergebnisse der zweiten Partikelgrößenmessung stehen damit im Einklang mit der Zwischenmessung. Es

wird deutlich sichtbar, dass mit höheren Gasraten immer größere Teilchen nicht mehr vollständig abgeschieden werden bzw. mit dem Gasstrom aus dem Abscheider mitgerissen werden. Gegenüber der ersten Messung mit dem Partikelgrößenmessgerät sind die bei Förderraten von 20.000 bis $30.000\ \text{m}^3(\text{Vn})/\text{h}$ (85 bis $260\ \text{m}^3(\text{B})/\text{h}$) gemessenen Tröpfchengrößen kleiner. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei der ersten Messung vermutlich sehr viele Verunreinigungen aus dem Abscheider mitgerissen wurden, die vermutlich zu einem höheren Anteil größerer Partikel im Gas geführt haben.

4.4 Weitere Erfahrungen

Da die Messungen im laufenden Betrieb des Erdgasspeichers durchgeführt wurden, waren die Anforderungen an die Messplanung und Vorbereitung hoch. Insbesondere der Messaufbau stellte eine große Herausforderung dar, da in die Gasleitung hinter dem Abscheider druckfeste Schaugläser eingebaut werden mussten, um den Gasstrom mit dem Laser zu durchstrahlen. Da mit einem relativ weiten Laserstrahl gearbeitet wurde, mussten die Gläser große Durchmesser haben, was bei einem Prüfdruck von $180\ \text{bar}$ zu entsprechend großen, notwendigen Glasdicken führte. Darüber hinaus mussten die Gläser über ausreichend gute optische Eigenschaften verfügen und entspiegelt sein. Die Entspiegelung war notwendig, weil Interferenzstrukturen durch Reflexion an den Fensteroberflächen vermieden werden mussten. Diese Interferenzstrukturen wären vom Partikelanalysator als Beugung an Partikeln gedeutet worden.

Neben der Verschmutzung der Gläser, die insbesondere bei den Messungen mit dem Laser-Partikelgrößenmessgerät die nutzbaren Messzeiten deutlich einschränkte und zu äußerst zügigem Messen zwang, erwies sich auch der gasdichte Einbau der Fenster in die Gasleitung als schwierig. Zunächst wurden normale Quarzglas-Schaugläser verwendet, die mit entsprechenden Dichtungen in einen speziell angefertigten Flansch der Gasleitung eingebaut wurden. Aufgrund der hohen Flächenpressungen im Dichtbereich wurden die Gläser jedoch immer wieder beschädigt und konnten nicht wieder verwendet werden. Dieses Problem konnte erst gelöst werden, nachdem die normalen Schaugläser durch spezielle Gläser mit Stahlrand ersetzt wurden, die nun den hohen Flächenpressungen im Dichtbereich standhielten.

5 Zusammenfassung

In einem Pilotversuch wurde in Zusammenarbeit der GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft mit der Technischen Fachhochschule Wildau das Abscheideverhalten von Hochdruck-Wasserabscheidern des Erdgasspeichers Berlin untersucht.

Bei diesen Untersuchungen wurden die Partikelgrößenverteilungen im Gasstrom hinter dem Hochdruckabscheider der Fördersonde bei unvollständiger Abscheidung mit einem Laser-Partikel-Messgerät „Spraytec“ der Firma Malvern auf der Basis der Mie-Streuung gemessen.



Um die Durchstrahlung des Erdgases im Rohr bei Gasdrücken von bis zu 120 bar zu ermöglichen, wurde ein spezielles Rohrzwischenstück entwickelt, das mit gegenüberliegenden, druckfesten Spezialgläsern (Antireflexionsschichten) versehen war. Um definierte Messbedingungen zu gewährleisten, wurde vor dem HD-Abscheider am Sondenkopf Wasser in verschiedenen, zeitlich konstanten Raten (von 300 l/h bis 500 l/h) in die trockene Gasförderung zugeführt (bei Durchsatzraten zwischen 10 000 m³(Vn)/h und 55 000 m³(Vn)/h).

Mit einer weiteren Messanordnung, die als wesentliche Bauteile eine Laserdiode und eine Photodiode besaß, wurde bei den oben beschriebenen Messbedingungen die Strahlungstransmission durch das Erdgas (Hochdruck) gemessen.

Da alle Messungen im laufenden Betrieb des Erdgasspeichers durchgeführt werden mussten, waren die technischen Anforderungen an die Messplanung, Vorbereitung und Ausführung der Untersuchungen sehr groß.

Es wurden wichtige Erkenntnisse für den technischen Betrieb von Hochdruck-Wasserabscheidern gewonnen. Von besonderer Bedeutung ist dabei eine Darstellung des Abscheidekoeffizienten über dem Gasdurchsatz durch den Hochdruckabscheider.

Anmerkung

- * Bei der überschlagsmäßigen Umrechnung des Normvolumenstromes (m³(Vn)/h) in den Betriebsvolumenstrom (m³(B)/h) muss der Normvolumenstrom, der in der Regel von den Gasmesseinrichtungen angezeigt wird, durch den Betriebsdruck in der Gasleitung dividiert werden. Dieser Druck ist abhängig von der Förderrate der Speicherbohrung, vom Zustand der Speicherbohrung und dem Füllstand des Erdgasspeichers.
- Die Betriebsvolumenströme können sich bei gleichen Normvolumenströmen daher unterscheiden. Darüber hinaus gibt es keinen linearen Zusammenhang zwischen Normvolumenstrom und Betriebsvolumenstrom, da sich der Betriebsdruck nicht linear mit der Förderrate ändert. In die Berechnung des Normvolumenstromes geht auch noch die Gastemperatur ein. Sie wird hier aber vernachlässigt.

Literatur

- 1 Firmenschrift Malvern Instruments, Real Time, High Speed, High Concentration Spray Droplet Sizer, Spraytec
- 2 Malvern News, Ausgabe 14, März 1998, Partikelgröße in Sprays – Spraytec RTS 5000 Serie
- 3 Walther, Christian: Grobes in Feinem: Eine Herausforderung in der Partikelmeßtechnik, Malvern News, Ausgabe 16. Juni 1999
- 4 Firmenschrift Malvern Instruments, Spraytec RTS 5000 Serie, Partikel im Laserlicht
- 5 Abscheideleistungen der HD-Abscheider, FGT-Nr. K0048/99/00, Filtan Gas Technologie GmbH 1999

Autoren

Dipl.-Ing. Matthias Stark

Dipl.-Berging. Armin Schneider

GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft

Betrieb Speicher

Glockenturmstraße 18, 14053 Berlin

Telefon +49 30 78722654

E-Mail: mstark@gasag.de

Prof. Dr. sc. nat. Bernd Stark

Dr. habil. Lothar Martini

Dipl.-Ing. (FH) Stephan Swientek

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Labor für Sensortechnik/Gasanalytik

Telefon +49 3375 508-524

E-Mail: bstark@igw.tfh-wildau.de

Dr. habil. Rolf Nitzsche

Ingenieurbüro Dr. Nitzsche Partikelmesstechnik

Waldstraße 60, 02681 Kirschau

Telefon +49 3592 33020



Kosten- und Risikostrukturen wichtiger Vertragsformen in der Maintenance ziviler Flugtriebwerke

Mike Steglich

1 Problemstellung

Die Maintenance ziviler Flugtriebwerke beinhaltet im Wesentlichen die Überholung bzw. die Reparatur von Flugtriebwerken von Luftfahrtgesellschaften oder sonstigen Betreibern durch einen Maintenance-Dienstleister. Da einerseits die Maintenance-Kosten einen erheblichen Anteil an den operativen Kosten des Betriebs eines Flugzeuges darstellen¹, andererseits eine angespannte Konkurrenzsituation zwischen den einzelnen Maintenance-Dienstleistern besteht², besitzt die spezifische Ausgestaltung der Maintenance-Verträge zwischen den Betreibern der Flugtriebwerke (Operator) und den Maintenance-Dienstleistern (MRO-Shop³) eine sehr große Bedeutung für die Ergebnissituation der beiden Vertragspartner.

In diesem Aufsatz werden die wichtigsten Vertragsformen vorgestellt und hinsichtlich ihrer Kosten- und Risikostrukturen diskutiert. Aus der Kombination dieser Strukturen mit den grundsätzlichen Einstellungen entsprechender Entscheidungsträger gegenüber unsicheren Ergebnissen lassen sich Rangfolgen der Vorteilhaftigkeit der Vertragsformen erarbeiten, die abschließend in einem Modell zur Bestimmung der für beide Vertragspartner optimalen Vertragsform zusammengefasst werden.

2 Die Kostenstrukturen der Maintenance von Flugtriebwerken

Aufgrund des elementaren Einflusses der Instandsetzungskosten der Flugtriebwerke auf die Ergebnissituation beider Vertragspartner besitzen die Kenntnis und Steuerung derartiger Maintenance-Kosten eine große Bedeutung für den Triebwerkseigner und den MRO-Shop. Grundsätzlich werden die Maintenance-Kosten von der Art der Instandhaltungs-Ereignisse (Shop Visits) und der Kostenstruktur dieser Shop Visits bestimmt.

2.1 Arten von Shop Visits

Da Flugtriebwerke vielfältigen Sicherheitsaspekten unterliegen, werden sie in definierten Intervallen einer teilweisen oder vollständigen Überholung unterzogen. Hinsichtlich der Steuerung dieser geplanten Überholungsereignisse existieren zwei grundsätzliche Vorgehensweisen. Gemäß der *Hard Time Method* finden die Überholungsereignisse nach einer festgelegten Anzahl von Flugstunden statt. Im Gegensatz zu dieser Vorgehensweise werden die Überholungen gemäß der *On Condition Method* entsprechend dem Zustand der ein-

zelnen Triebwerke durchgeführt. Zusätzliche Faktoren der Steuerung der Überholungsereignisse stellen lebenszeitbegrenzte Teile (Life Limited Parts = LLP) dar.⁴ Für derartige Teile sind Grenzwerte definiert, die im Einsatz nicht überschritten werden dürfen und spätestens mit dem Erreichen des entsprechenden Wertes zu einem Shop Visit führen. In Abhängigkeit von der (vom Triebwerksbetreiber beeinflussbaren) Abnutzung der Triebwerke und den zu beachtenden Grenzwerten für die LLPs können die einzelnen Überholungsereignisse hinsichtlich der Kosten und der Belange des reibungslosen Flugbetriebs der entsprechenden Fluggesellschaft optimal geplant werden. Betrachtet man für ein einzelnes Triebwerk einen entsprechend langen Zeitraum, ergibt sich für dieses Triebwerk eine Abfolge von geplanten Überholungsereignissen, wobei die einzelnen aufeinanderfolgenden Überholungen einen unterschiedlichen Bearbeitungsumfang (Workscope) aufweisen können.

Zusätzlich zu diesen geplanten Ereignissen können u. a. aufgrund externer Einflüsse (z. B. Blitz- oder Vogelschlag) oder interner Ereignisse (z. B. Materialfehler) Zustände an dem jeweiligen Triebwerk auftreten, die letztlich zu einem ungeplanten Shop Visit führen. Der Eintritt derartiger Ereignisse kann nicht exakt geplant, aber anhand empirischer Daten der betrachteten Flotte oder anderer veröffentlichter Schadensdaten prognostiziert werden. Die Informationen über die geplanten Überholungsereignisse und die prognostizierten ungeplanten Ereignisse werden einschließlich der unterschiedlichen Workscopes in einem Shop Visit Forecast zusammengefasst.

2.2 Der Instandsetzungsprozess

Die einzelnen geplanten und ungeplanten Shop Visits unterliegen im MRO-Shop einem grundsätzlichen Arbeitsablauf. Dieser allgemeine Instandsetzungsprozess und die einzelnen Workscopes bestimmen die Struktur und die Ausprägung der Kosten eines MRO-Shop Visits. Wie in Abbildung 1 vereinfacht dargestellt, beginnt jede Triebwerksinstandsetzung nach Abschluss des Wareneingangs mit der Demontage des Triebwerks in einzelne Module bzw. bis auf Einzelteiltiefe. Diese Einzelteile werden gereinigt und in einem nächsten Schritt einer Untersuchung auf mögliche Schadensfälle unterzogen. Insofern Triebwerksteile ohne Schadensbefund sind, können sie wieder im Triebwerk verbaut werden. Liegt ein Schadensfall vor, ist anhand spezifischer Vorgaben des Originalherstellers bzw. der Luftfahrtbehörden zu entscheiden, ob die entsprechenden Teile zu verschrotten oder reparaturfähig sind. Schrottteile sind durch Neuteile oder flugfähige Gebrauchteile zu ersetzen. Reparaturfähige Teile werden

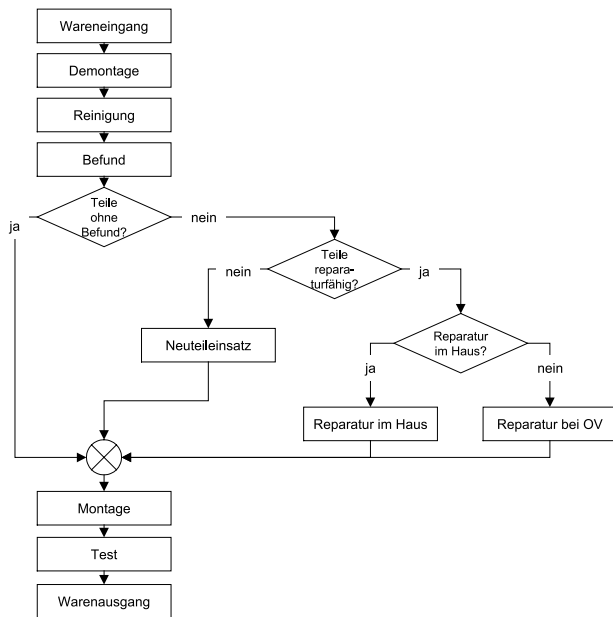


Abb. 1: Instandhaltungsprozess

gemäß den Reparaturfähigkeiten und den Kapazitäten des MRO-Shops entweder im Haus oder bei Reparaturanbietern (Outside Vendor – OV) repariert. Wenn alle wieder verwendbaren Teile, alle neuen bzw. gebrauchten Austauschteile und die reparierten Teile (oder ggf. adäquate Austauschteile) vorliegen, kann die Montage der einzelnen Triebwerksmodule und letztlich des Triebwerks erfolgen. Vor dem Warenausgang und der Auslieferung an den Kunden ist das Triebwerk einem Testlauf zu unterziehen, um so die geforderten Parameter und die Flugfähigkeit nachzuweisen.

2.3 Die Kostenstruktur eines Shop Visits

Die beschriebenen Arbeitsabläufe des Instandsetzungsprozesses führen zu spezifischen Kosten, die sich in die Eigenleistungskosten (Labour), die Materialkosten, die Kosten für Fremdleistungen (Outside Vendor) und die sonstigen Kosten gliedern lassen.⁵

Den größten Kostenblock bilden in der Regel die Materialkosten der Neu- oder Gebrauchtteile, die als Austauschteile für die zu verschrottenden Teile in das Triebwerk eingehen. Weitere Materialkosten werden durch den Ersatz von Verbrauchs- und Verschleißteilen, durch den Bedarf an Hilfs- und Betriebsstoffen sowie durch den Materialeinsatz der im Haus ausgeführten Reparaturen verursacht. Kosten für Fremdreparaturen fallen für die von einem Outside Vendor reparierten Triebwerksteile in Höhe der Rechnung dieses Anbieters an.

Die Eigenleistungskosten repräsentieren die Arbeitsleistung der direkt am Triebwerk tätigen Mitarbeiter in Arbeitsstunden und der verursachten Fertigungseinzelkosten.⁶ In der Regel werden die Eigenleistungen für Reparaturen und für die Basic Labour getrennt ausgewiesen, wobei die Basic Labour die Arbeitsleistungen aller nicht der Reparatur zugehörigen Arbeitsschritte des Instandsetzungsprozesses (Wareneingang, Demontage, Reinigung, Befund, Montage, Test und Warenausgang) abbildet.

Unter den sonstigen Kosten werden im Wesentlichen Sondereinzelkosten des Vertriebs, wie z. B. Transportkosten, Kosten für Leihtriebwerke, Provisionen etc., und weitere dem Shop Visit direkt zurechenbare Kosten zusammengefasst.

Zusätzlich zu diesen Kosten, die einem Shop Visit direkt zugerechnet werden können, sind die gemäß dem Beanspruchungs- und ggf. dem Einwirkungsprinzip zurechenbaren Kosten in die Kalkulation eines Shop Visits einzubeziehen.⁷ Grundsätzlich sind diesem Kostenblock die Kosten für Kapazitäten der Betriebsbereitschaft zuzuordnen, die von einem betrachteten Shop Visit beansprucht werden, wie z. B. die bewerteten Personalkapazitäten für Triebwerksingenieure, Testingenieure sowie sonstiges indirektes Personal, die Kosten für Anlagekapazitäten und die Kosten der zur Montage bzw. Demontage eines Triebwerks benötigten Betriebsmittel und Werkzeuge.

3 Wichtige Vertragsformen

Hinsichtlich der vertraglichen Gestaltung der Geschäftsbeziehungen zwischen dem Operator und dem MRO-Shop existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten, wobei sich am Markt die *Time and Material*-Verträge (T&M), die *Fly by Hour*-Verträge (FbH) und die Verträge mit einer Garantie maximaler Maintenance-Kosten (Guaranteed Maintenance Costs – GMC) als wichtigste Vertragsformen durchgesetzt haben.⁸

3.1 Merkmale von Verträgen

Zur Beschreibung der Eigenschaften dieser Vertragsformen existieren mit der Exklusivität der Leistungsvergabe und des Abrechnungsmodus zwei Merkmale, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Im Sinne der Exklusivität der Leistungsvergabe können exklusive und nichtexklusive Verträge unterschieden werden. Im Fall exklusiver Verträge ist der Operator mit dem im Vertrag definierten Leistungsumfang an den MRO-Shop gebunden. Alle im Leistungsumfang enthaltenen Shop Visits sind vom Operator an den MRO-Shop zu vergeben. Derartige Verträge besitzen in der Regel eine langfristige Vertragslaufzeit von 5–10 Jahren. Ist der Operator nicht exklusiv an einen MRO-Shop gebunden, kann er für jedes einzelne geplante oder ungeplante Instandsetzungsereignis entscheiden, welcher MRO-Shop mit der Ausführung des entsprechenden Shop Visits beauftragt wird. Damit gelten diese Verträge grundsätzlich nur für den oder die einzeln beauftragten Shop Visits.

Als Abrechnungsmodi existieren Einzelabrechnungen, Festpreise und Raten je Flugstunde. Bei Einzelabrechnungen werden alle Bestandteile eines Shop Visits anhand der verhandelten Konditionen separat abgerechnet. Mit dem Ausmaß des jeweiligen Workscopes variiert der vom Operator zu zahlende Preis. Im Gegensatz dazu wird bei einem Festpreis für eine definierte Leistung ein



fester vom Operator zu zahlender Preis vereinbart. Festpreisvarianten können auch in einer definierten Höchstgrenze der vom Operator an den Shop zu leistenden Zahlungen bestehen. Bei einer Abrechnung mit einer Rate je Flugstunde hat der Operator einen bestimmten im Vertrag definierten Geldbetrag je geflogener Stunde an den MRO-Shop zu zahlen, mit dem ein definiertes Leistungsspektrum in einem bestimmten Zeitraum abgedeckt wird.

3.2 Time and Material-Verträge

Bei T&M-Verträgen handelt es sich um Verträge mit Einzelabrechnung aller Bestandteile eines Shop Visits, für die in der Regel keine exklusive Bindung des Kunden an den MRO-Shop existiert.⁹ Für die Erörterung dieser Vertragsform sei auf die vereinfachte Kosten- bzw. Erlöskalkulation eines Shop Visits (mit fiktiven Werten) aus der Sicht des MRO-Shops in Tabelle 1 verwiesen.

	Kosten				Erlöse				Ergebnis
	Kosten-Stunden [h]	GK-Zuschlag [%]	Stunden-satz [\$ / h]	Gesamt [\$]	Umsatz-Stunden [h]	Mark-up [%]	Stunden-satz [\$ / h]	Gesamt [\$]	
Eigenleistung									
Basic Labour	1,500		55	82,500	1,500		70	105,000	22,500
Reparatur	1,200		60	72,000	1,200		75	90,000	18,000
Material									
Einzelkosten				800,000		15,0%		920,000	120,000
Gemeinkosten		5,8%		46,500					-46,500
Outside Vendors									
Einzelkosten				50,000		15,0%		57,500	7,500
Gemeinkosten		5,0%		2,500					-2,500
Sonstiges									
Transport				6,500		0,0%		6,500	0
Leihtriebwerk				20,000		5,0%		21,000	1,000
Gesamt				1,080,000				1,200,000	120,000 10,0%

Tab. 1: T&M-Kalkulation mit fiktiven Werten

Bei der Selbstkostenkalkulation handelt es sich um eine differenzierte Zuschlagskalkulation. Die Eigenleistungskosten ergeben sich aus der Multiplikation der geleisteten Stunden mit den entsprechenden Kostenstundensätzen. Diese Stundensätze bilden die Fertigungseinzelkosten und die gemäß dem Beanspruchungsprinzip zu-rechenbaren Kapazitätskosten der jeweiligen Unternehmensbereiche ab. Für Material und beauftragte Reparaturen fallen Einzelkosten an, denen Gemeinkosten beanspruchungsgerecht zugerechnet werden. Unter Sonstiges werden in diesem Beispiel Kosten für Transport und für die Bereitstellung eines Leihtriebwerks zusammengefasst.

Die Erlöskalkulation bildet die Grundlage der Rechnungslegung gegenüber dem Operator, wobei alle Kostenbestandteile des Shop Visits entsprechend den vereinbarten Konditionen separat abzurechnen sind. Die Eigenleistung wird dem Operator anhand der geleisteten Arbeitsstunden in Rechnung gestellt, die mit den vereinbarten Erlösstundensätzen multipliziert werden. Die Abrechnung für Neumaterial erfolgt gemäß den Verbrauchsmengen der einzelnen im Triebwerk ausgetauschten Teile, die mit den aktuellen Listenpreisen der Originalhersteller multipliziert werden. Auf diesen Wert wird abschließend ein im Vertrag vereinbarter prozentualer Aufschlag auf den Listenpreis (Mark-Up) aufgeschlagen. Gebrauchtes Material wird analog abgerechnet, wobei statt des Listenpreises ein marktüblicher Wert für die entsprechenden Teile angesetzt wird. Die Rechnungen der mit den Reparaturen beauftragten Repara-

tur-Shops werden, mit einem Aufschlag versehen, dem Operator weiter berechnet. Die Abrechnung der sonstigen Kosten erfolgt analog zu den beschriebenen Material- bzw. Outside Vendor-Abrechnungen.

Das Beispiel wird gemäß Tabelle 2 um die Annahme erweitert, dass der Operator den MRO-Shop über eine Dauer von fünf Jahren mit den anfallenden Shop Visits einzeln beauftragt. Verknüpft man die in Tabelle 1 gegebenen Kosten und Erlöse je Triebwerk mit der Anzahl der Shop Visits in den einzelnen Jahren, erhält man die Erlöse, Kosten und letztlich die Ergebnisse in den einzelnen Jahren aus der Sicht des MRO-Shops. In diesem Zusammenhang wird vereinfachend unterstellt, dass keine Preissteigerungseffekte für die einzelnen Kostenbestandteile auftreten. Insofern sich der MRO-Shop einzig an Gewinngrößen orientiert, kann man über die Summe der jährlichen Ergebnisse den Erfolg eines solchen Vertrags (im Beispiel 720 T \$) ermitteln.¹⁰ Aus Sicht des Operators entsprechen die Kosten den Erlösen des MRO-Shops.

	2003	2004	2005	2006	2007	Gesamt
Anzahl Shop Visits	0	1	2	2	1	6
MRO-Shop						
Erlöse [T \$]	0	1,200	2,400	2,400	1,200	7,200
Kosten [T \$]	0	1,080	2,160	2,160	1,080	6,480
Ergebnis [T \$]	0	120	240	240	120	720
Operator						
Kosten [T \$]	0	1,200	2,400	2,400	1,200	7,200

Tab. 2: Mehrperiodige Ergebnisse eines T&M-Vertrages mit fiktiven Werten

Für T&M-Verträge existieren eine Anzahl von Variationen. So können Teile der T&M-Rechnungen (z. B. die Arbeitsleistungen für die Basic Labour) mit einem Festpreis verbunden sein. Eine weitere Festpreisvariation besteht in einem so genannten *Not To Exceed Price* (NTEP), der eine nicht zu überschreitende Obergrenze der Time and Material-Abrechnung definiert.¹¹ Oft werden NTEP-Abrechnungen mit einem exklusiven Vertrag verbunden.

3.3 Fly by Hour-Verträge

FbH-Verträge lassen sich als exklusive Verträge mit einer Abrechnung auf der Basis einer Rate pro Flugstunde klassifizieren. Der Kunde zahlt eine vereinbarte Rate pro Flugstunde, mit der die Kosten der vertraglich einzubeziehenden Shop Visits zuzüglich eines Ergebnisbeitrags für den MRO-Shop abgedeckt sind.¹² Zur Berechnung der FbH-Rate sind in einem ersten Schritt die Maintenance-Kosten entsprechend dem vereinbarten Leistungsspektrum und den betroffenen Triebwerken für die gesamte Vertragslaufzeit zu planen. Auf diese Kosten ist ein Gewinnaufschlag vorzunehmen, der z. B. aus einer Zielumsatzrendite abgeleitet werden kann. Die eigentliche Berechnung der FbH-Rate ergibt sich, wie nachfolgend angegeben, aus der Division der gesamten geplanten Kosten zuzüglich des Gewinnaufschlags durch die gesamte Flugzeit der Triebwerke in der Vertragslaufzeit:

$$FbH - Rate = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{e=1}^E K_{te}^p \cdot \left(1 + \frac{r}{(1-r)} \right)}{\sum_{t=1}^T \sum_{e=1}^E EF_{te}^p}$$



mit

K_{te} – Maintenance-Kosten des e-ten Triebwerks in der t-ten Periode

EF_{te} – Flugstunden des e-ten Triebwerks in der t-ten Periode

r – Zielumsatzrendite

Indizes

t – Index der Vertragsperioden, $t=1(1)T$

e – Index der Triebwerke, $e=1(1)E$

p – Plangröße.

		2003	2004	2005	2006	2007	Gesamt
Anzahl Shop Visits		0	1	2	2	1	6
Kosten je Shop Visit	[T \$]	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	
Kosten	[T \$]	0	1,080	2,160	2,160	1,080	6,480
Gewinnaufschlag	[T \$]						720
Gesamter Verrechnungsbetrag	[T \$]						7.200
Anzahl Triebwerke		6	6	6	6	6	
Flugstunden							
je Triebwerk und Jahr	[EFH]	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
gesamte Flotte pro Jahr	[EFH]	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	75.000
Rate je Flugstunde	[\$/EFH]						96,0

Tab. 3: FbH-Kalkulation mit fiktiven Werten

In Tabelle 3 wird das eingeführte Beispiel für einen FbH-Vertrag über fünf Jahre weitergeführt. In einem ersten Schritt werden die gesamten Maintenance-Kosten mit einem Gewinnaufschlag versehen, der einer Zielumsatzrendite von 10 % entspricht, so dass sich ein Verrechnungsbetrag von 7,2 Mio. \$ ergibt. Insgesamt beinhaltet der Vertrag sechs Triebwerke, die pro Jahr 2.500 EFH (Engine Flight Hours) und aufsummiert über die Vertragslaufzeit 75.000 EFH fliegen. Teilt man den Verrechnungsbetrag durch die gesamten Flugstunden, erhält man eine FbH-Rate von 96 \$ je Flugstunde eines Triebwerks.

Während der Vertragslaufzeit hat der Operator Zahlungen an den MRO-Shop zu leisten, die anhand der Multiplikation der FbH-Rate mit den tatsächlich geflogenen Stunden je Triebwerk berechnet werden. Im Beispiel fliegen die sechs Triebwerke des Operators 15.000 Stunden. Multipliziert mit der FbH-Rate, ergeben sich damit, wie in Tabelle 4 dargestellt, jährliche Zahlungen von 1,44 Mio. \$.

		2003	2004	2005	2006	2007	Total
MRO-Shop							
Anzahlungen	[T \$]	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	7.200
Erlöse	[T \$]	0	1,080	2,160	2,160	1,800	7.200
Kosten	[T \$]	0	1,080	2,160	2,160	1,080	6.480
Ergebnis	[T \$]	0	0	0	0	720	720
Operator							
Zahlungen	[T \$]	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	7.200

Tab. 4: Mehrperiodige Ergebnisse eines FbH-Vertrages mit fiktiven Werten

Nach deutschem Handelsrecht sind diese Zahlungen vom MRO-Shop als erhaltene Anzahlungen zu behandeln, mit denen die einzelnen Shop Visits zu finanzieren sind. Folgt man der Logik, dass Gewinne erst mit Abschluss des gesamten Auftrags zu realisieren sind, werden in der Vertragslaufzeit lediglich Erlöse in Höhe der angefallenen Kosten verbucht und so ein Ergebnis von Null erzielt. Erst mit Ablauf des Vertrags werden der verbleibende Anzahlungsbestand aufgelöst, entsprechende Erlöse gebucht und so das Ergebnis des FbH-Vertrags realisiert. Da im Beispiel die FbH-Rate analog zur T&M-Kalkulation entsprechend einer Zielumsatzrendite von 10 % geplant wurde, führt auch dieser Vertrag zu einem Ergebnis von 720 T \$.

3.4 GMC-Verträge

GMC-Verträge verbinden Aspekte der beiden vorgestellten Vertragsarten. GMC-Verträge sind langfristige und exklusive Verträge über ein definiertes, vom MRO-Shop zu erbringendes Leistungsprogramm. Grundsätzlich wird jeder Shop Visit einzeln auf der Basis Time and Material abgerechnet. Zusätzlich wird dem Operator mit Vertragsabschluss eine Höchstgrenze der für ihn anfallenden Maintenance-Kosten zugesichert. Wenn nach Vertragsende die für den Operator angefallenen Kosten die Höchstgrenze überschritten haben, bekommt er einen Teil oder den gesamten Differenzbetrag vom MRO-Shop zurückerstattet. Oft wird bei GMC-Verträgen vereinbart, dass der MRO-Shop 50 % dieses Differenzbetrages übernimmt.¹³

Die Obergrenze der Maintenance-Kosten wird auf der Basis einer Rate je Flugstunde abgebildet, wobei grundsätzlich die gesamten geplanten T&M-Erlöse durch die gesamten geplanten Flugstunden in der Vertragslaufzeit dividiert werden:

$$GMC^p = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{e=1}^E E_{te}^p}{\sum_{t=1}^T \sum_{e=1}^E EF_{te}^p}$$

mit

GMC – maximale Kosten je Flugstunde und Triebwerk, GMC-Rate

E_{te} – T&M-Erlöse für das e-te Triebwerk in der t-ten Periode

In Tabelle 5 wird das eingeführte Beispiel für eine GMC-Kalkulation weitergeführt. Die Summe der gesamten T&M-Erlöse wird dem Kunden als Gesamtkosten garantiert. Dividiert man diese Höchstgrenze der Maintenance-Kosten durch die Gesamtsumme der Flugstunden der Triebwerke, erhält man eine Rate von 96 \$ je Flugstunde eines Triebwerks.

		2003	2004	2005	2006	2007	Total
Anzahl Shop Visits							
		0	1	2	2	1	6
T&M-Erlös je SV	[T \$]	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	
T&M-Erlös je Periode	[T \$]	0	1,200	2,400	2,400	1,200	7.200
Garantierte Gesamtkosten	[T \$]						7.200
Anzahl Triebwerke							
		6	6	6	6	6	
Flugstunden							
je Triebwerk und Jahr	[EFH]	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
gesamte Flotte pro Jahr	[EFH]	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	75.000
GMC	[\$/EFH]						96,0

Tab. 5: GMC-Kalkulation mit fiktiven Werten

Die Überprüfung der Gesamtkosten im Verhältnis zu den garantierten Maintenance-Kosten erfolgt auf der Basis einer zu berechnenden Ist-Rate, indem analog zur GMC-Rate die T&M-Erlöse des MRO-Shops durch die geflogenen Stunden der Triebwerke dividiert werden. Die eigentliche Rückerstattung ergibt sich aus der Differenz der GMC-Rate und der Ist-Rate, die mit den gesamten in der Vertragslaufzeit geflogenen Stunden der Triebwerke und dem Prozentsatz der Kostenbeteiligung des MRO-Shops multipliziert wird:



$$KA = \begin{cases} (GMC^p - GMC^r) \cdot \sum_{t=1}^T \sum_{e=1}^E EF_{te}^r \cdot \alpha & \text{für } (GMC^p - GMC^r) < 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

mit

KA – Kostenausgleich

α – Beteiligungsfaktor des MRO-Shops bei Kostenüberschreitungen

Index

r – realisierte Größe.

Wenn im Beispiel gemäß Tabelle 5 die Summe der T&M-Erlöse des MRO-Shops die Höchstgrenze der garantierten Maintenance-Kosten nicht überschreitet, wird die Ist-Rate kleiner oder gleich der GMC-Rate sein. Deshalb wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die realisierten Shop Visits einem höheren Schadensfall unterlagen und so zu 5 % höheren Kosten gegenüber dem ursprünglichen Beispiel führten. Entsprechend dem T&M-Kalkulationsschema in Tabelle 1 wird ein höherer Kostenanfall unmittelbar an den Kunden weitergegeben, so dass auch die T&M-Erlöse im Beispiel um 5 % steigen. Dividiert man, wie in Tabelle 6 angegeben, die höheren T&M-Erlöse von 7,56 Mio. \$ durch die gesamten Flugstunden, ergibt sich eine Ist-Rate von 100,8 \$ je Flugstunde eines Triebwerks. Multipliziert man die daraus resultierende Differenz zur GMC-Rate mit den gesamten Flugstunden und einem Beteiligungsfaktor von 50 %, erhält man eine Kostenrückerstattung von 180 T \$. Diese Kostenrückerstattung mindert aus Sicht des MRO-Shops das Ergebnis des letzten Vertragsjahres und somit des gesamten Vertrages. Für den Operator führt die Erstattung unmittelbar zu einer Ergebnisverbesserung.

		2003	2004	2005	2006	2007	Total
MRO-Shop							
T&M-Erlöse	[T \$]	0	1.260	2.520	2.520	1.260	7.560
Kosten	[T \$]	0	1.134	2.268	2.268	1.134	6.804
T&M-Ergebnis	[T \$]	0	126	252	252	126	756
Flugstunden der gesamten Flotte	[H]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	75.000
Ist-Rate	[\$/EFH]						100,8
Delta Ist-Rate / GMC	[\$/EFH]						-4,8
Kostenausgleich						-180	
GMC-Ergebnis	[T \$]	0	126	252	252	-54	576
Operator							
Kosten	[T \$]	0	1.260	2.520	2.520	1.260	7.560
Kostenausgleich	[T \$]					-180	-180
Gesamt	[T \$]	0	1.260	2.520	2.520	1.080	7.380

Tab. 6: Mehrperiodige Ergebnisse eines GMC-Vertrages mit fiktiven Werten

Auch für GMC-Verträge existiert eine Anzahl von Variationen. So können einzelne Rechnungspositionen mit einem Festpreis verbunden sein. Eine andere Variante besteht darin, dass nicht für die gesamte Laufzeit des Vertrages eine GMC-Rate angegeben wird, sondern spezifisch für die Zeiträume zwischen den einzelnen geplanten Shop Visits. Mit dieser so genannten GMC-R (Guaranteed Maintenance Costs per Run) wird eine Obergrenze der Maintenance-Kosten eines Triebwerks für die Zeit zwischen den einzelnen geplanten Shop Visits vom MRO-Shop garantiert.

4 Risikostrukturen der Vertragsformen

Im Rahmen der bisherigen Ausführungen wurde im Wesentlichen davon ausgegangen, dass die für die einzelnen Vertragsarten geplanten Ergebnisse mit Sicherheit eintreten werden. Diese Prämisse kann für die Realität

in der Maintenance von zivilen Flugtriebwerken nicht aufrechterhalten werden, da die Ergebnisse derartiger Verträge durch eine Vielzahl interner und externer, teilweise nicht prognostizierbarer Störgrößen beeinflusst werden. Aus dem Auftreten derartiger Störgrößen können letztlich Ergebnisse für den Operator bzw. den MRO-Shop resultieren, die von den vor Vertragsabschluss geplanten Ergebnissen abweichen.

4.1 Ausgewählte Ursachen für Chancen und Risiken

Aus der Menge der möglichen Ursachen für derartige Abweichungen¹⁴ lassen sich z. B. der Anteil der zu verschrottenden Teile (Scrap Rates) sowie die Anzahl der ungeplanten Shop Visits nennen.¹⁵ Beide stellen Parameter für die Kalkulation bzw. Planung eines Vertrages dar und sind in diesem Zusammenhang nicht mit Sicherheit zu prognostizieren. So führt eine Veränderung der Scrap Rates unmittelbar zu einer veränderten Ausprägung der Kosten für auszutauschende Teile. Zur Prognose ungeplanter Shop Visits wird oft der Anteil der Triebwerke einer Flotte mit ungeplanten Ereignissen geschätzt. Wenn sich dieser Anteil verändert, tritt eine gegenüber der Vertragsplanung abweichende Anzahl ungeplanter Shop Visits und letztlich eine andere Ausprägung der Maintenance-Kosten der betrachteten Flotte auf. Für die beiden genannten Risikoparameter könnten grundsätzlich im Rahmen der Planung der Ergebnisse der einzelnen Vertragsformen entsprechende Verteilungen mit Erwartungswert und Varianz auf der Basis empirischer Triebwerksdaten geschätzt werden, wobei im Allgemeinen unterstellt werden kann, dass sich diese Parameter normalverteilt verhalten. In Abhängigkeit dieser Zufallsvariablen würden auch die geplanten Ergebnisse der Vertragsarten einer Wahrscheinlichkeitsverteilung unterliegen.

Für die weiteren Betrachtungen wird das eingeführte Beispiel gemäß Tabelle 7 weitergeführt. Es wird unterstellt, dass die Maintenance-Kosten der einzelnen im Beispiel betrachteten geplanten Shop Visits unsicher sind, wobei aus Vereinfachungsgründen lediglich drei verschiedene Schadensfälle betrachtet werden. Der mittlere Schadensfall entspricht dem bisherigen Beispiel und repräsentiert den Erwartungswert der Kosten der Shop Visits und der daraus resultierenden Ergebniseffekte. Der geringe Schadensfall soll den Fall repräsentieren, dass ein um 5 % geringerer Kostenanfall zu verzeichnen ist. Der hohe Schadensfall führt zu einem fünfprozentig höheren Kostenanfall gegenüber dem Normalfall.

		2003	2004	2005	2006	2007	Gesamt
Anzahl Shop Visits		0	1	2	2	1	6
Kosten							
geringer Schadensfall	[T \$]	0	1.026	2.052	2.052	1.026	6.156
mittlerer Schadensfall	[T \$]	0	1.080	2.160	2.160	1.080	6.480
hoher Schadensfall	[T \$]	0	1.134	2.268	2.268	1.134	6.804

Tab. 7: Fiktive Schadensfälle

Interpretiert man den Anfall der Schadensfälle als einen Zustandsraum mit drei Umweltzuständen und die drei Vertragsformen als zu wählende Aktionen, kann jeder Kombination von Aktion und Umweltzustand ein Ergebnis entsprechend den dargestellten Kalkulationen zugeordnet werden.



4.2 Chancen und Risiken für den MRO-Shop

Die Chancen und Risiken für den Shop ergeben sich unmittelbar aus den Ergebnisrealisierungen der Vertragsformen im Rahmen der Menge der möglichen Schadensfälle.

Da die Konditionen eines T&M-Vertrages von den Schadensfällen unabhängig sind und alle Kostenbestandteile an den Operator weiterberechnet werden, beinhaltet ein solcher Vertrag für den MRO-Shop keine Risiken im Sinne von überproportionalen Ergebnisschmälerungen bei hohen Schadensfällen, aber auch keine Chancen auf überproportional steigende Ergebnisse bei geringen Schadensfällen. So führen die jeweils um 5 % variierenden Schadensfälle des in Tabelle 8 weitergeführten Beispiels gegenüber dem mittleren Schadensfall zu um 5 % fallenden bzw. steigenden absoluten Ergebnissen, wobei die Umsatzrendite konstant 10 % beträgt.

MRO-Shop	geringer Schadensfall	mittlerer Schadensfall	hoher Schadensfall
Time and Material	684	720	756
GMC	684	720	576
FbH	1.044	720	396

Tab. 8: Unsichere Ergebnisse für den MRO-Shop nach Vertragsform und Schadensfall

Solange die dem Operator in Rechnung gestellten T&M-Erlöse die garantierte Obergrenze nicht überschreiten, verhält sich die Ergebnissituation eines GMC-Vertrages für den MRO-Shop analog zu der eines T&M-Vertrages. Im Beispiel entspricht das dem geringen und dem mittleren Schadensfall. Sobald (gemessen an der GMC-Rate) diese Grenze nicht mehr eingehalten wird, steht dem Operator ein Kostenausgleich zu, der aus Sicht des MRO-Shops zu einer Ergebnisreduzierung führt. Wie in Tabelle 6 dargestellt, wird im Beispiel bei dem hohen Schadensfall die GMC-Rate überschritten und der MRO-Shop hat einen Anteil von 50 % des Differenzbetrages zu tragen. Damit beinhaltet der GMC-Vertrag bei diesem Schadensfall ein um den Kostenausgleich reduziertes Ergebnis gegenüber dem T&M-Vertrag. Der MRO-Shop übernimmt daher bei einem derartigen Vertrag entsprechend seinem Beteiligungsfaktor bei Überschreitungen der garantierten Maintenance-Kosten einen Teil des Risikos bei einem Anfall hoher Schadensfälle.

FbH-Verträge besitzen aufgrund ihrer konstanten Rate je Triebwerksflugstunde einen Festpreiskarakter. Demzufolge hat jede Veränderung der Maintenance-Kosten der Shop Visits einen unmittelbaren Einfluss auf das Ergebnis eines solchen Vertrages. Für hohe Schadensfälle, deren Kosten nicht von der FbH-Rate gedeckt sind, übernimmt der MRO-Shop das volle Risiko. Allerdings kann der MRO-Shop alle Ergebniseffekte realisieren, die auf einem niedrigeren Kostenanfall aufgrund geringerer Schadensfälle bei konstanten Zahlungen des Operators basieren.

Die Risikostrukturen, im Sinne der Übernahme von Risiken und der Möglichkeit der Realisierung von Ergebnischancen, sind aus Sicht des MRO-Shops in Tabelle 9 nochmals zusammengefasst.

MRO-Shop	Chancen	Risiken
Time and Material	0%	0%
GMC mit $\alpha=50\%$	0%	50%
FbH	100%	100%

Tab. 9: Struktur der Chancen und Risiken für den MRO-Shop nach Vertragsformen

4.3 Chancen und Risiken für den Operator

Die Chancen und Risiken für den Operator ergeben sich einerseits aus den auftretenden Schadensfällen und andererseits aus der Art der Rechnungsstellung des MRO-Shops. Grundsätzlich verfolgt der Operator ein Kostenminimierungsziel hinsichtlich der vom MRO-Shop entstehenden Maintenance-Kosten. Auftretende Risiken führen tendenziell zu steigenden und Chancen zu sinkenden Maintenance-Kosten.

Da der MRO-Shop dem Operator alle Kosten eines Shop Visits unmittelbar in Rechnung stellt, variieren die Maintenance-Kosten des Operators mit den einzelnen Schadensfällen. Damit trägt der Operator alle Risiken eines solchen Vertrags, da mit höheren Schadensfällen seine Maintenance-Kosten steigen. Allerdings kann er auch die Chancen eines solchen Vertrages realisieren, da sich mit geringeren Schadensfällen gleichzeitig seine Ergebnissituation im Sinne geringerer Maintenance-Kosten verbessert. In Tabelle 10 sind für das Beispiel die unsicheren Kosten der einzelnen Vertragstypen gegeben. Im Falle eines T&M-Vertrages führen die jeweils um 5 % variierten Kosten entsprechend der in Tabelle 1 gegebenen Konditionen eines solchen Vertrages zu um jeweils 5 % veränderten Time and Material-Rechnungen des MRO-Shops an den Operator.

Operator	geringer Schadensfall	mittlerer Schadensfall	hoher Schadensfall
Time and Material	6.840	7.200	7.560
GMC	6.840	7.200	7.380
FbH	7.200	7.200	7.200

Tab. 10: Unsichere Kosten für den Operator nach Vertragsform und Schadensfall

Für geringe und mittlere Schadensfälle verhält sich die Ergebnissituation eines GMC-Vertrages analog zu der eines T&M-Vertrages. Wenn beim Auftritt hoher Schadensfälle die vom MRO-Shop in Rechnung gestellten Maintenance-Kosten die garantierte Obergrenze überschreiten, steht dem Operator ein Kostenausgleich zu. Damit trägt der Operator bei einem GMC-Vertrag entsprechend des Beteiligungsfaktors des MRO-Shops bei Kostenüberschreitungen nur einen Teil des Risikos. Im Beispiel sind daher die Maintenance-Kosten des GMC-Vertrages für den geringen und den mittleren Schadensfall identisch zu denen des T&M-Vertrages, während für den hohen Schadensfall der in Tabelle 6 berechnete Kostenausgleich von 180 T Euro zu einer entsprechenden Verringerung der Maintenance-Kosten gegenüber den Kosten des T&M-Vertrages führt.



Bei einem FbH-Vertrag zahlt der Operator eine konstante, zum Vertragsbeginn vereinbarte Rate je Flugstunde. Die tatsächlich eintretenden Schadensfälle haben somit keinen Einfluss auf die Ergebnissituation des Operators. Damit trägt der Operator bei Abschluss eines derartigen Vertrages kein Risiko, besitzt aber weiterhin keine Möglichkeit, die Chancen geringer Schadensfälle ergebnisverbessernd zu realisieren.

Die genannten Risikostrukturen sind nochmals in Tabelle 11 zusammengefasst. Diese Strukturen stellen das Gegenstück zu den Chancen und Risiken der Vertragsformen für einen MRO-Shop dar. Bei einem T&M-Vertrag übernimmt der Operator im Gegensatz zum MRO-Shop alle Chancen und Risiken. Ein GMC-Vertrag hat zur Folge, dass der Operator alle Chancen realisieren kann und sich das Risiko hoher Schadensfälle mit dem MRO-Shop teilt. Bei Abschluss eines FbH-Vertrages trägt der MRO-Shop alle Chancen und Risiken, so dass die Maintenance-Kosten für den Operator sichere Größen darstellen.

Operator	Chancen	Risiken
Time and Material	100%	100%
GMC mit $\alpha=50\%$	100%	50%
FbH	0%	0%

Tab. 11: Struktur der Chancen und Risiken für den Operator nach Vertragsformen

5 Wahl einer Vertragsform gemäß den Risikostrukturen

Die aus den Risikostrukturen resultierenden unsicheren Ergebnisse führen dazu, dass bei der Wahl einer Vertragsform die Sicherheitspräferenzen entsprechender Entscheidungsträger einzubeziehen sind. Wenn für den Eintritt der unsicheren Ergebnisse Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelbar sind, liegt hinsichtlich der zu wählenden Vertragsform eine Entscheidung unter Risiko unter Beachtung der Risikopräferenzen der Entscheidungsträger vor.¹⁶ Da die konkrete Ermittlung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen aus praktischer Sicht nicht immer möglich ist, erscheint die Anwendung derartiger Entscheidungsregeln problematisch.

Grundsätzlich können aber auch ohne Angabe von Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Sicherheitspräferenzen der Entscheidungsträger allgemeine Aussagen über die relative Vorteilhaftigkeit der einzelnen Vertragsarten getroffen werden, die auch für eine konkrete Entscheidungssituation anwendbar sind. Für die weiteren Betrachtungen werden daher die Entscheidungsträger entsprechend ihren Einstellungen hinsichtlich unsicherer Ergebnisse in Pessimisten, Neutrale und Optimisten unterschieden. Ein Pessimist bewertet die Risiken einer Vertragsform höher als die Chancen. Ein neutraler Entscheider schätzt die Chancen und Risiken einer Vertragsform gleich stark ein. Ein Optimist beurteilt die Chancen einer Vertragsform höher als die entsprechenden Risiken.

5.1 Rangfolge der Vertragsformen für den MRO-Shop

Ein Pessimist bewertet jede Übernahme eines Risikos als potenzielle Ergebnisschmälerung, die seinem grundsätzlichen Ziel der Ergebnismaximierung eines Vertrages entgegensteht. In diesem Sinn wird sich ein solcher Entscheidungsträger in erster Linie für einen T&M-Vertrag entscheiden, da dieser keine Risiken für den MRO-Shop beinhaltet. Weiterhin wird er einen GMC-Vertrag einem FbH-Vertrag immer dann vorziehen, wenn der Beteiligungsfaktor des MRO-Shops bei Kostenüberschreitungen einen Wert kleiner als 100 Prozent besitzt, weil der MRO-Shop in diesem Fall im Gegensatz zu einem FbH-Vertrag nur einen Teil des Risikos übernimmt.

Ein neutraler Entscheider bewertet die Chancen und Risiken einer Vertragsform gleich stark. Insofern die Ergebniswirkungen der Schadensfälle normalverteilt sind, ist es für diesen Entscheidungsträger irrelevant, ob er bei einem FbH-Vertrag 100 Prozent der Chancen und Risiken trägt oder dass bei einem T&M-Vertrag keine Chancen bzw. Risiken vorliegen. Daher besteht für beide Vertragsformen eine Entscheidungsindifferenz. Diese beiden gleich vorteilhaften Vertragsformen werden von einem neutralen Entscheider immer vorteilhafter als ein GMC-Vertrag bewertet. Diese Einschätzung liegt vor allem darin begründet, dass bei diesem Vertrag keine Chancen existieren, aber immer eine Risikoübernahme vorliegt und damit immer ein geringeres Ergebnis als für die beiden anderen Vertragsformen zu erwarten ist.

Ein optimistischer Entscheidungsträger wird immer einen FbH-Vertrag allen anderen Vertragsformen vorziehen, da nur ein FbH-Vertrag die Chancen für eine Ergebnisverbesserung beinhaltet. Weiterhin ist für einen Optimisten ein T&M-Vertrag gegenüber einem GMC-Vertrag vorteilhafter, da dieser von keiner Risikoübernahme betroffen ist und damit bei niedrigen und mittleren Schadensfällen zu identischen sowie bei hohen Schadensfällen zu besseren Ergebnissen als ein GMC-Vertrag führt.

Diese in Tabelle 12 zusammengefassten Rangfolgen lassen sich für das Beispiel anhand eines einfachen Entscheidungskriteriums nachweisen.

MRO-Shop	Pessimist	Neutral	Optimist
Time and Material	1	1	2
GMC mit $\alpha=50\%$	2	2	3
FbH	3	1	1

Tab. 12: Rangfolge der Vertragsformen für einen MRO-Shop

Für das Beispiel mit seinen drei Schadensfällen, für die keine Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben sind, lässt sich die so genannte Pessimismus-Optimismus-Regel (Hurwicz-Kriterium) anwenden.¹⁷ Dazu sollen in einem ersten Schritt die einzelnen auszuwählenden Vertragsformen als Elemente eines Aktionsraumes interpretiert werden:

$$A = \{a_i | i = 1(1)3\}$$



mit

A – Aktionsraum

a_i – Aktion i (Vertragsform i)

Index

i – Index der Aktionen, $i=1(1)3$.

In Abhängigkeit der einzelnen Schadensfälle, die im Weiteren mit $j=1(1)3$ indiziert werden, kann für jede Aktion i ein spezifisches Ergebnis e_{ij} geplant werden. Verfolgt ein Entscheidungsträger ein Maximierungsziel, kann das Hurwicz-Kriterium wie folgt formuliert werden:

$$\Phi(a_i) = \lambda \cdot \max_j(e_{ij}) + (1 - \lambda) \cdot \min_j(e_{ij}) ; i = 1(1)3 ; 0 \leq \lambda \leq 1$$

$$\Phi^* = \max_i \Phi(a_i)$$

mit

$\Phi(a_i)$ – Pessimismus-Optimismus-Nutzenwert der i-ten Vertragsform des MRO-Shops

λ – Pessimismus-Optimismus-Index.

Es erfolgt demnach mit dem Hurwicz-Kriterium eine Wichtung der Extremwerte einer Vertragsform anhand des Pessimismus-Optimismus-Indexes. Die Präferenzen eines Optimisten wird mit einem Pessimismus-Optimismus-Index λ größer 0,5 abgebildet. Ein solcher Entscheider bewertet damit das maximale Ergebnis einer Vertragsform höher als das minimale, da dieses ungünstige Ergebnis mit $(1-\lambda)$ multipliziert wird. Ein neutraler Entscheider beurteilt die Chancen und Risiken einer Vertragsform gleich, was einem Pessimismus-Optimismus-Index λ von 0,5 entspricht. Ein Pessimist wichtet die Risiken und damit das ungünstige minimale Ergebnis einer Vertragsform höher als die Chancen dieses Vertrags. Daher wird dieser Entscheider einen Pessimismus-Optimismus-Index λ mit einer Ausprägung kleiner 0,5 angeben. Letztlich wird ein Entscheidungsträger die Vertragsform wählen, die gemäß dem Hurwicz-Kriterium zu dem höchsten Nutzenwert führt.

Wendet man das Hurwicz-Kriterium für das gegebene Beispiel aus Sicht des MRO-Shops und die drei Gruppen von Entscheidungsträgern an, erhält man die in Tabelle 13 angegebenen Ergebnisse. In dieser Tabelle sind dazu für die einzelnen Arten von Entscheidungsträgern die jeweiligen Pessimismus-Optimismus-Indizes angeben und in Abhängigkeit der einzelnen Vertragsformen die Pessimismus-Optimismus-Nutzenwerte sowie in Klammern die entsprechenden Rangfolgen in Abhängigkeit der Ausprägung der absoluten Nutzenwerte.

MRO-Shop	geringer Schadensfall	mittlerer Schadensfall	hoher Schadensfall	Pessimist $\lambda=0,25$		Neutral $\lambda=0,5$		Optimist $\lambda=0,75$	
				Φ	Rang	Φ	Rang	Φ	Rang
Time and Material	684	720	756	702	(1)	720	(1)	738	(2)
GMC	684	720	576	612	(2)	648	(2)	684	(3)
FbH	1.044	720	396	558	(3)	720	(1)	882	(1)

Tab. 13: Rangfolge der Vertragsformen für den MRO-Shops gemäß dem Hurwicz-Kriterium

Wie man an den angegebenen Rangfolgen im Beispiel sieht, führt das Hurwicz-Kriterium zu identischen Rangfolgen hinsichtlich der einzelnen Vertragsformen wie die zuvor allgemein erarbeiteten Rangfolgen.

5.2 Rangfolge der Vertragsformen für den Operator

Analog zu den MRO-Shops lassen sich allgemeine Aussagen treffen, welche Vertragsformen für einen pessimistischen, einen neutralen und einen optimistischen Entscheidungsträger aus Sicht des Operators vorteilhaft sind.

Ein pessimistischer Entscheider sieht jede Übernahme eines Risikos als potenzielle Ergebnisverschlechterung an, die er stärker als die Chancen potenzieller Ergebnisverbesserungen im Sinne von Kostensenkungen aufgrund geringerer Schadensfälle bewertet. Daher wird ein solcher Entscheider einen FbH-Vertrag allen anderen Vertragsformen vorziehen, da der Operator in diesem Fall kein Risiko übernehmen muss. In der Rangfolge eines derartigen Operators folgt der GMC-Vertrag, da er bei dieser Vertragsform im Gegensatz zu einem T&M-Vertrag lediglich einen Teil des Risikos trägt.

Ein neutraler, die Chancen und Risiken einer Vertragsform gleich bewertender Entscheidungsträger ist hinsichtlich eines T&M-Vertrages und eines FbH-Vertrages indifferent in seiner Entscheidung, da es für ihn irrelevant ist, ob er von den in ihrer Ergebniswirkung gleich ausgeprägten Chancen und Risiken 0 % oder 100 % übernimmt. Für einen solchen Entscheider ist es rational, sich in erster Linie für einen GMC-Vertrag zu entscheiden, da für diese Vertragsform aus Sicht des Operators die Chancen stärker als die Risiken im Sinne ihres Potenzials auf Ergebnisverbesserungen bzw. -verschlechterungen ausgeprägt sind.

Ein optimistischer Operator wird die Vertragsformen anstreben, bei denen er die Chance auf eine Ergebnisverbesserung besitzt. In diesem Sinn stehen FbH-Verträge in der Rangfolge der Vertragsformen an letzter Stelle, da sie keine Ergebnisverbesserungspotenziale in Abhängigkeit von den Schadensfällen beinhalten. Von den verbleibenden Vertragsformen wird sich ein optimistischer Entscheider in erster Linie für einen GMC-Vertrag entscheiden, da diese Vertragsform eine 100-prozentige Chance auf Ergebnisverbesserungen verspricht, aber nur ein Teil des Risikos übernommen werden muss.

Die Rangfolgen der Vertragsformen für die einzelnen Typen von Entscheidungsträgern eines Operators sind in Tabelle 14 zusammengefasst und sollen im Weiteren für das Beispiel anhand des Hurwicz-Kriteriums nachgewiesen werden.

Operator	Pessimist	Neutral	Optimist
Time and Material	3	2	2
GMC mit $\alpha=50\%$	2	1	1
FbH	1	2	3

Tab. 14: Rangfolge der Vertragsformen für einen Operator

Unter Beachtung eines grundsätzlichen Minimierungsziels lässt sich das Hurwicz-Kriterium wie folgt formulieren:

$$\Gamma(a_i) = \lambda \cdot \max_j(e_{ij}) + (1 - \lambda) \cdot \min_j(e_{ij}) ; i = 1(1)3 ; 0 \leq \lambda \leq 1$$

$$\Gamma^* = \min_i \Gamma(a_i)$$



mit

$\Gamma(a_i)$ – Pessimismus-Optimismus-Nutzenwert der i -ten Vertragsform des Operators

Es existieren wiederum drei Aktionen a_i in Form der zur Wahl stehenden Vertragsformen, die in Abhängigkeit der drei Schadensfälle $j=1(1)3$ zu spezifischen Ausprägungen der Maintenance-Kosten e_{ij} führen. Es werden erneut die Extremwerte einer Vertragsform mit dem Pessimismus-Optimismus-Index gewichtet, aber in einem zweiten Schritt nicht die Aktion mit dem maximalen, sondern die mit dem minimalen Pessimismus-Optimismus-Nutzenwert als die optimale Vertragsform ausgewählt. Weiterhin sind die Ausprägungen des Pessimismus-Optimismus-Indexes anders zu interpretieren. Ein Pessimist wird nun die maximale Ausprägung der Maintenance-Kosten stärker als das entsprechende Minimum bewerten. Damit wird ein Pessimist einen Pessimismus-Optimismus-Index λ mit einem Wert größer 0,5 wählen. Neutrale Entscheider, die die Chancen und Risiken gleich gewichtet ansehen, wählen einen Pessimismus-Optimismus-Index λ mit einem Wert gleich 0,5. Optimistische Entscheider, die auf die Chancen orientiert sind, werden das Minimum der Maintenance-Kosten einer Vertragsform stärker gewichten als das entsprechende Maximum. Für diese Typen von Entscheidern gilt daher ein Pessimismus-Optimismus-Index λ , der eine Ausprägung kleiner als 0,5 besitzt.

Angewendet auf das Beispiel führt das Hurwicz-Kriterium aus Sicht des Operators zu den in Tabelle 15 enthaltenen Ergebnissen.

Operator	geringer Schadensfall	mittlerer Schadensfall	hoher Schadensfall	Pessimist $\lambda=0,75$		Neutral $\lambda=0,5$		Optimist $\lambda=0,25$	
				Γ	Rang	Γ	Rang	Γ	Rang
Time and Material	6.840	7.200	7.560	7.380	(3)	7.200	(2)	7.020	(2)
GMC	6.840	7.200	7.380	7.245	(2)	7.110	(1)	6.975	(1)
FbH	7.200	7.200	7.200	7.200	(1)	7.200	(2)	7.200	(3)

Tab. 15: Rangfolge der Vertragsformen für den Operator gemäß dem Hurwicz-Kriterium

Die jeweiligen Typen von Entscheidungsträgern wählen jeweils die Vertragsform aus, die den minimalen Pessimismus-Optimismus-Nutzenwert besitzt. Versieht man die einzelnen Vertragsformen entsprechend ihrer Pessimismus-Optimismus-Nutzenwerte mit einer Rangfolge, erkennt man, dass die Anwendung des Hurwicz-Kriteriums für dieses Beispiel zu identischen, wie die zuvor allgemein erarbeiteten Rangfolgen führt.

5.3 Gemeinsame Vertragswahl

Bisher wurden die Rangfolgen der Vorteilhaftigkeit von Vertragsformen lediglich separat für den Operator bzw. den MRO-Shop erörtert. Diese Rangfolgen sind immer dann relevant, wenn einer der beiden Vertragspartner bei ausreichender Marktmacht die Vertragsform explizit vorgibt.

Wenn Verhandlungsspielräume hinsichtlich der Vertragsformen bestehen, ist von den beiden potenziellen Vertragspartnern eine Vertragsform gemeinsam zu wählen, wobei hinsichtlich der Rangfolgen gleich- oder gegenläufige Kombinationen bestehen können. So besitzen ein

pessimistischer Operator und ein optimistischer MRO-Shop eine eindeutige Präferenz für einen FbH-Vertrag, so dass die Wahl der Vertragsform eindeutig ist. Es können aber auch grundsätzlich konträre Rangfolgen der Vertragsformen existieren. Beispielsweise wird der von dem pessimistischen Operator bevorzugte FbH-Vertrag von einem pessimistischen MRO-Shop als unattraktivste Vertragsform angesehen. Es besteht somit die Notwendigkeit, einen Kompromiss zwischen den beiden potenziellen Vertragspartnern herbeizuführen. Eine einfache Herangehensweise anhand der Rangfolgen der Vertragsformen des Operators und des MRO-Shops ist problematisch, da diese nicht die negativen monetären Ergebniseffekte bei einem Abgehen von der am stärksten präferierten Vertragsform abbilden. Es wird daher im Folgenden ein Modell zur Kompromissbildung erarbeitet, das diese Effekte beinhaltet.

Die Aktionen dieses Modells sind durch die drei Vertragsformen a_i gegeben, für die die Pessimismus-Optimismus-Nutzenwerte des MRO-Shops und des Operators gegeben sind. Wenn einer der beiden potenziellen Vertragspartner eine andere als die von ihm am stärksten bevorzugte Vertragsform realisieren muss, entsteht ein monetärer Disnutzen. Dieser kann aus der Differenz des Pessimismus-Optimismus-Nutzenwertes der optimalen Vertragsform und dem Pessimismus-Optimismus-Nutzenwertes der anderen gewählten Vertragsform ermittelt werden. Der Kompromiss besteht darin, dass die Vertragsform ausgewählt wird, bei der die Summe der Disnutzen des Operators und des MRO-Shops einen minimalen Wert annimmt, wobei die Disnutzen der beiden potenziellen Vertragspartner mit einem Einflussparameter β gewichtet werden. Dieser Einflussparameter, der nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, soll die Verhandlungsstärke des Operators abbilden. Die Stärke des Einflusses des MRO-Shops ergibt sich dann aus dem Wert $(1-\beta)$. Damit kann ein Modell zur Kompromissbildung wie folgt formuliert werden:

$$X(a_i) = \beta \cdot (\Gamma(a_i) - \min_j \Gamma(a_j)) + (1-\beta) \cdot (\max_j \Phi(a_j) - \Phi(a_i)) ; i = 1(1)3 ; 0 \leq \beta \leq 1$$

$$X^* = \min_i X(a_i)$$

mit

$X(a_i)$ – Kompromiss-Disnutzen der i -ten Vertragsform
 β – Einflussparameter des Operators.

Wendet man dieses Kompromissmodell auf das gegebene Beispiel an, erhält man die in Tabelle 16 dargestellten

	$\beta=0,5$	Operator								
		Pessimist			Neutral			Optimist		
MRO-Shop	Pessimist	T&M	GMC	FbH	T&M	GMC	FbH	T&M	GMC	FbH
		90,0			45,0			22,5		
			67,5			45,0			45,0	
	Neutral	90,0			45,0			22,5		
			58,5			36,0			36,0	
				0,0			45,0			112,5
	Optimist	162,0			117,0			94,5		
			121,5			99,0			99,0	
				0,0			45,0			112,5

Tab. 16: Disnutzen von Vertragskombinationen bei Gewichtung des Einflusses der beiden Vertragspartner



Disnutzenwerte, wobei mit einem β von 0,5 ein gleich starker Einfluss beider potenziellen Vertragspartner unterstellt wurde. Für die einzelnen Kombinationen der Typen von Entscheidungsträgern kann nun jeweils die Vertragsform ausgewählt werden, die den minimalen gewichteten Disnutzen besitzt.

Da z. B. bei der Kombination pessimistischer Operator/optimistischer MRO-Shop der FbH-Vertrag bei beiden potenziellen Vertragspartnern die Rangfolge 1 einnimmt, muss der gewichtete Disnutzen des FbH-Vertrags den Wert Null annehmen. Wie schon diskutiert, besteht das Problem der gegenläufigen Rangfolgen der einzelnen Vertragsformen, wenn z. B. beide potenziellen Vertragspartner pessimistisch eingestellt sind. Gemäß dem minimalen gewichteten Disnutzen besteht für diese Kombination in einem GMC-Vertrag der optimale Kompromiss.

In diesem Sinn kann für alle Kombinationen nach Typen von Entscheidungsträgern die jeweils optimale Vertragsform ermittelt werden. In Tabelle 17 sind für diese Kombinationen die entsprechenden optimalen Vertragsformen abgebildet, wobei drei unterschiedliche Fälle der Stärke des Einflusses beider Vertragspartner betrachtet wurden. Bei einem β von 0,5 besitzen beide einen identischen Einfluss, so dass dieser Fall eine grundsätzliche Kompromissituation abbildet. Je stärker der Operator bei einem β größer 0,5 oder der MRO-Shop bei einem β kleiner 0,5 einen Einfluss auf die Wahl der Vertragsform besitzt, werden sich die entsprechend auszuwählenden Vertragsformen den isoliert betrachteten Rangfolgen des Operators bzw. des MRO-Shops annähern. In diesem Sinn kann die separate Rangfolge des Operators als ein Extremfall dieses Modells mit einem β gleich 1 und die separate Rangfolge des MRO-Shops als ein weiterer Extremfall mit einem β gleich 0 angesehen werden, bei der sich jeweils der Operator bzw. der MRO-Shop in der Wahl der Vertragsform durchsetzt.

aus anderen Quellen kennt. Weiterhin kann man auf der Basis von Vertragsformen, die von den Verhandlungspartnern vorgeschlagen werden, auf die entsprechenden Präferenzen schließen und dieses Wissen in den Vertragsverhandlungen nutzen.

Die Wahl der Vertragsform wurde in diesem Aufsatz ausschließlich auf der Basis der Kosten- bzw. Risikostrukturen und der Sicherheitspräferenzen der Entscheidungsträger der beiden Vertragspartner erörtert. Auf die anderen Einflussfaktoren, die sich aus spezifischen Vor- und Nachteilen der Vertragsformen ergeben, soll nicht eingegangen und auf die entsprechende Literatur verwiesen werden.¹⁸

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Aufsatz wurden die wichtigsten Vertragsformen der Maintenance ziviler Flugtriebwerke mit ihren Kosten- und Risikostrukturen vorgestellt. Anhand dieser Strukturen und den Sicherheitspräferenzen der Entscheidungsträger wurden Rangfolgen der Vorteilhaftigkeit der Vertragsformen für den MRO-Shop und den Operator erarbeitet. Auf der Basis dieser Betrachtungen wurde weiterhin ein Modell formuliert, mit dem die für beide Vertragspartner optimale Vertragsform ausgewählt werden kann.

Dieses Themengebiet beinhaltet interessante Ansatzpunkte für weitergehende Untersuchungen. So besteht auf dem Gebiet des Wirtschaftsrechts der Bedarf, die Abbildung der Risikostrukturen in den Vertragswerken und die konkrete Umsetzung dieser Vertragsbestandteile in einem internationalen Umfeld intensiver zu analysieren. Im ingenieurwissenschaftlichen Bereich gilt es, die vielfältigen Möglichkeiten zur Reduzierung der Maintenance-Kosten (z. B. durch die Entwicklung neuer Reparaturverfahren) aufzudecken.

$\beta=0,25$		Operator		
		Pessimist	Neutral	Optimist
MRO-Shop	Pessimist	T&M	T&M	T&M
	Neutral	FbH	T&M / FbH	T&M
	Optimist	FbH	FbH	FbH

$\beta=0,5$		Operator		
		Pessimist	Neutral	Optimist
MRO-Shop	Pessimist	GMC	T&M / GMC	T&M
	Neutral	FbH	GMC	T&M
	Optimist	FbH	FbH	T&M

$\beta=0,75$		Operator		
		Pessimist	Neutral	Optimist
MRO-Shop	Pessimist	FbH	GMC	GMC
	Neutral	FbH	GMC	GMC
	Optimist	FbH	GMC	GMC

Tab. 17: Optimale Vertragskompromisse bei unterschiedlicher Gewichtung des Einflusses der beiden Vertragspartner

Die in Tabelle 17 angegebenen optimalen Vertragskompromisse basieren auf dem in diesem Aufsatz betrachteten vereinfachten Beispiel bzw. dem gesetzten Einflussparameter β und besitzen damit bis auf die beiden Extremfälle keinen grundsätzlich allgemeingültigen Charakter. Trotzdem können sie als Anhaltspunkt bei Vertragsverhandlungen dienen, wenn man z. B. die Präferenzen seines potenziellen Vertragspartners hinsichtlich unsicherer Ergebnisse aus früheren Verhandlungen oder



Anmerkungen

- 1 Vgl. Rupp (2001), S. 1; Repp (2001), S. 3 ff.
- 2 Vgl. Duarte Leite (2003), S. 26 f.
- 3 MRO-Shop - Maintenance, Repair and Overhaul Shop
- 4 Auf weitere Faktoren der Steuerung geplanter Shop Visits wie z. B. Service Bulletins wird in diesem Aufsatz nicht eingegangen.
- 5 Hinsichtlich der Erfassung und Planung von Kosten sei auf die Kostenrechnungsliteratur verwiesen. Vgl. Kilger (1993), S. 231-677; Haberstock (1998), S. 55-103; Haberstock (1999), S. 107-256.
- 6 Vgl. Haberstock (1998), S. 67 ff.
- 7 Hinsichtlich der Zurechnung von aufgabenspezifisch relevanten Kosten Vgl. Kloock (1993), S. 193 ff. Mit einer derartigen beanspruchungsgerechten Zurechnung von Fixkosten werden den einzelnen Shop Visits Kapazitätskosten zugerechnet, deren Ausprägung unabhängig von der Beschäftigung des Shops und letztlich der Kapazitätsauslastung ist. In diesem Sinn kann die Kalkulationsfalle einer Vollkostenrechnung vermieden werden. Vgl. Dierkes (1993), S. 42 ff.; Kilger (1993), S. 857 f.; Dierkes (1998), S. 18.
- 8 Hinsichtlich der wichtigen, am Markt angebotenen Vertragsformen sei auf die Veröffentlichungen der einzelnen MRO-Shops auf den jeweiligen Homepages verwiesen. Vgl. z. B. www.geae.com; www.pwc.com; www.mtu.com
- 9 Vgl. Duarte Leite (2003), S. 28 f.
- 10 Grundsätzlich kann die Bewertung des Erfolges eines Vertrages anhand unterschiedlicher Ansätze erfolgen, die kompatibel zum grundsätzlichen Steuerungsmodell des entsprechenden Unternehmens gestaltet sein müssen. So könnte z. B. eine Bewertung auf Basis eines Kapitalwertes erfolgen, der sich aus der Summe der Barwerte der zukünftigen Cash Flows vor Einkommens-/Ertragsteuern und Finanzergebnis (CFBiT) ermitteln lässt. Auf weitere Erfolgsgrößen zur Steuerung von derartigen Verträgen wird aus Vereinfachungsgründen verzichtet.
- 11 Vgl. Duarte Leite (2003), S. 29.
- 12 Vgl. Duarte Leite (2003), S. 29.
- 13 Vgl. Rupp (2001), S. 2.
- 14 Vgl. zu den allgemeinen Ursachen von Abweichungen: Steglich (2001), S. 33 ff.
- 15 Weitere Ursachen für Ergebnisabweichungen können in Wechselkursrisiken, inflationären Effekten auf dem Beschaffungsmarkt bzw. internen Störgrößen des Operators bzw. des MRO-Shops bestehen. Da für die beiden erstgenannten Effekte entsprechende Ansätze zur Gegensteuerung existieren und interne Effekte grundsätzlich von den beiden Vertragspartner beeinflussbar sind, sollen diese Abweichungsursachen in die Betrachtung der Risiko- bzw. Chancenstrukturen der Vertragsarten nicht mit einbezogen werden.
- 16 Vgl. Sieben/Schildbach (1994), S. 50 ff.
- 17 Vgl. Sieben/Schildbach (1994), S. 52 f.
- 18 Vgl. Duarte Leite (2003), S. 28 ff.

Kilger, W. (1993): Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung, 10. Aufl., bearbeitet durch K. Vikas, Wiesbaden 1993.

Kloock, J. (1993): Betriebliche Kostenpolitik aus planungsmäßiger und kalkulatorischer Sicht, in: R. Federmann (Hrsg.), Betriebswirtschaftslehre, Unternehmenspolitik und Unternehmensbesteuerung, Festschrift für G. Mann, Berlin 1993, S. 181-200.

Sieben, G./Schildbach, Th. (1994): Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie, 4. Aufl., Düsseldorf 1994.

Steglich, M. (2001): Zielwertorientierte Auswertung von Kostenabweichungen, Wiesbaden 2001.

Repp, F. (2001): Assessment of the Different Costs Linked to Maintenance, in: Hüttel, T. et al. (Hrsg.), Tagungsband des DGLR Workshops „Maintenance von Flugzeugen und Triebwerken“ am 5. und 6. Juli 2001, DGLR-Bericht 2001-03.

Rupp, O. (2001): Maintenance Cost for Civil Aircraft Engines, in: Hüttel, T. et al. (Hrsg.), Tagungsband des DGLR Workshops „Maintenance von Flugzeugen und Triebwerken“ am 5. und 6. Juli 2001, DGLR-Bericht 2001-03.

Autor

Dr. Mike Steglich

MTU Maintenance Berlin-Brandenburg GmbH

Dr.-Ernst-Zimmermann-Straße 2, 14974 Ludwigsfelde

Telefon +49 3378 824271

E-Mail: mike.steglich@lud.mtu.de

Literatur

Dierkes, S. (1998): Planung und Kontrolle von Prozeßkosten, Wiesbaden 1998.

Duarte Leite, J. (2003): Engine contract comparisons, in: The Engine Yearbook, Engine Yearbook 2003, S. 26-31.

Haberstock, L. (1998): Kostenrechnung I, 10. Aufl., bearbeitet durch V. Breithecker, Hamburg 1998.



Entwicklung eines Drucksensors mit optischer Auswertung der Membrandeformation

Hartmut Stoltenberg, Herbert Postler

In diesem Artikel werden einige Elemente der Entwicklung eines Drucksensors auf der Basis eines neuen, zum Patent angemeldeten, optischen Prinzips dargestellt. Ausgangspunkt für die Entwicklung war die Forderung eines Medizingeräteherstellers nach einer Druckmessung in hochaggressiven Substanzen. Die Messung sollte vorzugsweise an einer leicht zu reinigenden Kunststoffmembran ohne Kavitäten erfolgen. Hinzu kam die Forderung nach Beständigkeit gegen hohe Medientemperaturen.

Durchgeführte Recherchen und Untersuchungen gemeinsam mit Partnern ergaben theoretische Ansätze zur Gestaltung der Anordnung und ihrer Umsetzung in drei Hauptbaugruppen. Umfangreiche Entwicklungsarbeiten und Versuche bestätigten die Richtigkeit der Ansätze. Das Funktionsprinzip konnte nachgewiesen werden.

Bevor im Einzelnen auf die Neuentwicklung Bezug genommen wird, soll kurz der Stand der Technik im Bereich Druckmessung/Drucksensorik dargestellt werden.

1 Prinzipien der Druckmessung

Die Prinzipien, die zur Messung von Drücken eingesetzt werden, sind ebenso vielfältig wie die Anwendungsbereiche der Druckmessung. Sie reichen von der Füllstandsmessung auf der Grundlage des hydrostatischen Druckes, über die Überwachung von Anlagenzuständen und Fördergeschwindigkeiten in der chemischen Industrie oder auch der Haustechnik bis zu Anwendungen in der Medizintechnik, der Fahrzeugindustrie und der Luft- und Raumfahrt.

Die zu messenden Medien unterscheiden sich ebenso wie die relevanten Druckbereiche.

Druckmessung kann in statischen – aber auch in hochdynamischen Betriebsfälle erforderlich sein.

Druck ist definiert als Kraft je Flächeneinheit. In technischen Anwendungen sind Drücke in Flüssigkeiten und Gasen von Interesse.

Jede Druckmessung ist relativ. Messungen erfolgen vielfach bezogen auf den umgebenden Luftdruck. Man spricht in diesem Fall von Gagetypen. Andere Messungen beziehen sich auf Vakuum bzw. in einem Volumen eingeschlossene Referenzdrücke. Ein Sonderfall ist die Differenzdruckmessung. Hierbei ist die Druckdifferenz zwischen zwei Punkten interessant, z. B. um Volumenströme zu bestimmen.

Im Folgenden soll ohne Anspruch auf Vollständigkeit ein Überblick über technische Verfahren der Druckmessung gegeben werden.

1.1 Flüssigkeitsmanometer

Das Flüssigkeitsmanometer besteht aus einem flüssigkeitsgefüllten U-Rohr. In dieser Form eignet es sich zum Messen von Druckdifferenzen und von Drücken oberhalb des umgebenden Luftdrucks. Wird eine Seite des Rohres verschlossen, sind auch Messungen bezogen auf das Vakuum möglich. Eine Sonderform des Flüssigkeitsmanometers ist das Kolbenmanometer oder auch Druckwaage. Hier wirkt über einen Kolben eine Gewichtskraft auf die Flüssigkeit. Mit einer solchen Anordnung können auch sehr hohe Drücke gemessen werden.

1.2 Federmanometer

Federmanometer bestehen aus einem elastischen Element, das sich unter Druckeinwirkung verformt. Im einfachsten Falle handelt es sich dabei um eine Membran, an deren einer Seite ein Referenzdruck anliegt. An der anderen Seite wird der zu messende Druck zugeführt. Um den vielfältigen Messaufgaben gerecht zu werden, wurden eine Vielzahl von Lösungen entwickelt. Dazu gehören die verschiedensten Dosen, die je nach Anwendung ein Referenzdruckvolumen enthalten oder mit dem zu messenden Druck gespeist werden. Eine weit verbreitete Form ist das Röhrenfeder-(Bourdonfeder-)Manometer. Dabei handelt es sich um eine einseitig geschlossene, kreisförmig gebogene Röhrenfeder, die sich unter Druck streckt. Diese Streckung wird meist auf entsprechende Zeigerwerke übertragen.

1.3 Sonderformen

Für hohe Drücke ist die Anwendung eines elektrischen Manometers möglich. Ausgenutzt wird, dass ein stromdurchflossener Manganindraht unter hohem Druck seinen Widerstand ändert.

Für Vakuummessungen nutzt man die Änderung des Wärmeleitvermögens oder die Änderung der Ionisationsfähigkeit von Gasen mit abnehmendem Druck.

2 Drucksensoren, Drucktransmitter

Ein Sensor erzeugt aus einer physikalischen oder chemischen, allgemein nichtelektrischen Messgröße ein elektrisches Signal. Man unterscheidet den eigentlichen Aufnehmer (Sensor), der die Umsetzung ohne eine aktive Signalaufbereitung vornimmt, den Messumformer (Transmitter), der ausgehend vom Sensorsignal ein definiertes oder genormtes Ausgangssignal bereitstellt und das elektrische Messgerät, das die Messgröße oder einen

aus ihr abgeleiteten Wert anzeigt und ggf. zur Weiterverarbeitung bereitstellt. In [1] werden elektrische Druckmessgeräte, ihr Aufbau und die zugehörigen Begriffe definiert. Dort werden auch Messprinzipien (u. a. optisch) genannt. Da im vorliegenden Fall der Schwerpunkt auf optische Verfahren gelegt werden soll, werden diese im Folgenden entsprechend hervorgehoben.

2.1 Nichtoptische Drucksensoren

Für die Erzeugung eines Messsignals aus der physikalischen Größe Druck sind eine Reihe von Lösungen entwickelt worden. Gemeinsam ist nahezu allen Verfahren, dass die Durchbiegung einer Membran ausgewertet wird. Die Auswertung erfolgt nach piezoresistiven, piezoelektrischen, kapazitiven, induktiven oder DMS-Prinzipien. Diese Prinzipien stellen bestimmte Anforderungen an das Membranmaterial. Membranmaterial ist im allgemeinen Stahl, Keramik oder Silizium. Ist das Messmedium mit diesen Membranen unverträglich, wird mit Vorlagen gearbeitet. Zwischen die eigentliche Messmembran und das Messmedium wird z. B. ein Ölvolumen mit einer zweiten, medienkompatiblen Membran geschaltet.

2.2 Optische Drucksensoren

Drucksensoren unter Nutzung optischer Prinzipien spielen gegenwärtig eine untergeordnete Rolle. Sie können wie folgt eingeteilt werden:

- **Sensoren, die auf der Verbiegung von Fasern beruhen.**
Diese messen die Lichtmenge, die durch die Wand der Faser verloren geht. Sie beinhalten eine Multimodefaser mit Stufenindex. Diese befindet sich auf der Membran. Ein Druck verbiegt die Membran und damit die Faser, was zur Folge hat, dass die Faser an Lichtdurchlässigkeit verliert. Alternativ ist es möglich, polarisiertes Licht durch eine monomodale Faser zu senden. Wird die Faser einer mechanischen Belastung unterzogen, kommt es zu einer Veränderung der internen Reflexionseigenschaften und damit zu einer Drehung der Polarisationssebene. Diese Drehung ist auswertbar.
- **Sensoren, die auf der Reflexion von Licht beruhen.**
Ein Lichtstrahl wird durch eine Faser senkrecht auf eine Oberfläche (Membran) gesendet. Das reflektierte Licht wird von derselben Faser aufgenommen. Die Intensität des durch die Faser reflektierten Lichtes ändert sich durch die Streuung an der Membranoberfläche in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Faser und Membran, z. B. [11], [12].
- **Sensoren, die auf Veränderungen von Transmissions-eigenschaften beruhen.**
Hier wird durch Druckänderung die Lichtausbreitung mehr oder weniger behindert. Im einfachsten Fall wird durch die Verbiegung der Membran eine Blende in den Lichtstrahl geschoben.
- **Sensoren, die interferometrische Prinzipien nutzen.**
Ein monomodaler Lichtstrahl wird in zwei Strahlen aufgeteilt, einen Messstrahl und einen Referenzstrahl.

Durch die Durchbiegung der Membran wird die Laufzeit des Messstrahls verändert, was sich in einem Phasenunterschied zwischen Messstrahl und Referenzstrahl niederschlägt. Auf diese Weise sind sehr geringe Membranauslenkungen detektierbar. Wenn die Durchbiegung der Membran ein Mehrfaches der Wellenlänge ausmacht, sind jedoch weitere Maßnahmen erforderlich, um ein eindeutiges Messsignal zu erhalten.

Bei allen diesen Sensoren wird entweder die Intensität, die Polarisationssebene oder die Phasenlage eines Lichtstrahls verändert.

2.3 Prinzip des neuen Drucksensors mit optischer Auswertung der Membrandeformation

Die Aufgabenstellung erforderte ein Messprinzip, das weitgehend vom verwendeten Membranmaterial unabhängig ist, die Auswertung kleiner Membrandeformationen zulässt, die Messaufgabe möglichst berührungslos realisiert und kostengünstig herstellbare Sensoren ermöglicht.

Die unter 2.1 dargestellten Sensorprinzipien konnten auf Grund der Einschränkungen in der Wahl des Membranmaterials nicht verwendet werden. Die unter 2.2 dargestellten Prinzipien ermöglichen zum großen Teil die berührungslose Messung und eine relativ freie Wahl des Membranmaterials. Sie sind aber auch mit erheblichen Nachteilen behaftet. Diese im Einzelnen für jede Variante zu diskutieren, sprengt den Rahmen dieses Artikels. Stellvertretend seien hier zwei Probleme genannt: Eines liegt in den zum Teil erheblichen Aufwänden zur Signalauswertung. Ein zweites liegt in der Notwendigkeit, für verschiedene Anordnungen Alterungserscheinungen der Lichtquelle zu kompensieren.

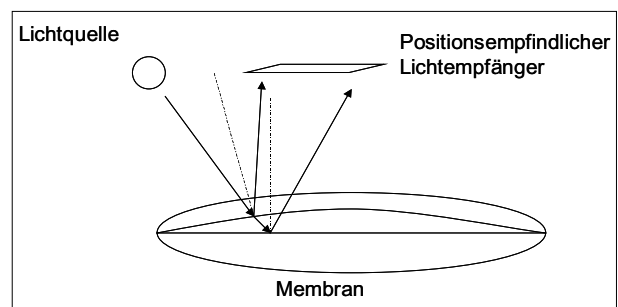


Abb. 1: Prinzip des optischen Drucksensors

Abbildung 1 zeigt die Grundidee des neuen Sensors. Entscheidend ist, dass die Durchwölbung der Membran annähernd „cosinusförmig“ erfolgt. Während in der Mitte der Membran lediglich eine druckabhängige Auslenkung erfolgt, kommt es im Bereich des halben Radius zu einer Überlagerung einer Auslenkung und einer Winkeländerung. Da die Reflexionsachse senkrecht auf der reflektierenden Oberfläche steht, ändert sich der Winkel des reflektierten Strahles um den doppelten Winkel der Membranauslenkung.

Theoretische Untersuchungen [6] zeigen, dass unter der Annahme einer fest eingespannten Membran mit 10 mm Durchmesser und 40 µm Auslenkung eine Strahlaus-

lenkung von 1.4° zu erwarten ist. Unter Ansatz eines Gausstrahles von 1 mm Durchmesser ergibt sich eine Signalverschiebung in den Empfängererelementen von sechs bis neun Prozent. Für andere Strahlformen und Abmessungen ergeben sich Werte in der gleichen Größenordnung. Bei einem Flat-Top-Profil mit 1 mm Durchmesser beträgt die Signaländerung mehr als $\pm 10\%$. Es ist ein nahezu linear vom Druck abhängiges Ausgangssignal zu erwarten.

Betrachtet wurden sowohl eine kollimierte LED als auch eine Laserdiode als Strahlungsquelle. Werden andere mechanische Dimensionierungen erforderlich, lassen sich die zu erwartenden Signaländerungen unter Verwendung der Ansätze aus [6] leicht bestimmen.

Ein wesentlicher Schritt zur Realisierung des Sensorprinzips wurde mit einer schrägen Anordnung der optischen Baugruppe im Sensor getan. Dadurch wurde es möglich, die optisch aktiven Elemente in einer Ebene anzuordnen. Das kommt dem Leiterplattenprinzip entgegen und ermöglicht, Lichtsender und Empfänger auf der gleichen Baugruppe zu platzieren.

3 Realisierung des Sensorprinzips

Die Realisierung des Sensorprinzips verlangte eine Reihe von Detaillösungen. Da die Zielstellung darin besteht, einen verkaufsfähigen Sensor herzustellen, spielten neben den Fragen von Funktion und Zuverlässigkeit auch Fragen der Herstellbarkeit und Kostenoptimierung eine wichtige Rolle. Es wurde von Anfang an auf minimale Teilezahl und einfache Montage orientiert.

3.1 Optische Baugruppe

Die in der Konzeptionsphase entwickelte winklige Anordnung ermöglicht die Anordnung der optisch aktiven Komponenten auf einer Baugruppe. Im Sinne der Miniaturisierung wurde zunächst nach einem Weg gesucht, Lichtsender und Empfänger auf einem Chip unterzubringen. Hier wurde als Partner das CiS Institut für Mikrosensorik gGmbH Erfurt gewonnen. Eine solche Lösung erwies sich als technisch machbar, jedoch ökonomisch im Rahmen des Projektes nicht realisierbar. Als Kompromiss wurde die in Abbildung 2 dargestellte optische Baugruppe entwickelt. Sie besteht aus einem Lichtsender (LED fokussiert durch eine Linse – im linken Teil der abgebildeten

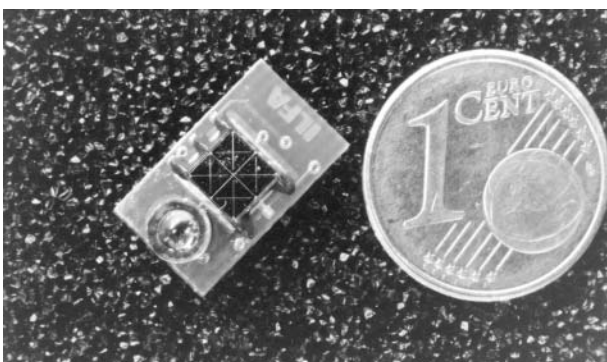


Abb. 2: Optische Baugruppe

Leiterplatte) und Lichtempfänger (Vierquadrantenfotodiode – im rechten Teil der abgebildeten Leiterplatte). Die Kontaktierung erfolgt über einen auf der Rückseite der Leiterplatte angeordneten SMT-Steckverbinder. Durch die gewählte Chip on Board-Technologie konnte eine weitgehende Miniaturisierung erreicht werden.

Parallel zu dieser Entwicklung wurde auch die Laserdiode als Strahlenquelle weiter betrachtet. Laserdioden als Chip standen beim CiS in Erfurt nicht zur Verfügung, so dass eine Lösung mit einer handelsüblichen gehausten Laserdiode und zwei lötbaren Fotodioden als Empfänger entstand. Im Gegensatz zur optischen Baugruppe mit fokussierter LED sind die notwendigen Technologien zur Herstellung der Baugruppe mit Laserdiode bei der Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH vorhanden. Ein weiterer Vorteil der Laserdiodenlösung ist der Wegfall der Fokussierung und damit des geklebten Tubusaufbaus. Nachteilig ist das Laserrauschen. Dieser Effekt verursacht ein zusätzliches Störsignal, das die Auswertung behindert.

3.2 Mechanisches System

Parallel zur Entwicklung der optischen Baugruppe wurden Entwicklungsarbeiten zum mechanischen System durchgeführt. Dabei wurden zwei Grundtypen betrachtet:

- Ein Drucksensor für den frontbündigen Einbau.
- Ein Drucksensor zur Einbindung in ein Schlauchsystem.

Die entsprechenden Lösungsansätze sind in Abbildung 3 und 4 dargestellt.

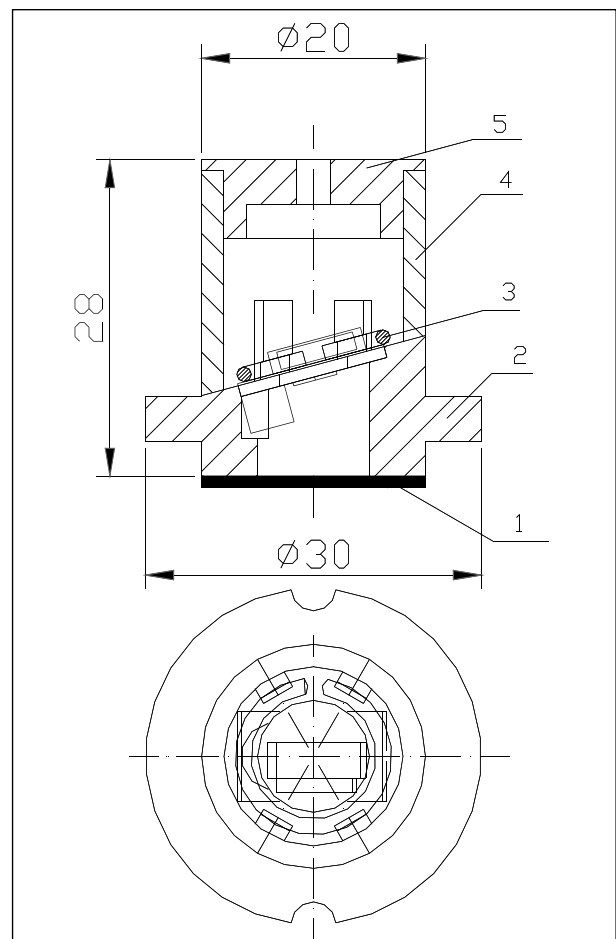


Abb. 3: Sensoraufbau mit frontbündiger Membran

Das Muster für den frontbündigen Einsatz (Abb. 3) ist mit einem Kragen am Grundkörper (2) ausgestattet, der eine Flanschbefestigung erlaubt. Der Ring (3) fixiert die optische Baugruppe im Grundkörper. Teil (4) gehört zum Grundkörper. Es ist lediglich aus Gründen der Herstellbarkeit für das Muster separiert worden. Wenn der Grundkörper als Spritzgussteil ausgeführt ist, werden Teil (2) und (4) als ein Teil gefertigt. Teil (1) ist die Membran. Sie wird ebenfalls mit dem Grundkörper in einem Stück gespritzt werden. Die Auflagekanten im Teil (4) sind für die Aufnahme der Auswerteelektronik vorgesehen. Für diese steht der Raum zwischen dieser Auflagekante und dem Verschlussdeckel (5) zur Verfügung.

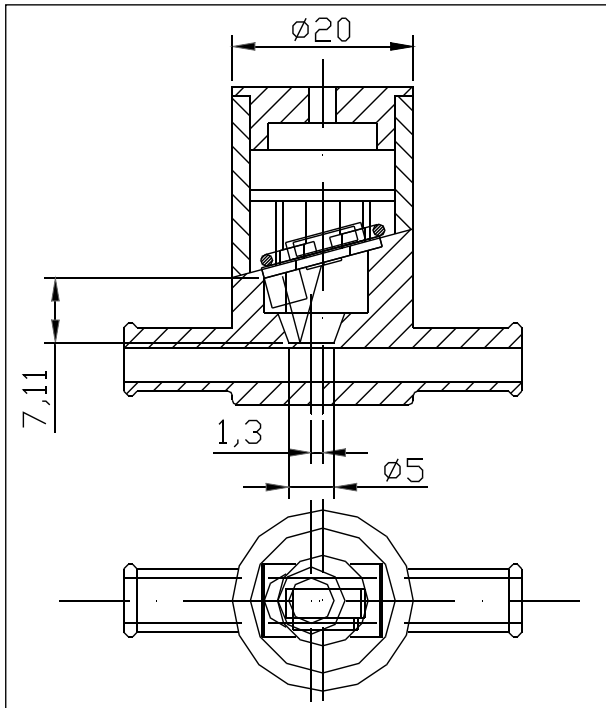


Abb. 4: Sensoraufbau für die Schlauchdruckmessung

Abbildung 4 zeigt die Lösung zur Schlauchdruckmessung. Eine alternative Variante zur Aufnahme der Elektronik, wie sie auch im Muster realisiert worden ist, zeigt Abbildung 5. Hier wird der Winkel der optischen Bau-

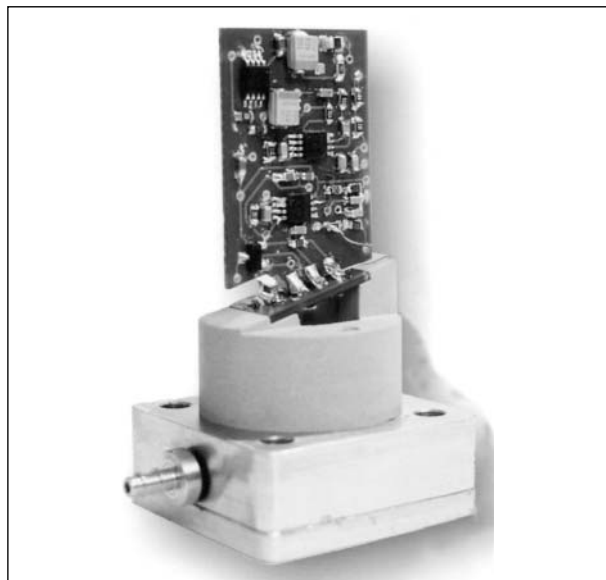


Abb. 5: Musteraufbau des optischen Drucksensors (ohne Gehäuse)

gruppe in der Leiterplatte aufgenommen, was eine unmittelbare Lötverbindung zwischen optischer Baugruppe und Leiterplatte erlaubt. Auf diese Weise sind zusätzliche Verbindungselemente in Form von Kabeln, flexiblen Leiterplatten oder ähnlichem entbehrlich.

Die Fertigung der Muster erfolgte in zwei Varianten. Neben der ursprünglichen Variante in Kunststoff entstand ein Muster mit Edelstahlgehäuse und Edelstahlmembran. Wie unter 2.3 ausgeführt, kann die Wahl des Membranmaterials weitgehend frei erfolgen. Es gibt jedoch Einschränkungen. Die erste Einschränkung ist, dass es optisch reflektierende Eigenschaften haben muss. Dabei ist keine ideale Reflexion erforderlich, es muss aber ein deutlicher Strahlschwerpunkt auszuwerten sein. Unter Beachtung der Bearbeitungsrichtung ist diese Forderung mit Edelstahl leicht zu erfüllen. Soweit Kunststoffe diese Forderung nicht erfüllen, ist es möglich, mittels entsprechender Beschichtung Abhilfe zu schaffen. Die zweite Einschränkung ist die Forderung nach Membraneigenschaften. Membraneigenschaften bedeutet an dieser Stelle, dass die Membran unter Druckbelastung definiert verformt wird, nach Entlastung aber wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt. Diese Eigenschaft wird von Edelstahl erfüllt. Kunststoffe zeigen jedoch eine Reihe von Eigenschaften, u. a. Kriechen, die zu Hysteresen und anderen Effekten führen. Diese Problematik wird noch Gegenstand ausführlicher Untersuchungen sein müssen, um hier zu befriedigenden Lösungen zu kommen. Erste Kontakte mit Partnern sind hierzu aufgenommen.

3.3 Elektronische Signalverarbeitung

Die optische Baugruppe ist mit Strom zu versorgen. Ihre Ausgangssignale müssen aufbereitet, korrigiert und mit der entsprechenden Schnittstellennorm für den Sensoranwender bereitgestellt werden. Idealerweise sollte die Elektronik keine Leistung aufnehmen, keinen Raum einnehmen, temperaturunabhängig arbeiten, alle im System auftretenden Fehler kompensieren, einfach und mit Standardbauelementen montierbar sein und nichts kosten. Der fertige Transmitter soll effektiv, unter Einsatz von Computerlösungen kalibrierbar und ggf. auch nachkalibrierbar sein.

Für die Realisierung des optischen Prinzips ist eine gewisse Leistung unverzichtbar. Sowohl die Lösung mit LED als auch die Lösung mit Laserdiode benötigt zur Erzeugung des notwendigen Lichtes Strom. Es muss sichergestellt werden, dass die Fotodioden hinreichend beleuchtet werden, um Fotoströme zu erzeugen, die weit genug über den Dunkelströmen der Fotodioden liegen, um rauscharme und weitgehend von thermischen Effekten unbeeinflusste Signale zu erhalten. Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Bauelemente gestatten nicht, einen optischen 4–20 mA Sensor als Zweidrahtlösung herzustellen.

Neben der Frage der elektronischen Bauelemente stellt sich hier natürlich auch nochmals die Frage nach der Optimierung des optischen Systems. Um eine gute Abdeckung der Empfängerelemente mit dem Lichtkegel zu

erreichen, muss u. a. die Oberfläche der Empfänger-elemente optimiert werden. Der Lichtkegel sollte einen bestimmten Gradienten aufweisen. Das führt zu besser auswertbaren Ergebnissen als ein scharfer Lichtpunkt.

Die Ausgangssignale der Photodioden liegen im μA - bis nA-Bereich. Um sie nutzbar zu machen, ist eine effektive Signalaufbereitung notwendig. Nach einer ersten Verstärkung werden sie einem Standardsensorschaltkreis zugeführt. Dieser Schaltkreis hat eine Reihe von Aufgaben. Die Wichtigste ist die der Fehlerkompensation. Auf Grund von Toleranzen im Herstellungsprozess differieren die Ausgangssignale von Sensor zu Sensor. Im Zuge eines Kalibrierprozesses werden Korrekturfaktoren für den Nullpunktoffset, Verstärkung, Temperaturoffset und eine temperaturabhängige Verstärkungskorrektur ermittelt und in den Standardsensorschaltkreis eingeschrieben. Zur Speicherung dieser Daten verfügt der Schaltkreis über einen EEPROM-Bereich, in dem diese Daten ausfallsicher gespeichert werden. Abhängig vom Typ sind weitere Korrekturen (z. B. abschnittsweise Linearitätskompensation) möglich. Das Blockdiagramm des in den Mustern eingesetzten Schaltkreises ist in Abbildung 6 dargestellt.

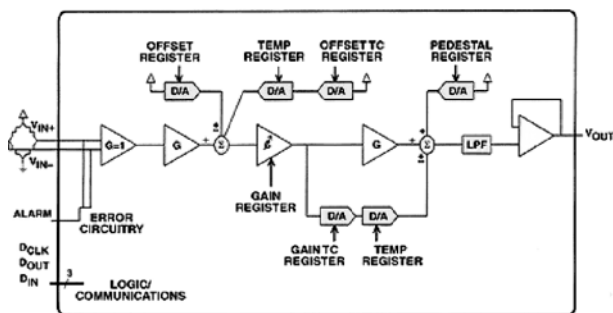


Abb. 6: Blockschaltbild des Standardsensorschaltkreises

Der Kalibrierprozess wird zukünftig automatisiert ablaufen. Ein Rechner steuert die Bereitstellung von Referenzdrücken unter den entsprechenden Temperaturbedingungen, liest die Sensorsignale aus, ermittelt die Korrekturwerte und speichert diese im Schaltkreis ab. Das Ausgangssignal des Standardsensorschaltkreises wird mit einer Endstufe dem Ausgangssignalwunsch des Kunden angepasst. Für den Fall eines digitalen Ausgangssignals ist die Verwendung eines Mikrocontrollers vorgesehen. Die Schaltungsentwicklung in diesem Bereich ist noch nicht abgeschlossen.

4 Erreichter Stand

Der Prototyp des Sensors zur Messung von Drücken im Bereich von 0 bis 1 bar mit einem Ausgangssignal von 0 bis 10 V konnte auf der Hannovermesse Industrie 2003 der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Die Resonanz zeigte, dass die Konzentration auf eine frontbündige Lösung richtig war. Sie traf das Interesse der Besucher. Dabei konnten eine Reihe weiterer Anregungen zu ihrer Gestaltung aufgenommen werden. Großes Interesse galt auch der Entkopplung von Membran und Elektronik und dem damit verbundenen erweiterten Temperaturbereich. Konkrete Untersuchungen zu den erreichbaren Temperaturgrenzen stehen noch aus. Großes Interesse herrscht

auch an der Druckmessung im mbar-Bereich. In diesem Zusammenhang steht die Frage nach einer geeigneten Membrankonstruktion mit hoher Überlastfestigkeit. Dazu ist die Untersuchung geeigneter Kunststoffe fortzusetzen.

Neben der vorgestellten Variante mit einem Ausgangssignal von 0 bis 10 V sind die elektronischen Baugruppen für Varianten mit 4 bis 20 mA, RS485, PWM und CAN-Bus vorbereitet worden. Sie sind jetzt in Betrieb zu nehmen und den Kunden vorzustellen.

Mit dem Prototyp des Sensors ist ein wichtiger Teil des Weges zurückgelegt worden. Bis zu einer Serienproduktion des Sensors sind aber noch eine große Zahl von Aufgaben zu erfüllen und eine Reihe von Voraussetzungen zu schaffen.

Literatur

- [1] DIN 16086, Elektrische Druckmessgeräte, 1992
- [2] Pepperl, R.: Optische Abstandsmessung, Haus der Technik Fachbuchreihe, Vulkan-Verlag (1993)
- [3] Krieg, B.: Automatisieren mit Optoelektronik, Vogel Verlag (1992)
- [4] Schiessle, E.: Sensortechnik und Messwertaufnahme, Vogel Verlag (1992)
- [5] Sohler, W.; Volk, R.: Integrierte Optik – Potential für mittelständische Hersteller und Anwender von Mikrosystemen, VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH
- [6] Steiger, B.: Abschlußbericht Voruntersuchungen Optischer Sensor, unveröffentlicht (2002)
- [7] Stoltenberg, H.: Zwischenbericht zum PuV-Projekt „Optische Vorrichtung zum Messen des Druckes“ unveröffentlicht (2002)
- [8] Grudzien, Jr.: Optical Pressure Transducer, U.S. Patent 5,127,296 07.07 (1992)
- [9] Theobald, S.A.; Torcy, FR.: Differential-Drucksensor, Gebrauchsmuster (1995)
- [10] Barkhoudarian, Sarkis u.a.: Optical Pressure Sensor, U.S. Patent 4,620,093 (1986)
- [11] Hoffman, R. u.a.: Optical Pressure Sensor, WO 86/07445 (1986)
- [12] Hsu, Tsung-Yuan.: Fiber optic high temperature pressure sensor, EP 1 026 493 A2 (1994)

Autoren

Dr.-Ing. Hartmut Stoltenberg

Technische Fachhochschule Wildau
Technologietransfer und Innovationsberatung
Telefon +49 3877 984124
E-Mail: hstolten@tfh-wildau.de

Dipl.-Ing. Herbert Postler

Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH
Laborstraße 1, 19322 Wittenberge
Telefon +49 3877 984124
E-Mail: info@prignitz-mst.de

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Landes Brandenburg gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.



Aus der Geschichte Europas auf dem Weg zu einer europäischen Verfassung

Markus Vette

Am 1. Mai 2004 werden zehn Staaten neu in die Europäische Gemeinschaft (EU) aufgenommen.

Die Europäische Gemeinschaft, ursprünglich aus sechs Partnern gebildet, wurde zwar bereits mehrfach erweitert und umfasste im Jahr 2003 15 Mitgliedsstaaten, aber eine so umfangreiche Herausforderung wie die Erweiterung 2004 und die Reform der Institutionen stand ihr sicher noch nicht bevor. Denn mit der kommenden Erweiterung besteht die Chance, dass alle europäischen Völker ihre Angelegenheiten erstmals dauerhaft und institutionalisiert friedlich miteinander regeln können. Um kein Missverständnis aufkommen zu lassen: Der Friede selbst gilt nicht als Grundwert in der Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland. Grundwerte sind Freiheit, Solidarität und Gerechtigkeit. Aus dem Umgang mit diesen Grundwerten, aus deren Ausgestaltung erwächst der gesellschaftliche Frieden.¹ Gleichwohl berühren und bewegen der Friede und seine Erhaltung die Völker enorm, zwei Weltkriege im 20. Jahrhundert haben sich tief in das Gedächtnis der europäischen Völker eingeprägt. Diese Geschichte und Entwicklung muss eine Wertegemeinschaft, wie die Europäische Union eine ist, immer reflektieren. Das Recht in der Europäischen Union resultiert ja aus den gemeinsamen Werten und wirkt auf diese zurück. Es regelt das gesellschaftliche Zusammenleben in Wirtschaft, Sozialem, in Kultusangelegenheiten, von einzelnen Bürgern und kollektiven Akteuren. Europäisches Recht und europäisches Management sind keine abgehobenen theoretisierenden Versuche, sondern strukturieren zunehmend das gesellschaftliche Leben. Vor dem Blick auf die zukünftigen Entwicklungen ist ein Blick in die Geschichte geboten.

1 Aus der Geschichte Europas

Zum Verständnis der Geschichte Europas muss man sich die Mühe machen, die Geschichte der Völker Europas differenziert zu betrachten. Als Leitfaden dafür kann das Buch „Die Begründung Europas“ von Ferdinand Seibt² dienen. Seibt gibt einen „Zwischenbericht über die letzten 1000 Jahre“. Darin verortet³ er Europa in einem Dreieck, an dessen Spitzen Gibraltar, der Polarkreis und die eurasischen Steppen liegen.

Bis etwa zum Jahr 1000 betrachtet der Autor vor allem den Mittelmeerraum, der im Norden natürlich begrenzt wird durch die Alpen. Die Besatzung und Kultur des römischen Reiches in den geografischen Ausmaßen würde stark mit einer modernen Weinkarte übereinstimmen, bemerkt Seibt.⁴ Bedeutendste politische Gestalt war wohl um 800 Karl der Große, mit dem ein Dualismus von

Kaiser und Papst entstand. Handelswege führten entlang der Flüsse, die Alpenpässe hatten Monopolfunktion, oft mit Klöstern zur Beherbergung der Reisenden. Um die Jahrtausendwende (962) wurde das Heilige Römische Reich geschaffen und zunächst von den Ottonen mit Zentrum in Magdeburg⁵ regiert, dann von den Saliern (Speyer), den Staufern (Rothenburg), den Luxemburgern (Prag und Nürnberg) und schließlich bis 1804 von den Habsburgern (Wien).

Alle Wege der europäischen Priester führten nach Rom, so auch Martin Luther, die der europäischen Adligen als Kreuzfahrer (mit eigenem Rechtsstatus) nach Jerusalem und die der armen sämtlich gläubigen Menschen vornehmlich als vom Gesetz geschützte Pilger auf dem Jakobsweg in das spanische Santiago.⁶ Damit sind die drei wichtigsten Wallfahrtswege genannt. Kirchliche Erneuerungsbewegungen wurden verketzert oder führten zu neuen Orden, die etwa als Zisterzienser beginnend im 13. Jahrhundert die Mark Brandenburg rodeten, meliorierten und kultivierten.

Die Hanse als Städtebund ging zu Grunde, oberitalienische Städte vermochten sich dagegen auch politisch zu behaupten.

Die Kirche war vor 1000 eine Klosterkirche, erst später eine weltliche Predigerkirche. Seit 1054 war sie zwischen dem westlichen Rom und dem östlichen Konstantinopel, dem zweiten Rom, gespalten, seit Luther zusätzlich zwischen dem nördlichen lutherischen Wittenberg und dem katholischen Rom, die anglikanische Kirche nahm zeitnah eine separate Entwicklung. Der Sieg des Papstes im Investiturstreit von 1077 in Canossa war ein gefährlicher Sieg, denn er sollte sich langfristig als Niederlage erweisen. Im Heiligen Römischen Reich wählten seit 1356 die sieben Kurfürsten in Frankfurt/Main den Kaiser, in Aachen wurde er inthronisiert, bis 1530 wurde der Kaiser zuvor vom Papst in Rom gesalbt.

Mit Beginn des 16. Jahrhundert wird gewöhnlich der Begriff einer Zeitenwende verbunden. Die großen Entdeckungen, die Ausbreitung des Buchdruckes, die Reformation und Kopernikus werden genannt. Spanien und Portugal konnten zunächst am meisten von den neuen Ländern profitieren. Im 17. Jahrhundert wurde der konfessionell benannte Konflikt 30 Jahre lang ausgetragen, seine Folgen reichen bis weit in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts.

England köpfte 1648 seinen König, lange bevor die Franzosen den ihren köpften. Die Französische Revolution 1789–93 formte die Nation und diskreditierte zugleich den Demokratie-Begriff durch den Revolutionsterror, sie läutete das 19. Jahrhundert ein, das Jahrhundert des Bürgertums, der Industrialisierung, die Entstehung der sozialen Frage und beinahe abschließend die deutsche



Reichsgründung 1871. In Deutschland ging der politische Kampf wiederholt um eine Verfassung, die dann doch mit Blut und Eisen zustande kam.

Im 20. Jahrhundert gingen von Deutschland zwei Weltkriege aus. Zum Ende des 20. Jahrhunderts hat aber gerade Deutschland die Chance, den deutschen Einigungsprozess mit dem europäischen zu verbinden. So sollen hier einige Entwicklungslinien zum Geschichtsverständnis der beiden großen Nachbarn Deutschlands, Frankreich und Polen, vorgestellt werden.

2 Aus der Geschichte Frankreichs

Das Reich Karls des Großen wurde bekanntlich unter seinen Enkeln in drei Teile gegliedert, das westliche spätere Frankreich, das östliche Reich, aus welchem später Deutschland entstand und in das dazwischen liegende nach Lothar benannte Reich, später Lothringen, welches sich von der Nordsee bis an das Mittelmeer erstreckte. Nach Seibt wurden wichtige kulturelle Entwicklungen gerade in diesem mittleren, verbindenden Reich vermittelt.

Im 14. Jahrhundert stand das Papsttum im Exil in Avignon unter französischer Vorherrschaft. In Frankreich konnte sich nach langen Kämpfen mit England schließlich eine Zentralgewalt herausbilden, Paris wurde das Zentrum des Landes. Die Absicht König Franz' I., 1519 zum Kaiser des Heiligen Römischen Reichs Deutscher Nation gewählt zu werden, war erfolglos. Das änderte nichts daran, dass Franz I. in den kriegerischen Auseinandersetzungen der Reformationszeit mit den Päpsten und Kaiser Karl V. immer wieder eine aktive Rolle spielte, man musste mit ihm rechnen.

Obwohl nach dem Augsburger Religionsfrieden von 1555 bis 1618 die formal betrachtet längste Friedensperiode in Europa folgte, wirkte natürlich die Reformation Luthers und Calvins erheblich in der Gesellschaft, man erinnere sich an die Bartholomäusnacht in Paris von 1572 und das Edikt von Nantes von 1598, dessen Aufhebung 1685 zur Emigration der Hugenotten, speziell nach Brandenburg, führte. Durch die enormen Verluste und Belastungen der deutschen Fürstentümer⁷ während des Dreißigjährigen Krieges 1618 bis 1648 gelangte nicht zuletzt wieder der Nachbar Frankreich in eine politisch offensive Position: Das katholische Frankreich und das protestantische Schweden fungierten als Schutzmächte des Westfälischen Friedens von Münster und Osnabrück. Diese Rolle hielt weder Ludwig XIV. von Frankreich davon ab, 1681 die deutsche Reichsstadt Straßburg zu besetzen, noch Schweden, die Mark Brandenburg und Pommern heimzusuchen. Der Übergriff der Schweden wurde bekanntlich durch den Großen Kurfürsten von Brandenburg mit der Schlacht bei Fehrbellin 1675 abgewehrt.

Mit der Französischen Revolution 1789 bis 1793 gab es eine neue Agenda in der europäischen Politik. Auf deren Verbindungen mit der amerikanischen Unabhängigkeitserklärung von 1776 bzw. der amerikanischen Verfassung von 1787 soll hier nicht eingegangen werden.

Das lange 19. Jahrhundert war besonders in Frankreich ein Jahrhundert wechselnder Konstitutionen, in Deutschland war es bis Bismarck nur das Jahrhundert des Wun-

ches nach einer Konstitution.⁸ In Frankreich zählt man gegenwärtig die 5. Republik, deren Entstehung und Entwicklung zwei Kaiserreiche und zahlreiche Verfassungen zugrunde liegen, was einen Exkurs in die französische Verfassungsentwicklung nahe legt.⁹

Mit dem deutsch-französischen Krieg 1870/71 wurde Elsass/Lothringen deutsch besetzt und Lothringen geteilt, es begann das Denken in den Kategorien des Erbfeindes auf der Ebene der Nation. Im besetzten Gebiet wurde man zum Deutschen, es sei denn, man wählte bzw. optierte für den Weg ins Innere Frankreichs und wurde so zum Optanten. Im Ersten Weltkrieg folgten die Schlachten von Sedan und Verdun, wovon angeblich „im Westen nichts Neues“¹⁰ zu berichten gewesen sei. An der deutsch-französischen Grenze wurden in den zwanziger Jahren durch einen französischen Kriegsminister, André Maginot, 58 Befestigungsanlagen mit 400 Bunkern und 1,5 Millionen Tonnen Beton errichtet, 5 Milliarden Franc wurden verbaut. 30 000 Mann Besatzung sollten diese Grenze verteidigen.¹¹ Man mag sich selbst einen Eindruck vom Ausmaß der Grenzbefestigungen an der französischen Maginot-Linie im Elsass und in Lothringen sowie vom deutschen West-Wall verschaffen, wenn man etwa die Festung Bitche (deutsch Bitsch) unmittelbar hinter der deutsch-französischen Grenze mit den gewaltigen unterirdischen Sälen und Verbindungen besichtigt.¹² Die Festung in Bitche prägt nach heute das Stadtbild.

Im Zweiten Weltkrieg wurde Frankreich weit durch deutsche Truppen besetzt. General de Gaulle organisierte den militärischen Widerstand und gehörte schließlich zu den alliierten Siegern. Umso wichtiger war, dass gerade de Gaulle und Adenauer nach dem Zweiten Weltkrieg die deutsch-französische Aussöhnung praktizierten, die Montanunion schufen, dass Frankreichs Außenminister Robert Schuman und sein Mitarbeiter Jean Monnet für die Entwicklung der europäischen Gemeinschaft eintraten. Straßburg wurde ein Zentrum und Kristallisationspunkt der europäischen Einigung. So findet man etwa heute noch im Straßburger Münster, dem seinerzeit höchsten Bauwerk der Christenheit, historische Fenster-Malereien sowohl von Heiligen als auch von Kaisern, die zur Legitimation der jeweiligen Macht und zur Belehrung des Volkes dienten, sowie in der Apsis ein Marienbild mit der Europa-Flagge im Hintergrund. Ein großer Zeiträumen wird so vermittelt.

3 Aus der Geschichte Polens

Nach dem Exkurs zum westlichen Nachbarn nun zum östlichen. Für den Umgang mit den polnischen Nachbarn sollten Kenntnisse der polnischen Geschichte vorhanden sein.

Im Jahre 1000 errichtete Kaiser Otto III. in Gnesen ein Erzbistum, welches die polnische Hauptstadt war. 1024 wurde Boleslaw zum König gekrönt. Bald darauf wurde für ein halbes Jahrtausend Krakau zur polnischen Hauptstadt. Die Heiratspolitik verband zunächst polnische und deutsche Herrscherhäuser. Zwischen 1320 und 1795 bestand das polnische Königtum. Im 13. und 14. Jahrhun-



dert kam es zu Städtegründungen „nach Magdeburger Recht“ bzw. nach deutschem Recht, womit eine gewisse Selbstverwaltung klassifiziert wird.

Seit dem 13. Jahrhundert lebte und kämpfte im Land der Pruzzen der Deutsche Orden, der u. a. die mächtige Marienburg in Elbing errichtete. Sein Einfluss ging nach der Niederlage bei Tannenberg¹³ 1410 schrittweise zurück. 1525 wandelte der Hochmeister des Deutschen Ordens, Albrecht von Ansbach-Brandenburg¹⁴, den Ordensstaat in ein weltliches Herzogtum um, nachdem er in den Jahren zuvor den Reformator Martin Luther kennen gelernt hatte.

Im 16. Jahrhundert blühte Krakau mit der von den Jagellionen errichteten Universität auf. 1543 erschien das Buch „De revolutionibus orbitum...“ des Thorner Kanonikers Kopernikus. Seit dem 16. Jahrhundert wurde der polnische König durch den Adel gewählt, dessen erforderliche Einstimmigkeit zu verhindern eine für interessierte Kräfte lösbare Aufgabe war, wie dies selbst der Preußenkönig Friedrich II. zwei Jahrhunderte später in seinem politischen Testament von 1752 freimütig niederlegte. Im Dreißigjährigen Krieg wurde Polen – zumindest im Vergleich zum benachbarten Brandenburg – verhältnismäßig verschont, denn es blieb neutral. Später musste es sich der Expansion Schwedens als Schutzmacht des Westfälischen Friedens erwehren und verband sich mit Russland. 1683 konnte Jan III. Sobieski in der Schlacht am Kahlenberg das bedrohte Wien (und damit das christliche Abendland, wie vielleicht Luther formuliert hätte) von den türkischen Truppen befreien. 1697 wurde August II. von Sachsen polnischer König, wie in jenen Jahren der Kurfürst von Hannover die englische und der Kurfürst von Brandenburg die preußische Krone erwarb. August II. blieb König bis 1704. Ihm folgte 1704 bis 1710 Stanislaw Leszczyński. August II. war wieder 1710 bis 1733 König, Leszczyński wieder 1733. Von 1733 bis 1763 war August III. König, ihm folgte mit Stanislaw August Poniatowski der letzte polnische König von 1764 bis zur dritten polnischen Teilung 1795. Warschau wurde zur Hauptstadt ausgebaut. Man baute in Warschau ähnlich wie zuvor im barocken Dresden.

1740 überfiel Friedrich II. Schlesien, das er sich in drei Kriegen endgültig aneignen sollte. Mit einem eroberten Münzprägestempel überschwemmte er den polnischen Staat mit gefälschten Münzen. Am 3. Mai 1791 verabschiedeten die Polen die erste Verfassung im Kontext der Französischen Revolution, noch vor den Verfassungen der Franzosen. Nur die amerikanische Verfassungsurkunde von 1787 war zu diesem Zeitpunkt bereits verabschiedet.

Preußen, Österreich und Russland vollzogen von 1772 bis 1795 mit den drei Teilungen Polens die Auflösung des polnischen Staates. Dies geschah im Vorfeld und im Kontext der französischen bürgerliche Revolution. Das Wahlkönigtum Polens wurde an die Wettiner gekoppelt, die Verfassung ein halbes Jahr vor der französischen verabschiedet. Der Saal im Warschauer Königsschloss, in dem die Verabschiedung stattfand, ist heute zu besichtigen und zeigt eine Faksimile der Verfassungsurkunde.

Der Inhalt der Verfassungsurkunde, insbesondere die Regelungen zur Religion, zum Staatsaufbau und zur

Gewaltenteilung werden nun kurz vorgestellt. Dem modernen Leser mögen die Formulierungen in dieser Verfassungsurkunde unspektakulär erscheinen und geläufig sein, seinerzeit war dies anders: Bereits in der Präambel wird eine doppelte Legitimation des Königs verankert, sowohl „von Gottes Gnaden“ als auch „durch die Stände“. Es sei daran erinnert, dass im „Heiligen Römischen Reich deutscher Nation“ Reichstagsabschlüsse durch „Kaiser und Reich“, letzteres vertreten durch die drei Stände der Kurfürsten, Fürsten und Städte, zusätzlich differenziert nach zwei verschiedenen Konfessionen, zustande kamen. Auch ist dem historisch informierten Leser die Weigerung des Preußenkönigs Friedrich Wilhelm IV. von 1849 in Erinnerung, die Wahl zum deutschen Kaiser durch die Frankfurter Nationalversammlung anzunehmen. Er wollte weiter „von Gottes Gnaden“ und der Zustimmung der Fürsten legitimiert bleiben.

Obwohl in der polnischen Verfassung als herrschende Religion die katholische bezeichnet wird, bekennt man sich zur Religionsfreiheit. Es folgen Verfassungsartikel zu den Ständen, also den Edelleuten und dem Landadel, den Städten und Städtern sowie den Bauern und Landleuten. Letzteren wird die „völligste Freiheit“ verkündet.

Weitere Regelungen betreffen die Regierung, den Reichstag, der aus einer Landbotenstube und einer Senatorenstube besteht, den König als vollziehende Gewalt und die Rechtssprechung. Der Landbotenstube obliegt die Gesetzgebung, in der Senatorenstube wird der König von Bischöfen, Woiwoden¹⁵, Ministern u. a. beraten. Der polnische Thron soll auf immer ein Familienwahlthron sein, der Inhaber auf Gott, die Nation und die Verfassung seinen Eid leisten. Für die richterliche Gewalt wird ein neuer Codex in Aussicht gestellt. Die Erziehung der Kinder des Königs als erste Kinder der Nation erfolgt zu Religion, Liebe, Tugend und zum Vaterland. Schließlich sollen die Bischöfe am 8. Mai (dem kirchlichen Gedenktag des Hl. Stanislaus) den Verfassungstag zelebrieren, der christlichen Erziehung der Nation dienend, eine Kirche soll gebaut und geweiht werden.

Eine Verfassungswidersetzung oder ein Verfassungsbruch sind gerichtlich zu ahnden.

Diese Verfassungsurkunde vom 03.05.1791 war die erste demokratische Verfassungsurkunde in der Verfassungsgeschichte Europas. Mit einem Gottesdienst bekräftigt wurde sie in der St. Johannes-Kathedrale in Warschau. Auch auf Gemälden ist dies dokumentiert. Wirksam wurde die Verfassung nicht, denn Polen wurde 1772, 1793 und endgültig 1795 geteilt. Russland erhielt den Osten (bis nahe Warschau), Österreich den Süden (mit Krakau), und Preußen den Westen (mit Gnesen), um die drei genannten historischen polnischen Hauptstädte beispielhaft zuzuordnen. Bis 1918 gab es keinen polnischen Staat als Völkerrechtssubjekt. Wohl gerade deshalb ist aus dieser Zeit ein reiches kulturelles Erbe des polnischen Volkes zu verzeichnen, das an seiner nationalen Identität festhielt und sich auf anderen als der politischen Ebene artikulierte.¹⁶

Woodrow Wilson forderte 1918 die Gründung eines unabhängigen polnischen Staates mit einem freien Zugang zum Meer. Der in Magdeburg internierte Pilsudski kehrte nach Polen zurück, wurde Oberbefehlshaber und Staats-



präsident. Nach dem Ersten Weltkrieg gab es unter der Maxime von Woodrow Wilson, den Völkern ihr Selbstbestimmungsrecht einzuräumen. Nationalistische Auseinandersetzungen in Gebieten, wo sowohl deutsche und polnische Menschen lebten, waren die Folge. In die Minderheit geratene Volksgruppen wurden, wie 1871 im Elsass und in Lothringen, vielfach zu Optanten, die ihre Heimat verließen. 1919 wurde eine „Kleine Verfassung“ verabschiedet. 1921 fanden in Oberschlesien Volksabstimmungen über die künftige Zugehörigkeit entweder zu Deutschland oder zu Polen statt. 60 Prozent stimmten für Deutschland, Oberschlesien wurde daraufhin geteilt, Kattowitz wurde polnisch. Von 1919 bis 1939 gab es ein selbständiges Polen.

Durch einen Staatsstreich von Pilsudski wurde 1926 ein autoritäres System eingeführt. 1935 beschränkte eine neue polnische Verfassung das Parlament auf eine reine Beratungsfunktion. Im September 1939 wurde Polen erneut geteilt. Dem Nichtangriffspakt von Hitler und Stalin am 23.08.1939 folgte der deutsche Überfall auf Polen am 01.09., die Sowjetarmee besetzte am 17.09.1939 die Sowjetrussland zugewiesenen Gebiete. Es folgten deutsche Besatzung, Willkür, Deportation, Vernichtung in Konzentrations- und Vernichtungslagern in bislang unvorstellbarem Ausmaß. Die Erschießung von 4 000 polnischen Offizieren durch sowjetische Geheimdienste in Katyn wurde erst Ende der 1980er Jahre öffentlich. 1943 fielen beim Aufstand im Warschauer Ghetto 60 000 Menschen, beim Warschauer Aufstand 1944 verloren 200 000 polnische Menschen ihr Leben.

Im ostpreussischen Rastenburg verbaute man wie an der Grenze zum „Erbfeind“ Frankreich Unmengen von Beton für Hitlers Kriegsquartier. Im Zweiten Weltkrieg wurden schwerste Verbrechen an polnischen und jüdischen Menschen begangen, das Verhältnis der Nachbarn schien irreparabel zerstört. Nach Kriegsende wurden Menschen zwangsweise umgesiedelt: Aus dem früheren polnischen Osten, der an die Sowjetunion fiel, mussten Menschen in das nunmehrige westliche Polen an Neiße und Oder umsiedeln. Der Grenzverlauf zwischen dem deutschen und dem polnischen Staat wurde an Oder und Neiße bewusst kurz gewählt und festgelegt. Die deutschen Bewohner mussten ihrerseits von dem nun polnischen Gebiet nach Westen in das kleiner gewordene Deutschland wechseln. Polen und die DDR waren bald fest im sowjetischen Machtbereich verankert, die Bundesrepublik gehörte zur freien westlichen Welt. Sie ging den Weg der West-Integration.

In Polen wird die Nachkriegszeit bis zum Ende der Volksrepublik Polen gern in fünf zeitlich zu unterscheidende Etappen¹⁷ untergliedert:

1. Die Zeit zwischen Juli 1944 und Dezember 1948 wird als die Periode zwischen der Befreiung und der Implementierung des Einparteienstaates bezeichnet. an die Macht kam schlussendlich die zwangsweise Vereinigte Polnische Arbeiterpartei (PVAP), nachdem polnische Kommunisten und Linke verschiedener Prägung noch wenige Jahre zuvor ihre eigenen negativen Erfahrungen mit der Kaderpolitik des Generalissimus Stalin machen mussten.
2. Die Jahre 1948 bis 1956 werden als die Jahre des pol-

nischen Stalinismus bezeichnet. 1947 wurde eine vorläufige, am 22.07.1952 eine Verfassung der Volksrepublik verabschiedet. Auf dem Papier standen bürgerliche Freiheiten, Wahlen, eine parlamentarisch verantwortliche Regierung und mehr, in der Wirklichkeit lag die Macht beim Politbüro und der Nomenklatura. Tausende Todesurteile und Zehntausende in politischen Lagern sind in diesen acht Jahren zu beklagen.

Als architektonisches Relikt aus dieser Zeit grüßt den Besucher in Warschau immer noch der Kulturpalast, eine kleine Stadt für sich im Herzen der polnischen Hauptstadt.

Wie das ostdeutsche StalinStadt, heute Eisenhüttenstadt, verfügt Polen über eine ähnlich neu angelegte Stadt, Nowa Huta nahe Krakau, der demonstrativ 20 Jahre lang der (landesüblich katholische) Kirchbau verweigert wurde.

Mit der Anerkennung der Oder-Neiße-Grenze durch die benachbarte DDR wurde 1950 eine wichtige außenpolitische Entscheidung für Polen getroffen. 1953 bis 1956 war der führende polnische Bischof¹⁸, Kardinal Wyszyński, in Haft, da er jede politische Einflussnahme der herrschenden KP auf die Kirche zurückwies. Wyszyński als Primas der katholischen Kirche in Polen sollte später seinem Krakauer Kollegen Wojtyła prophezeien, er würde die katholische Kirche in das dritte Jahrtausend führen.

3. 1956 kam der 1948 abgesetzte Gomułka wieder an die Parteispitze, was ein besonderer Vorgang ist. Er hatte zuvor den Posener Aufstand geführt. Ihm gelang es, mit der katholischen Kirche, den freien also nicht kollektivierte Bauern und einer Reihe weiterer politischer Maßnahmen einen gewissen Kompromiss zwischen den maßgeblichen politischen Kräften im Lande zu erreichen. Dieser Kompromiss sollte bis 1980 tragen, wobei von 1970 bis 1980 Edward Gierek Parteichef war. 1970 kamen bei Arbeiteraufständen in Gdansk, Gdingen und Sopot Arbeiter ums Leben. 1970 wurde zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Polen der Warschauer Vertrag abgeschlossen, dessen Ratifizierung im Deutschen Bundestag eine harte innenpolitische Debatte mit sich brachte. 1972 gab es den Kniefall Willi Brandts in Warschau. Des Parteichefs Gierek Erfolgsrezept sollten eigentlich internationaler Handel und Weltwirtschaft werden, tatsächlich war das Land in kurzer Zeit hoffnungslos verschuldet sowie den Schwankungen der Weltwirtschaft ausgesetzt und diesen in keiner Weise gewachsen. 1975/76 machten Verfassungsänderungen Polen auch formal per Verfassungstext zum Staat unter der Vorherrschaft der Sowjetunion.
4. Als vierte Etappe ist die Periode der Gewerkschaft Solidarnosc von August 1980 bis Dezember 1981 zu bezeichnen. Im Oktober 1978 wurde der Krakauer Kardinal Wojtyła zum Papst gewählt. Am 31. August 1980 trotzten die Danziger Werftarbeiter mit dem Elektriker Lech Walesa der Regierung politische Rechte ab, Solidarnosc erreichte mit zehn Mio. Mitgliedern praktisch jede polnische Familie, jedes dritte KP-Mitglied war auch Mitglied der Solidarnosc-Gewerkschaft. Nach den polnischen Unruhen von 1980, als der Arbeiterführer Walesa in Danzig der Regierung



eine Vereinbarung abringen konnte, wurden in der DDR wieder antipolnische Ressentiments bemüht und vorsorglich private Kontakte nach Polen unterbunden.

5. Die Militärdiktatur General Jaruzelskis¹⁹ dauerte vom 13.12.1981 bis zum 22.07.1983. Der wirtschaftliche Niedergang wurde beschleunigt, am 08.10.1982 wurde die Gewerkschaft Solidarnosc endgültig verboten. Die polnische Volksrepublik existierte noch bis zum Runden Tisch und den ersten freien Wahlen 1989, die zu einem überwältigenden Sieg der Gewerkschaftskräfte der Solidarnosc führten. Mazowiecki wurde erster nichtkommunistischer Regierungschef.

1989 fiel die Mauer in Berlin, wenige Tage später, am 12.11.1989, fand in Kreisau auf dem Gut der Moltkes²⁰ ein Gottesdienst der Versöhnung statt, an dem Polens erster nichtkommunistischer Regierungschef Mazowiecki und Bundeskanzler Kohl teilnahmen. Letzterer war am Tag des Mauerfalls, dem 09.11.1989, in Warschau zu Gast.

Zehn Jahre später, 1999, ist Polen Mitglied der NATO, 15 Jahre später, im Jahre 2004, wird Polen EU-Mitglied sein. – Seit 1991 gibt es den deutsch-polnischen Vertrag über gute Nachbarschaft und freundschaftliche Zusammenarbeit. Am 07.12.1992 bekam die Republik Polen eine neue „kleine Verfassung“, am 17.10.1997 trat die neue Verfassung in Kraft. Der polnische Präsident wird für fünf Jahre gewählt, das Parlament besteht aus zwei Kammern: Im Sejm sitzen 460 Abgeordnete, im Senat gibt es 100 Sitze. Diese beiden Kammern werden alle vier Jahre gewählt. Das Referendum zum EU-Beitritt im Mai 2003 brachte die Zustimmung der polnischen Bevölkerung.

Wenn man heute in Warschau die Altstadt mit dem Schloss und dem Alten Markt besucht, trifft man viele Polen, vor allem Schulklassen, die nicht nur den Ort der ersten Verfassungsverabschiedung, das Warschauer Schloss, sondern auch den Ort der feierlichen Bestätigung dieser Verfassung, die Kirche²¹ „Johannes der Täufer“²² in der St. Johannes-Straße²³ unweit des Schlosses besuchen. Auf dem Weg zum historischen Alten Marktplatz Warschaus ist die Kirche nicht zu übersehen. Man begeht in Polen also nicht unbedingt den 1. Mai als Arbeiterfeiertag, allenfalls vielleicht im Verständnis der Heiligen Josefs als Patron der Arbeiter in der katholischen Kirche: Unmittelbar nach dem Ende der kommunistischen Herrschaft knüpfte man dagegen an die Verabschiedung der ersten geschriebenen europäischen Verfassung vom 03. Mai 1791 an. Der 3. Mai ist heute ein polnischer Nationalfeiertag.

4 Auf dem Weg zu einer europäischen Verfassung

Natürlich besitzen nicht nur das französische und polnische, sondern auch die anderen europäischen Völker, die zur Union gehören bzw. gehören werden, ihre Geschichte. Diese dienen ebenfalls als Rechtserkenntnisquellen, ihre Darstellung kann aber hier nicht erfolgen. Wenn es darum geht, nach der im westlichen Teil Europas über 1000 Jahre gewachsenen Verbindung von der Bre-

tagne über die Rheinschiene nach Italien nun die Osterweiterung der Europäischen Union zu vollziehen, die im übrigen Deutschland und speziell Brandenburg in die Mitte Europas (wieder zurück) positioniert, sollte man sich Kenntnisse über die europäischen Partner und speziell die unmittelbaren großen Nachbarn aneignen. Im Saarland, Rheinland-Pfalz, Luxemburg, Elsass, und Lothringen versteht man sich als eine Region.²⁴ Der deutsch-französische Kulturkanal arte ist etabliert. Die deutsch-französische Aussöhnung im Südwesten der Bundesrepublik seit 1950 mag als Erkenntnisquelle dienen, um die deutsch-polnische Aussöhnung vor allem im Nordosten der Bundesrepublik ab 1990 erfolgreich in Angriff zu nehmen.

Gerade die Beschäftigung mit der Geschichte der großen Nachbarn Deutschlands belegt: Das friedliche Zusammenleben der europäischen Völker ist in einer Wertegemeinschaft möglich. Statt Kriegsbefestigungen kann man andere Bauwerke errichten. Statt die Heimat als Optanten verlassen zu müssen, kann man für das friedliche Zusammenleben der Menschen optieren und dieses unter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung der Völker regeln bzw. managen.

Der europäische Konvent mit dem Ziel, eine europäische Verfassung zu erarbeiten, hat eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe. Es geht dabei nicht nur um das Europarecht im engeren Sinne, sondern um das Zusammenleben der Menschen und Völker im umfassenden Sinne, wozu Wissen, Kenntnisse und nicht zuletzt der Respekt vor den Partnern gehören.

Ausgewählte weiterführende Literatur

- Davies, Norman: Heart of Europe, Oxford, new edition, 2001.
 Escher, Felix; Vietig, Jürgen: Deutsche und Polen, nicolai, 2002. (ORB-TV-Produktion).
 Lebe, Reinhard: Ein Königreich als Mitgift, dtv 30792, 2000.
 Masing, J.: Die polnische Verfassung von 1791; in: Juristenzeitung Jg. 57, Nr. 9, S.428
 Regionalverwaltung Lothringen (Hrsg.): 2000 Jahre Lothringische Geschichte, 2000.
 Reinalter, Helmut (Hrsg.): Die polnische Verfassung vom 3. Mai 1791 vor dem Hintergrund der europäischen Aufklärung, Frankfurt am Main 1997.
 Seibt, Ferdinand: Die Begründung Europas, S. Fischer, 2002.
 Streinz, Rudolf: Europarecht, C.F.Müller, 1999.
 Vette, Markus: Eine europäische Verfassung nach Vorbild des deutschen Grundgesetzes? – ...; Lehrunterlage Europarecht TFH Wildau, 2000.
 Vette, Markus: Der Persönlichkeit nach bekannt..., BoD 2002.

Anmerkungen

- 1 „Gerechtigkeit schafft Frieden“ hieß eine These des ökumenischen Prozesses in den 80er Jahren.
- 2 Die Darstellung ist weniger auf Daten, Herrscher und Schlachten fixiert, sondern bietet vielmehr umfangreiche wirtschaftliche, soziale und kulturelle Bezüge, sie bildet den Leser in einem umfassenden Sinne.
- 3 Als Zeit werden 1 000 Jahre, als Raum bzw. Ort dieses geografische Dreieck genannt.



- 4 Seibt, Begründung Europas, S. 56.
- 5 Im Jahr 2002 gab es eine große Ausstellung zu Otto I. in Magdeburg.
- 6 Santiago de Compostella liegt im Nordwesten Spaniens.
- 7 Zu diesem Zeitpunkt waren die Elemente des Staates (noch) nicht gegeben, weshalb der Begriff des Staates etwa für Brandenburg vor Mitte des 17. Jahrhunderts nicht verwendet wird.
- 8 Die Existenz der Verfassungen des süddeutschen Raumes aus der Zeit von 1820 darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die führenden Staaten des deutschen Bundes, Österreich und Preußen, der Verfassungsforderung der Bundesakte nicht, spät oder restriktiv nachkamen.
- 9 s. Vette, Markus: Lehrunterlage Europarecht TFH Wildau, 2000.
- 10 Remarque, E. M. und andere Autoren ; Hinweise in Vette, M. : Der Persönlichkeit nach bekannt.
- 11 2000 Jahre Lothringische Geschichte, S. 95.
- 12 Vette, M.: Der Persönlichkeit nach bekannt...
- 13 Eine der ersten Schlachten des Ersten Weltkrieges ist mit dem Namen Tannenberg verbunden. Die Polen nennen diese Schlacht „Schlacht bei Grunwald“. Hitler führte am Tannenberg-Denkmal Feierlichkeiten durch.
- 14 Nicht zu verwechseln mit dem Erzbischof Albrecht von Brandenburg in Mainz, Kurfürst und Kardinal, an den sich Luther 1517 mit seinen Thesen wandte.
- 15 Verwaltungschef der untergeordneten Behörde auf regionaler Ebene.
- 16 Man sollte nicht übersehen, dass im 19. Jahrhundert auch in Deutschland eine reichhaltige kulturelle und wissenschaftliche Blüte zu verzeichnen war, erst im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts wurde der deutsche Nationalstaat politisch durchgesetzt.
- 17 Anlehnung an Norman Davies: Heart of Europe, The Past in Poland's Present, 2001, das in Warschau mehrfach als das beste polnische Geschichtsbuch bezeichnet wurde.
- 18 Es wird auch die Bezeichnung Primas verwendet.
- 19 Erst auf einer Festveranstaltung der ARD zum 30. Jahrestag des Warschauer Korrespondentenstudios wurde Anfang Februar 2003 festgestellt, dass General Jaruzelski in jedem Falle als polnischer Patriot gelten kann.
- 20 Der Freundeskreis der Hitlergegner um James Graf von Moltke wird als Kreisauer Kreis bezeichnet.
- 21 Es handelt sich um die Warschauer Bischofskirche, die Kathedrale, auf alten Stadtplänen als „Große Kirche“ bezeichnet.
- 22 Polnischer Kirchenname: Bazylika Archekatedralno sw. Jana Chrzciela.
- 23 Polnischer Straßenname: Swetjanska.
- 24 Die Region heißt Saarlux.

Hinweis: Redaktionsschluss dieses Beitrags März 2003.

Autor

Dr. Dr. Markus Vette

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht

Telefon +49 3375 508-972

E-Mail: mvette@wvr.fth-wildau.de