

Forschung, Entwicklung und Lehre



Erkenntnisse | Konzepte | Projekte

Aus dem Inhalt: Sicherheit von Unternehmensdaten auf Mobilendgeräten, Blended Learning, Detektion des Kartoffelspindelknollen Viroids, Regionale Potenziale von Energieholz, New Synthesis Route for PHD Polyols, Vorrichtungsbaukasten für komplexe Aufgabenstellungen, Marktforschung zum Kauf neuer Fernsehgeräte

ISSN 0949-8214

**Wissenschaftliche Beiträge
2011**

Impressum

Herausgeber

Der Präsident der Technischen Hochschule Wildau [FH]

Prof. Dr. László Ungvári

Bahnhofstraße

15745 Wildau

Tel. +49 3375 508-101

Fax +49 3375 500324

www.th-wildau.de

Redaktionskollegium der TH Wildau [FH]

Prof. Dr. rer. nat. Asta Richter

Prof. Dr. phil. Olga Rösch

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme

Prof. rer. pol. Frank Sistenich

Redaktionsleitung

Markus Vossel

Tel. +49 3375 508-673

markus.vossel@th-wildau.de

Gesamtherstellung

Verlag News & Media

Perelsplatz 18

12159 Berlin

Tel. +49 30 85962170

Fax +49 30 85962171

verlag@newsmedia.de

ISSN 0949-8214

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge

bei Quellenangabe frei.

Inhalt

- 5** Vorwort
- Schwerpunkt Biosystemtechnik|Bioinformatik**
- 7** *Katja Schulze, Jörn Glökler, Marianne Kadolsky, Marcus Frohme*
 Detektion des Kartoffelspindelknollen Viroids mit Hilfe der Loop Mediated Isothermal Amplification
- 13** *Christoph K. Tanne, Gero Göbel, Fred Lisdat*
 Entwicklung einer Glucosedehydrogenase-basierten Anode und deren Anwendung in einer Glucose/O₂-Bibrennstoffzelle
- Schwerpunkt Informations- und Kommunikationstechnologien**
- 23** *Henning Almus, Peter Bernhardt, Michael Hendrix*
 Sicherheit von Unternehmensdaten auf Mobilien Endgeräten
- 29** *Johannes Koslowsky, Danny Janz*
 Einflüsse elektronischer Spiele auf die Entwicklung von mobilen Endgeräten und deren Wert für die Nutzer
- 39** *Daniela Stärke, Stefan Kramer, Bernd Eylert*
 Mobile Phone as an Everyday Life Style Object – The Move from »Plain old Mobile« to »Electronic Brain in your Pocket«
- Schwerpunkt Managementsysteme**
- 47** *Bertil Haack, Claudia Schmidt*
 Analyse betriebswirtschaftlicher Kennzahlen zur Unterstützung von Managemententscheidungen
- 53** *Mareike Schultze, Marco Hahs, Stefan Siegemund*
 Regionale Potenziale für die Bereitstellung von Energieholz – Ergebnisse einer Studie in Nord-Ost Brandenburg

Schwerpunkt
Materialtechnik

- 61** *Anja Gäbler, Michael Hendrix, Michael Herzog, Eberhard Geßner*
Langzeitverhalten von weichballistischen Materialien
- 67** *Vladimir Peshkov, Rozeta Evtimova, Michael Herzog, Gerhard Behrendt*
New Synthesis Route for PHD Polyols
- 73** *Asta Richter, Chun-Liang Chen, Reinhard Kögler, Georg Talut*
Irradiation effects in nanostructured FeCrAl oxide dispersion strengthened steel

Schwerpunkt
Produktionssysteme und -technologien

- 81** *Rainer Berghaus, Achim Kehrein*
Numerische Aspekte einer Mechanik-Aufgabe
- 89** *Norbert Miersch*
Nutzung eines Vorrichtungsbaukastens für die Bearbeitung komplexer Aufgabenstellungen in Lehre und Praxis

Schwerpunkt
Wirtschaft und Governance

- 97** *Sascha Bartels, Fabian Bräuner, Mario Glowik, Roman Hawlitzky, Claudia Kottke, Claudia Liedtke, Julia Mücke, Matthias Schidzick, Christopher Weiß*
Marktforschung in der Praxis: Kundenpräferenzen beim Kauf eines neuen Fernsehgerätes

Lehre und Lernen

- 105** *Maika Büschenfeldt, Margit Scholl*
Blended Learning: Auf dem langen Weg zur neuen Qualität in der Lehre
- 117** *Olga Rösch, Bettina Strewe*
Studierende aus Russland an der Technischen Hochschule Wildau – Lernsituation und Anpassung an das Lernumfeld

Vorwort

Prof. Dr. László Ungvári



Die Nachfrage nach einem Studienplatz in Wildau steigt kontinuierlich: Für das Wintersemester 2010/11 verzeichnete die Hochschule gegenüber dem Vorjahr 0,7 Prozent mehr Studienbewerber. Erfreulich ist auch die verstärkte Nachfrage aus dem Ausland. Mehr als zehn Prozent der neuen Studierenden kommen aus Lateinamerika, Mittel- und Südostasien, Russland und den EU-Staaten. Insgesamt wurden zum Akademischen Jahr 2010/2011 rund 1.250 Studentinnen und Studenten neu immatrikuliert. Damit überschreitet die Gesamtzahl der Studierenden an der TH Wildau erstmals die 4.000er Marke. Auch der von Wildau nach St. Petersburg/Russland exportierte Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen erweist sich als »Renner«. Fast zehn Bewerber haben sich dort pro Studienplatz registrieren lassen.

Der positive Trend bei den Studienanfängern setzt sich bei unseren Absolventen fort. Diese stehen bei den Personalchefs deutscher Unternehmen hoch im Kurs, wie das Hochschulranking der »WirtschaftsWoche« vom Mai 2010 bestätigt. Danach gehört die TH Wildau im Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen zu den TOP 10 der Fachhochschulen, die ihre Absolventen am besten auf das Berufsleben und ihre Karriere vorbereitet haben. Für das Ranking waren 537 Personalchefs von deutschen Unternehmen, davon fast zwei Drittel von Konzernen mit mehr als 1.000 Beschäftigten, befragt worden.

In der angewandten Forschung und Entwicklung sowie beim Wissens- und Technologietransfer konnte die TH Wildau ihre bisherige Spitzenposition ebenfalls weiter festigen. Das geht aus der Zwischenbilanz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zum Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) hervor. Danach gehört die TH Wildau zu den TOP 5 der von innovativen kleinen und mittleren

Unternehmen (KMU) Deutschlands am meisten nachgefragten Forschungspartner. Bisher sind bundesweit 597 Forschungseinrichtungen Kooperationspartner von 2.596 Unternehmen in ZIM-Projekten. Die TH Wildau hat in diesem Rahmen über ihren Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen 18 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben vereinbart. Im Mittelpunkt stehen dabei die Kompetenzfelder »Neue Werkstoffe und Materialien«, »Regenerative Energietechnik«, »Biotechnologie« sowie »Mikro- und Nanotechnologien«.

Die Hochschulleitung unterstützt auch die stärkere interdisziplinäre Kooperation und Vernetzung ihrer Fach- und Forschungsbereiche. Dieses Engagement kam 2010 unter anderem in der Internationalen Konferenz »Mobilkommunikation und Gesellschaft« zum Ausdruck, die von Prof. Dr. Bernd Eylert zu seiner Emeritierung organisiert und durchgeführt wurde. Im Mittelpunkt der Konferenz standen Fragen wie »Ist Kommunikation nur ein Feld für Sozialwissenschaftler?« und »Wie stark ist oder sollte die Beziehung zu den klassischen Wissenschaften sein, die Telekommunikations- und Computertechnologien nutzen?« Wissenschaftler, Fachleute und junge Graduierte befassten sich mit den gegenseitigen Beziehungen und Abhängigkeiten und stellen ihre Forschungsergebnisse vor. Spitzenvertreter von Industrie und Interessenverbänden erläuterten ihre Sicht auf die Entwicklungsperspektiven der Telekommunikation. (Nachzulesen im gerade erschienenen Tagungsband, ISBN978-3-936527-23-0.)

Einen Einblick in weitere Themen und Projekte bieten wiederum die »Wissenschaftlichen Beiträge« der TH Wildau, die mit dem vorliegenden Heft im 16. Jahr erscheinen. Doch sind die hier abgedruckten Artikel nur ein kleiner Ausschnitt aus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit, denn zurzeit werden an unserer Hoch-

schule 228 Projekte bearbeitet. Ich lade Sie herzlich ein, sich einen eigenen Überblick über die Leistungsfähigkeit unserer Professoren, wissenschaftlichen Mitarbeiter, Studierenden und Einrichtungen zu verschaffen, und würde mich freuen, wenn Sie sich bei Ihrem nächsten FuE-Vorhaben für die TH Wildau als Kooperationspartner entscheiden würden.

Detektion des Kartoffelspindelknollen Viroids mit Hilfe der Loop Mediated Isothermal Amplification

Katja Schulze, Jörn Glökler, Marianne Kadolsky, Marcus Frohme

Zusammenfassung

PSTV ist ein hoch infektiöses Viroid, das in Kartoffeln verkleinerte und spindelähnliche Knollen verursacht. Um Ernteverluste vorzubeugen, ist eine Detektion in frühen Infektionsstadien von großer Bedeutung. Aufgrund ihrer hohen Sensitivität und Spezifität wird die PCR als Standardnachweisverfahren für PSTV verwendet. Nachteilig an dieser Methode sind der apparative Aufwand und die zeitaufwändige Durchführung.

Als viel versprechende Alternative konnte der Nachweis von PSTV mit Hilfe der Reverse Transcription Loop Mediated Isothermal Amplification (RT-LAMP) gezeigt werden. Hierbei handelt es sich um eine einfache und schnelle Methode, für die wenig aufwändige Laborausstattung benötigt wird. Dabei ermöglichte eine an den Amplifikationsprozess gekoppelte Fluoreszenzreaktion die Detektion von Produkten direkt nach der Nachweisreaktion mit dem bloßen Auge (bzw. unter UV-Licht). Die Ergebnisse konnten mit Hilfe einer Real Time Detektion des auftretenden Fluoreszenzsignals bestätigt werden.

Abstract

PSTV is a highly infectious viroid which leads to small and spindle shaped tubers in potatoes. The detection at an early stage of infection is important to minimize loss of harvest. Normally PCR is used for the detection of PSTV, because of its high sensitivity and specificity. Disadvantages of this method are the requirement of sophisticated equipment and the time consuming process.

As a promising alternative, the detection of PSTV with the reverse transcription loop mediated isothermal amplification (RT-LAMP) was shown. LAMP is a very fast and simple detection method requiring only standard laboratory equipment. A fluorescence reaction, coupled to the amplification process, allowed the detection of amplification products directly after the reaction with the naked eye (or under UV light, respectively). Real time detection of the occurring fluorescence signal was possible and confirmed the obtained results.

1 Einleitung

Das Kartoffelspindelknollen Viroid (PSTV – *Potato spindle tuber viroid*) ist ein zirkuläres, einzelsträngiges RNA-Molekül von 359 Nucleotiden Länge mit charakteristischer Faltung, das die Spindelknollensucht in Kartoffeln hervorruft [1]. Hauptsymptom ist die Bildung von kleinen spindelförmigen Kartoffelknollen. Dies kann zu großen Ernteverlusten führen und stellt eine ökonomische Bedrohung dar. PSTV kann neben der Kartoffel auch andere Mitglieder der Familie der Nachtschattengewächse infizieren. Es ist hoch infektiös und kann sowohl mechanisch als auch durch Insekten übertragen werden [2, 3].

Für die Detektion des Viroids wurden verschiedene Methoden entwickelt; u. a. die Hybridisierung mit Digoxigenin gelabelten RNA Molekülen [4] und die Isolierung von Viroiden mit Hilfe der Return Polyacrylamid

Gelelektrophorese [5]. Aufgrund seiner hohen Sensitivität ist das heutige Standardverfahren ein RT-PCR Protokoll, welches von Weidemann und Buchta entwickelt wurde [6]. Für eine parallele Detektion von weiteren Pflanzenpathogenen wurde die Multiplex RT-PCR eingeführt [7, 8]. Mit Hilfe der Multiplex-ELISA-PCR [9] können Amplifikationsprodukte durch eine enzymatische Farbreaktion detektiert werden. Die Detektion von Amplifikationsprodukten während der PCR wird durch einen Real Time RT-PCR Ansatz möglich [10].

Nachteil aller bestehenden Methoden ist, dass entweder eine nicht ausreichende Sensitivität erreicht wird oder dass teure Spezialausrüstung wie Thermocycler, Gelelektrophorese System oder Real Time PCR Gerät benötigt werden. Eine viel versprechende Alternative hierzu stellt die loop mediated isothermal amplification (LAMP) dar [11]. Die Methode ist leicht durchzuführen, benötigt nur einfache Laborgeräte und ermöglicht die

Amplifikation einer Zielsequenz unter isothermalen Bedingungen mit hoher Effizienz und Geschwindigkeit. Eine hohe Spezifität wird durch 4 verschiedene Primer gewährleistet, die an 6 spezifische Regionen der Zielsequenz binden (Abb. 1). Die Verwendung der *Bst* Polymerase, die eine Strangverdrängungsaktivität besitzt, ermöglicht eine Amplifikation bei gleich bleibender Temperatur [11, 12].

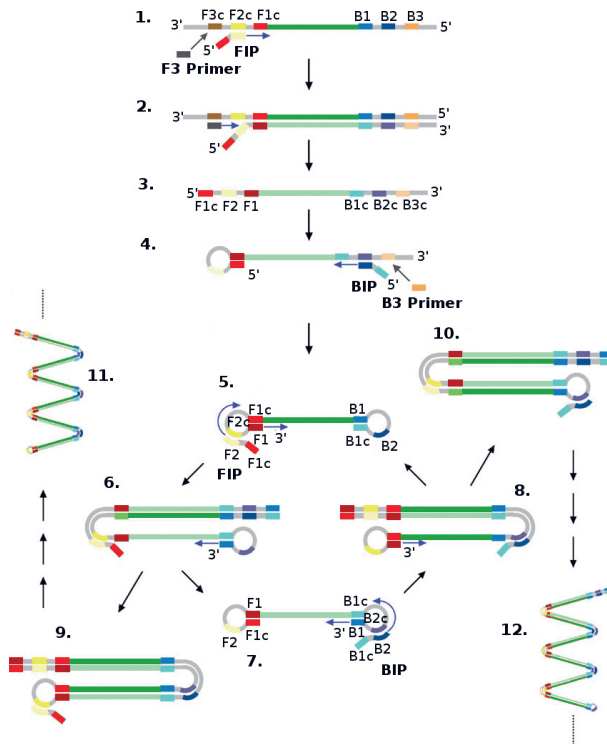


Abb. 1: Schema der LAMP Reaktion. Durch 4 verschiedene Primer, die an 6 unterschiedliche Regionen der Zielsequenz binden, und eine Strangverdrängungsreaktion wird die Hantelstruktur 5 gebildet. Anschließend wird die Sequenz durch selbstgeprinte Synthese und Strangverdrängung über einen Kreislauf vervielfältigt. Hierbei kommt es zur Bildung von unterschiedlich großen Produkten (Abbildung verändert nach [12]).

Als Nebenprodukt der Reaktion reichern sich Pyrophosphationen in großen Mengen an, die mit vorhandenen Magnesiumionen Komplexe bilden. Diese präzipitieren als weißer, deutlich sichtbarer Niederschlag und ermöglichen so eine Detektion von Reaktionsprodukten [13]. Tomita und Kollegen [12] konnten zeigen, dass durch den Einsatz des Fluoreszenzfarbstoffes Calcein und dem Quencher Mangandichlorid eine Verbesserung der Produktdetektion möglich wird. Dabei werden Manganionen während der Amplifikation mit entstehenden Pyrophosphationen komplexiert und das anfängliche quenching des Calceins wird rückgängig gemacht. Die entstehende Fluoreszenz des Calceins wird dabei zusätzlich durch die Komplexierung von vorhandenen Magnesiumionen verstärkt (Abb. 2).

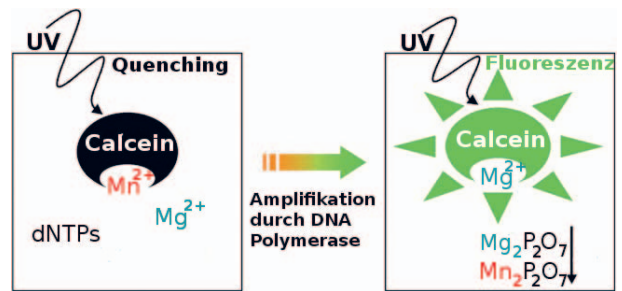


Abb. 2: Prinzip der Fluoreszenzreaktion zur direkten Produktdetektion mit Hilfe der LAMP-Methode. Zu Beginn der Reaktion ist das Calcein durch die Bindung von vorhandenem Mangan »gequenched«. Durch die Reaktion der Polymerase bildet sich Pyrophosphat, das mit dem Mangan komplexiert. Hierdurch wird das »quenching« des Calceins rückgängig gemacht (Abbildung verändert nach [12]).

Die Sensitivität von LAMP ist vergleichbar mit der von PCR basierten Detektionsmethoden und konnte für verschiedene Pflanzenviren und -viroide bestimmt werden [14-18]. Im Folgenden wird die Detektion von PSTV mit Hilfe von LAMP und einer gekoppelten Fluoreszenzreaktion gezeigt.

2 Material und Methoden

PSTV infiziertes positive Material wurde vom DSMZ Braunschweig – Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkultur (DSMZ PV-No.: PV-0064) bezogen. Als Negativkontrolle dienten gesunde Kartoffelpflanzen, die in einem kleinen Gewächshaus bei Raumtemperatur und 10 Stunden Beleuchtung gehalten wurden. Primer für die LAMP Reaktion wurden mit Hilfe der Primer Explorer Software (<http://primerexplorer.jp>) anhand der RefSeq Sequenz von PSTV (GenBank: NC_002030.1) konstruiert. Das Primerset besteht aus einem Forward Primer (F3), einem Backward Primer (B3), einem Forward Inner Primer (FIP) und einem Backward Inner Primer (BIP).

Für die RNA Extraktion wurde das RNeasy Plant Mini Kit (Quiagen) verwendet. Es wurden 100 mg Pflanzenmaterial in ein 1.5 ml Reaktionsgefäß gegeben und gründlich mit einem Mikrohomogenisator in 450 µl RLC Puffer zerkleinert. Das Lysat wurde anschließend in eine Qiashredder Spin Säule überführt und für 2 min bei 10.000 g zentrifugiert. Der Überstand wurde mit 0.5 Volumen Ethanol (99%) vermischt und in eine RNeasy Spin Säule überführt. Einer Zentrifugation (1 min bei 8.000 g) folgte ein Waschschriff mit 700 µl RW1 Puffer bei 8000 g für 1 min. Nach zwei Waschschriffen mit 500 µl RPE Puffer (gemischt mit 4 Volumenteilen Ethanol

(99%) bei 8.000 g für 1 min und 2 min wurde die gereinigte RNA mit RNase freiem Wasser durch Zentrifugation bei 8000 g für 1 min eluiert. Die Konzentration der RNA wurde mit einem Nanodrop Spectrophotometer bestimmt.

Die Reverse Transkription wurde in einem Volumen von 25 μ l durchgeführt. 500 ng RNA der aufgereinigten RNA Probe wurden mit 1 μ M des Backward Primers (B3) gemischt. Die Lösung wurde bei 90°C für 5 min denaturiert und für 5 min auf Eis gekühlt. 11 μ l des Mastermixes wurden anschließend zur Reaktionslösung gegeben. Der Mastermix bestand aus 50 Units M-MLV Reverse Transkriptase RNase H Minus Point Mutant (Promega); 5 μ l M-MLV RT 5x Reaktionspuffer (Promega); 0,5 mM dNTPs and 20 Units RNasin Ribonuklease Inhibitor (Promega). Die Reaktionslösung wurde bei 50°C für 60 min inkubiert. Inaktivierung der Reaktion erfolgte bei 70°C für 15 min.

Die LAMP Reaktion wurde bei Reaktionstemperaturen von 64°C, 65°C, 66°C, 67°C und 68°C durchgeführt. Der Mastermix (Gesamtvolumen 24 μ l) bestand aus 1,6 μ M (jeder) der Inneren Primer FIP und BIP, 0,2 μ M des Forward Primers (F3) und des Backward Primers (B3), 2,5 μ l 10x ThermoPol Reaktionspuffer (New England BioLabs), 1,2 mM dNTPs, 2 mM MgSO₄, 0,8 M Betaine, 1,5 mM MnCl₂, 25 μ M Calcein (Merck) und 1 μ l Ziel-DNA. Der Mastermix wurde bei 95°C für 5 min denaturiert. Nachdem die Temperatur für 5 min auf die Reaktionstemperatur reduziert wurde, wurden 8 Units *Bst* DNA Polymerase, large fragment (New England BioLabs) hinzugefügt. Die Amplifikation wurde für 1 Stunde durchgeführt. Die Reaktion wurde durch Inkubation bei 95°C für 2 min beendet. Nach der Inaktivierung wurden die Reaktionsgefäße bei Tages- und UV-Licht (Emissionswellenlänge = 312 nm) betrachtet. Zusätzlich wurden die Reaktionsprodukte mit einer Gelelektrophorese bei 70 V für 40 min in einem 2,5 % Agarosegel und 1x TAE Puffer aufgetrennt. Das Gel wurde in einer Ethidiumbromidlösung (0,5 μ g/ml) gefärbt und unter UV-Licht betrachtet.

Die Real Time Detektion wurde mit einer Anregungswellenlänge von 483 nm und einer Emissionswellenlänge von 533 nm im LightCycler 480 (Roche) durchgeführt. Die Reaktionslösung wurde analog der LAMP Reaktion vorbereitet. Nach Zugabe der *Bst* DNA Polymerase wurde die Reaktionslösung in eine LightCycler Inkubationsplatte gegeben, mit Sealing Folie verschlossen und bei 65°C für 90 min inkubiert. Während der Reaktion wurde jede Minute die Fluoreszenz der Probe

bestimmt. Die Reaktion wurde bei 95°C für 2 min gestoppt. Die Amplifikationsprodukte wurden mit einer Gelelektrophorese analysiert.

3 Ergebnisse

Es wurden RNA Proben von PSTV infiziertem Pflanzenmaterial und gesunden Kontrollproben verwendet. Die Reverse Transkription wurde mit dem PSTV-spezifischen B3 Primer durchgeführt.

Die Reaktion wurde zuerst ohne Denaturierung des Mastermixes und der cDNA durchgeführt. Hierbei konnte kein Reaktionsprodukt und kein Farbumschlag in der Reaktionslösung für die Positivprobe festgestellt werden (Daten nicht gezeigt). Nach einer Denaturierung von Mastermix und cDNA konnte ein weißer Niederschlag in der Positivprobe bei einer optimalen Reaktionstemperatur von 65°C festgestellt werden (Abb. 3a). Beobachtungen bei Tageslicht und UV-Licht zeigten einen deutlichen Farbumschlag (Abb. 3a) und ein starkes Fluoreszenzsignal (Abb. 3b) für die Positivprobe.

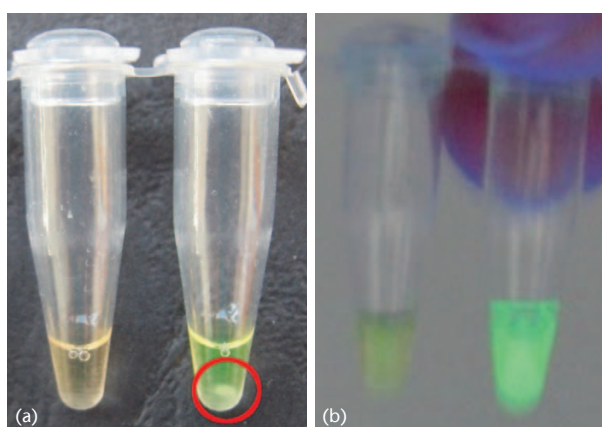


Abb. 3: Analyse der LAMP-Produkte bei (a) Tageslicht und (b) UV-Licht (links: nicht infizierte Probe, rechts: Positivmaterial). Im roten Kreis in Abbildung (a) ist der Mn/Mg-Pyrophosphat-Niederschlag zu erkennen.

Zusätzlich wurde eine Real Time Detektion mit Hilfe des LightCycler 480 durchgeführt. Hierbei wurde jede Minute die Fluoreszenz der Reaktionslösung ermittelt (Abb. 4). Es wurden Triplikate der Positivprobe und der Kontrollprobe verwendet. Zu Beginn der Reaktion zeigten alle Proben ein ähnliches Signal zwischen 180 und 220 Fluoreszenzeinheiten. Nach ca. 45 Minuten konnte für die Positivprobe ein linearer Anstieg von ca. 190 auf 1.200 Einheiten beobachtet werden. Die Kontrollprobe zeigte gleichzeitig einen nur sehr geringen Anstieg von ca. 50 Einheiten. Somit ergab sich nach 90 Minuten Re-

aktionszeit ein Unterschied von ca. 800 Fluoreszenzeinheiten zwischen Positivmaterial und nicht infiziertem Material.

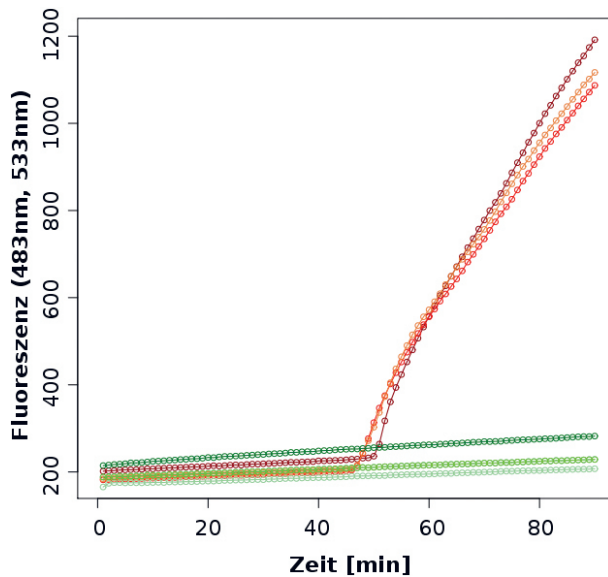


Abb. 4: Ergebnisse der Real Time Fluoreszenzdetektion (rot: Positivprobe, grün: nicht infizierte Probe)

Die Proben der Standardreaktion und der Real Time Detektion wurden zusätzlich mit einer Gelelektrophorese analysiert (Abb. 5). Für beide Methoden zeigten die Positivproben typische LAMP Produkte unterschiedlicher Größe. Zudem zeigten beide Positivproben identische Amplifikationsprodukte.

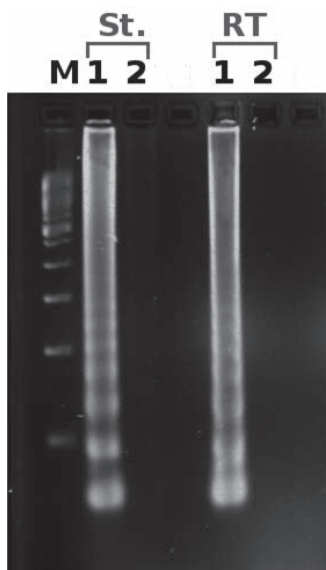


Abb. 5: Agarosegelelektrophorese der LAMP Produkte. Es sind jeweils Positivprobe (1) und nicht infizierte Probe (2) für die Standardreaktion (St.) und die Real Time Reaktion (RT) zu sehen (M: GeneRuler™ 1 kb).

Diskussion

Das *Potato spindle tuber viroid* ist ein Pathogen das großen Schaden an Kartoffeln hervorrufen kann. Schnelle und sensitive Nachweismethoden werden immer

wichtiger, um eine Verbreitung der Krankheit zu vermeiden. Obwohl RT-PCR eine sehr sensitive Detektion des Viroids ermöglicht, hat die Methode mehrere Nachteile. Sie ist sehr komplex in der Durchführung und zeitaufwendig. Zudem wird toxisches Ethidiumbromid für die Produktdetektion benötigt. Die Entwicklung von Real Time RT-PCR Methoden führen zwar zu einer Verringerung von Dauer und Aufwand des Nachweises, benötigen aber teure und anspruchsvolle Laborgeräte.

Die loop mediated isothermal amplification stellt hierbei eine sehr viel versprechende Alternative dar. Die isothermalen Reaktionsbedingungen ermöglichen eine sehr einfache Reaktion, für die nur ein günstiger Heizblock oder ein Wasserbad benötigt werden. Mehrere Ansätze zeigten, dass die Sensitivität dieser Methode mit der Sensitivität von PCR Reaktion vergleichbar ist [14, 16, 17]. Die Reaktion besitzt eine hohe Spezifität, da vier verschiedene Primer, die an 6 verschiedenen Regionen der Zielsequenz binden, verwendet werden. Während der Reaktion entstehende Pyrophosphationen, welche für eine gekoppelte Fluoreszenzreaktion genutzt werden können, ermöglichen eine sehr einfache Produktdetektion im Reaktionsgefäß ohne toxische Reagenzien.

Die typischen Reaktionsprodukte unterschiedlicher Größe konnten für die infizierte Probe nach einer Denaturierung beobachtet werden. Da PSTV durch starke Selbsthybridisierung (Faltung) charakterisiert ist, war diese notwendig, um die Bindung der Reaktionskomponenten zu ermöglichen. Es konnte eine optimale Reaktionstemperatur von 65°C bestimmte werden. Zusätzlich konnte durch einen sichtbaren Mn-Pyrophosphat Niederschlag der Quenchingeffekt für das zugegebene Calcein rückgängig gemacht werde. Die daraus resultierende starke Fluoreszenz ermöglichte somit die Identifikation von PSTV infizierten Proben mit dem bloßen Auge.

Die Real Time Detektion zeigte einen starken Signalanstieg nach 45 min für die infizierte Probe und unterstützt somit die vorhergehenden Ergebnisse. Der geringe Signalanstieg für die Kontrollprobe wurde wahrscheinlich durch die Bildung von kleinen Mengen an Primerdimeren hervorgerufen. Der große Unterschied von 800 Fluoreszenzeinheiten zwischen nicht infizierter und infizierter Probe ermöglicht hierbei trotzdem eine klare Unterscheidung zwischen positiver und negativer Probe.

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Wir schlagen die RT-LAMP als neue Nachweismethode für PSTV in Pflanzen vor. Im Vergleich zur RT-PCR handelt es sich hierbei um eine sehr schnelle und einfache Methode, für die nur einfache Laborgeräte benötigt werden. Somit kann die Methode in fast jedem Labor durchgeführt werden. Aufgrund dieser Vorteile schlagen wir weiterhin vor, dass die verantwortlichen Nationalen und Internationalen Autoritäten im Pflanzenschutz wie z. B. die European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) LAMP als alternative Nachweismethode für PSTV in ihren Richtlinien in Erwägung ziehen, sobald die Sensitivität der Methode bestätigt ist.

Forschungsergebnisse anderer Gruppen zeigen, dass die *Bst* Polymerase in der Lage ist LAMP unter Bedingungen durchzuführen bei denen die Taq Polymerase inhibiert wird. Beispiele sind Reaktionen mit extrahierter DNA aus Fäkalien [19] und mit Blut geblottetem Filterpapier [20].

Für die Zukunft scheint auch eine Anwendung des LAMP Nachweises im Pflanzensaft, trotz vorhandener inhibierender Substanzen wie z. B. Polysaccharide oder Phenolkomponenten, möglich. Mit weiteren Verbesserungen der Methode ist möglicherweise die Anwendung im Feld denkbar.

Die wesentlichen Experimente wurden im Rahmen der Masterarbeit der Erstautorin im Labor für Molekularbiologie und Funktionelle Genomik der Technischen Hochschule Wildau [FH] durchgeführt. Wir danken Prof. Dr. rer. oec. habil. Lothar Brunsch für die Betreuung des Teils dieser Arbeit, die sich mit wirtschaftlichen Aspekten auseinander gesetzt hat.

Wir danken der Firma Elsner pac® Jungpflanzen GbR (Dresden) für ihre Unterstützung und dem Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF), Brandenburg für die Hilfe bei der Schaffung von regulatorischen und administrativen Voraussetzungen.

Quellen

- [1] Sänger H L, Gross H J, Domdey H, Lossow C, Jank P, Raba M, Alberty H: Nucleotide sequence and secondary structure of potato spindle tuber viroid. *Nature* 1987, 273:203-208.
- [2] Singh R P, Kurz J: RT-PCR analysis of PSTVd aphid transmission in association with PLRV. *Canadian Phytopathological Society* 1997, 19: 418-424.
- [3] Seigner L, Kappen M, Huber C, Kistler M, Köhler D: First trials for transmission of Potato spindle tuber viroid from ornamental Solanaceae to tomato using RT-PCR and an mRNA based internal positive control for detection. *J Plant Dis Prot* 2008, 15:97-101.
- [4] Podleckis E V, Hammond R W, Hurtt S S, Hadidi A: Chemiluminescent detection of potato and pome fruit viroids by digoxigenin-labeled dot blot and tissue blot hybridization. *J Virol Methods* 1993, 43:147-155.
- [5] European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO): EPPO Standards: Diagnostic protocols for regulated pests PM 7/33. *EPPO Bulletin* 2004, 34:257-269.
- [6] Weidemann H L, Buchta U: A simple and rapid method for the detection of potato spindle tuber viroid (PSTVd) by RT-PCR. *Potato Res* 1998, 41:1-8.
- [7] Nie X, Singh R P: Detection of multiple potato viruses using an oligo(dT) as a common cDNA primer in multiplex RT-PCR. *J Virol Methods* 2000, 86:179-185.
- [8] Ragozzino E, Faggioli F, Barba M: Development of a one tube-one step RTPCR protocol for the detection of seven viroids in four genera: Apscaviroid, Hostuviroid, Pelamoviroid and Pospiviroid. *J Virol Methods* 2004, 121:25-29.
- [9] Shamloul A M, Faggioli F, Keith J M, Hadidi A: A novel multiplex RT-PCR probe capture hybridization (RT-PCR-ELISA) for simultaneous detection of six viroids in four genera: Apscaviroid, Hostuviroid, Pelamoviroid, and Pospiviroid. *J Virol Methods* 2002, 105:115-121.
- [10] Boonham N, González Pérez L, Mendez M S, Lilia Peralta E, Blockley A, Walsh K, Barker I, Mumford R A: Development of a real-time RT-PCR assay for the detection of Potato spindle tuber viroid. *J Virol Methods* 2004, 116:139-146.
- [11] Notomi T, Okayama A, Masubuchi H, Yonekawa T, Watanabe K, Amino N, Hase T: Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucl Acids Res* 2000, 12:E63-e63.
- [12] Tomita N, Mori Y, Kanda H, Notomi T: Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) of gene sequences and simple visual detection of products. *Nat Protoc* 2008, 3:877-882.
- [13] Mori Y, Nagamine K, Tomita N, Notomi T: Detection of Loop-Mediated Isothermal Amplification Reaction by Turbidity Derived from Magnesium Pyrophosphate Formation. *Biochem Bioph Res Co* 2001, 289:150-154.
- [14] Boubourakas I N, Fukuta S, Kyriakopoulou P E: Sensitive and rapid detection of peach latent mosaic viroid by the reverse transcription loop-mediated isothermal amplification. *J Virol Methods* 2009, 160:63-68.
- [15] Fukuta S, Kato S, Yoshida K, Mizukami Y, Ishida A, Ueda J, Kanbe M, Ishimoto Y: Detection of tomato yellow leaf curl virus by loop-mediated isothermal amplification reaction. *J Virol Methods* 2003, 112:35-40.
- [16] Fukuta S, Niimi Y, Oishi Y, Yoshimura Y, Anai N, Hotta M, Fukaya M, Kato T, Oya T, Kambe M: Development of reverse transcription loop-mediated isothermal amplification (RT-LAMP) method for detection of two viruses and chrysanthemum stunt viroid. *Annual Report of the Kansai Plant Protection Society* 2005, 47:31-36.

- [17] Varga A, James D: Use of reverse transcription loop-mediated isothermal amplification for the detection of plum pox virus. *J Virol Methods* 2006, 138:184-190.
- [18] Nie X: Reverse Transcription Loop-Mediated Isothermal Amplification of DNA for Detection of Potato virus Y. *Plant Dis* 2005, 89:605-610.
- [19] Bakheit M A, Torra D, Palomino L A, Thekiso O M, Mbatia P A, Ongerth J, Karanis P: Sensitive and specific detection of *Cryptosporidium* species in PCR-negative samples by loop-mediated isothermal DNA amplification and confirmation of generated LAMP products by sequencing. *Vet Parasitol* 2008, 158:11-22.
- [20] Alhassan A, Thekiso O M, Yokoyama N, Inoue N, Motloang M Y, Mbatia P A, Yin H, Katayama Y, Anzai T, Sugimoto C, Igarashi I: Development of loop mediated isothermal amplification (LAMP) method for diagnosis of equine piroplasmiasis. *Vet Parasitol* 2007, 143:155-160.

Autoren

Katja Schulze M.Sc.

Biosystemtechnik/Bioinformatik
Molekularbiologie und Funktionelle Genomik
Technische Hochschule Wildau [FH]
katja.schulze@th-wildau.de

Dr. Jörn Glökler

Abteilung für Wirbeltiergenomik
Max Planck Institut für Molekulare Genetik
Berlin

Dr. Marianne Kadolsky

Elsner pac® Jungpflanzen GbR
Dresden

Prof. Dr. Marcus Frohme

Molekularbiologie und Funktionelle Genomik
Technische Hochschule Wildau [FH]
marcus.frohme@th-wildau.de

Entwicklung einer Glucosedehydrogenase-basierten Anode und deren Anwendung in einer Glucose/ O_2 -Biobrennstoffzelle

Christoph K. Tanne, Gero Göbel, Fred Lisdat

Zusammenfassung

Unter Verwendung von mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren wurde in dieser Studie eine neuartige Anode zum Einsatz in Biobrennstoffzellen entwickelt. Dazu wurde das rekombinante Enzym Pyrrolochinolinchinon(PQQ)-abhängige Glucosedehydrogenase kovalent an eine aus PQQ bestehende Zwischenschicht gekoppelt, welche zuvor an die Kohlenstoffnanoröhren adsorbiert war. Die Nanoröhren wurden aufgrund ihrer Thiolmodifikation chemisorptiv auf einer Goldelektrode gebunden. In glucosehaltiger Lösung konnte der Start eines katalytischen Stroms bei einem Potential von -80 mV vs. Ag/AgCl (1 M KCl) beobachtet werden. Unter Substratsättigung wurden Stromdichten im Bereich von 170 bis 200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ gemessen. Dieses System basiert auf einem mediatorvermittelten Elektronentransfer.

Die entwickelte (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode wurde mit einer MWCNT-modifizierten Elektrode kombiniert, bei der Bilirubinoxidase (BOD) als Biokatalysator fungiert. Daraus resultierte eine membranfreie Biobrennstoffzelle mit einem Gleichgewichtspotential von 600 mV und Leistungsdichten im Bereich von 20-25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Abstract

In this study a biofuel cell anode is developed on the basis of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). Recombinant pyrroloquinoline quinone (PQQ) dependent glucose dehydrogenase is covalently coupled to a PQQ-layer which is adsorbed onto thiol-modified MWCNTs. The MWCNTs are chemisorbed to a gold electrode. In the presence of glucose a catalytic current starts at a potential of -80 mV vs. Ag/AgCl, 1 M KCl. Under substrate saturation current densities of 170 to 200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ can be achieved. The operation is based on mediated electron transfer of the enzyme.

This (PQQ)-GDH-MWCNT-electrode is combined with a MWCNT-modified electrode to which bilirubin oxidase (BOD) is covalently coupled. The resulting membrane-free biofuel cell has an open cell potential of 600 mV and can achieve power densities in the range of 20-25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

1 Einleitung

Aufgrund ihrer Fähigkeit, chemisch gespeicherte Energie effizient in elektrische Energie umzuwandeln, gewannen Brennstoffzellen in den letzten Jahren zunehmend öffentliches Interesse. Werden bei der Energieumwandlung biologische Katalysatoren verwendet, handelt es sich um so genannte Biobrennstoffzellen, welche bei Raumtemperatur und bei neutralem pH-Wert betrieben werden können. Allerdings werden dabei eher nur geringe Leistungsdichten erbracht. Aus diesem Grund ist ihr Einsatz zwar auf Anwendungen mit geringen Leistungsanforderungen fixiert, jedoch können sie eine Reihe unterschiedlicher organischer Brennstoffe, wie Glucose, Fructose oder Ethanol, kon-

vertieren. Wird der biokatalytische Umsatz eines Substrats durch Mikroorganismen bewerkstelligt, hat die Biobrennstoffzelle zwar eine verlängerte Lebensdauer, allerdings ist die Leistungsdichte zusätzlich gemindert. Hingegen sind auf reinen Enzymen basierende Brennstoffzellen zwar weniger stabil, erreichen jedoch höhere Energieausbeuten (Davis et al. 2007).

Für die Effektivität einer enzymatischen Biobrennstoffzelle ist ein schneller Elektronentransfer zwischen dem Enzym und der Elektrode ausschlaggebend. Dies kann durch Elektronentunneling erreicht werden. Daraus resultiert ein direkter Elektronentransfer (DET), ein schneller Mechanismus, der allerdings einen geringen Abstand zwischen dem aktiven Zentrum des Enzyms und der leitfähigen Oberfläche voraussetzt. Um dies zu

erreichen kann das Enzym kovalent an die Elektrode gekoppelt werden (Willner et al. 2009). Meist kann jedoch nur ein Mediator-vermittelter Elektronentransfer (MET) die elektrische Kommunikation zwischen dem Protein und der Elektrode realisieren. Dazu können mobile Mediatoren wie NAD⁺ und ABTS, immobilisierte Mediatoren auf Polymerbasis sowie leitfähige Polymere verwendet werden (Willner et al. 2009; Kim et al. 2006; Mao et al. 2003; Gallaway/Barton 2008). In polymeren Matrizen können große Mengen an Enzym immobilisiert werden, allerdings ist die Substratdiffusion limitiert. Die Fixierung kann durch die kovalente Kopplung der Biokatalysatoren an funktionelle Gruppen des Polymers oder einer festen Oberfläche stabilisiert werden.

In heutigen bioelektronischen Systemen kommen immer häufiger Materialien aus der Nanotechnologie zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein Wissenschaftsgebiet, in dem innerhalb der letzten Jahre viele Innovationen stattgefunden haben. Nanoskalierte Strukturen offerieren große Oberflächen, was die Möglichkeit hoher Enzymbeladungen erlaubt. Häufig werden Kohlenstoffnanoröhren genutzt (CNT, engl.: carbon nanotubes). Durch ihre einzigartigen mechanischen, strukturellen sowie elektrischen Eigenschaften sind sie sowohl als Elektrodenmaterial sowie als Elektrodenbeschichtung geeignet. Des Weiteren lassen sich Enzyme wirksam an sie koppeln, sofern die Nanoröhren funktionalisiert sind. Dadurch wird es möglich leistungsfähige Nano-Bio-Hybrid-Systeme im Miniaturformat zu konstruieren (Yang et al. 2007).

Innerhalb einer enzymatischen Biobrennstoffzelle werden für den Reduktionsprozess am kathodischen Element meist Laccasen, Peroxidasen oder Bilirubinoxidase (BOD) genutzt (Willner et al. 1998; Sakai et al. 2009; Wang et al. 2009; Kim et al. 2009). BOD wird oft verwendet, da sie in einem breitem pH-Bereich mit hoher Aktivität arbeitet (Otsuka et al. 2007). Es ist bereits mehrfach publiziert worden, dass sich BOD leicht an Elektroden immobilisieren lässt, welche mit mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren (MWCNT) modifiziert sind, wodurch ein direkter Elektronentransfer erreicht werden konnte (Weigel et al. 2007; Schubert et al. 2009; Zheng et al. 2010).

Im anodischen Kompartiment werden für den Oxidationsprozess meist Enzyme, wie Glucoseoxidase, Glucosedehydrogenasen sowie Alkoholdehydrogenasen angewendet. Die lösliche und PQQ-abhängige Form der Glucosedehydrogenase, (PQQ)-GDH, ist für den Einsatz in Biobrennstoffzellen besonders interes-

sant, da sie bei neutralem pH-Wert eine sehr hohe katalytische Aktivität aufweist und nicht von Sauerstoff abhängig ist (Ye et al. 1993; Yuhashi et al. 2005).

Der Elektronentransfer ist sowohl über den Mediator-vermittelten Weg als auch über den direkten Weg intensiv untersucht worden. Als Mediator werden häufig phenolische Verbindungen oder Cyanoferrate genutzt (Li et al. 2008; Lisdat et al. 1998). Es ist auch möglich (PQQ)-GDH an funktionalisierte einwandige Kohlenstoffnanoröhren zu binden und in diesem Fall einen direkten Elektronentransfer zu beobachten (Ivnitski et al. 2007). Weiterhin wurde publiziert, dass das Apoenzym dieser GDH-Variante an kovalent gebundenem PQQ rekonstituiert werden kann (Zayats et al. 2005).

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung einer neuen Proteinanode, welche potentiell in Biobrennstoffzellen Einsatz finden kann. Das Elektroden-system basiert auf thiolmodifizierten, mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren, welche chemisorptiv auf einer Goldelektrode fixiert sind. Die PQQ-abhängige GDH, welche die Oxidation von Glucose katalysiert, wurde als Biokatalysator gewählt. Des Weiteren wird eine Biobrennstoffzelle vorgestellt in welcher die (PQQ)-GDH-MWCNT-Anode mit einer BOD-MWCNT-Kathode kombiniert wird. Beide machen von der hohen bioelektrokatalytischen Aktivität der Enzyme an den goldgebundenen MWCNTs Gebrauch. Die grundlegenden Eigenschaften einer solchen membranfreien Biobrennstoffzelle sind bestimmt worden.

2 Material und Methoden

Reagenzien

Mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren (MWCNT) wurden von NANOCYL S.A. (Belgien) geliefert. 2-(4-(2-Hydroxyethyl)-1-piperazinyl)-ethan-sulfonsäure (HEPES) und 2-(N-Morpholino)ethan-sulfonsäure sind von AppliChem GmbH (Deutschland) bezogen worden. Zitronensäure wurde von Merck KGaA (Deutschland), Pyrrolochinolinchinon (PQQ), D-Glucose, 1-Ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimid (EDC), N-hydroxysuccinimid (NHS), Sulfo-N-succinimidyl-4-maleimidobutyrat (S-GMBS) und Bilirubinoxidase (BOD) aus *Myrothecium verrucaria* wurden von Sigma Aldrich Chemie GmbH (Deutschland) bezogen. Di-Natriumhydrogenphosphat und Kalziumchlorid wurden von Roth GmbH + Co KG (Deutschland) geliefert. Ethanol und Natriumacetat-Trihydrat wurden

von neoLab GmbH (Deutschland) bezogen. Silizium-carbidpapier war von Dieter Schmid Feine Werkzeuge GmbH (Deutschland). Sämtliche wässrige Lösungen sind mit gereinigtem (deionisiertem) Wasser aus dem Aufbereitungssystem »Ultra Clear direct« der Firma SG Water (Deutschland) hergestellt worden. Lösliche PQQ-abhängige Glucosedehydrogenase [(PQQ)-GDH] (MW=86.116 kDa) wurde als Apoenzym von Roche Diagnostics GmbH (Deutschland) großzügig zur Verfügung gestellt. Das Apoenzym wurde rekombinant aus *Escherichia coli* gewonnen, wobei die Gene für die Expression periplasmatischer Glucosedehydrogenase aus dem Bakterium *Acinetobacter calcoaceticus* stammen. Die aktive Form des Enzyms wurde in einer Konzentration von 1 mg/ml apo-GDH in 50 mM MES-Puffer bei pH 6,5 (mit KOH justiert) mit 1 mM CaCl₂ und 150 µM PQQ für 3 h bei Raumtemperatur rekonstituiert.

Präparation der Enzymelektroden

Aus einer MWCNT-Stammlösung (10 mg/ml in 5 mM Zitrat-Phosphatpuffer, pH 7) wurde ein Teil mit neun Teilen 96%-igem Ethanol vermischt und 8 bis 16 Stunden mit Ultraschall behandelt.

Goldelektroden wurden nass auf Siliziumcarbidpapier verschiedener Korngrößen (1.200, 2.000 und 3.000) geschliffen. Zweimal 4 µl MWCNT-Ethanol suspension wurden daraufhin nacheinander auf die Elektrodenfläche gegeben und getrocknet.

Für die Kopplung der (PQQ)-GDH wurde eine organische Zwischenschicht aus PQQ-Molekülen aus Lösungen mit 0,5 mM bzw. 15 mM PQQ auf den MWCNTs adsorbiert. Die Carboxylgruppen der abgelagerten PQQ-Moleküle wurden mit 100 µl von 50 mM EDC und 50 mM NHS über 15 Minuten chemisch aktiviert. Danach wurden 20 µl der 1 mg/ml Lösung rekonstituierter (PQQ)-GDH für eine Stunde auf die aktivierte Elektrodenfläche gegeben. Danach wurde die Elektrode dreimal mit 300 µl 50 mM MES-Puffer gewaschen.

Um die BOD an die MWCNT-modifizierte Goldelektrode zu koppeln, wurden die Elektroden nach dem Auftragen der Kohlenstoffnanoröhren für 30 Minuten in 8 mM Sulfo-GMBS-Lösung in 25 mM Natriumphosphatpuffer (pH 7,5) inkubiert. Danach wurden sofort 20 µl von 10 µM BOD-Lösung (BOD in 5 mM Zitrat-Phosphat-Puffer) für eine Stunde auf die MWCNT-Fläche der Elektrode aufgetragen. Unspezifisch gebundenes Enzym und weitere Verunreinigungen wurden im Anschluss dreifach mit Zitrat-Phosphat-Puffer (pH 7) abgewaschen.

Elektrochemische Charakterisierung

Für die elektrochemische Charakterisierung der beiden einzelnen Elektroden wurde die Dreielektrodenanordnung verwendet. Bei der Arbeitselektrode handelte es sich um eine Goldstabelektrode (geometrische Fläche: 2,01 mm²) von Bioanalytical Systems Ltd. (Großbritannien). Als Referenzelektrode diente eine Ag/AgCl-Elektrode (1 M KCl) von Microelectrodes Inc. (USA) und ein Platindraht als Gegenelektrode.

Voltammetrische Untersuchungen der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode wurden am Autolab PGSTAT12 (Metrohm) durchgeführt. Sämtliche elektrochemischen Messungen zur Untersuchung der Biobrennstoffzellenanwendung wurden mit dem Potentiostat Gamry Reference 600 (USA) vorgenommen.

Das Potential des Schaltkreises (über- und unterlastig) wurde im OCP-Modus mit dem Potentiostat mit der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode als Arbeitselektrode und der BOD-MWCNT-Elektrode in der Referenzelektrodenposition gemessen. Mit der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode als Arbeitselektrode und mit der BOD-MWCNT-Elektrode unter simultaner Schaltung in der Referenz- und Gegenelektrodenposition wurden galvanodynamische Messungen ermöglicht.

Für die Bestimmung des Gleichgewichtspotentials wurde die Zellspannung mit und ohne Stromfluss und für galvanodynamische Charakterisierungen 20 millimolare Glucoselösung in luftgesättigtem 50 millimolarem Puffer mit 1 mM CaCl₂ (pH 6,5) verwendet. Eine Scanrate von 2 nA/s wurde für die galvanodynamischen Messungen der enzymatischen Biobrennstoffzelle genutzt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Um sich die hohe bioelektrokatalytische Aktivität der BOD-MWCNT-Elektrode in einer Biobrennstoffzelle als Kathode zu Nutze zu machen, wurde eine neue Anode entwickelt, welche auf einem sehr ähnlichen Elektrodendesign basiert. Hierbei wurde eine elektrochemische Kommunikation der (PQQ)-GDH mit der MWCNT-modifizierten Elektrode realisiert. Diese Proteinelektrode wurde im Hinblick auf ihre Fähigkeit zur Glucoseoxidation untersucht. Im Anschluss wurde diese Elektrode mit der BOD-MWCNT-Kathode kombiniert und die Leistung der daraus resultierenden enzymatischen Biobrennstoffzelle untersucht.

Realisierung von (PQQ)-GDH-Elektrodenkontakten durch MWCNTs

Um einen Kontakt zwischen dem Enzym und der Elektrode herzustellen, wurde zunächst versucht (PQQ)-GDH aus einer gepufferten Lösung (pH 6,5) an den mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren zu adsorbieren. Die voltammetrische Untersuchung solcher Elektroden zeigte jedoch, dass in Glucose-haltiger Lösung kein DET beobachtet werden konnte. Daher wurde ein alternativer Weg gesucht. Es ist bekannt, dass sich PQQ leicht aufgrund seiner aromatischen Struktur an CNTs adsorbieren lässt, wodurch eine organische Zwischenschicht erzeugt werden kann (Goebel/Lisdat 2008). Dies vereinfacht auch die kovalente Kopplung von Enzymen, welche durch die chemische Aktivierung der PQQ-Carboxylgruppen mit Carbodiimid erreicht wird. Abb. 1. zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Proteinelektrode.

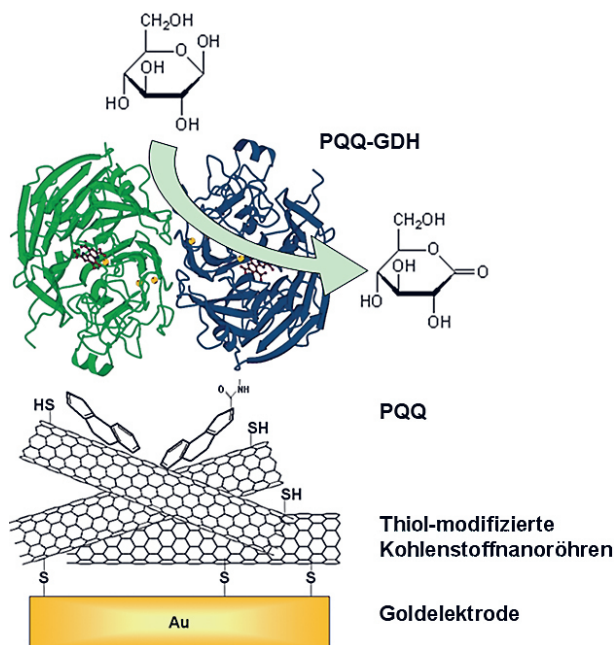


Abb. 1: Schematische Skizze des (PQQ)-GDH-Elektrodenesigns

Um die Realisierbarkeit des geplanten Aufbaus zu testen, wurde PQQ aus verdünnter Lösung adsorbiert und (PQQ)-GDH kovalent daran gekoppelt. Die so konstruierten Elektroden wurden anschließend über LSV-Messungen (Linear Sweep Voltammetry) elektrochemisch untersucht. Wie in Abb. 2a ersichtlich, erscheint bei Messungen in Glucose-freier Lösung ein Oxidationspeak nahe dem formalen Redoxpotential des PQQ (-80 mV vs. Ag/AgCl, 1 M KCl).

In weiteren voltammetrischen Messungen konnte ein erhöhter Strom in Anwesenheit von Glucose beob-

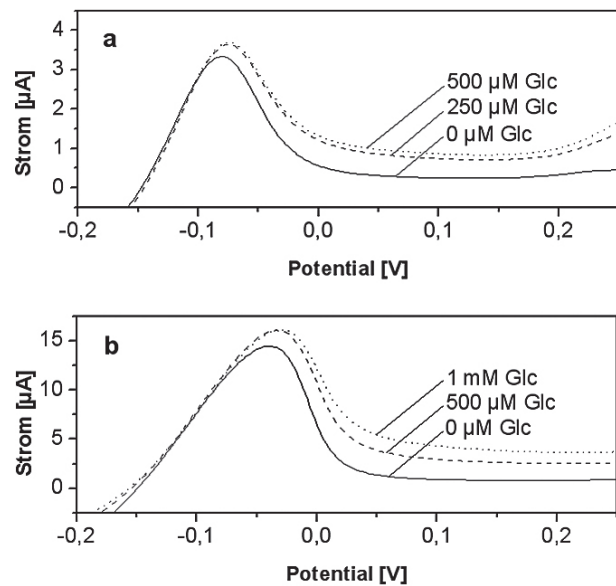


Abb. 2: Voltammetrische Untersuchung der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode: a) PQQ aus 500 µM-Lösung adsorbiert. b) PQQ aus 15 mM-Lösung adsorbiert (Messbedingungen: 10 mV/s, in 50 mM MES, 1 mM CaCl₂, pH 6,5, vs. Ag/AgCl, 1 M KCl).

achtet werden, welcher mit der Glucosekonzentration anstieg. PQQ interagiert mit der PQQ-abhängigen GDH in natürlicher Weise, da es auch der eigentliche Cofaktor dieses Enzyms ist.

Der Glucose-abhängige Stromanstieg wurde erst dann beobachtet, wenn alle PQQ-Moleküle oxidiert waren. Dies impliziert, dass das an den MWCNTs adsorbierte PQQ als Mediator in diesem System fungiert, anders als bei einer BOD-PQQ-MWCNT-Kathode, wo es als Promoter agieren konnte (Goebel/Lisdat 2008).

In der ersten experimentellen Reihe wurde PQQ aus eher niedrig konzentrierter Lösung (0,5 mM) adsorbiert. Dieser Ansatz war zwar erfolgreich, es wurden jedoch meist nur geringe Ströme in Anwesenheit von Glucose erzielt. Die Oberflächenkonzentration des PQQ betrug dabei 5 ± 2 nmol/cm² (ausgehend von der geometrischen Elektrodenfläche). Zur Erhöhung der katalytischen Aktivität der Elektrode wurden höhere PQQ-Oberflächenkonzentrationen untersucht. Um diese zu erreichen, wurde die MWCNT-beschichtete Elektrode vor der Enzymkopplung mit 15 mM PQQ-Lösung behandelt. Abb. 2b zeigt das voltammetrische Verhalten einer solchen Elektrode. Die zu beobachtende Vergrößerung der Oxidationspeakfläche deutet auf größere Mengen an CNT-fixiertem PQQ. Aus den Ergebnissen mehrerer Messungen wurde eine durchschnittliche PQQ-Oberflächenkonzentration von 26 ± 2 nmol/cm² berechnet (ausgehend von der geometrischen Elektrodenfläche). Die dadurch erreichte Verbesserung im

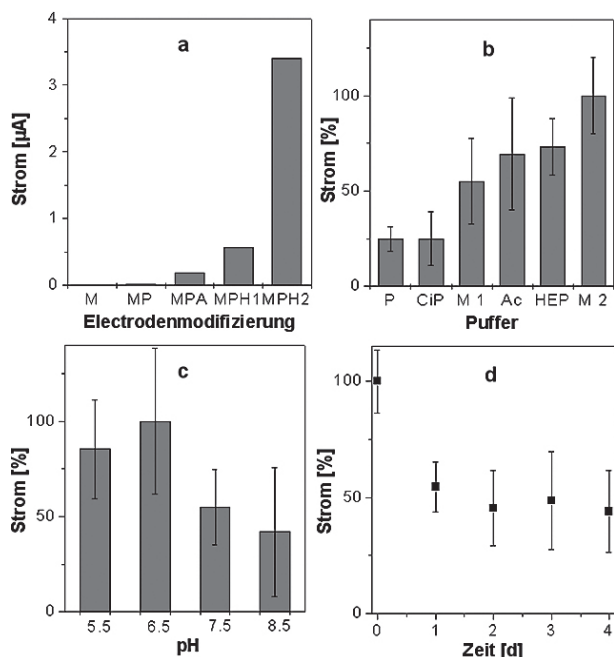


Abb. 3: Voltammetrische Stromantwort der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode bei 1 mM Glucose und 0,1 V vs. Ag/AgCl (1 M KCl, 10 mV/s)
 a) In Abhängigkeit der Elektrodenmodifizierung: M: MWCNT-Elektrode; MP: MWCNT-PQQ-Elektrode; MPA: MWCNT/PQQ-Elektrode mit apo-GDH; MPH1: MWCNT/PQQ-Elektrode mit holo-GDH; MPH2: MWCNT/PQQ-Elektrode mit holo-GDH. (PQQ wurde aus einer 0,5 mM Lösung an die MWCNT adsorbiert, nur für MPH2 wurde PQQ aus einer 15 mM PQQ-Lösung verwendet; Messbedingungen: 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5)
 b) In Abhängigkeit der Pufferzusammensetzung: P: 50 mM Phosphat-Puffer, pH 6,5; CIP: 50 mM Citrat-Phosphat-Puffer, pH 6,5; M 1: 50 mM MES-Puffer, pH 6,5; Ac: 50 mM Acetat-Puffer, pH 6,5; HEP: 50 mM HEPES-Puffer, pH 6,5; M 2: 50 mM MES-Puffer, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5
 c) In Abhängigkeit des pH-Wertes (Messbedingungen: 50 mM MES, 1 mM CaCl_2)
 d) Langzeitstabilität der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektroden (Messbedingungen: LSV, 10 mV/s, 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5; Lagerungsbedingungen: 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , 100 μM PQQ, pH 6,5, 4 °C) Die Abbildungen b) bis d) zeigen die relative Änderung des Stromsignals im Vergleich zur stärksten Stromantwort. Die Fehlerbalken resultieren aus 3 unabhängigen Messungen.

Elektronentransfer zwischen dem Enzym und der Elektrode zeigte sich in erhöhten Stromdichten. Unter Verwendung der gleichen Enzymkopplungsstrategie wie zuvor, konnten in Anwesenheit von Glucose ebenfalls höhere Ströme beobachtet werden (170-200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$). Dies deutet darauf hin, dass eine hohe Oberflächenkonzentration an PQQ günstig für die Kontaktierung vieler (PQQ)-GDH-Moleküle ist.

Zur Validierung der Glucoseoxidation im Falle immobilisierter (PQQ)-GDH wurden zusätzlich Negativkontrollen durchgeführt. Waren die Elektroden nur mit MWCNTs oder nur mit MWCNTs und adsorbiertem PQQ modifiziert, so wurde kein katalytischer Strom detektiert (Abb. 3a). Allerdings muss erwähnt werden, dass

sich geringe katalytische Ströme beobachten ließen, wenn an das adsorbierte PQQ zusätzlich das Apoenzym der GDH gekoppelt wurde, was mit einer wahrscheinlichen Rekonstitution einiger der Enzymmoleküle zur Holoform erklärbar ist.

Sensorische Funktion der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode

Mit Hilfe amperometrischer Messungen, wurde die optimierte Proteinelektrode auf ihre Sensitivität untersucht. Abb. 4 zeigt, dass der stationäre Strom von der Glucosekonzentration abhängig war. Im Bereich von 5 bis 500 μM verhielt sich der Strom linear ansteigend mit der Glucosekonzentration und ging im Bereich von 500 μM bis 5 mM in einen Sättigungsbereich über. Daraus ließ sich ein Maximalstrom von (9,9 μA) berechnen, bei dem das Enzym mit maximaler Umsatzrate arbeitete. Messungen mit hoher Glucosekonzentration (10 mM) bestätigten diese Berechnung.

Zusätzlich wurde der apparente K_M -Wert mit 160 μM berechnet. In der Literatur finden sich Werte für GDH in Lösung von 0,5 bis 22 mM (Laurinavičius et al. 2003; Dokter et al. 1986). Für immobilisierte (PQQ)-GDH sind die Werte der apparenten Michaelis-Menten-Konstante im gleichen Bereich (Razumiene et al. 2000; Li et al. 2008). Der hier berechnete Wert deutet darauf hin, dass die Substratsättigung bereits bei eher geringen Konzentrationen erreicht wird, was wahrscheinlich durch starke Wechselwirkungen zwischen dem Protein und den mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren verursacht wird, die den Zugang des Substrats Glucose zum Enzym erschweren.

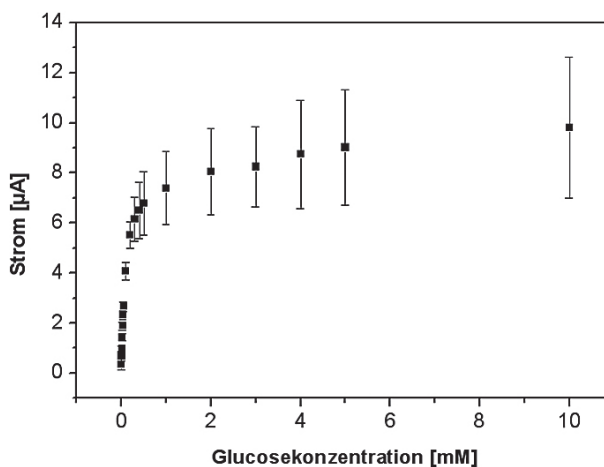


Abb. 4) Glucosesensitivität der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode (Amperometrische Messung bei 0,1 V vs. Ag/AgCl, 1 M KCl in 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5) Die Fehlerbalken resultieren von 3 verschiedenen Elektroden und zeigen die Reproduzierbarkeit der Präparation

Puffereffekte und Langzeitstabilität

Um die Auswirkungen verschiedener Pufferzusammensetzungen auf die Stromantwort des Elektrodensystems zu untersuchen, wurden verschiedene Lösungen getestet. Zur Evaluierung wurde eine Glucosekonzentration von 1 mM verwendet und der Strom bei +100 mV beobachtet. Abb. 3b stellt die Ergebnisse dieser Versuche dar. Es war ersichtlich, dass in Anwesenheit von Phosphationen die enzymatische Aktivität an der Elektrodenoberfläche deutlich vermindert war. Wahrscheinlich verschiebt die Bildung von Kalziumphosphat das Gleichgewicht zwischen Enzym gebundenen Ca^{2+} -Ionen und Ca^{2+} -Ionen in der Lösung (verbunden mit einer verminderten PQQ-Bindung im Enzym). In HEPES- und Acetat-Puffer war die Stromantwort nur etwas kleiner als in MES-Puffer. Es ist offensichtlich, dass Ca^{2+} -haltige Puffer einen positiven Einfluss auf das Stromsignal haben, so wie es auch schon für das in Lösung befindliche Enzym gezeigt wurde.

Um den Einfluss des pH-Wertes auf die bioelektrokatalytische Aktivität der Elektrode zu untersuchen, wurden verschiedene Elektroden in unterschiedlich gepufferten MES-Lösungen getestet. Für jeden pH-Wert

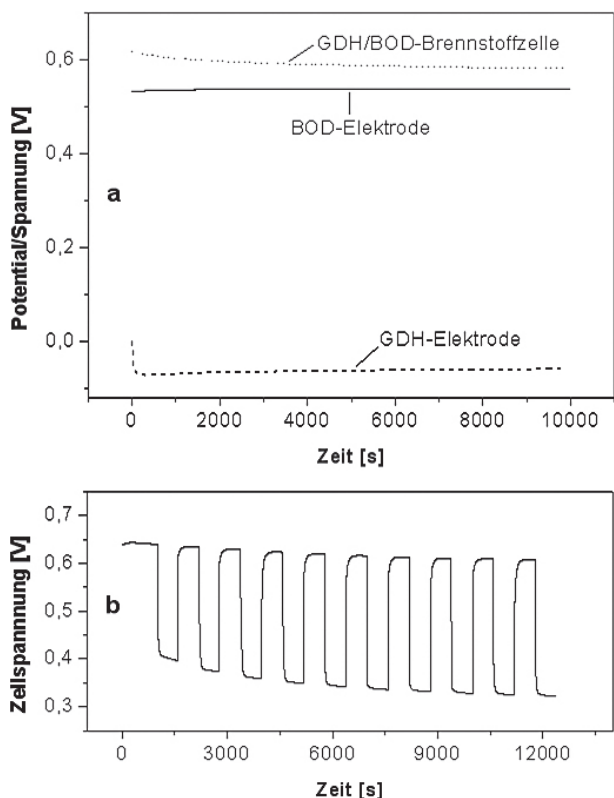


Abb. 5a) Stabilität des OCP (Messbedingungen: 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5 vs. Ag/AgCl, 1 M KCl) b) Stabilität der Zellspannung der Biobrennstoffzelle mit und ohne Last (500 k Ω -Widerstand); (Messbedingungen: 50 mM MES, 1 mM CaCl_2 , pH 6,5, vs. Ag/AgCl, 1 M KCl)

wurden drei separate Elektroden untersucht. Abb. 3c zeigt die gemessenen Ströme bei 1 mM Glucose bei einem Potential von +100 mV. Dabei wurde der höchste Strom bei pH 6,5 beobachtet. Allerdings arbeitete das System auch in schwach saurem oder leicht basischem Milieu. Für die Aktivität des bioelektrokatalytischen Systems ist nicht nur das pH-Optimum des Enzyms entscheidend, sondern auch die Stärke der Wechselwirkung zwischen dem Protein und den PQQ-modifizierten MWCNTs. In der Literatur wird das pH-Optimum immobilisierter (PQQ)-GDH mit pH 6,0 angegeben (Li et al. 2008). Daraus kann geschlossen werden, dass die enzymatische Aktivität wahrscheinlich größeren Einfluss auf die Leistung der Elektrode hat als das Elektrodendesign an sich.

Um Langzeiteffekte während der Lagerung der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode zu untersuchen, wurden mehrere Elektroden täglich voltammetrisch getestet (Lagerung bei 4 °C in Glucose-freier Lösung). Abb. 3d zeigt das Stabilitätsverhalten solcher Elektroden über mehrere Tage. Es ist offensichtlich, dass die Stromantwort innerhalb von einem Tag deutlich sinkt, sich jedoch im Weiteren stabil verhält.

Anwendung in einer Biobrennstoffzelle

Die (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode wurde mit der BOD-MWCNT-Elektrode zu einer enzymatischen Biobrennstoffzelle kombiniert, da beide Elektroden vergleichbare bioelektrokatalytische Aktivitäten aufweisen. Die Elektroden erreichen Stromdichten im Bereich hunderter $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ bei neutralem pH-Wert und sind durch Enzym-MWCNT-Kopplung herstellbar. Durch die Kombination dieser beiden Proteinelektroden konnte ein membranfreies System aufgebaut werden, da die Substrate der jeweiligen Enzyme nicht mit den Elektrodenreaktionen des anderen Enzyms interferieren. Der Elektronenfluss verläuft von der Glucose über die GDH, PQQ zu den MWCNTs und dann über den externen Stromkreis zur Kathode, wo die Elektronen von der BOD auf den finalen Elektronenakzeptor Sauerstoff übertragen werden und dieser zu Wasser reduziert wird. Obgleich beide Elektroden auf Protein-MWCNT-Interaktionen basieren, nutzt die Anode einen Mediator-vermittelten Elektronentransfer und die Kathode hingegen den direkten Elektronentransfer (Schubert et al. 2009).

Messungen des Gleichgewichtspotentials wurden für jeden Elektrodentyp separat und dann mit der vollständigen Biobrennstoffzelle durchgeführt. Das

Potential der BOD-MWCNT-Elektrode in Sauerstoffgesättigter Lösung wurde mit 520 mV vs. Ag/AgCl (1 M KCl) bestimmt. Dieser Wert ist nah an dem thermodynamischen Redoxpotential der Sauerstoffreduktion bei neutralem pH-Wert (Stryer 1995). Für die (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode in Glucose-haltiger Lösung wurde ein Potential von -80 mV vs. Ag/AgCl (1 M KCl) ermittelt, was nahezu mit dem Redoxpotential des Enzyms übereinstimmt, wenn es in einem Chitosan-Kohlenstoffnanoröhren-Film auf einer GCE-Elektrode immobilisiert wurde (Sun et al. 2008). Dieser Wert ist etwas höher als das Redoxpotential des freien PQQ, welches bei -105 mV liegt (Katz et al. 1994).

Beide Elektroden wiesen über mehrere Stunden ein eher stabiles Gleichgewichtspotential auf, wobei sich das Potential der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektroden in den ersten 45 Minuten leicht verminderte. Für die gesamte Biobrennstoffzelle wurde ein Gleichgewichtspotential von 600 mV gemessen. Auch hier zeigte sich ein stabiles Verhalten des Gleichgewichtspotentials über mehrere Stunden, wie Abb. 5a illustriert.

Der Verlust im Zellpotential kann durch den bei der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode beobachteten Abfall des Gleichgewichtspotentials erklärt werden. Offensichtlich ist der direkte Elektronentransfer von der BOD auf die Nanoröhren stabiler als der in einem System mit Mediator-vermitteltem Elektronentransfer, wie es bei der GDH-Elektrode der Fall ist.

Um die Stabilität der aufgebauten Biobrennstoffzelle während und nach einer Belastung zu bewerten, wurde in den Stromkreislauf ein 500 k Ω -Widerstand eingebaut. Die beobachteten Ergebnisse (Abb. 5b) zeigten, dass sich die gemessene Terminalspannung nach einer gewissen Einlaufphase für beide Stromsituationen stabilisierte. Während der Versuche minderte sich die Spannung bei elektrischer Belastung um 75 mV, während das Gleichgewichtspotential nur um 30 mV unter dem Initialwert lag.

Um eine Biobrennstoffzelle zu charakterisieren, sind die beiden Parameter Spannung und Leistungsdichte in Abhängigkeit von der Stromdichte entscheidend. Aus den voltammetrischen Untersuchungen ließen sich für die beiden einzelnen Elektroden Leistungskurven erstellen (Abb. 6a). In dieser Analyse stellte sich heraus, dass in der Kombination der beiden Elektrodensysteme die (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode den limitierenden Faktor darstellt. Der sich aus den voltammetrischen Messungen ergebende Strom wurde durch eine angelegte Spannung verursacht, was eigentlich das gegen-

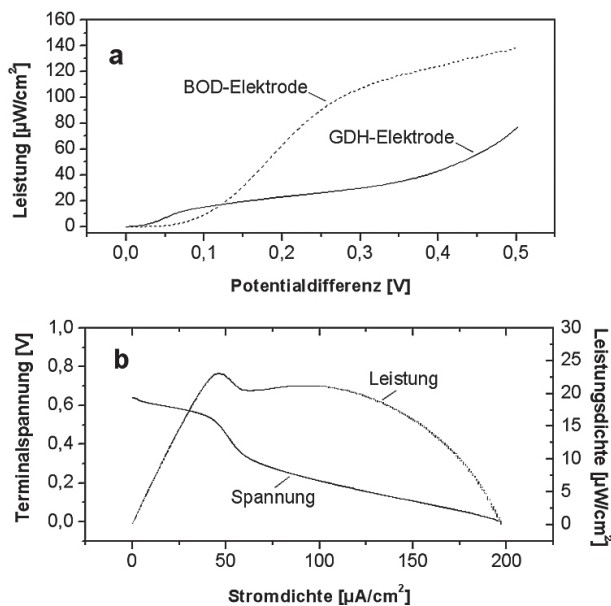


Abb. 6: a) Leistungskurven der einzelnen Enzymelektroden, berechnet aus den Daten der Linearen Sweepvoltammetrie (Scanrate 10 mV/s) in luftgesättigter 20 mM Glucoselösung. (Die X-Achse stellt die Differenz der angelegten Spannung zum OCP der jeweiligen Elektrode dar.) b) Leistungs- und Spannungskurve der gesamten Biobrennstoffzelle, erhalten aus galvanodynamischen Messungen bei einer Scanrate von 5 nA/s. (Messbedingungen: luftgesättigter 50 mM MES-Puffer, 20 mM glucose, 1 mM CaCl₂, pH 6,5)

teilige Prinzip einer Brennstoffzelle darstellt. Daher wurde die Terminalspannung in Abhängigkeit von der elektrischen Belastung untersucht. Zu diesem Zweck wurden galvanodynamische Messungen bei geringen Stromvorschubgeschwindigkeiten durchgeführt, woraus sich der typische Kurvenverlauf der Leistungsdichte berechnen ließ.

Abb. 6b zeigt das Leistungsdiagramm einer Biobrennstoffzelle, in welcher beide MWCNT-basierenden Enzymelektroden vereint waren. Es wurde eine maximale Leistungsdichte im Bereich von 20-25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ erreicht. Dabei zeigte sich bis zu einer Stromdichte von 45 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ein eher nur geringer Spannungsabfall, wodurch die Leistung schnell bei kleinen Stromdichten stieg. Ab diesem Punkt bis zu einem Stromfluss von 70 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ fand ein schneller Terminalspannungsabfall statt und stabilisierte sich danach bei einer geringeren Spannung bei fast konstanter Rate. Die Leistungsdichte der hier vorgestellten Biobrennstoffzelle übersteigt die Werte wie sie für Osmium-Polymer- oder Polyacrylamid-basierte enzymatische Biobrennstoffzellen ermittelt wurden (Stoica et al. 2009; Katz/Willner 2003). Die erzielte Leistungsdichte ist hingegen vergleichbar mit solchen Biobrennstoffzellen, die auf dem Einsatz von Polypyrrol oder einem anderen Kohlenstoffmaterial für die

Realisierung des Enzym-Elektroden-Kontakts beruhen (Zhao et al. 2009; Gao et al. 2007). Jedoch wurde auch von enzymatischen Biobrennstoffzellen berichtet, die höhere Leistungsdichten erzielen. Diese nutzten zum Beispiel Polythiophen-Derivate oder dreidimensionale Goldnanopartikelanordnungen, welche den elektrischen Kontakt zwischen Elektrode und dem Enzym herstellten (Kuwahara et al. 2009; Murata et al. 2009).

4 Zusammenfassung

Die Etablierung einer neuen Proteinanode, welche auf dem Mediator-vermittelten Elektronentransfer zwischen hoch aktiver (PQQ)-GDH (3.000 U/mg) und einer MWCNT-modifizierten Goldelektrode basiert, wurde erfolgreich umgesetzt. Dabei übernahm an MWCNT adsorbiertes PQQ gleichzeitig die Funktionen des Mediators und die der Enzymkopplungsstelle. Hohe PQQ-Oberflächenkonzentrationen führten bei Substratsättigung nach Optimierung der Elektrodenparameter (pH, Pufferzusammensetzung) zu Stromdichten bis 200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Die Anwendbarkeit der Sauerstoff-unabhängigen (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode in einer enzymatischen Biobrennstoffzelle wurde durch die Kombination mit einer BOD-MWCNT-Elektrode demonstriert. Es entstand ein membranfreies System, welches Leistungsdichten im Bereich von 20-25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ erreichen konnte. In dieser Kombination stellt die BOD-MWCNT-Elektrode nicht den limitierenden Faktor dar. Noch höhere Leistungsdichten können erreicht werden, wenn es gelingt den Elektrodenaufbau der (PQQ)-GDH-MWCNT-Elektrode weiter zu verbessern.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung durch das MWFK Brandenburg (Projekt 3508-14/13) und das BMBF (Projekt PNT51513) möchten sich die Autoren bedanken. Gleicher Dank gilt unseren Kooperationspartnern Dr. von der Eltz und Dr. Meier von Roche Diagnostics (Penzberg) für die Bereitstellung der (PQQ)-GDH.

Literaturverzeichnis

- Davis, F., Higson, S.P.J. (2007): Biofuel cells – Recent advances and applications. *Biosens. Bioelectron.* 22, 1224–1235.
- Dokter, P., Frank, J., Jzn & Duine, J.A. (1986): Purification and characterization of quinoprotein glucose dehydrogenase from *Acinetobacter calcoaceticus* L.M.D. 79.41. *Biochem. J.* 239, 163-167.
- Galloway, J.W., Barton, S.A.C. (2008): Kinetics of Redox Polymer-Mediated Enzyme Electrodes. *J. Am. Chem. Soc.* 130, 8527–8536.
- Gao, F., Yan, Y.M., Su, L., Wang, L., Mao, L.Q. (2007): An enzymatic glucose/O₂ biofuel cell: Preparation, characterization and performance in serum. *Electrochem. Commun.* 9, 989-996.
- Goebel, G., Lisdat, F. (2008): Organic interlayers for oxygen reducing electrodes based on bilirubin oxidase and MWCNT modified gold. *Electrochem. Commun.* 10, 1691-1694.
- Ivniiski, D., Atanassov, P., Apblett, C. (2007): Direct Bioelectrocatalysis of PQQ-Dependent Glucose Dehydrogenase. *Electroanalysis* 19, 1562-1568.
- Katz, E., Willner, I. (2003): A biofuel cell with electrochemically switchable and tunable power output. *J. Am. Chem. Soc.* 125, 6803-6813.
- Kim, J., Jia, H., Wang, P. (2006). Challenges in biocatalysis for enzyme-based biofuel cells. *Biotechnol. Adv.* 24, 296-308.
- Kim, J., Parkey, J., Rhodes, C., Gonzalez-Martin, A. (2009): Development of a biofuel cell using glucose-oxidase- and bilirubin-oxidase-based electrodes. *J. Solid State Electrochem.* 13, 1043-1050.
- Kuwahara, T., Homma, T., Kondo, M., Shimomura, M. (2009): Fabrication of enzyme electrodes with a polythiophene derivative and application of them to a glucose fuel cell. *Synth. Met.* 159, 1859-1864.
- Laurinavičius, V., Razumienė, J., Kurtinaitienė, B., Gurevičienė, V., Marcinkevičienė, L., Bachmatova, I. (2003): Comparative characterization of soluble and membrane-bound PQQ-glucose dehydrogenases. *Biologija (Vilnius).* 2, 31-34.
- Li, G., Xu, H., Huang, W., Wang, Y., Wu, Y., Parajuli, R. (2008): A pyrrole quinoline quinone glucose dehydrogenase biosensor based on screen-printed carbon paste electrodes modified by carbon nanotubes. *Meas. Sci. Technol.* 19: 065203-065210.
- Lisdat, F., Wollenberger, U., Paeschke, M., Scheller, F.W. (1998): Sensitive catecholamine measurement using a monoenzymatic recycling system. *Anal. Chim. Acta* 368, 233-241.
- Mao, F., Mano, N., Heller, A. (2003): Long Tethers Binding Redox Centers to Polymer Backbones Enhance Electron Transport in Enzyme »Wiring« Hydrogels. *J. Am. Chem. Soc.* 125, 4951–4957.
- Murata, K., Kajiya, K., Nakamura, N., Ohno, H. (2009): Direct electrochemistry of bilirubin oxidase on three-dimensional gold nanoparticle electrodes and its application in a biofuel cell. *Energ. Environ. Sci.* 2, 1280-1285.
- Otsuka, K., Sugihara, T., Tsujino, Y., Osakai, T., Tamiya, E. (2007): Electrochemical consideration on the optimum pH of bilirubin oxidase. *Anal. Biochem.* 370, 98-106.
- Razumiene, J., Meskys, R., Gureviciene, V., Laurinavicius, V., Reshetova, M.D., Ryabov, A.D. (2000): 4-Ferrocenylphenol as an electron transfer mediator in PQQ-dependent alcohol and glucose dehydrogenase-catalyzed reactions. *Electrochem. Commun.* 2, 307–311.
- Sakai, H., Nakagawa, T., Tokita, Y., Hatazawa, T., Ikeda, T., Tsujimura, S., Kano, K. (2009): A high-power glucose/oxygen biofuel cell operating under quiescent conditions. *Energ. Environ. Sci.* 2, 133-138.

- Schubert, K., Goebel, G., Lisdat, F. (2009): Bilirubin oxidase bound to multi-walled carbon nanotube-modified gold. *Electrochim. Acta* 54, 3033-3038.
- Stoica, L., Dimcheva, N., Ackermann, Y., Karnicka, K., Guschin, D.A., Kulesza, P.J., Rogalski, J., Haltrich, D., Ludwig, R., Gorton, L., Schuhmann, W. (2009): Membrane-Less Biofuel Cell Based on Cellobiose Dehydrogenase (Anode)/Laccase (Cathode) Wired via Specific Os-Redox Polymers. *Fuel Cells* 9, 53-62.
- Stryer, L. (1995): *Biochemistry*, fourth ed. W.H. Freeman & Company, New York.
- Wang, S. C., Yang, F., Silva, M., Zarow, A., Wang, Y., Iqbal, Z. (2009): Membrane-less and mediator-free enzymatic biofuel cell using carbon nanotube/porous silicon electrodes. *Electrochem. Commun.* 11, 34-37.
- Weigel, M.C., Tritscher, E., Lisdat, F. (2007): Direct electrochemical conversion of bilirubin oxidase at carbon nanotube-modified glassy carbon electrodes. *Electrochem. Commun.* 9, 689-693.
- Willner, I., Katz, E., Patolsky, F., Bückmann, A.F. (1998): A biofuel cell based on glucose oxidase and microperoxidase-11 monolayer-functionalized-electrodes. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I* 2, 1817-1822.
- Willner, I., Yan, Y.-M., Willner, B., Tel-Vered, R. (2009): Integrated Enzyme-Based Biofuel Cells—A Review. *Fuel Cells (Weinheim, Ger.)* 1, 7-24.
- Yang, W., Thordarson, P., Gooding, J.J., Ringer, S.P., Braet, F. (2007): Carbon nanotubes for biological and biomedical applications. *Nanotechnology* 18, 412001(12 pp.).
- Ye, L., Haemmerle, M., Olsthoorn, A.J.J., Schuhmann, W., Schmidt, H.L., Duine, J.A., Heller, A. (1993): High current density »wired« quinoprotein glucose dehydrogenase electrode. *Anal. Chem.* 65, 238-241.
- Yuhashi, N., Tomiyama, M., Okuda, J., Igarashi, S., Ikebukuro, K., Sode, K. (2005): Development of a novel glucose enzyme fuel cell system employing protein engineered PQQ glucose dehydrogenase. *Biosens. Bioelectron.* 20, 2145-2150.
- Zayats, M., Katz, E., Baron, R., Willner, I. (2005): Reconstitution of Apo-Glucose Dehydrogenase on Pyrroloquinoline Quinone-Functionalized Au Nanoparticles Yields an Electrically Contacted Biocatalyst. *J. Am. Chem. Soc.* 127, 12400-12406.
- Zhao, H. Y., Zhou, H.M., Zhang, J.X., Zheng, W., Zheng, Y.F. (2009): Carbon nanotube-hydroxyapatite nanocomposite: A novel platform for glucose/O₂ biofuel cell. *Biosens. Bioelectron.* 25, 463-468.
- Zheng, W., Zhao, H., Zhou, H., Xu, X., Ding, M., Zheng, Y. (2010): Electrochemistry of bilirubin oxidase at carbon nanotubes. *J. Solid State Electrochem.* 14, 249-254.

Autoren

Christoph K. Tanne, M.Sc.

AG Biosystemtechnik
 Technische Hochschule Wildau [FH]
 Aktuelle Adresse: Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie,
 Rhein. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
 chris.con.tanne@googlemail.com

Dipl.-Biotechnologe Gero Göbel

AG Biosystemtechnik
 Technische Hochschule Wildau [FH]
 gero.goebel@th-wildau.de

Prof. Dr. rer. nat. habil. Fred Lisdat

AG Biosystemtechnik
 Technische Hochschule Wildau [FH]
 fred.lisdat@th-wildau.de

Sicherheit von Unternehmensdaten auf Mobilendgeräten

Henning Almus, Peter Bernhardt, Michael Hendrix

Zusammenfassung

Mobile Endgeräte werden mit zunehmender Tendenz in unternehmensweite Anwendungen integriert. Damit stellt sich verstärkt die Frage nach der Sicherheit der sich auf den Geräten befindlichen Unternehmensdaten. Dieser Beitrag analysiert die wesentlichen Szenarien, die zum Verlust bzw. Missbrauch von auf mobilen Endgeräten gespeicherten Daten führen, und diskutiert Ansätze zur Sicherung dieser Daten. Insbesondere werden dabei Schutzmechanismen gegen den Verlust des mobilen Endgerätes, gegen den reinen Datenverlust und Mechanismen gegen das Abhören der Datenübertragung erörtert. Dabei werden sowohl allgemeingültige Prinzipien als auch endgerätspezifische Merkmale betrachtet.

Abstract

Mobile devices are increasingly integrated in enterprise applications. As a consequence this intensifies the concern about the stored enterprise data. This paper analyses the most relevant scenarios leading to the loss or the abuse of data stored on mobile devices and shows approaches how to increase data security, detailing about preventive measures in the case of device loss, securing against direct data loss as well as actions to increase data transmission security. The results incorporate commonly usable principles and device specific characteristics.

1 Einführung

Die Anwendung von mobilen Endgeräten im Unternehmenseinsatz ist in den letzten Jahren von einem Privileg für Führungskräfte immer mehr zu einer Alltätigkeit für breite Anwendergruppen geworden. Die rasche Entwicklung auf der Hard- und Softwareseite hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Geräte und die Einführung neuer Gerätetypen, insbesondere den Tablets, haben diesen Prozess stark begünstigt. Mit dem breiten Einsatz von mobilen Endgeräten in Unternehmen und im privaten Bereich steigt allerdings auch das Interesse von unbefugten Dritten an einem Zugriff auf die verarbeiteten Daten und nicht zuletzt auch auf die Hardware an sich.

Die geringe Gerätegröße und damit die Mobilität stellen den größten Risikofaktor für die gespeicherten Daten in einem mobilen Endgerät dar. Im Vergleich zu einem stationären Endgerät wie einem Desktop-PC ist das mobile Endgerät darauf ausgelegt, seinen Besitzer ständig und überall hin zu begleiten. Dies führt letztendlich zu einem stark erhöhten Verlustrisiko. Einerseits kann dies durch Diebstahl geschehen, der durch den Wert hochwertiger Geräte an Wahrscheinlichkeit

zunimmt, andererseits können mobile Endgeräte durch die Unachtsamkeit des Besitzers verloren gehen. Während im Privatkundenbereich der Verlust oder Diebstahl eines mobilen Endgerätes hauptsächlich einen finanziellen Verlust darstellt, übersteigt im betrieblichen Bereich meist der Wert der auf dem Gerät gespeicherten Daten den monetären Wert des Gerätes. Im Folgenden soll die Sicherheitsproblematik bei mobilen Endgeräten genauer untersucht und Ansätze für Lösungen aufgezeigt werden.

2 Datenverlust und -missbrauch

Die wesentlichen Szenarien, die zum Verlust von auf mobilen Endgeräten gespeicherten Daten führen, sind (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2006: 16):

1. Verlust oder Beschädigung des mobilen Endgerätes
 2. Datendiebstahl
 3. Überwachung (»Abhören«) der Datenübertragung
- Während das erste Szenario in der Regel nur zum Verlust der Daten führt, was im Falle wichtiger Unternehmensdaten äußerst negative Folgen für das Unterneh-

men haben kann, hat das zweite Szenario sowohl den Datenverlust als auch einen möglichen Missbrauch der Daten zur Folge. Das dritte Szenario führt dazu, dass die Daten zumindest teilweise in fremde Hände gelangen und somit auch missbraucht werden können.

Eine wirksame Methode gegen einen Verlust der Daten ist ein Server-zentrierter Kommunikationsprozess, bei dem im Bedarfsfall immer nur sehr wenige Daten vom Server aufs mobile Endgerät geladen, dort bearbeitet und unverzüglich wieder auf den Server zurück übertragen werden. Bei einem Verlust des Endgerätes sind im schlimmsten Fall nur die auf dem Gerät aktualisierten und noch nicht an den Server zurück gespielten Daten betroffen.

Voraussetzung für die aktive Anwendung der Methoden des Cloud-Computing ist das Vorhandensein von möglichst kleinteiligen Datenmengen sowie eine hochverfügbare und schnelle Verbindung zum Datenserver. In der Regel wird diese Verbindung über das Internet realisiert. Beispiele für erfolgreiche Anwendungen des Prinzips des Cloud-Computing sind die Dienste Google Docs (vgl. Google Docs) und Salesforce (vgl. Salesforce). Der Aspekt der abgesicherten Datenübertragung als Basis für diese Dienste wird in einem folgenden Abschnitt behandelt werden.

Eine andere Methode, die unternehmerischen Risiken, die mit einem Verlust der Daten auf dem mobilen Endgerät zusammen hängen, zu minimieren, ist ein häufiges und regelmäßiges Backup dieser Daten. Diese Vorgehensweise ist jedoch für einen breiten Unternehmenseinsatz nicht praktikabel, da einerseits der dafür notwendige Arbeitsaufwand bei einer größeren Anzahl von Geräten exponentiell steigt und andererseits die geringe Aktualität der Datensicherungen nur einen partiellen Schutz bieten kann. Hinzu kommt noch die Ineffizienz durch eventuelle Datenredundanzen in den archivierten Datensicherungen aufgrund der Doppelung von gleichen, jedoch auf mehreren Geräten vorhandenen Datenmengen.

Klassische Verfahren zur periodischen Synchronisation von Informationsmengen über Datenleitungen aus lokalen Datenspeichern heraus bildeten lange Zeit den besten Weg zur Absicherung gegen Datenverluste. Diese Methode ist auch immer noch sehr gut anwendbar, jedoch bietet sie für die im Folgenden betrachteten Datendiebstähle eine breitere Angriffsfläche und ist aufgrund der immer besser verfügbaren und breitbandigeren Mobilfunkverbindungen nur mehr die zweitbeste Wahl gegenüber der direkten Arbeit auf dem Server.

Im Folgenden sollen die Szenarien, die zu einem Datenmissbrauch durch Datendiebstahl oder durch einen Abhörversuch führen können, genauer betrachtet werden. Im Anschluss daran sollen Möglichkeiten diskutiert werden, wie solch ein Datenmissbrauch verhindert bzw. erschwert werden kann.

Datendiebstahl

Datendiebstahl kann durch direkten oder indirekten Zugriff auf das Gerät geschehen. Der Versuch, Daten ohne direkten Zugriff auf das System zu erlangen, wird vor allem bei kabelgebundenen Endgeräten wie dem Desktop-PC oder Notebook praktiziert. Dabei stehen dem Angreifer vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung, um an die Daten zu gelangen. Meist werden Sicherheitslücken im Betriebssystem oder die Unachtsamkeit des Nutzers ausgenutzt, um Programme auf das Gerät zu laden, die den Datenzugriff aus der Ferne erlauben. Dies ist zwar auch bei mobilen Endgeräten möglich, wird aktuell jedoch nur selten praktiziert. Allerdings wird sich die Wahrscheinlichkeit des indirekten Datenzugriffs auch bei mobilen Endgeräten in Zukunft erhöhen, da mit der stetig ansteigenden Verbreitung von Smartphones sich gleichfalls die Zahl gleichartiger Geräte am Markt vergrößern wird, wodurch die systematische Suche und Ausnutzung von Sicherheitslücken für Hacker attraktiver wird. In diesem Zusammenhang offenbaren sich auch die Vorteile von Systemen, die die Verteilung von Software auf die Geräte stark einschränken. Validierungsprozesse durch den Systemanbieter schützen den Anwender zumindest grundlegend vor Schadsoftware. Beispiele hierfür sind der AppStore von Apple (vgl. AppStore) und der kommende »Windows Phone Marketplace« von Microsoft (Bruno et al. 2010).

Ein bei mobilen Endgeräten einfach zu realisierender Datendiebstahl ist der direkte Zugriff auf das Gerät. Ein Desktop-PC ist hier durch seine Umgebung geschützt, da ein Angreifer z. B. in ein Büro oder Haus einbrechen müsste, um Zugriff zu erlangen. Ein mobiles Endgerät kann den Besitzer schnell und unbemerkt durch Diebstahl wechseln. Dabei kann ein Dieb, der an den auf dem Gerät gespeicherten Daten interessiert ist, entweder das Gerät selbst oder nur eine vorhandene Speicherkarte entwenden. Zur Absicherung der Geräte für den Unternehmenseinsatz sind daher Mechanismen erforderlich, welche eine zentrale Verwaltung und Steuerung der Schutzmaßnahmen erlauben. Seit langem bewährt hat sich bei mobilen Endgeräten mit

dem Betriebssystem Microsoft Windows Mobile 6.X die Verwendung von Sicherheitsrichtlinien über einen Microsoft Exchange Server. Da ein solcher Server in Unternehmen weit verbreitet ist, ist eine entsprechende Unterstützung auch im Apple iPhone OS ab Version 3.X (vgl. iPhone in Unternehmen), in Google Android ab Version 2.2 und im neuen Microsoft Windows Phone 7 (vgl. SCMDM Support for Windows Phone 7) vorgesehen.

Überwachung (»Abhören«) der Datenübertragung

Ein Dritter kann versuchen, die Daten schon während der Datenübertragung mitzulesen. Im Vergleich zu einem stationären Endgerät, das meist einen festen Internetzugang hat, kann der Zugang bei mobilen Endgeräten häufig wechseln. Das tritt vor allem bei öffentlichen WLAN-Hotspots auf. Diese werden von Personen oder Organisationen bereit gestellt, und es ist in der Regel nicht transparent, was mit den Daten, die über ihre Verbindung gesendet werden, passiert. Wie beim WLAN ist auch beim Mobilfunk für den Anwender nicht transparent, welche der übertragenen Daten der Mobilfunkbetreiber speichert, so dass man immer von einer Kompromittierung der Netzanbindung des mobilen Endgerätes ausgehen muss. Dies bedeutet, dass die Absicherung der Funkstrecke auf der Verbindungsebene z. B. mittels WPA2 zwar einen wichtigen Teil einer sicheren Kommunikation im öffentlichen Raum darstellt, jedoch für den Fall einer unsicheren Gegenstelle (»Access Point«) keine ausreichende Sicherheit bietet.

Bei der Anwendungsentwicklung müssen daher immer zwei wichtige Punkte beachtet werden. Auf der einen Seite muss die Datenübertragung abgesichert werden. Zwar ist das bei traditionellen Endgeräten ähnlich, da auch dort der Schutz der Datenübertragung gesichert werden muss, aber dieser Punkt spielt wegen der häufigen ISP-Wechsel bei mobilen Endgeräten eine viel wichtigere Rolle. Auf der anderen Seite müssen die auf dem mobilen Endgerät gespeicherten Daten gesichert werden, da jederzeit die Möglichkeit besteht, dass ein Unbefugter Zugriff auf das Gerät erlangt. Welche Vorkehrungen ein Nutzer treffen kann, um den Datenzugriff möglichst zu erschweren und welche Mechanismen einem Anwendungsentwickler zur Verfügung stehen, um die Daten seiner Anwendung zu schützen, soll im Folgenden näher erläutert werden.

3 Schutz von gespeicherten Daten

Um nach einem Diebstahl in einem mobilen Endgerät gespeicherte Daten gegen Missbrauch zu schützen, gibt es zwei wesentliche und sich ergänzende technische Ansätze:

- Verschlüsselung der Daten und
- Erzwingen einer Nutzerauthentifizierung.

Verschlüsselung von Daten

Sensible Anwendungsdaten auf mobilen Endgeräten sollten durch Verschlüsselung geschützt werden. Das gilt sowohl für Daten- als auch für Datenbankdateien.

Eine Datenbank gegen einen unbefugten Zugriff abzusichern, kann bei den meisten Desktop-Systemen mit geringem Aufwand realisiert werden. Bei mobilen Endgeräten hingegen ist dies sehr stark vom Angebot des jeweiligen Systemherstellers abhängig. Beispielhaft soll hier die Datenbank SQLite genannt werden, die auf mehreren der weit verbreiteten Systeme standardmäßig im Einsatz ist. Durch die Verwendung der SQLite-Erweiterung SQLCipher (SQLCipher Homepage) kann auf Systemen mit dem Apple iPhone OS eine SQLite-Datenbank mit AES-256 verschlüsselt werden, wohingegen diese Erweiterung auf Google Android Systemen nicht genutzt werden kann und auf eine Verschlüsselung der einzelnen Werte innerhalb der Datenbank zurückgegriffen werden muss. Microsoft stellt in Windows Phone 7 keine systemeigene Datenbank zur Verfügung, sondern verweist auf die Nutzung von im Internet gespeicherten Daten bzw. auf die Verwendung von lokalen XML-Dateien für kleinere Datenmengen.

Die Verschlüsselung von Daten in Dateien kann auf allen drei betrachteten Systemen mit relativ wenig Aufwand umgesetzt werden. Ein sicheres Verfahren liefert z. B. der Advanced Encryption Standard AES mit einer Schlüssellänge von bis zu 256 Bit, der für die Plattformen Android (vgl. Android SDK), iPhone OS (vgl. iPhone SDK) und Microsoft Windows Phone 7 (vgl. NET Framework Class Library) verfügbar ist und zur Verschlüsselung verwendet werden kann. Allerdings bedingt eine Verschlüsselung auch immer einen größeren Leistungsbedarf. Ver- und Entschlüsselung belasten den Prozessor und nehmen mit steigender Datenmenge mehr Zeit und Energie in Anspruch. Dies sollten Entwickler mobiler Anwendungen immer berücksichtigen.

Die Unterstützung von Speicherkarten durch mobile Endgeräte hängt mittlerweile sehr stark vom Systemhersteller ab. Während Apple externe Speicherkarten

noch nie unterstützt hat und dies auch für die Zukunft nicht plant, hat Microsoft bis Version 6.5 die Verwendung von Speicherkarten befürwortet. Das neue System Windows Phone 7 wird aber keine Speicherkarten mehr unterstützen. Microsoft untersagt deren Verwendung sogar ausdrücklich. In Googles Android ist den Geräteherstellern die Verwendung von externen Speicherkarten freigestellt. Aufgrund der durch die Android Systemarchitektur bedingten engen Begrenzung der Größe des Programmspeichers ist die Verwendung einer Speicherkarte sogar in vielen Fällen unerlässlich. Eine aktive Unterstützung des Android Betriebssystems zum Schutz einer Speicherkarte vor unbefugtem Zugriff ist jedoch nicht gegeben und damit Sache des Anwendungsentwicklers.

Nutzerauthentifizierung

Wurde in einer Anwendung bereits dafür Sorge getragen, dass sämtliche Datenbank- oder Datendateien verschlüsselt sind, gibt es noch einen Punkt, der Beachtung finden sollte. Aufgrund des hohen Risikos, dass auf das mobile Endgerät mit den darauf enthaltenen Daten von einem Unbefugten zugegriffen werden kann, muss die Anwendung selbst geschützt werden. Kann die Anwendung ohne Weiteres gestartet werden und erlaubt damit das Auslesen der verschlüsselten Daten, ist der gesamte in die Verschlüsselung der Daten investierte Aufwand nutzlos. Daher sollte auch der Zugriff auf die Anwendung durch z. B. ein Passwort gesichert werden. Das Passwort sollte dabei stark verschlüsselt auf dem Gerät hinterlegt werden, damit das Auslesen des Passwortes und der damit mögliche Start der Anwendung erschwert wird. Sollte die Anwendung zu einem Online-Szenario gehören, bei dem auf dem Server eine Nutzerverwaltung vorhanden ist, kann von einer lokalen Speicherung des Passwortes abgesehen werden.

Anwendungen auf mobilen Endgeräten werden im Normalfall nicht beendet, sondern lediglich minimiert. Wird die Anwendung reaktiviert, sollte eine erneute Passwortabfrage erfolgen. Auch ein Verbindungsabbruch in einem Online-Szenario sollte bei wieder vorhandener Netzverbindung eine erneute Passwortabfrage zur Folge haben. Bei zu häufigen Passwortabfragen leidet allerdings die Benutzbarkeit der Anwendung, was insbesondere bei schlechten Verbindungsverhältnissen vorkommt. Eine der Herausforderungen bei der Entwicklung unternehmensweiter Anwendungen unter Einbindung mobiler Endgeräte ist es daher, einen tragbaren Kompromiss zwischen ausreichender Sicher-

heit und einer guten Benutzbarkeit der Anwendung zu finden.

Die Betriebssysteme von mobilen Endgeräten bieten bereits einige Möglichkeiten, den Zugriff für Unbefugte zu erschweren. So können die Systeme derart konfiguriert werden, dass nach einer bestimmten Zeitspanne der Inaktivität das Gerät gesperrt wird und ein Passwort nötig ist, um weiterarbeiten zu können.

In Verbindung mit einem Exchange-Server sind noch weitere Sicherungsmaßnahmen möglich. Einerseits können die Kennwortkonventionen (Länge, Versuchsanzahl, Komplexität) feiner geregelt werden. Andererseits können weitere Sicherheitsrichtlinien initiiert werden. So kann eingestellt werden, dass die Installation von Anwendungen nur zugelassen wird, wenn ein gültiges Zertifikat vorliegt. Auch lässt sich die Installation von Anwendungen vollständig blockieren. Diese zusätzlichen Funktionalitäten werden zurzeit vom Apple iPhone OS und vom Google Android noch nicht unterstützt.

Exchange 2007 bietet darüber hinaus die Möglichkeit, nach einem Diebstahl oder Verlust des mobilen Gerätes dessen Inhalt sowie die Daten auf einer Speicherkarte komplett zu löschen (»Remote Wipe«). Allerdings lässt sich dieser Schutzmechanismus vom Dieb durch eine sofortige Unterbrechung der Funkverbindung aushebeln.

4 Schutz vor Reverse Engineering

Als Letztes soll ein Punkt angemerkt werden, der sowohl auf die Programmierung für mobile wie auch für stationäre Endgeräte zutrifft. Auch wenn alle sensiblen Daten, die Anwendung und der Übertragungskanal geschützt sind, kann ein Angreifer noch über den Quellcode der Anwendung versuchen, Zugriff auf Informationen über die Absicherung der Anwendungsdaten zu erlangen. Es ist möglich, ausführbare Dateien und Programmbibliotheken, die z. B. mittels .NET (»WP7«) und auch Java (»Dalvik bei Android«) programmiert wurden, mittels Reverse Engineering wieder in lesbaren Quellcode umzuwandeln. Um dies zu verhindern, ist es empfehlenswert, die Methoden »Code Signing« und »Obfuscation« zu verwenden. Damit kann das Reverse Engineering deutlich erschwert werden.

Das Apple iPhone OS ist dieser Gefahr nicht direkt ausgesetzt, da es nur kompilierte Anwendungen unterstützt.

5 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine ganze Reihe von Möglichkeiten gibt, Anwendungsdaten auf mobilen Endgeräten zu schützen. Handelt es sich bei diesen Anwendungsdaten um sensible Informationen, ist aufgrund des erhöhten Verlust- und Diebstahlrisikos der Einsatz von Verschlüsselungsmechanismen sehr empfehlenswert. Es muss jedoch beachtet werden, dass das verschlüsselte Abspeichern einen weiteren Verarbeitungsschritt beim Lesen und Schreiben der Daten bedeutet, was letztendlich mit steigender Datenmenge die Verarbeitungszeit verlängert und mehr Prozessorleistung sowie die damit verbundene Verringerung der Laufzeit erfordert.

Für Anwendungen im sensiblen Unternehmens-einsatz ist insbesondere zu empfehlen, die Daten auf einem Serverrechner zu belassen und nur wenige Daten auf den mobilen Endgeräten zu speichern. Diese sollten so oft wie möglich und sinnvoll mit dem Serverrechner synchronisiert werden. Die Anwendung dieses Entwicklungsparadigmas erlaubt in nahezu jedem Szenario die Entwicklung von Applikationen mit hohen Sicherheitsanforderungen und der damit verbundenen Reduzierung des Risikos des Verlusts, des Missbrauchs oder der Manipulation der verarbeiteten Geschäftsdaten.

Acknowledgement

Der Artikel ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten, die im Rahmen eines von der ZAB/ILB geförderten Kooperationsprojektes zwischen einem Unternehmen und der TH Wildau [FH] durchgeführt wurden. Aus dem Forschungsprojekt resultierte auch eine Diplomarbeit.

Literatur

- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2006): Mobile Endgeräte und mobile Applikationen: Sicherheitsgefährdungen und Schutzmaßnahmen, Bonn.
- Google Docs, <http://docs.google.com> (Zugriff 06.06.2010).
- Salesforce, <http://www.salesforce.com/de/> (Zugriff 06.06.2010).
- AppStore, <http://www.apple.com/de/iphone/apps-for-iphone/> (Zugriff 06.06.2010).
- Bruno, J., Biggs, T. (2010): Distributing and Monetizing Windows Phone Applications and Games, Session at MIX 2010, <http://live.visitmix.com/MIX10/Sessions/CL20> (Zugriff 06.06.2010).
- iPhone in Unternehmen – Integration, Apple, <http://www.apple.com/de/iphone/business/integration/> (Zugriff 06.06.2010).
- Google stellt Android 2.2 vor, Heise Newsticker, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Google-stellt-Android-2-2-vor-1004819.html> (Zugriff 20.05.2010).
- SCMDM Support for Windows Phone 7, MS TechNet – System Center Mobile Device Manager Forum, <http://social.technet.microsoft.com/Forums/en-US/SCMDM/thread/d65802a3-9808-4e92-9973-91d4c8e3db93> (Zugriff 06.06.2010).
- SQLCipher Homepage, ZETETIC, <http://www.zetetic.net/code/sqlcipher> (Zugriff 06.06.2010).
- Android SDK, javax.crypto Description, <http://developer.android.com/reference/javax/crypto/package-summary.html> (Zugriff 06.06.2010).
- iPhone SDK, CommonCrypto Library, http://developer.euro.apple.com/iphone/library/documentation/System/Conceptual/ManPages_iPhoneOS/man3/Common%20Crypto.3cc.html (Zugriff 06.06.2010).
- NET Framework Class Library – AesCryptoServiceProvider Class, Microsoft, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.security.cryptography.aescryptoserviceprovider.aspx> (Zugriff 06.06.2010).

Autoren

Dipl.-Wirt.-Inf. (FH) Henning Almus
Wirtschaftsinformatik
Technische Hochschule Wildau [FH]
henning.almus@th-wildau.de

Dipl.-Wirt.-Inf. (FH) Peter Bernhardt
Technologietransfer- und Weiterbildungszentrum
an der Technischen Hochschule Wildau [FH] e.V.
Bahnhofstraße, 15745 Wildau
pbernhardt@p-ta.de

Prof. Dr. Michael Hendrix
Wirtschaftsinformatik
Technische Hochschule Wildau [FH]
michael.hendrix@th-wildau.de

Einflüsse elektronischer Spiele auf die Entwicklung von mobilen Endgeräten und deren Wert für die Nutzer

Johannes Koslowsky, Danny Janz

Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die Entwicklung von Spielen auf mobile Endgeräten und deren Einfluss auf die zugrunde liegenden Technologien. Es wird auf historische, aktuelle sowie zu erwartende Entwicklungen eingegangen. Außerdem wird gezeigt, was uns erwarten wird und wie dies die Nutzer und die Gesellschaft beeinflussen könnte. Es wird auch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Befragung ausgewertet und erläutert. Diese geht der Frage nach, was sich Nutzer in Zukunft auf mobilen Endgeräten wünschen und wie sie mobile Spiele bereits heute nutzen.

Abstract

The influence of electronic games on mobile phone development and their value for the user

This research presents the development of mobile games and their influence to the development of underlying technologies. It will take a look at the beginning of the mobile gaming era and the evolution to the current situation. Furthermore it will present possible future developments. Additionally it tries to give a forecast to what will possibly await us, and the attached value for the user as well as the cultural and ecological aspect. It also allocates the results of a public poll, representing the current user acceptance and what developments the mobile phone and mobile game users would like to see and accept in the future. Especially the acceptance of 3d-Games on mobile platforms is studied.

Einleitung

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Telekommunikation und Gesellschaft des Masterstudiengangs Telematik wurde in dieser Projektarbeit untersucht:

- welche Einflüsse elektronische Spiele auf die Entwicklung von mobilen Endgeräten haben und
- wie sich elektronische Spiele auf mobilen Endgeräten (mobile Games) gesellschaftlich auswirken.

Um dies zu untersuchen, wurde im Zuge dieser Projektarbeit eine quantitative Untersuchung im Bereich Berlin durchgeführt. Der Schwerpunkt konzentrierte sich auf die Akzeptanz von Spielen auf mobilen Endgeräten. Es wurde außerdem untersucht, welche Eingabemedien und Nutzerschnittstellen von Nutzern mobiler Endgeräte bevorzugt werden.

Auch wird im Rahmen dieser Arbeit die Entwicklung von Mobiltelefonen und elektronischen Spielen dargestellt.

Hierdurch wird gezeigt welchen Einfluss Spiele auf die Nutzerschnittstellen (MMI) von mobilen Endgerä-

ten haben und in Zukunft haben könnten. Es wird außerdem in einem begrenzten Rahmen erörtert, welche Auswirkungen mobile Endgeräte und elektronische Spiele auf die Gesellschaft haben. In diesem Teilbereich soll der Schwerpunkt auf der Nutzung dieser durch Jugendliche liegen.

1 Technische Entwicklungen

In diesem Abschnitt wird sowohl auf die Entwicklung elektronischer Spielen als auch auf die mobiler Endgeräte eingegangen. Die Entwicklungsgeschichte wird schwerpunktmäßig erst ab dem Zeitpunkt aufgezeigt, als mobile Endgeräte bzw. elektronische Spiele für ausreichend viele Nutzer verfügbar waren, so dass diese einen spürbaren Einfluss auf die Gesellschaft ausüben konnten. Auf einige gesellschaftliche Veränderungen die dadurch herausgebildet wurden, wird in Kapitel 2 eingegangen.

1.1 Mobile Endgeräte

Es gab natürlich schon mobile Telefonie bevor diese Arbeit mit ihrer Betrachtung beginnt. Einige Beispiele hierfür sind der Zugfunk [1], das Funktelefonsystem A [2], das C-Netz [3], etc. (Eylert 2005: 2ff.) Ende der 80er Anfang der 90er Jahre wurde das D-Netz [4] eingeführt. Ab diesem Zeitpunkt entwickelte sich das Mobiltelefon stetig weiter zu einem Gerät des täglichen Gebrauchs. Die Digitalisierung der mobilen Endgeräte trug außerdem dazu bei, die Geräte weiter zu miniaturisieren und den Energieverbrauch zu senken.

Mit der Einführung des Nokia 5110 war es erstmals möglich, Spiele auf mobilen Endgeräten zu spielen (dies wird im Kapitel 1.2 Elektronische Spiele genauer beschrieben). Dadurch wurden eine neue Technologie und ein neuer Markt geschaffen, »mobile Games« (elektronische Spiele auf mobilen Endgeräten). Diese Entwicklung beeinflusste sowohl die Gesellschaft als auch die mobilen Endgeräte [5]. Somit hat die Technologie der Mobiltelefone die Technologie der »mobile Games« geformt. Der GSM-Standard wurde daraufhin in Europa eingeführt. Er führte zu einer Vereinheitlichung der mobilen Endgeräte und Netze. Auch nahm die Zahl der Netzteilnehmer stetig zu, so dass ab diesem Zeitpunkt vom Massenmarkt [6] im Bereich des Mobilfunks gesprochen werden kann. (Eylert 2005: 2ff.)

Nach der Einführung von GSM änderten sich die Geräte ständig. Sie wurden immer Nutzerfreundlicher, bekamen Farbdisplays, eine verbesserte Grafikleistung, MP3 Player Funktionen etc. Außerdem entstanden Frameworks und Standards, die das Entwickeln von mobilen Applikationen vereinfachten. All dies verbesserte die Funktionalität und erhöhte die emotionale Bindung zum Nutzer. Auch wurde durch die Verbesserungen im Bereich der mobilen Endgeräte die Verbreitung und Entwicklung von »mobile Games« gefördert.

Beispielhafte Entwicklungsschritte von GSM Telefonen

Das »International 3200« ist eines der ersten GSM-Mobiltelefone, es ist im Jahr 1992 erschienen. Es besaß ein relativ kleines Display im Vergleich zur Größe, es war hauptsächlich zum Telefonieren gedacht. Das Nokia 5110 war eines der ersten populären Mobiltelefone. Es verfügte als erstes über ein elektronisches Spiel namens »Snake«. Es stellt somit einen Meilenstein in der Entwicklung der »mobile Games« dar. Trotzdem liegt hier der Schwerpunkt noch auf dem Telefonieren. Das Siemens S10 ist das erste Mobiltelefon mit Farbdisplay. Wie noch gezeigt wird, konkurrieren heutige und zu-

künftige Mobiltelefone mit mobilen Handheld-Konsolen, wie z. B. dem Gameboy und in Zukunft auch mit Konsolen und Computern im Markt der elektronischen Spiele. Ein entscheidender Faktor um dies zu erreichen waren die Das »Nokia NGage« ist das erste Mobiltelefon das in direkte Konkurrenz mit den bereits erwähnten Handheldkonsolen tritt. Bei diesem Gerät liegt der Fokus auf den elektronischen Spielen. Wie zu erkennen ist, sind die Eingabemedien sehr gut auf Spiele abgestimmt. »Sony Ericsson P800« ist das erste Mobiltelefon, das PDA-Funktionalität mit denen eines Mobiltelefons vereint. Es verfügte bereits über einen Touchscreen. Aus unserer Sicht war dies das erste »Smartphone« und etablierte damit diesen Markt. Für diese Arbeit ist es ein bedeutender Meilenstein, da sich im Markt der Mobiltelefone immer mehr »Smartphones« durchsetzen und auf ihnen unzählige Spiele verfügbar sind.

Zwischen dem nächsten Mobiltelefon (Apple iPhone), das aus unserer Sicht für diese Arbeit bedeutend ist, lagen noch viele weitere Entwicklungen [7]. Deren Hauptaugenmerk lag aber hauptsächlich auf der Kamera-Entwicklung und den Breitbandverbindungen über UMTS. Das »Apple iPhone« erzeugte einen »Hype« [8], dadurch wurden »Smartphones« interessant für den Massenmarkt. Auch andere Anbieter von Hardware zogen auf dieser Produktschiene nach, wie z. B. Google-Android, HTC und andere. Außerdem hat das iPhone Bewegungssensoren und »Multitouchdisplays« für mobile Endgeräte im Massenmarkt etabliert.

Die Innovation auch für »mobile Games« lag nicht nur in dem Gerät selbst sondern auch in der Plattform und dem Umfeld, das für Kunden und Entwickler geschaffen wurde. Auch wurde der Begriff »App« populär gemacht. Er steht im Englischen für eine Software, mit der ein Nutzer eine bestimmte Aufgabe erledigen kann, wie z. B.: eine Taschenrechner Anwendung zum Zusammenrechnen von Zahlen.

Auch wurde ein sogenannter »App-Store« geschaffen, in dem Nutzer Applikationen herunter auf ihr Gerät laden und sofort nutzen können. Außerdem kann jeder Entwickler seine Anwendungen in diesen Hochladen und kostenlos bzw. kostenpflichtig für Nutzer zur Verfügung stellen. Hierbei ist zu beachten dass alle Apps mit jedem »iPhone« und »iPod-Touch« kompatibel sind, da alle das gleiche mobile »Betriebssystem« bzw. die gleiche Plattform nutzen. Durch diese Innovation ist es für den Nutzer einfacher, Applikationen ohne Kompatibilitäts-Probleme zu verwenden. Dies bringt auch Vorteile für den Entwickler; er kann einfacher bzw. billiger An-

wendungen für alle Geräte dieser Plattform entwickeln und zu vertreiben.

Durch die bereits erläuterte Kombination aus »App«, »App-Store« und einheitlicher Plattform sind viele verschiedene Anwendungen entwickelt worden, unter anderem auch sehr viele mobile Spiele. Auch verbessern sich stetig die Möglichkeiten von mobilen Spielen, da die Hardware ständig weiter entwickelt wird. Wie wir gezeigt haben, sind mobile Geräte bereits heute eine ernst zu nehmende Konkurrenz für Computer, Handheld- und Desktopkonsolen im Spielbereich, da sie ein ständiger Begleiter sind [9]. Ähnliche Möglichkeiten bieten und durch die vielen kostenlosen bzw. kostengünstigen Angebote auch für bisherige Nichtspieler sehr interessant sein können. Die Entwicklung in diesem Bereich ist sicher noch nicht abgeschlossen, weitere zu erwartende und bereits verfügbare Entwicklungen werden im Kapitel 3 erläutert. (Focus 2003; Chip 2007)

1.2 Elektronische Spiele

Eines der ersten bekannten elektronischen Spiele wurde im Jahre 1958 von dem amerikanischen Physiker William Higinbotham entwickelt. Es lief auf einem Analogcomputer ab, der mit einem Oszillator verbunden war und als Ausgabegerät diente. Es wurde zu Unterhaltungszwecken innerhalb des Forschungszentrums genutzt.

Eines der ersten populären Videospiele wurde 1972 von einem amerikanischen Studenten Nolan Bushnell entwickelt. Am 29. September 1972 entwickelte er den ersten Videospieleautomaten, auf diesem war es möglich eine vereinfachte Variante des Ping-Pongs zu spielen. Dieses Spiel trug den Namen »Pong«. Auf dem Bildschirm des Automaten waren zwei Schläger zu sehen (Weiße Balken auf Schwarzem Hintergrund), sowie ein viereckiger Ball und eine Punkteanzeige. Dieses Spiel erfreute sich großer Beliebtheit. Nolan Bushnell beschloss einen eigenen Automatenvertrieb zu gründen, dieser trug den Namen Atari. Nicht einmal drei Jahre nach dem ersten Pong-Automaten brachte die Firma Atari eine Heimversion (erste Videospielekonsole) von Pong auf den Markt.

In den 80er Jahre im Zuge der Weiterentwicklung der Computertechnik, bekam auch die Videospieleindustrie ihren ersten Entwicklungsschub. Viele der heute als Klassiker bezeichneten Spiele wurden zu dieser Zeit entwickelt. Eines der wichtigsten Geräte für das Videospiele war zu dieser Zeit der C64, einer von der Firma Commodore entwickelter Heimcomputer. Dabei etablierte sich

das Gerät nicht nur als Arbeitswerkzeug sondern vor allem als Spielkonsole. Aufgrund vieler qualitativ minderwertiger Spiele und der neu entstandenen Mentalität Spiele zu kopieren und nicht zu kaufen, stagnierte der Videospielemarkt allerdings kurze Zeit später. Dies änderte sich erst wieder mit dem Markteintritt des heute weltweit bekannten Videospielekonzerns »Nintendo«. Das Unternehmen, welches anfänglich Spielkarten und anderes Spielzeug produzierte, brachte im Jahr 1983 das »Nintendo Entertainment System«, kurz NES, auf den Markt. Es war eine Spielkonsole mit austauschbaren Spielmodulen. Zum einen war das Kopieren dieser Module nicht mehr für Jedermann ohne größeren Aufwand möglich, zum anderen fanden sich unter den erschienenen Spielen einige Titel die sich auch heute noch großer Beliebtheit erfreuen. So zum Beispiel das »Jump-and-Run« »Super Mario Bros.« und das Abenteuerspiel »Zelda«.

Auch Commodore brachte mit dem »Amiga« eine neue Spielekonsole auf den Markt, wie auch Sega, ein japanisches Videospiele-Unternehmen, den »Mega Drive«. Sega entwickelte mit »Sonic« ein weiteres Kultspiel, welches sich großer Beliebtheit erfreute. Damit hatte sich der Videospielemarkt, besonders im Bereich der Videospielekonsolen zu einem wachsenden und von Wettbewerb geprägten Marktsegment entwickelt. In den folgenden Jahren war der Videospielemarkt hauptsächlich von technischen und grafischen Weiterentwicklungen geprägt. Einen entscheidenden Schritt in Richtung mobile Games erlebte die Videospielewelt erst wieder mit der Entwicklung des »Game Boy« (Nintendo 1989).

Mit diesem Gerät wurde die erste mobile Videospielekonsole geschaffen, die es ermöglichte die Spiele in Form von Modulen auszutauschen. Das Gerät war zwar grafisch den inzwischen erhältlichen Heimkonsolen unterlegen, aber es ermöglichte mobile Videospiele. Anfangs war er nur zusammen mit dem Spiel »Tetris« erhältlich, welches sich zu einem der beliebtesten Videospiele aller Zeiten entwickelte. Für den »Game Boy« wurden im Laufe der Zeit über 1200 Spiele entwickelt, unter anderem auch Nintendos Hit-Serien, »Super Mario Land« und »Zelda«, welche nun auch jederzeit und überall spielbar waren.

Mit seinem Marktstart brach das Zeitalter der ubiquitären Unterhaltung an und die Möglichkeit Spiele überall und zu jeder Zeit zu spielen. Aufgrund des großen Erfolges wurde das Gerät im Laufe der Zeit mehrere Male überarbeitet, und in neuer Version mit neuem Funktionsumfang, verbesserter Grafikleistung veröffentlicht. So folgte auf die erste Version des »Game

Boy« sieben Jahre später der »Game Boy Pocket«, eine kompaktere Version mit verbesserter Anzeige, höherem Kontrast und einer geringeren Energieaufnahme [10]. Zwei Jahre später veröffentlichte Nintendo mit dem »Game Boy Color« die erste Handheld-Konsole welche über eine farbige Anzeige verfügte. Dieses Gerät konnte mehr als 32.000 Farben anzeigen. Aber auch der Heimkonsolenmarkt entwickelte sich weiter, hier finden sich Entwicklungen welche ebenfalls bereits einen Kultstatus erreicht haben. Beispiele hierfür sind die von Sony entwickelte Playstation 1 und 2, welche heute noch die längste Liste an verfügbaren Spielen führen. Dank der Weiterentwicklung der Halbleitertechnik verfügen Konsolen über immer leistungsfähigere Prozessoren und Grafikchips [11].

Die Grafik der heutigen Konsolen wurde dabei in nur wenigen Jahren von schlichten zweidimensionalen Darstellungen, mit 256 Farben, in realistische 3Ddimensionale Szenarien weiterentwickelt. Auch Handheld-Konsolen werden in Zukunft diese technischen Möglichkeiten integrieren.

1.3 Entwicklung von Videospiele auf dem Mobiltelefon

1997 erschien mit dem Nokia 5110 und dem darauf vorinstalliertem Programm »Snake« das erste Videospiel auf einem Mobiltelefon. Der Spieler steuerte eine Schlange (dargestellt als einfache Linie), die auf Punkte zubewegt werden musste, um sie zu verschlingen. Die Schlange wurde nach jedem verschlungenem Punkt ein Stück länger. Die Schwierigkeit bestand darin, dass die Schlange sich nicht selbst berühren durfte, ansonsten endete das Spiel. Obwohl das Spiel inhaltlich wie auch grafisch simpel aufgebaut war, im Gegensatz zu anderen mobilen Spielen, die inzwischen erhältlich waren, wie zum Beispiel auf dem »Nintendo Gameboy«, erregte es ein hohes Aufsehen und wurde international bekannt und beliebt.

Das Spiel wurde daraufhin auch auf jedem weiteren Mobiltelefon der Firma Nokia integriert. Auf Grund der Schlichtheit des Spiels lässt sich die Euphorie darum dadurch erklären, dass es einen erheblichen Mehrwert für das eigene Mobiltelefon darstellte. Es war nun auch möglich, mit diesem mobiles Entertainment zu erleben. Somit entwickelte sich aus der bereits angebrochenen Ära der mobilen Spiele nun das Zeitalter der Handyspiele. Der Kult, der sich um das Spiel »Snake« entwickelte, war eine lange Zeit unübertroffen, da nur wenig vergleichbare Konkurrenz folgte.

Der nächste Entwicklungsschub im Bereich der Handyspiele kam wieder von Nokia. Es kamen mobile Spiele (auf dem Mobiltelefon) auf den Markt, welche durch Farbe und deutlich bessere Grafik geprägt waren. Diese neuen »Handyspiele« waren vergleichbar mit denen auf Konsolen und Handheld-Konsolen. Unter anderem war nun auch das beliebte Spiel »Snake« in Farbe spielbar.

Alle Spiele, die bis dahin auf einem Mobiltelefon spielbar waren, mussten vom Hersteller vorinstalliert werden. Die Möglichkeit andere Spiele hinzuzufügen oder sie auszutauschen bestand nicht. So beschränkte sich das Angebot auf ein paar wenige Spiele, die in Abhängigkeit vom Hersteller variierten. Dies änderte sich erst mit der Einführung der Java-Micro-Edition, kurz Java-ME, im Jahr 1999. Mit diesem Framework wurde es möglich, auf Mobiltelefonen, in der Programmiersprache Java, Spiele und Programme zu entwickeln, zu laden und auszuführen. Dies war ein weiterer entscheidender Schritt in der Entwicklung von »mobile Games«, denn nun war es jedem Entwickler möglich, der diese Programmiersprache beherrschte, Software für ein solches Mobiltelefon zu entwickeln.

Es dauerte nicht lange, bis ein großes Angebot an Videospiele für Java-fähige Mobiltelefone verfügbar war. Diese wurden sowohl von professionellen als auch von Hobbyentwicklern angeboten. Da sich viele Amateurentwickler an der Programmierung und dem Vertrieb von Handyspielen versuchten, war der Markt in kürzester Zeit von einer unüberschaubaren Menge qualitativ minderwertiger Software überflutet. Was nicht zuletzt damit begründet werden kann, dass die Entwickler mit den begrenzten rechentechnischen Ressourcen der Mobiltelefone auskommen mussten. Zudem boten die Zifferntasten, welche zu dieser Zeit das einzige Eingabemedium waren, nur durchschnittlichen Komfort zur Steuerung von Spielen.

Trotzdem wurden Spiele auf Mobiltelefonen immer beliebter, deshalb startete Nokia einen Versuch mit einer weiteren Innovation. Es wurde versucht, auf Mobiltelefonen durch bewusste Anpassung des Designs einen erhöhten Spielkomfort zu gewährleisten. Das aus dieser Überlegung entstandene Gerät war das Nokia »NGage«, das 2003 erstmals auf den Markt kam. Die Bauform ist der einer Handheldkonsole nachempfunden. Es enthält separate Bedienelemente wie z. B. ein Steuerkreuz. Auffällig ist dabei die Ähnlichkeit zum »Gameboy Advanced«, der zu dieser Zeit, aktuellen Handheldkonsole von Nintendo. Die Spiele, die für das »NGage« verfügbar waren, genügten gehobenen Qualitätsstandard im

Gegensatz zu vorher auf Mobiltelefonen verfügbaren Spielen, so dass diese teilweise mit Spielen für gängige Handheldkonsolen vergleichbar wurden. Das Gerät erzielte allerdings nicht den gewünschten Erfolg, was vermutlich mit dem hohen Preis in Verbindung gebracht werden kann. Weitere Aspekte sind womöglich die geringe Auswahl an Spielen und die Tatsache, dass es nicht einfach möglich war Spiele auszutauschen. Hierfür war es nötig, den Akku zu entfernen. Ein Jahr nach der Veröffentlichung des »NGage« startete Nokia einen weiteren Versuch und stellte das »NGage QD« vor. Dabei wurde beim Design auf die Kritikpunkte des ersten »NGage« eingegangen und so besaß das Gerät z. B. einen separaten Steckplatz, um die Spiele leichter auszutauschen. Allerdings kostete das Gerät noch einmal deutlich mehr als die erste Generation und so blieb auch die neue Version des »NGage« mit seinem Erfolg auf der Strecke. Trotzdem zeichnete sich an dieser Stelle schon deutlich ein neuer Trend ab, der in den folgenden Jahren die Entwicklung neuer Mobilfunkgeräte prägen sollte. Da sich »mobile Games« ungeachtet des Misserfolges von Nokias »Handy-Konsole« einer konstanten Beliebtheit erfreuten, wurde beim Entwurf neuer Mobilfunkgeräte darauf geachtet, inwiefern sich die Geräte als Spielplattform eignen.

Eine Revolution der Videospiele auf dem Mobiltelefon kam im Jahre 2007 mit dem Erscheinen des als »iPhone« bezeichneten Smartphones des amerikanischen Computerherstellers Apple. Das Gerät vereinte dabei einige Vorzüge, die es möglich machten, es beinahe als eigenständige Spielkonsole zu bezeichnen, nur ging es bei der Umsetzung einen anderen Weg als die bisherigen Versuche. Die Bedienung des Geräts und dadurch auch die Steuerung von Spielen kann dabei auf unterschiedliche Weise erfolgen. Als Eingabemedium verfügt das Gerät über einen Touchscreen und eine Beschleunigungs- und einen Lagesensor, Tasten entfallen dabei völlig. Eingabemedien wie berührungsempfindliche Anzeigen waren inzwischen auch in der Welt der Handheldkonsolen in Mode gekommen und gestalteten die Landschaft neuer Videospieldentwicklungen um. Ein Beispiel hierfür ist das »Nintendo DS«, das als Ablösung für den »Game Boy« zu betrachten ist. Das »iPhone« erweiterte dies nun noch um die benannten Sensoren zur Eingabe. Ein weiterer Punkt der das »iPhone« allerdings gegen bisherige Smartphones abgrenzt, welche schon vorher über Touchscreens verfügten, war, dass es Technologien zur Verfügung stellte, um auch grafisch Anspruchsvolle Spiel dafür entwickeln zu können. Das

Gerät bietet Softwareentwicklern die Möglichkeit mit der offenen Grafik-Programmierschnittstelle »OpenGL ES« effizient 3D-Spiele oder grafisch Anspruchsvolle 2D-Spiele zu entwickeln. Diese können, sowie viele andere Anwendungen, dann von Programmierern und Entwicklungsstudios über eine einheitliche Plattform vertrieben werden, den »AppStore«. Diese Plattform bietet dabei Besitzern des »iPhone« nicht nur einen einfachen Weg, neue Spiele zu beziehen, sondern diese auch zu bewerten und zu kommentieren, wodurch sich eine Auswahl qualitativ hochwertigerer Spiele ergibt.

Anders als bei »Nokias NGage« ist auch die Auswahl der Spiele in kurzer Zeit auf ein beachtliches Maß gestiegen, bei rund 30.000 derzeit verfügbaren »iPhone-Apps« ist jedes dritte ein Spiel oder eine unterhaltungsorientierte Anwendung. Dem gleichen Prinzip wie das »iPhone« folgt auch das Handybetriebssystem des Suchmaschinenbetreibers Google, das den Namen »Android« trägt. Anders als das »iPhone« ist »Android« nur eine Softwareplattform für Smartphones. Sie bietet aber ebenfalls eine einheitliche Vertriebsplattform für Apps, den so genannten »Android-Market« und bietet Entwicklern dieselbe Grafik-Programmierschnittstelle an. Die erhältlichen Spiele sprechen dabei verschiedenste Zielgruppen, von Gelegenheitsspielern bis zu Spielern, die auch gern etwas mehr Zeit mit einem Videospiel verbringen, an. Diese sind grafisch so wie auch inhaltlich mit Spielen zeitgemäßer Handheldkonsolen, wie der »Playstation Portable« oder dem Nintendo »DS« zu vergleichen.

2 Gesellschaftliche Auswirkungen

Im Folgenden wollen wir auf einige gesellschaftliche Entwicklungen hinweisen, die durch Mobiltelefone, elektronische Spiele und »mobile Games« ausgelöst, bzw. mitgestaltet wurden. Der Einfluss der mobilen Telefone, bzw. der mobilen Kommunikation, machte sich bereits sehr früh in Ideen, Wunschvorstellungen, Literatur und Kunst bemerkbar, auch wenn dieser noch sehr gering war. Ein Beispiel hierfür ist eine literarische Beschreibung durch Erich Kästner in einem Kinderbuch, das bereits 1932 erschien.

Ein Herr, der vor ihnen auf dem Trottoir langfuhr, trat plötzlich aufs Pflaster, zog einen Telefonhörer aus der Manteltasche, sprach eine Nummer hinein und rief: »Gertrud, hör mal, ich komme heute eine Stunde später zum Mittagessen. Ich will vorher noch ins Laboratorium. Wiedersehen, Schatz!« (Kästner 1931)

Hiermit zeigte Kästner bereits eine eingetretene gesellschaftliche Entwicklung auf, dass nämlich Mobiltelefone hauptsächlich für Kurzgespräche und Absprachen genutzt werden. Es gibt auch noch viele andere Einflüsse von Mobiltelefonen auf die Gesellschaft und das Nutzungsverhalten dieser Geräte. Auf all diese Entwicklungen einzugehen ist im Rahmen dieser Arbeit leider nicht möglich, daher werden wir nur kurz einige Beispiele nennen, und Entwicklungen ansprechen, die in der Zukunft zu erwarten sind.

Einen bedeutenden Einfluss hat das Mobiltelefon z. B. auf Jugendliche und junge Erwachsene. Da sie mit dieser Technologie aufgewachsen sind, hat es maßgeblich ihr Kommunikationsverhalten und ihre Kommunikationskultur beeinflusst. Dieser Aspekt wurde durch Richard Harper und Lynne Hamill bereits ausführlich untersucht (Hamill et al. 2005, 61ff.). Mobile World. Wie auch von Alex S. Taylor und Jane Vincent dargestellt, hat die Technologie der SMS das Nutzungsverhalten von mobilen Endgeräten massiv beeinflusst. (Taylor et al. 2005: 75ff.)

Das Mobiltelefon ist zu einem täglichen Begleiter und Unterstützer im Arbeits- und Privatleben geworden. Dies wurde z. B. durch die Verbesserung der Geräte [12] und den daraus resultierenden neuen Möglichkeiten erreicht (Lasen 2005; Ling 2004; Wenzel 2007). In der Zukunft ist zu erwarten, dass Mobiltelefone immer mehr zum universellen Freizeitbegleiter weiterentwickelt werden. Dies ist auch schon durch heutige Entwicklungen zu beobachten, da viele Geräte bereits heute mit Mp3-Player, Kamera, »Videoplayer«-Funktionen etc. ausgestattet sind (Heilige 2008). Auch ist in vielen Ländern, z. B. Korea, Japan und Italien, das mobile Fernsehen (mobile TV) bereits akzeptiert und wird von einer hohen Teilnehmerzahl verwendet (Rösch 2009).

Außerdem erwarten wir in der Zukunft, dass mobile Endgeräte zu konkurrenzfähigen mobilen Konsolen, durch eine verbesserte Grafikleistung, mehr angebotene Spiele, etc., weiterentwickelt werden. Es ist anzunehmen, dass diese neue Nutzungsmöglichkeit hauptsächlich von den unter 30-jährigen wahrgenommen wird, da diese Altersgruppe sowohl mit elektronischen Spielen als auch mit mobilen Endgeräten aufgewachsen ist. Auch erwarten wir, dass sich daraus resultierend neue Spielformen entwickeln z. B. »Location Based Multiplayer Games« [siehe auch www.flub.it] [13]. Diese sind als elektronisches Pendant zu Geländespielen, wie der klassischen Schnitzeljagd oder Räuber und Gendarm zu verstehen. Außerdem wird es möglich sein digitale Va-

rianten von klassischen Brettspielen wie Scrabble etc. [14] zu spielen. Auch vermuten wir, dass diese mobilen Endgeräte mit ihren vielfältigen elektronischen Spielen die klassischen Konsolen aus dem Markt aus drei Gründen verdrängen:

- Die Hardware ist bei den meisten Jugendlichen bereits vorhanden.
- Die angebotenen elektronischen Spiele sind zum Großteil kostenfrei verfügbar bzw. zu deutlich geringeren Preisen zu erwerben und bieten ähnliche Qualität wie Konsolenspiele.

Deshalb wird diese Arbeit versuchen, in Kapitel 4 und 5 zu untersuchen, ob Jugendliche elektronische Spiele auf mobilen Endgeräten benutzen, ob sie bereit sind, für diese zu bezahlen und ob die Grafikleistung für den Erfolg von diesen Spielen entscheidend sein wird.

3 Zukünftige Entwicklungen

Mobiltelefone sind in den vergangenen Jahren immer vielfältiger geworden und haben sich auf Grund der rapiden Entwicklung der Halbleitertechnik zu multifunktionalen Geräten mit beachtlicher Rechenleistung entwickelt. Zusätzlich zur Verschmelzung der Mobiltelefone mit Kameras, Musikplayern, Fernsehern, Terminplanern und anderen Alltagsgegenständen zeichnet sich deutlich ab, dass der nächste Schritt in der Synthese mit Videospielekonsolen besteht, bzw. schon seit geraumer Zeit im Gange ist.

Geht die technische Entwicklung in den folgenden Jahren mit der gleichen Geschwindigkeit weiter, so könnten uns in Zukunft Mobiltelefone erwarten, welche mit der Rechenleistung jetziger Heimcomputer oder darüber hinaus ausgestattet sind. So soll zum Beispiel der Nachfolger der von Sony entwickelten Handheldkonsole »Playstation Portable« über einen Mehrkernprozessor verfügen, der in einer leistungsfähigeren Variante in der aktuellen »Playstation 3« verbaut ist, ein so genannter Cell-Prozessor. Es ist abzusehen, dass solche oder ähnliche Prozessoren in nicht allzu ferner Zukunft ihren Weg in Mobilfunkgeräte finden werden. Zudem werden immer neue Eingabemöglichkeiten entwickelt, so wie die aktuell im Gespräch befindliche Gesten-Steuerung. Dadurch soll es möglich sein Endgeräte berührungslos, durch Bewegung der Hände oder mittels der Augen oder ähnlichem, zu bedienen.

Einen weiteren, recht neuartigen Trend beschreiben so genannte »Location Based Games«, welche durchaus

die Zukunft mobiler Spiele darstellen könnten. Dabei handelt es sich um Spiele, welche auf GPS-gestützten Endgeräten Anwendung finden und die die aus dem GPS gewonnen Positionsdaten auf eine beliebige Art im Spiel integrieren.

4 Angewendetes Verfahren zur quantitativen Befragung

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Umfrage durchgeführt. Im Folgenden soll das Vorgehen erläutert werden, wie diese durchgeführt wurde. Hierbei werden die von uns gestellten Fragen aufgezeigt und erläutert. Die Ergebnisse werden in Kapitel 5 ausgewertet und dem geneigten Leser zur Interpretation überlassen.

Das Ziel war es, mindestens 50 Personen zu Befragen, mit einem möglichst gleichen Anteil von Frauen und Männern. Die Altersgruppe der Befragten sollte zwischen 13 und 65 Jahren liegen, wobei der Schwerpunkt auf Personen zwischen 13 und 30 liegen sollte, da diese Altersgruppe meist bereits Erfahrungen mit elektronischen Spielen und mobilen Endgeräten gesammelt hat. Somit ist zu erwarten, dass sie die Schwerpunktzielgruppe für »mobile Games« sind. Die Befragung wurde in Berlin auf dem Alexanderplatz durchgeführt. Es wurde

Frage	Fragestellung (Antwortmöglichkeiten) [Anmerkungen]
1	Nutzen Sie Spiele auf ihrem Mobiltelefon? (ja/nein)
2	Wie viele Stunden wöchentlich nutzen Sie durchschnittlich ihr Mobiltelefon oder andere mobile Endgeräte für ein elektronisches Spiel? (Stunden) [auch Social-Games wie z. B. Farmville]
3	Würden Sie 3d Spiele auf ihrem mobilen Endgerät nutzen? (ja/nein)
4	Hätten Sie gerne ein Mobiltelefon mit besserer Grafikleistung? (ja/nein)
5	Welchen Menüstil bevorzugen Sie auf mobilen Endgeräten? (textbasiert, touch/gesten, kontextstark, kontextschwach) [Mehrfachnennungen möglich]
6	Welche Eingabemedien bevorzugen Sie auf mobilen Endgeräten? (physische Tastatur, Touchscreen, Bewegungssensor, separate Bedienelemente ähnlich NGage oder Gameboy) [Mehrfachnennungen möglich]
7	Sind Sie bereit für Spiele auf mobilen Endgeräten zu bezahlen? (ja/nein)

Tabelle 1

sich für diesen Ort entschieden, weil dort ein möglichst breites Spektrum an Personen befragt werden konnte.

Außerdem wurde versucht, die Fragen so zu entwickeln, dass die Befragten nicht durch die Fragestellung beeinflusst wurden.

4.1. Fragebogen

In Tabelle 1 sind die Fragen zu sehen, die den Befragten gestellt wurden. Außerdem wurden den Befragten noch Bilder zur Verdeutlichung der Fragen 5 und 6 gezeigt, diese beinhalteten Mobiltelefone mit den entsprechenden Merkmalen aus den Antwortmöglichkeiten.

Befragungsergebnisse			
Befragte Personen: 44	Frauenanteil:	23	
	Männeranteil:	21	
Altersverteilung	(13-19)	17	
	(20-24)	20	
	(25-35)	5	
	(35+)	2	
		Ja	Nein
Frage 1		72,7 %	27,3 %
	Frauen	69 %	31 %
	Männer	75 %	25 %
Frage 3		52 %	48 %
	Frauen	43 %	57 %
	Männer	61 %	39 %
Frage 4		44 %	56 %
	Frauen	30 %	70 %
	Männer	56 %	44 %
Frage 7		16 %	84 %
Frage 2	Spieldauer im Mittel	2 Stunden	
	Varianz	9.12744186	
Frage 5	textbasiert	20 %	
	touch	72 %	
	kontextstark	47 %	
	kontextschwach	45 %	
Frage 6	physische Tastatur	20 %	
	Touchscreen	50 %	
	Bewegungssensor	47 %	
	seperate Bedienelemente	45 %	

Tabelle 2

5 Auswertung der Befragung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit dem zuvor erläuterten Fragebogen 44 Personen befragt, wovon 23 der Befragten weiblich und 21 männlich waren. 95% der Befragten lagen in der Altersgruppe von 13-35 Jahre. Es gaben 72% der Befragten an, dass sie elektronische Spiele auf ihrem Mobiltelefon nutzen, wobei die wöchentliche Nutzungsdauer im Mittel mit ca. 2 Stunden angegeben wurde. Es stimmten 52% der Befragten zu, dass sie 3D-Spiele auf ihrem mobilen Endgeräte spielen würden. 56% der Teilnehmer der Umfrage gaben an, dass sie keine bessere Grafikleistung auf mobilen Endgeräten wünschen. Hieraus Schlussfolgern wir, dass die meisten Nutzer grafisch weniger aufwendige aber vom Spielprinzip ansprechende Spiele bevorzugen. Nur ca. 16% der Befragten gaben an das sie bereit wären für elektronische Spiele auf mobilen Endgeräten zu bezahlen.

6 Fazit

Wie diese Untersuchung gezeigt hat, benutzen mehr als zwei Drittel der Befragten bereits heute »mobile Games«. Daher kann es sich als Anbieter von solcher Software lohnen, in diesen Markt weiter zu investieren. Da die meisten Befragten nicht bereit sind für »mobile Games« zu bezahlen, sollte aus unserer Sicht darauf geachtet werden, dass dies werbefinanzierte, kostenfreie oder »Shareware«-Angebote, bei denen zusätzliche Inhalte bezahlt werden müssen, sind. Für die meisten Teilnehmer unserer Befragung war die Grafikleistung auf ihrem Mobilgerät nicht entscheidend. Daraus schließen wir, dass die angebotene Hardwareleistung ausreichend und 3d-Grafik in Spielen nicht entscheidend für den Erfolg am Markt ist. Es sollte vor allem darauf geachtet werden, dass die Software per Touchscreen bedient werden kann. Wir konnten nach der Auswertung keinen signifikanten unterschied zwischen Männern und Frauen feststellen. In Zukunft ist aus unserer Sicht zu erwarten, dass Mobiltelefone Handheldkonsolen absorbieren, wie sie es schon mit Digitalkameras, MP3-Player, Navigationssystemen, Organizern, etc. getan haben.

Acknowledgement

Der Beitrag wurde erstellt im Rahmen des Seminars Telecommunications and Society von Prof. Dr. Bernd Eylert, TH Wildau [FH]

Anmerkungen

- [1] Ab 1918 militärisch genutzt auf der Strecke Zossen – Berlin. Ab 1926 auch Zivil angeboten durch die Deutsche Reichspost und die Deutsche Reichsbahn. Durch die Entdeckung und praktische Umsetzung der Sprachübertragung über Funk ist folgende These aus der Vorlesung bestätigt: These 1: Technologie ist angewandte Naturwissenschaft. (Es musste erst durch Grey und Bell ermöglicht werden Sprache als elektrische Impulse zu Übertragen. Außerdem musste naturwissenschaftlich ein Verfahren entdeckt werden, das es ermöglichte dies über Funk zu tun.)
- [2] Ab 1950 in Deutschland eingesetzt.
- [3] Ab 1985. Sowohl das A- als auch das C-Netz wurden hauptsächlich von bedeutenden Personen der Wirtschaft, Politik und Gesellschaft genutzt da sowohl die Verbindungskosten als auch die Gerätekosten sehr hoch waren.
- [4] Mit dem D-Netz kam der Wandel vom analogen zum digitalen Mobilfunknetz.
- [5] Einflüsse hat dies z. B.: auf Design, Benutzung, Nutzerschnittstellen etc.
- [6] Das Mobiltelefon wurde ab diesem Zeitpunkt vollen allen Gesellschaftsschichten, sowohl von Jungen als auch Alten, genutzt.
- [7] Diese sind für diese Studie nicht entscheidend daher wurden sie weggelassen.
- [8] Künstlich erzeugtes und überzogenes Interesse für eine Neuentwicklung. Siehe auch »Der Hype-Zyklus stellt dar, welche Phasen der öffentlichen Aufmerksamkeit eine neue Technologie bei deren Einführung durchläuft. Der Begriff des Hype-Zyklus wurde von der Gartner-Beraterin Jackie Fenn geprägt (The Microsoft System Software Hype Cycle Strikes Again, Jackie Fenn, 1995) und dient heute Technologieberatern zur Bewertung in der Einführung neuer Technologien.« (Wikipedia 2010)
- [9] »any place, any time, any where« (Eylert 2005)
- [10] In Japan erschien sogar eine Version des Game Boy Pocket mit hintergrundbeleuchtetem Display
- [11] Es befindet sich im Kern der inzwischen neusten Version der Playstation ein so genannter Cell-Prozessor, dieser ist für parallele Rechenarbeiten ausgelegt.
- [12] Geräte die sowohl Kalender, Navigationslösungen, Währungsrechner, Taschenrechner, Internetzugang etc. bieten.
- [13] Der englische Begriff Location-based Game (LBG) bezeichnet ein (Computer-)Spiel, in dem der Spielverlauf in irgendeiner Form durch die Veränderung der geografischen Position des Spielers beeinflusst wird. Auf Deutsch bedeutet Location-based Game »positionsbezogenes Spiel«.
- [14] Scrabble für iPhone und iPad. <http://www.electronic-arts.de/spiele/scrabble>

Literaturverzeichnis

- Chip (2007): [www.chip.de](http://www.chip.de/bildergalerie/Meilensteine-Die-besten-Handys-aus-15-Jahren-Mobilfunk-Galerie_20204633.html). (Online) (Zitat vom: 20. Mai 2010).
- Eylert, B. (2005): *The Mobile Multimedia Business*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Focus (2003): Focus. (Online) (Zitat vom: 20. Mai 2010). http://www.focus.de/digital/handy/handyvergleich/handy-test-ericsson-t68/ausstattung-das-erste-handy-mit-farbdisplay_aid_308756.html.
- Graft, K. (2006): *Business Week*, http://www.businessweek.com/innovate/content/jan2006/id20060122_077129.htm (Zugriff 15.5.2010).
- Kästner, E. (1931): *Der fünfunddreißigste Mai oder Konrad reitet in die Südsee*. 55. Hamburg, Dressler Verlag.
- Hamill, L., Lasen, A. (2005): *Mobile World*. United States of America. In: Hamill, L., Lasen, A. (Hrsg) (2005): *Mobile World: Past, Present and Future*, Springer-Verlag.
- Harper, R., Hamill, L. (2005): *Kids will be kids: The role of mobiles in teenage life*. In: Hamill, L., Lasen, A. (Hrsg) (2005): *Mobile World: Past, Present and Future*, Springer-Verlag.
- Hamill, L., Lasen, A. (Hrsg) (2005): *Mobile World: Past, Present and Future*, Springer-Verlag.
- Taylor, V. (2005): *Mobile World: An SMS History*. In: Hamill, L., Lasen, A. (Hrsg) (2005): *Mobile World: Past, Present and Future*, Springer-Verlag.
- Ling, R. (2004). *The Mobile Connection*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Elsevier Inc.
- Heillige, H. D (Hrsg) (2008): *Mensch Computer Interface*. Bielefeld: transcript Verlag.
- Rösch, A. (2009). [magnus.de](http://archiv.magnus.de/breitband/artikel/studie-mobiler-tv-empfang-in-italien-waechst-stark-fussball-wm-als-treiber.html). (Online). <http://archiv.magnus.de/breitband/artikel/studie-mobiler-tv-empfang-in-italien-waechst-stark-fussball-wm-als-treiber.html> (Zugriff 15.5.2010).
- Rosenstingl, H. (2009): *Computerspiele und Gesellschaft - Determinanten und Umsetzung des österreichischen Weges der Positivprädikatisierung von Computer- und Konsolenspielen*. Master Thesis. s.l.: Donau Universität Krems.
- Wenzel, E. (2007): [www.zukunftsinstitut.de](http://www.portel.de/index.php?id=nachricht&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=13629&tx_ttnews[backPid]=12&cHash=7f9a4ff46d). [http://www.portel.de/index.php?id=nachricht&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=13629&tx_ttnews\[backPid\]=12&cHash=7f9a4ff46d](http://www.portel.de/index.php?id=nachricht&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=13629&tx_ttnews[backPid]=12&cHash=7f9a4ff46d) (Zugriff 17.5.2010).
- Wikipedia (2010): [wikipedia.de](http://de.wikipedia.org/wiki/Hype-Zyklus), <http://de.wikipedia.org/wiki/Hype-Zyklus> (Zugriff 26.5.2010).

Autorenangabe:

- Johannes Koslowsky B.Eng. Studierender an der TH-Wildau (FH)
Studiengang Telematik
- Danny Janz B.Eng Studierender an der TH-Wildau (FH) Studiengang
Telematik

Autoren

- Johannes Koslowsky, B.Eng.**
TH Wildau [FH]
FB Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Studiengang Telematik
johannes.koslowsky@th-wildau.de
- Danny Janz, B.Eng.**
TH Wildau [FH]
FB Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Studiengang Telematik
danny.janz@th-wildau.de

Mobile Phone as an Everyday Life Style Object – The Move from »Plain old Mobile« to »Electronic Brain in your Pocket«

Daniela Stärke, Stefan Kramer, Bernd Eylert

Zusammenfassung

Seit der Einführung des Mobiltelefons hat sich seine Nutzung sehr stark verändert. Mittlerweile sind sie zu wichtigen Hilfsmitteln im täglichen Leben geworden, z. B. als Organizer oder Nachschlagewerk. Hier drängt sich nun die entscheidende Frage auf, inwieweit mobile Dienste Zugriff auf die Daten der Nutzer bekommen. Um dies, aber auch die Akzeptanz von verschiedenen mobilen Diensten zu erforschen, wurden im Rahmen dieses Papiers Umfragen in Berlin und Brandenburg durchgeführt. Ein weiterer Gegenstand der Umfrage war es, herauszufinden, ob die Nutzer bereit sind, private Daten Diensten zur Verfügung zu stellen, damit diese die Daten zu einer großen Menge vereinen, um so Vorschläge zu den Interessen der Nutzer machen zu können.

Abstract

Since the mobile phone was introduced to the market, its way of using changed rapidly. Nowadays it is an important tool, e.g. as organizer or knowledge base in people's every days life. The important question is now: In which way mobile services will gain influence on private data. For this purpose surveys were conducted in Berlin-Brandenburg to get a serious database and to figure out customer's wishes and expectations regarding these services. Another reason for this survey was to find out, whether people are willing to provide their private data to programs or services that combine different kinds of those data, to connect these independent data to a huge database, to make suggestions of people's interests.

1 Einführung

Die Entwicklung und das Design der Mobiltelefone in den letzten 10 Jahren haben sich von Funktionen wie der einfachen Telefonie und Kurznachrichten zu einem Multifunktionsgerät mit Kamera, Internetzugang, etc. gewandelt. Am Anfang waren Mobiltelefone große, schwere und sperrige Geräte, die eine ständige Erreichbarkeit fast ausschlossen. Niemand wollte noch eine zusätzliche Tasche für das Mobiltelefon mit sich umher tragen. Daher wurden die Handys mit der Zeit kleiner, leichter und kompakter. Heute ist ein gegenläufiger Trend zu beobachten. Die Endgeräte werden wieder größer, vor allem der Bildschirm, und auch der Funktionsumfang nimmt zu. Heute gibt es kaum noch Geräte ohne Kamera, MP3-Player und Internetfunktion. Die in der Lehrveranstaltung »Telekommunikation und Gesellschaft« des Masterstudiengangs Telematik herausgearbeiteten Thesen zur Entwicklung von Technologien lassen sich auch in diesem Zusammenhang wieder erkennen. Zuerst ist hier die These

»Technologie formt Technologie« zu nennen. Ohne die jetzige Generation von Mobilfunkgeräten würde es auch diese Vielzahl von Funktionen oder Diensten nicht geben. Des Weiteren hat sich nicht nur die Form und Funktionsweise verändert, sondern auch das Design und die Bedienung allgemein. Wo man sich früher mit einem extra Knopf durch das Menü klicken musste, wird heutzutage der Finger auf den Touchscreen gedrückt und das gewünschte Programm ausgeführt.

Wie bereits erwähnt wurde, sind Mobiltelefone mit immer mehr Funktionen ausgestattet. Ob diese auch vom Nutzer benötigt werden, soll nachfolgend anhand einer repräsentativen Befragung beleuchtet werden. Je nach Ergebnis kann eine weitere These bzw. ein Teil der folgenden These verwendet werden. Diese These besagt zweierlei, nämlich zum Ersten, dass »technologische Entwicklung akzeptiert wird, weil sie erfolgreich ist« und zum Zweiten »das an neue Technologie geglaubt wird, weil sie von der Gesellschaft akzeptiert wird«.

2 Stand der Technik

2.1 Geräte

2.1.1 Apple iPad

Anfang 2010 stellte der Gründer von Apple, Steve Jobs, die neueste Entwicklung aus dem Hause Apple, das iPad, vor (Apple3 2010). Das iPad soll die Brücke zwischen einem Laptop und einem Smartphone schlagen. Laut Firmenangaben soll es das beste Erlebnis bzw. die beste Erfahrung sein, damit ins Internet zu gehen, Emails zu lesen oder Fotos und Filme anzusehen. Dabei soll das Produkt sich den Nutzerbedürfnissen anpassen und nicht der Nutzer dem Gerät. Durch die Multi-touch-Technologie ist das iPad noch intuitiver zu bedienen, als das iPhone oder vergleichbare Geräte. Des Weiteren kann das iPad als Gerät zum Lesen von eBooks verwendet werden. Dabei soll sich die Leseerfahrung deutlich von den bestehenden eBook-Readern unterscheiden.

Neben der Möglichkeit seine Musik sofort im iTunes-Store zu kaufen, sowie zusätzliche Programme oder Spiele im App-Store, gibt es auch die Möglichkeit seine digitale Bibliothek im iBookstore zu erweitern. Schon zum Start des iPad gab es eine Vielzahl an zusätzlichen Applikationen, teils kostenfrei teils kostenpflichtig, welche direkt für das iPad entwickelt wurden bzw. in naher Zukunft noch angepasst werden. Generell können auch iPhone-Apps auf das Gerät geladen werden, nur die Auflösung bzw. die Ansicht kann sich dann unterscheiden. Mit Hilfe des Apple-SDK kann Software speziell für das iPad entwickelt werden. Dies gibt Entwicklern und Unternehmen die Möglichkeit zusätzliche Dienste anzubieten bzw. das iPad für Services zu nutzen, die jetzt noch nicht vorstellbar sind. Es wird eine ähnliche Entwicklung erwartet, wie sie das iPhone vorgemacht hat. Zur Markteinführung des iPhone gab es nur eine geringe Anzahl an Apps. Heute stehen dem (zahlenden) Kunden über 100.000 Apps zur Verfügung. Diese stammen aus den verschiedensten Bereichen, wie Spiele, News, Finanzen, Bildung, etc.

Der Inhalt (hier Content genannt) kann sehr visuell für das iPad aufbereitet werden und der Internet Browser oder die Applikation kann als Fenster ins Internet fungieren. Da ein Großteil der Menschen sehr visuell veranlagt ist, kann u. a.

Werbung noch spezieller platziert oder aufbereitet werden. Apple erhofft sich auch eine zusätzliche Kooperation mit Verlagen, um in Zukunft das iPad als digitale Zeitung/Zeitschrift verwenden zu können (Apple3 2010).

Trotz aller positiven Eigenschaften die das iPad hat, gibt es auch Kritikpunkte, welche schon kurz nach der Veröffentlichung des Gerätes aufgetreten sind. Zum Einen ist hier die nicht zufriedenstellende WLAN-Verbindung zu nennen. Ohne eine ausreichende Verbindung lassen sich viele Dienste und Funktionen schwer nutzen und somit ist der Mehrwert nicht mehr gegeben (Joos 2010). Zum Anderen ist das Betriebssystem des Gerätes nicht in der Lage mehrere Aufgaben gleichzeitig durchzuführen (Multitasking) (Fucci 2010). Des Weiteren wurde kritisiert, dass bei direkter Sonneneinstrahlung das Gerät seinen Betrieb einstellt, da es zu heiß geworden ist. Somit fällt eine Bedienung im Sommer im Freien nahezu aus. Ebenso kann die Bedienung durch die glänzende Oberfläche beeinträchtigt werden, da sich Lampen aller Art im Display spiegeln. Außerdem wird die Ausstattung an Software kritisiert. Dabei vor allem die fehlende Unterstützung des Flash-Players von Adobe. Apple begründet dies damit, dass es Programmierfehler von Adobe gibt, die zu Systemabstürzen auf dem iPad führen könnten. Zudem würde die Akkulaufzeit erheblich negativ beeinträchtigt (chip1 2010).

2.1.2 weTab

Das weTab wurde von den deutschen Firmen neofonie GmbH und der 4tiitoo AG entwickelt und Anfang April 2010 vorgestellt (chip2 2010). Ursprünglich wurde das Gerät unter dem Namen WePad (WeTab2 2010) in Anlehnung an das Apple iPad bekannt gegeben und dann später umbenannt. Der Tablet-Computer funktioniert ähnlich wie sein amerikanischer Konkurrent, nur soll er in den am iPad kritisierten Punkten besser abschneiden. Das weTab hat die Möglichkeit Adobe Flash abzuspielen. Auch lassen sich mit Hilfe einer Webcam Videochats durchführen und das Gerät verfügt über 2 USB-Schnittstellen um zusätzliche Peripherie anzuschließen. Des Weiteren ist das weTab Betriebssystem multitaskingfähig, was das Arbeiten mit dem Gerät wesentlich vereinfacht (WeTab3 2010).

2.2 Applications – apps

App ist die Kurzform für Applikation bzw. englisch application. Diese kleinen Programme funktionieren zumeist auf Smartphones und sind speziell für das entsprechende Gerät programmiert. Einer der größten Anbieter für Apps ist Apple mit seinem App-Store, in welchem Apps für das iPhone und jetzt auch für das iPad angeboten werden. Für das Google Smartphone mit dem Betriebssystem Android werden Apps im eigenen Adroid Market (wikipedia 2010) angeboten. Sogar Amazon will einen eigenen »Laden« für seinen eBook-Reader »Kindle« aufmachen (Lischka 2010). Apps sind für die verschiedensten Rubriken erhältlich, u. a. für Unterhaltung, Finanzen, soziale Netzwerke (wikipedia 2010), (Apple3 2010), (Android 2010).

Das Geschäftsmodell für die Applikationen funktioniert so, dass Entwickler ihre Software in das Angebot der verschiedenen App-Stores hinzufügen und nach eventueller Prüfung des Inhaltes, z. B. bei Apple, steht das Programm den (zahlenden) Kunden zur Verfügung. Wird das Programm heruntergeladen, erhält der Entwickler einen bestimmten Anteil (z. B. 70%) des Preises. Der Rest wird vom Anbieter einbehalten. Apple führt eine Inhaltsprüfung der Apps durch und wenn das eingestellte Programm nicht den Anforderungen genügt, wird die App nicht freigegeben. Anders wird im Fall von Android verfahren. Dort wird eine Applikation ohne Prüfung zur Verfügung gestellt und wenn Beschwerden auftreten, wird entschieden, ob die Applikation von der Plattform genommen wird oder nicht. Daraus ergeben sich aber auch Probleme. Softwareentwickler sind nicht mehr so frei in ihrer Gestaltung bzw. in der Entwicklung generell. Ob eine Software erfolgreich ist und vom Nutzer angenommen wird, ist zum größten Teil vom Betreiber des App-Stores abhängig. Blockiert der Betreiber die Veröffentlichung auf seiner Plattform, hat der Entwickler keine legale Möglichkeit mehr seine Software für dieses bestimmte Gerät auf den Markt zu bringen. Dadurch kann Innovation gestoppt bzw. verlangsamt werden (Stöcker 2010).

2.3 Dienste

2.3.1 Mobile Commerce

Mit der Entwicklung der Datenübertragung in Mobilfunknetzen und damit verbunden der Nutzung verschiedener Dienste des Internets auf mobilen Geräten stieg die Akzeptanz von Dienstleistungen aus dem Bereich des electronic Business. Um die Besonderheit der

mobilen Datenübertragung hervorzuheben wurde nun vom mobile Business gesprochen. Aus diesem Begriff entstand in der Folgezeit der Begriff des »mobile Commerce«. Er ist in (Turowski/Pousttchi 2004) wie folgt charakterisiert: »Mobile Commerce bezeichnet jede Art von geschäftlicher Transaktion, bei der die Transaktionspartner im Rahmen von Leistungsanbahnung, Leistungsvereinbarung oder Leistungserbringung mobile elektronische Kommunikationstechniken (in Verbindung mit mobilen Endgeräten) einsetzen.«

Der Erfolg des Mobile Commerce hängt nicht zuletzt von der hohen Akzeptanz der mobilen Datenübertragungstechniken und der zunehmenden Zahl der Funktionen der mobilen Geräte ab. Dank der mobilen Endgeräte ist es den Diensteanbietern nun möglich, den Nutzer zielgerichtet mit Informationen zu versorgen. Aus der Nutzung verschiedener Online-Dienste ist es den Providern nun möglich Statistiken zu führen, aus denen die Nutzung der verschiedenen Dienste durch den Nutzer hervorgeht. Die Auswertungen dieser Statistiken erlauben den Providern nun die Nutzer mit der Art von Informationen zu versorgen, die direkt auf sie zugeschnitten sind. Hieraus ergeben sich verschiedene Geschäftsmodelle von denen eine Auswahl im Folgenden näher betrachtet wird (Simonitsch 2003).

Content Provider: Sie entwickeln den Inhalt, der über die verschiedenen Vertriebskanäle an die Kunden weitergegeben wird. Auch sie haben zwei verschiedene Vertriebswege: den direkten oder den über das Portal (Huang et al. 2007).

Application Provider: Die Hauptaufgaben liegen bei der Aufbereitung des Inhalts bzw. der Anwendung sowie der Vertrieb. Dieser kann direkt erfolgen oder über ein Portal (vgl. App-Store), von dem der Kunde den Inhalt oder die Anwendung herunterladen kann. Die Application Provider sind hierbei nicht notwendigerweise mit den Firmen identisch, die den Inhalt entwickelt haben (Content Provider).

Für die Application Provider ergeben sich nun auch verschiedene Ertragsmodelle:

- direktes Modell

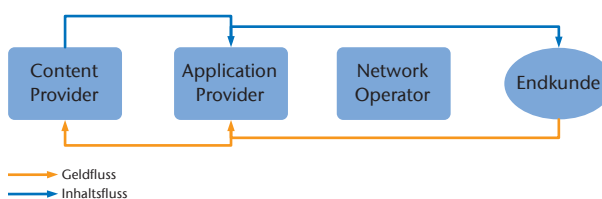


Abb. 1: direktes Modell, nach (Simonitsch, K. 2003)

Aus Abbildung 1 kann man erkennen, dass bei diesem Modell der Inhalt vom Application Provider direkt an den Endkunden geliefert wird. Dieser zahlt dann für die Nutzung des Inhaltes auch wieder direkt an den Application Provider, der wiederum einen Teil an den Content Provider abführt.

■ Provider Modell

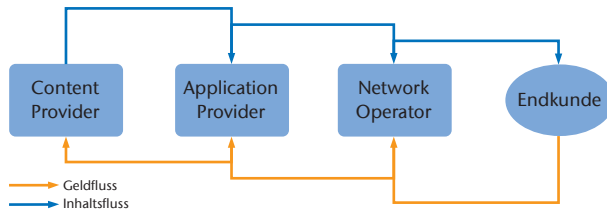


Abb. 2: Provider-Modell, nach (Simonitsch 2003)

Der Kunde bezieht den Inhalt in diesem Fall vom Network Operator und zahlt auch die Gebühren bei diesem. Der wiederum entrichtet einen Teil der Gebühren, die er vom Kunden eingenommen hat, an den Application Provider, der den Inhalt vorher von einem Content Provider bezogen hat.

■ indirektes Modell

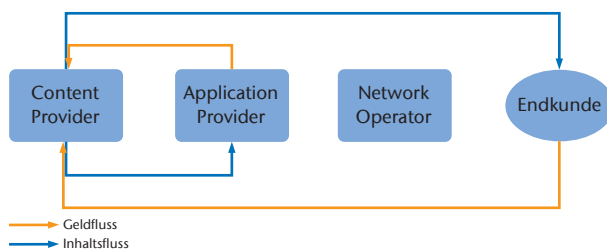


Abb. 3: indirektes Modell, nach Simonitsch (2003)

Anders als in den zuvor geschilderten Fällen verlaufen die Flüsse beim indirekten Modell. Hier stellt der Application Provider dem Content Provider eine Art Plattform zur Verfügung auf der er seinen Inhalt anbieten kann. Der Kunde bezieht diesen also indirekt über die Plattform vom »Hersteller«. An diesen entrichtet er auch seine Gebühren. Der Content Provider seinerseits zahlt dem Application Provider eine Gebühr für die Nutzung der Plattform.

Virtual Operator: Als virtueller Operator wird ein Netzoperator bezeichnet, der kein eigenes Mobilfunknetz unterhält sondern dieses von anderen »realen« Netzoperatoren mit nutzt und dafür eine Gebühr entrichtet. Diese virtuellen Netzoperatoren haben den Vorteil, dass sie keine Kosten im Bereich der Unterhaltung eines eigenen Netzes haben und deshalb einen großen Teil der Kosten sparen und so sehr preisgünstige Angebote für den Kunden machen können.

2.3.2 Location Based Services

Die Idee von Location Based Services ist, dem Nutzer in Abhängigkeit von seinem aktuellen Standort mit Daten zu versorgen. In der Anfangszeit dieser Dienste sahen diese so aus, dass man zwischen Push- und Pull-Diensten unterschied (Penders 2004). Mittlerweile ist die Zahl der Smartphones stark angestiegen und damit auch die Zahl derer, die die Anwendungen (Apps) auf diesen Geräten nutzen. Eine Teilmenge dieser Apps sind auch solche, die auf die Positionsdaten des Nutzers zugreifen, z. B. die Gelbe-Seiten App fürs iPhone[1]. Da diese Geräte meist mit einem GPS Sensor ausgestattet sind, fällt die Positionsbestimmung dementsprechend leicht. Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Informationsverlauf bei einer solchen Anwendung:

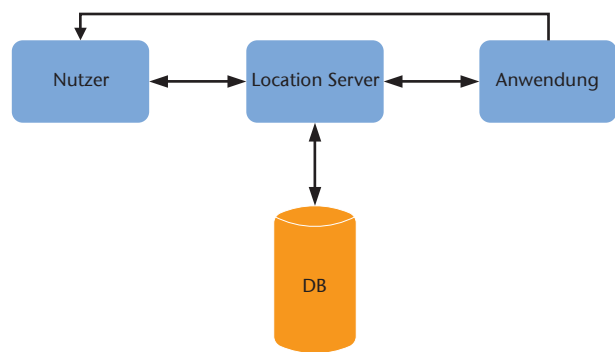


Abb. 4: schematische Darstellung von Location Based Services, nach Sun (2009)

Die Positionsdaten, die vom GPS Empfänger gelesen werden, werden über das Mobilfunknetz an einen Server übertragen, der die Daten in einer Datenbank (DB) ablegt. Auf diese Datenbank kann dann eine Anwendung, die Positionsdaten benötigt, zugreifen und diese dort abfragen. Der Nutzer erhält dann, von der Anwendung ausgehend, zu seinen Positionsdaten die gewünschten Informationen. Nach diesem Prinzip arbeitet die bereits erwähnte Gelbe-Seiten App auf dem iPhone.

Dies ist aber nicht das einzige Anwendungsfeld für Location-Based-Services. Man kann z. B. auch verschiedene Augmented-Reality-Anwendungen mit diesen Daten betreiben (Vaughan-Nichols 2009). So kann man beispielsweise über die Geodaten, die man vom GPS Empfänger des mobilen Geräts liest, und den Aufnahmen, die die Kamera des Geräts macht, erkennen, in welcher Umgebung sich der Nutzer befindet. Auf diese Weise kann man sehr viel genauere Informationen über die Gegend bekommen, als man sie nur mit den Geodaten hätte. Hat das System nun die Richtung erkannt, in

die der Nutzer sieht, kann man ihn über das Mobilgerät mit Informationen versorgen. Steht man z. B. in einem Gebirge und hält das Gerät auf einen Berg in der Umgebung kann die Software Informationen wie Name, Höhe, Erstbestieg, etc. zu diesem Berg liefern.

In die gleiche Richtung gehen mobile Touristenführungssysteme, die den Touristen in Abhängigkeit von ihrem Aufenthaltsort Informationen zu bestimmten Sehenswürdigkeiten geben. Dieser Ansatz wurde in (Bao 2009) verfolgt, allerdings wurden hier neben den touristischen Informationen zusätzlich Multimediadaten an den Nutzer übertragen.

3 Nutzerbefragung

3.1 Methoden

Um ein repräsentatives Meinungsbild in Bezug auf die Bereitschaft, neuartige Dienste und Möglichkeiten von Mobiltelefonen zu erhalten, ist eine Befragung durchgeführt worden, bei der sowohl allgemeine Themen wie die Nutzung des Mobiltelefons als auch brisante, wie der Datenschutz, Gegenstand waren. Bei der Konzipierung des Fragebogens lag das Hauptaugenmerk darauf, keine Suggestivfragen zu stellen, damit die Befragten bei der Beantwortung nicht in eine bestimmte Richtung gedrängt werden. Stattdessen wurde versucht die Fragen so stellen, dass das Ergebnis das reale Meinungsbild möglichst genau widerspiegelt. Weiterhin musste bedacht werden, dass die Fragen so gestellt sind, dass sie binnen weniger als einer Minute verstanden werden und auf umfangreiche Erklärungen verzichtet werden kann, um so zu vermeiden, dass die befragte Person zu schnell das Interesse verliert.

Der so aufgestellte Fragebogen enthält nach diesen Kriterien 5 fachliche und 2 demografische Fragen, nach Altersgruppe und Geschlecht, die im Anhang aufgeführt sind.

3.2 Hypothesen

Aus den im Anhang vorgestellten Fragen ergeben sich für die Beantwortung dieser nun Hypothesen, die im Wesentlichen die Erwartungshaltung der Autoren an die Ergebnisse wiedergibt:

These 1: Die Mehrheit der Befragten nutzt das Mobiltelefon für die »klassischen« Dienste Telefonie und SMS. Das Mobiltelefon wird dabei auch für Multimediafunktionen wie Radio oder als MP3-Player verwendet.

These 2: Die Nutzer von mobilen Internetdiensten verwenden diese hauptsächlich für Emails oder diverse Informationsdienste.

These 3: Der Anteil der Nutzer von Spielen oder sozialen Netzwerken wird bei denen, die jünger als 40 Jahre sind deutlich höher ausfallen, als bei den anderen Altersgruppen.

These 4: Auf die Frage, ob Befragte eher ein einfaches Handy oder ein Smartphone kaufen würden, wird vermutet, dass doch eher einfache Telefone präferiert werden.

These 5: Die Bereitschaft der Befragten ihr Mobiltelefon für Finanztransaktionen zu verwenden ist gering.

These 6: Um die Bekanntheit von diversen Diensten zu steigern, sind die Nutzer wenig bereit private Daten wie Adressbücher zur Verfügung zu stellen.

3.1 Datenauswertung

Insgesamt wurden 52 Personen befragt, von denen 29 männlich und 23 weiblich waren. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Befragung auch über alle relevanten Altersgruppen erstreckt. Eine detaillierte Auswertung der einzelnen Fragen ist in Anhang enthalten. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse kann man feststellen, dass die Behauptungen, die in den Thesen aufgestellt wurden, mehrheitlich eingetreten sind. Die folgende Abbildung zeigt die aktuelle Nutzung des Mobiltelefons:

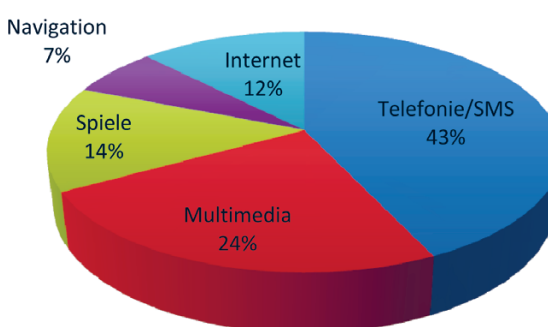


Abb. 5: Übersicht der verwendeten Dienste und Funktionen eines Mobiltelefons

Man kann hier sehr eindeutig sehen, dass das Mobiltelefon zurzeit noch am meisten für die »klassischen« Dienste Telefonie und SMS genutzt wird. Dienste wie Navigation oder mobiles Internet aber sehr stark auf dem Vormarsch sind, sodass man an diesem Punkt eine gewisse Entwicklung hin zur Akzeptanz und Nutzung multifunktionaler Geräte beobachten kann.

Des Weiteren kann man aus den Ergebnissen der Befragung ableiten, dass die Nutzung von mobilen Internetdiensten ansteigt, wie man folgender Abbildung entnehmen kann.

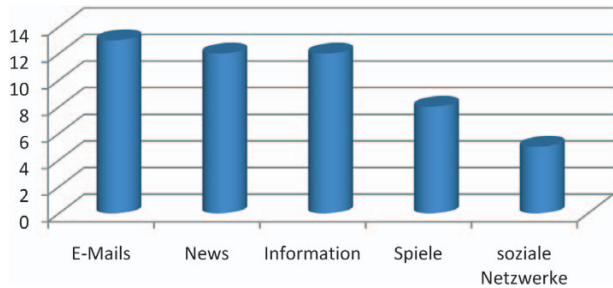


Abb. 6: Verwendung des mobilen Internets (Ergebnisse bezüglich der privaten Daten)

Die Ergebnisse dieser Frage zeigen, dass auch in diesem Feld die klassischen Dienste Email, News und Information bestimmend sind. Die relativ geringe Antwortzahl bei den sozialen Netzwerken lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass diese vorwiegend von jungen Menschen genutzt werden, die aber, um eine gewisse Ausgeglichenheit zwischen den Altersgruppen zu erreichen, nicht ausschließlich befragt wurden.

Waren die Ergebnisse bei diesen beiden Fragen noch sehr ausgeglichen, so sind sie bei den folgenden beiden sehr eindeutig. Hauptgegenstand dieser Fragen ist der Datenschutz, die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

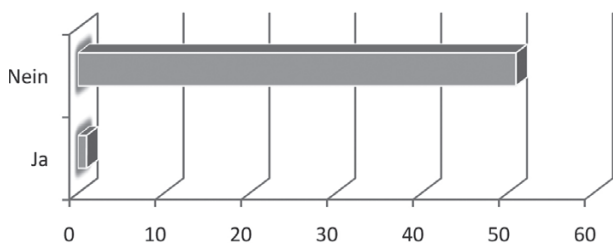


Abb. 7a: Bereitschaft, private Daten freizugeben (prozentuale Ergebnisse bezüglich der privaten Daten)

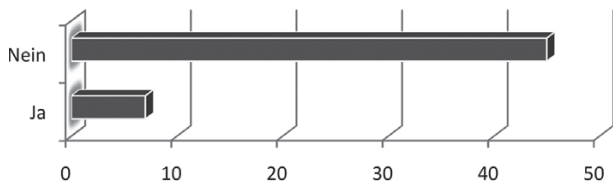


Abb. 7b: Bereitschaft, das Handy für Finanztransaktionen zu nutzen (prozentuale Ergebnisse bezüglich der privaten Daten)

4 Ausblick

In der vorliegenden Ausarbeitung wurde die Akzeptanz von multifunktionalen Mobiltelefonen und neuen Diensten des mobilen Internet untersucht. Es ist hierbei zu beobachten, dass sich die Zahl der Menschen, die sich für ein klassisches Mobiltelefon entscheiden würden und die derer, die sich ein für ein Smartphone entscheiden würden, nahezu ausgeglichen ist. Aus diesem Punkt kann man ableiten, dass die »neue« Generation von Geräten nicht bei allen Menschen gut ankommt, was zum einen an der ungewohnten Bedienung via Touchscreen liegen kann, zum anderen aber auch daran, dass man denken kann, ein solches Gerät wäre viel zu kompliziert und böte ohnehin Funktionen, die man nie bräuchte.

Aus der Weiterentwicklung der Geräte kann man auch die Weiterentwicklung von verschiedenen Diensten ableiten, was wiederum auf die eingangs erwähnte These »Technologie formt Technologie« zurück geführt werden kann. In diesem Fall ist aber nicht eindeutig zu identifizieren, welche Technologie nun welche geformt hat, da hier in vielen Fällen eine Symbiose herrscht, die nur schwer aufgelöst werden kann, da bestimmte Dienste eine gewisse Hardwareausstattung voraussetzen. Ab diesem Punkt kann man davon ausgehen, dass die Entwicklung der Hardware in diesem Bereich auch die Entwicklung der Dienste beeinflusst. Allerdings muss man bei den Diensten zwischen solchen die von den Nutzern akzeptiert werden, weil sie erfolgreich sind unterscheiden und solchen, bei denen an die Entwicklung geglaubt wird, weil sie von der Gesellschaft akzeptiert sind. Dieser Rückschluss auf die, auch in der Einführung erwähnte, These lässt sich auch und gerade durch die Ergebnisse aus der Befragung der Nutzer ableiten. Zu den Diensten, die akzeptiert werden, weil sie erfolgreich sind, zählt z. B. das mobile Internet. Es ist allgemein bekannt, was das Internet ist und welche Möglichkeiten es bietet. Also ist es nur logisch, wenn dieser Dienst auch auf mobilen Geräten angeboten wird. Es ist in jedem Fall zu beobachten, dass das mobile Internet genauso erfolgreich ist, wie das »klassische« vom PC aus. Es bleibt abzuwarten, ob es Dienste geben wird, die erfolgreich sind, weil sie von der Gesellschaft akzeptiert werden. In dieser Ausarbeitung wurde versucht, sich dem Thema »mobile Banking« in diesem Zusammenhang zu widmen. Es zeigte sich aber, dass im Moment noch eine sehr große Skepsis gegenüber diesem Thema bei den Menschen vorhanden ist. Um diese

Skepsis in Zukunft in Akzeptanz zu verwandeln, bedarf es allerdings einiger Maßnahmen der Provider und Dienstleister (z. B. der Banken) wie der Schaffung zuverlässiger, verschlüsselter Verbindungen oder eindeutiger Bekenntnisse bzw. Maßnahmen den vertrauenswürdigen Umgang mit den Daten der Nutzer betreffend. Solange man solche sicherheitskritischen Vorgänge mit simplen Verfahren wie Phishing kompromittieren kann, ist es fragwürdig, ob die Akzeptanz eines solchen Dienstes in Zukunft steigen wird.

Anmerkung

[1] <http://itunes.apple.com/de/app/gelbe-seiten/id312387605?mt=8>

Anhang: Fragebogen

- 1) Welche Dienste/Funktionen nutzen Sie auf ihrem Mobiltelefon?
- 2) Zu welchem Zweck wird mobiles Internet verwendet?
- 3) Mobiltelefone werden immer umfangreicher an Funktionen. Wenn Sie die Wahl zwischen einem Handy, welches Telefonie und SMS ermöglicht und einem Gerät, welches wesentlich mehr Funktionen als ein gewöhnliches Mobiltelefon bereitstellt hätten, für welches würden Sie sich entscheiden?
- 4) Wären Sie bereit ihr Handy für Finanztransaktionen (z. B. als virtuelle Kreditkarte) zu verwenden?
- 5) Um die Bekanntheit von Diensten zu steigern, wären Sie bereit Daten aus Ihren persönlichen Adressbüchern den Diensten zur Verfügung zu stellen?
- 6) Angabe des Geschlechts
- 7) Zugehörigkeit zu Altersgruppe

Literaturverzeichnis

- Android (2010): <http://www.android.com/market/free.html>, Zugriff 10.05.2010.
- Apple1 (2010): <http://www.apple.com/de/iphone/apps-for-iphone/>, Zugriff 10.05.2010.
- Apple1 (2010): Apple iPad – Demo Video, <http://www.youtube.com/watch?v=9q1RithxrzY>, Zugriff 07.05.2010.
- Apple2 (2010): Apple iPad – View photos and images, <http://www.apple.com/ipad/gallery/>, Zugriff 17.05.2010.
- Apple3 (2010): Apple launches iPad – Magical & Revolutionary Device at an Unbelievable Price. <http://www.apple.com/pr/library/2010/01/27ipad.html>, Zugriff 07.05.2010.
- Bao, X. et al. (2009): Integration of multimedia and Location Based Services on Mobile Phone Tour Guide System. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 642 – 646.

- chip1 (2010): Apple: Steve Jobs über Flash beim iPad und Google, chip-online, http://business.chip.de/news/Apple-Steve-Jobs-ueber-Flash-beim-iPad-und-Google_41205502.html, Zugriff 09.05.2010.
- chip2 (2010): WePad: Deutscher iPad-Konkurrent kommt im Juni, chip-online, http://www.chip.de/news/WePad-Deutscher-iPad-Konkurrent-kommt-im-Juni_42024426.html, Zugriff 10.05.2010.
- Fucci, A. (2010): 8 Things That Suck About the iPad. <http://gizmodo.com/5458382/8-things-that-suck-about-the-ipad>, Zugriff 10.05.2010.
- Huang, W., Qi, L.Y., Dong, L.H. (2007): Business Models and Implementations of M-Commerce. In: Proceedings of the International Conference on Communications, Networking and Mobile Computing, 3637 – 3640.
- Joos, R. (2010): iPad-Überhitzung und WLAN-Probleme: Erster Tablet-Ärger, <http://www.macnotes.de/2010/04/06/ipad-ueberhitzung-und-wlan-probleme-erster-tablet-arger/>, Zugriff 10.05.2010.
- Lischka, K. (2010): Kindle-Content: Amazon baut App Store, <http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/0,1518,673122,00.html>, Zugriff 10.05.2010.
- Penders, J. (2004): Privacy in (mobile) Telecommunications Services. Ethics and Information Technology, 6: 247 – 260.
- Simonitsch, K. (2003): Mobile Business: Geschäftsmodelle, Kooperationen und Möglichkeiten zur Beurteilung und Analyse. Doktorarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz.
- Stöker, C. (2010): Smartphones, Kindle & Co. Zwangsjacke für das Internet, <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/0,1518,673182,00.html>, Zugriff 10.05.2010.
- Sun, Y. et al. (2009): A Flexible Privacy-Enhanced Location-Based Services System Framework and Practice. IEEE Transactions on mobile computing, 8(3):304 – 321.
- Turowski, K., Poustchi, K. (2004): Mobile Commerce, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Vaughan-Nichols, S.J. (2009): *Augmented Reality: No Longer a Novelty?*, Computer 42(12):19 – 22.
- WeTab1 (2010): In Aktion - die Galerie – weTab, <http://wetab.mobi/galerie>, Zugriff 17.05.2010.
- WeTab2 (2010): Pressemitteilung zur Umbenennung 07. Mai 2010. <http://wetab.mobi/pm-2010-05-07>, Zugriff 10.05.2010.
- WeTab3 (2010): Produktdetails, <http://wetab.mobi/produktdetails>, Zugriff 10.05.2010.
- wikipedia (2010): wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/App>, Zugriff 10.05.2010.

Autoren

Daniela Stärke, B. Eng.

Telematik
Technische Hochschule Wildau [FH]
daniela.staerke@th-wildau.de

Stefan Kramer, B. Eng.

Telematik
Technische Hochschule Wildau [FH]
stefan.kramer@th-wildau.de

Prof. Dr. Bernd Eylert

Technische Hochschule Wildau [FH]
bernhard.eylert@th-wildau.de

Analyse betriebswirtschaftlicher Kennzahlen zur Unterstützung von Managemententscheidungen

Bertil Haack, Claudia Schmidt

Zusammenfassung

Entscheidungen zu treffen gehört zu den wesentlichen Aufgaben jedes Managers. Die Gefahr von Fehlentscheidungen liegt dabei auf der Hand. Um diese zu vermeiden, ist es von zentraler Bedeutung, eine genaue Analyse der für den Entscheidungsprozess wesentlichen Informationen vorzunehmen. Ziel dieses Papiers ist es, einen Weg aufzuzeigen, wie ein aussagekräftiges Bild der finanzwirtschaftlichen Situation potenzieller Geschäftspartner mithilfe einer fundierten Querschnittsanalyse frei zugänglicher betriebswirtschaftlicher Daten gewonnen werden kann. Dieser Ansatz kann in jeder Entscheidungssituation, in der die Finanzausstattung der betrachteten Unternehmen entscheidungsrelevant ist, genutzt werden.

Abstract

Decision making is one of the most important management tasks. In this context wrong decisions are real risks. In order to avoid them it is necessary to analyse the relevant facts intensively – especially if these decisions affect the selection of a new business partner. Therefore the main goal of this paper is to describe a management analysis using only free accessible data to get a significant impression of the financial situation of potential business partners. This analysis is applicable in each situation where the financial situation of companies is relevant for business decisions.

1 Einleitung

Entscheidungen zu treffen gehört zu den wesentlichen Aufgaben jedes Managers. Anlässe dafür gibt es sowohl auf strategischer als auch auf operativer Ebene. So kann neben strategischen Entscheidungen wie die Etablierung einer neuen Niederlassung oder eine Änderung in der Unternehmensstruktur auch die Entscheidung für oder gegen einen Anbieter bestimmter Dienstleistungen Gegenstand eines Entscheidungsprozesses im Unternehmen sein. Während strategische Entscheidungen oftmals Ergebnis eines länger andauernden Prozesses sind, werden operative Entscheidungen häufig kurzfristig und »auf kurzen Wegen« beschlossen. Die Gefahr möglicher Fehlentscheidungen gerade im operativen Bereich ist damit offensichtlich. Auswirkungen können beispielsweise wirtschaftliche Schäden wie langfristig geringere Unternehmensgewinne als erwartet sein. Umso wichtiger ist es, auch auf operativer Ebene eine genaue Analyse der für den Entscheidungsprozess wesentlichen Informationen vorzunehmen. Welche Informationen dabei von zentraler Bedeutung sind, hängt vom Entscheidungsanlass ab.

Der vorliegende Beitrag geht von der realen Situation aus, dass ein Unternehmen U nach einem geeigneten Partner für die Einführung einer SAP-basierten IT-Anwendung sucht. Fünf Anbieter A1 bis A5 mit ähnlicher Geschäfts- und Kundenstruktur befinden sich in der engeren Auswahl begründet durch deren Fachkompetenz und die Erfüllung technischer Mindestanforderungen durch sie. Das gemeinsame Projekt wird etwa 18 Monate dauern und zu erheblichen Veränderungen der Geschäftsprozesse im Unternehmen U führen. Es kann nur dann zu einem Erfolg werden, wenn das Projekt von Anfang bis Ende mit dem gewählten Anbieter durchgeführt werden kann. Dies bedeutet, dass das Risiko einer möglichen Insolvenz des Anbieters während der Projektlaufzeit als Entscheidungskriterium in Betracht zu ziehen ist. Die Auswahl muss deshalb auf einen Anbieter mit angemessener Finanzausstattung fallen. Wie aber kann die wirtschaftliche Lage der Anbieter A1 bis A5 möglichst einfach und stichhaltig geprüft werden?

Ziel der Ausführungen ist es, Managern am gewählten Beispiel »Anbietersauswahl« aufzuzeigen, wie sie in vergleichbaren Entscheidungssituationen vorgehen und mithilfe einer fundierten Querschnittsanalyse frei zugänglicher betriebswirtschaftlicher Daten ein aussa-

gekräftiges Bild der finanzwirtschaftlichen Situation potenzieller Geschäftspartner gewinnen können.

Dazu werden zunächst die in die Analyse einbezogenen Kennzahlen in ihrer Bedeutung und Aussagekraft dargestellt (Kapitel 2). Anschließend werden die konkreten Werte dieser Kennzahlen für die Anbieter A1 bis A5 ermittelt und für Zwecke der zu treffenden Managemententscheidung miteinander verglichen (Kapitel 3). Die dabei genutzten Echtdaten von A1 bis A5 entstammen dem elektronischen Bundesanzeiger sowie den auf den Webseiten von A1 bis A5 veröffentlichten Geschäftsberichten. Der Beitrag endet mit der Diskussion des Einsatzbereiches der vorgeschlagenen Querschnittsanalyse (Kapitel 4).

2 Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

Die Analyse der finanzwirtschaftlichen Situation der Anbieter A1 bis A5 basiert auf den folgenden relativen Kennzahlen. Diese lassen sich aus den jeweiligen Bilanzen und Gewinn- und Verlustrechnungen der betrachteten Gesellschaften ermitteln.

- Liquidität
- Eigenkapital- und Fremdkapitalquote (Verschuldungsgrad)
- Anlagendeckungsgrade A und B (Anlagenstruktur)
- Umsatz und Umsatzrentabilität

Dabei ist die Liquidität die für die vorliegende Analyse wichtigste Kennzahl. Es ist Ziel jedes Unternehmens zahlungsfähig zu bleiben (Liquiditätsziel), da andernfalls die Gefahr der Insolvenz und damit das Ende des Unternehmens droht. Genau dieser Umstand soll bei der Wahl eines der potenziellen Anbieter vermieden werden. Die Ermittlung des Verschuldungsgrads wurde als aussagekräftige Kennzahl innerhalb der Querschnittsanalyse gewählt, weil damit letztlich eine Aussage über die finanzielle Abhängigkeit des Unternehmens von Anderen getroffen wird und inwieweit sich das Unternehmen selbst tragen kann. Der Umsatz und die Umsatzrentabilität wurden hingegen mit aufgenommen, um aufzuzeigen, dass allein die Umsatzgröße noch kein abschließendes Urteil über die finanzielle Ausstattung eines Unternehmens zulässt und eine Analyse mehrerer Kennzahlen (Querschnittsanalyse) von besonderer Bedeutung ist.

Die folgenden Ausführungen belegen, dass die vorgeschlagene Querschnittsanalyse bereits weniger Kennzahlen sehr detaillierte Aussagen über die betrachteten

Unternehmen erlaubt. Gleichwohl sei darauf hingewiesen, dass im Bedarfsfall natürlich weitere betriebswirtschaftliche Kennzahlen in die Betrachtungen einbezogen und analog der vorgelegten Diskussion zur Entscheidungsfindung herangezogen werden können.

Liquidität

Die Liquidität ist Bestandteil der Analyse der Finanzlage eines Unternehmens und besitzt ihre Aussagekraft in den potenziell zur Verfügung stehenden Finanzmitteln eines Unternehmens zur Deckung ihrer kurzfristigen Zahlungsverpflichtungen. Dabei stellt die Liquidität 1. Grades das Verhältnis zwischen den flüssigen Mitteln und dem kurzfristigen Fremdkapital dar. Die Liquidität 2. Grades bezieht darüber hinaus das übrige monetäre Umlaufvermögen (Umlaufvermögen ohne Vorräte) mit in ihre Berechnung ein. Aus Sicht der Betriebswirtschaft sollte die Liquidität 2. Grades mindestens 100% betragen (Controller-Portal 2009). Andernfalls ist von einer zu geringen Umschlagshäufigkeit auszugehen. In der Interpretation dieser betriebswirtschaftlichen Kennzahl bedeutet das, dass eine Liquidität 2. Grades kleiner als 100% für einen Absatz spricht, der die kurzfristigen Verbindlichkeiten des Unternehmens nicht ausreichend zu decken erlaubt. Ist die Liquidität jedoch sehr hoch, so sollten die aus dem Umlaufvermögen freigesetzten liquiden Mittel in renditeträchtige Anlagen investiert werden statt sie zum Ausgleich der kurzfristigen Verbindlichkeiten bereit zu halten. Die Liquiditäten 1. und 2. Grades lassen sich anhand folgender Berechnungsformeln ermitteln (Controller-Portal 2009):

- Liquidität 1. Grades = liquide Mittel: kurzfristige Verbindlichkeiten

Dabei bilden die Guthaben bei der Bank sowie die Kassenbestände die liquiden Mittel. Die kurzfristigen Verbindlichkeiten beinhalten oftmals jene Schulden an Lieferanten, das Finanzamt oder auch die Sozialversicherungsträger. Sie können weiterhin im Rahmen unterjähriger Bankdarlehen entstehen.

- Liquidität 2. Grades = (liquide Mittel + Forderungen): kurzfristige Verbindlichkeiten

Eigenkapital- und Fremdkapitalquote (Verschuldungsgrad)

Beide Kennzahlen sind Bestandteil der Verschuldungsanalyse. Sie werden jeweils als prozentualer Anteil am gesamten Kapital (Summe aus Eigenkapital und Fremdkapital) angegeben (Lexikon der Betriebswirtschaft 2003: 548). Die Fremdkapitalquote wird zudem

oftmals auch als Verschuldungsgrad bezeichnet, da sie den Schulden des Unternehmens bei seinen Gläubigern wie z. B. Banken, Lieferanten oder Dienstleistern entspricht. Es wird deutlich, dass ein Anstieg der Eigenkapitalquote bei gleich bleibendem Gesamtkapital zu einer Reduzierung der Fremdkapitalquote und somit des Verschuldungsgrades führt. Die Aussagekraft beider Kennzahlen liegt insbesondere in der Information, inwieweit das betrachtete Unternehmen finanzwirtschaftlich unabhängig ist. Dennoch ist für eine aussagekräftige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die isolierte Analyse des Eigenfinanzierungsgrades respektive des Verschuldungsgrades nicht zweckmäßig. Mit Hilfe umfangreicherer Kennzahlensysteme kann diese isolierte Betrachtung aufgehoben und können die analysierten Kennzahlen in einen Zusammenhang gebracht werden. So spricht eine hohe Eigenkapitalquote zwar für eine hohe Selbständigkeit hinsichtlich der Finanzierung des Unternehmens. Jedoch ist diese lediglich mit einer entsprechend hohen Wertschöpfung und damit erzielten Rendite auch tatsächlich tragfähig. Die Ermittlung dieser beiden Kennzahlen wird wie folgt vorgenommen:

- Eigenkapitalquote = $(\text{Eigenkapital} : \text{Gesamtkapital}) \times 100$
- Fremdkapitalquote = $(\text{Fremdkapital} : \text{Gesamtkapital}) \times 100$

Anlagendeckungsgrade A und B (Anlagenstruktur)

Mithilfe der Analyse der Anlagenstruktur können zum einen Aussagen über die Flexibilität und Entscheidungsfreiheit, zum anderen über die finanzielle Deckung des langfristigen Vermögens gemacht werden. Die finanzielle Flexibilität eines Unternehmens ist demnach umso höher, je größer das Umlaufvermögen ist. Dem gegenüber steht jedoch aufgrund des kurzfristigen Risikos eine geringere Renditechance. Die hier verwendeten Anlagendeckungsgrade A und B geben darüber Auskunft, inwieweit das Anlagevermögen durch

langfristiges Kapital (Eigenkapital und langfristiges Fremdkapital) gedeckt ist. Dabei sollte der Richtwert für beide Deckungsgrade 100% sein. Ein deutlich höherer Deckungsgrad B spricht für eine hohe finanzielle Stabilität des Unternehmens, da neben dem Anlagevermögen auch Teile des Umlaufvermögens durch langfristig zur Verfügung gestelltes Kapital gedeckt ist (ControllerPortal 2009). Die Deckungsgrade A und B sind gegeben durch:

- Anlagendeckungsgrad A = $\text{Eigenkapital} : \text{Anlagevermögen}$
- Anlagendeckungsgrad B = $(\text{Eigenkapital} + \text{Langfristiges Fremdkapital}) : \text{Anlagevermögen}$
(Lexikon der Betriebswirtschaft 2003: 548).

Umsatz und Umsatzrentabilität

Der Umsatz als Ergebnis der Multiplikation der Verkaufsmenge mit dem Verkaufspreis pro Einheit wird häufig als ein zentrales – bzw. sogar einziges – Kriterium bei der wirtschaftlichen Betrachtung eines Unternehmens oder dem Vergleich verschiedener Unternehmen genutzt. Die folgenden Überlegungen zeigen, dass diese absolute Größe allein jedoch kein aussagekräftiges Bild der Lage eines Unternehmens liefert. Wichtig ist wenigstens noch die Betrachtung der Umsatzrentabilität. Diese relative Kennzahl gibt das Verhältnis des Gewinns zum Umsatz an, also den Gewinn pro erzielttem Umsatz.

3 Analyse frei verfügbarer Unternehmensdaten

Überblick

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die oben erläuterten Kennzahlen der betrachteten Anbieter A1 bis A5 für das Wirtschaftsjahr 2007. Sie werden anschließend diskutiert.

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
Liquidität 1. Grades	65,92 %	6,80 %	42,39 %	109,45 %	0,01 %
Liquidität 2. Grades	117,32 %	232,62 %	254,95 %	522,15 %	350,68 %
Eigenkapitalrentabilität	30,26 %	21,38 %	102,91 %	4,35 %	85,60 %
Gesamtkapitalrentabilität	12,90 %	8,45 %	24,86 %	2,00 %	42,44 %
EK-Quote	41,56 %	29,65 %	23,80 %	46,03 %	49,58 %
Verschuldungsgrad	58,44 %	70,35 %	75,97 %	53,95 %	50,42 %
Anlagendeckungsgrad A	76,88 %	213,25 %	280,93 %	96,26 %	218,91 %
Anlagendeckungsgrad B	117,95 %	433,79 %	478,55 %	188,16 %	344,40 %

Tab. 1: Überblick über betriebswirtschaftliche Kennzahlen ausgewählter IT-Anbieter

Liquidität

Hinsichtlich der Liquidität weist Anbieter 1 mit einer Liquidität 2. Grades in Höhe von 117,32% das beste Ergebnis auf. Mit seinen zur Verfügung stehenden liquiden Mitteln ist das Unternehmen in der Lage, die kurzfristigen Verbindlichkeiten auszugleichen. Unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden monetären Umlaufvermögens zeigt es die beste Deckung seiner unterjährigen Schulden auf. Dies spricht für eine schnelle Umschlagsfähigkeit und somit eine zügige Liquidierbarkeit der im Umlauf befindlichen Vermögensteile und lässt einen für das Unternehmen adäquaten Absatz vermuten. Mit 522,15% und über 300% liegen Anbieter 4 und Anbieter 5 weit über den gewünschten Ergebnissen von 100%. Ein zu geringer Absatz sowie eine zu hohe Lagerhaltung können hier der Grund sein.

Verschuldungsgrad

Vergleicht man nun die Kapitalrenditen rückt Anbieter 5 im Ranking weiter nach vorne. Mit einer Eigenkapitalrendite in Höhe von 85,60% liegt er nur knapp hinter Anbieter 3, der hier eine Rendite in Höhe von 102,91% erzielte. Jedoch wirkt hier die höhere Eigenkapitalquote von fast 50% zugunsten des Anbieters 5. Dagegen ist Anbieter 2 hinsichtlich der Mittelherkunft ähnlich wie Anbieter 3 aufgestellt, konnte im Jahr 2007 aber lediglich eine Verzinsung seines eingesetzten Kapitals in Höhe von 21,38% (Eigenkapitalrendite) respektive 8,45% (Fremdkapitalrendite) erwirtschaften. Eine aus ökonomischer Sicht optimale Kapitalstruktur weisen mit einem Verhältnis des Eigenkapitals zum Fremdkapital von nahezu 1:1 die Anbieter 1, Anbieter 4 und Anbieter 5 auf. Diese Regel der vertikalen Kapitalstruktur ist in der Betriebswirtschaft die engste Auslegung des Verhältnisses zwischen Eigenkapital und Fremdkapital. Sie ist jedoch nicht als ausschließlich anzusehen. Die Realität zeigt oftmals andere Ergebnisse. So ist eine Eigenkapitalquote von 20 – 25% wie sie beispielsweise Anbieter 3 aufweist ein durchaus übliches Bild (Ehbrecht/Klein/Krenitz 2006:31).

Anlagenstruktur

Auch im Hinblick auf die Anlagenstruktur und die Deckungsgrade des Anlagevermögens nehmen die Anbieter 2, Anbieter 3 und Anbieter 5 die vorderen Plätze ein. Mit einem Anlagendeckungsgrad B in Höhe von über 400% sind die Anbieter 2 und Anbieter 3 auch in wirtschaftlich schlechteren Zeiten finanziell stabil ausgestattet. Hier sind ebenfalls Teile des Umlaufvermögens, welche nicht unmittelbar am Markt in flüssige Mittel umgewandelt werden können, durch das langfristig zur Verfügung gestellte Kapital gedeckt. Abbildung 1 zeigt die Unterschiede der Anlagendeckung und damit der finanziellen Stabilität auf.

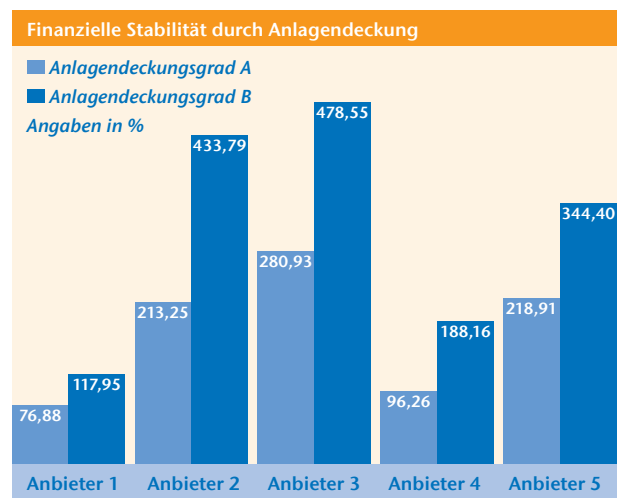


Abb. 1: Finanzielle Stabilität durch Anlagendeckung

Umsatz und Umsatzrentabilität

Die hier vorgelegte Querschnittsanalyse wird durch die Betrachtung der »klassischen« Kennzahlen Jahresumsatzerlös und Jahresüberschuss abgerundet. Zur Ermittlung des Jahresüberschusses kommen das Umsatzkosten- und das Gesamtkostenverfahren in Betracht. Beide Verfahren unterscheiden sich zwar in ihren Ermittlungsschemata, liefern jedoch im Ergebnis den gleichen Wert. Dabei kann der Überschuss der Erträge über den Aufwendungen einen Verlust oder einen Gewinn darstellen. Tabelle 2 zeigt die Umsatz- und Kostenstruktur der betrachteten Unternehmen.

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
Jahresumsatz (in TEUR)	157.311	99.290	7.602	18.432	9.086
Kosten (in TEUR)	147.426	98.239	6.883	18.153	8.230
EBIT (in TEUR)	16.720	1.051	719	279	856
Umsatzrentabilität (in %)	10,63	1,06	9,46	1,52	9,42

Tab. 2: Umsatz- und Kostenstruktur der potenziellen Anbieter

Es wird deutlich, dass die Umsatzhöhe allein noch keine aussagekräftige Interpretation des ökonomischen Handelns eines einzelnen Anbieters zulässt. Anbieter 1 und Anbieter 2 erzielten im Jahr 2007 den höchsten Umsatz, wohin gegen Anbieter 3 mit einem Umsatz von 7.602.249 Euro das Schlusslicht bildet. Dennoch war es Letzterem möglich eine Umsatzrendite in Höhe von 9,36% zu erwirtschaften. Dagegen erwirtschaftete Anbieter 2 lediglich eine Umsatzrendite in Höhe von 1,06%. Damit weist Unternehmen 3 trotz des vergleichsweise geringeren Umsatzes eine ausgewogene Kostenstruktur aus.

Bewertung der Ergebnisse

Zusammen mit den Jahresumsatzerlösen und -überschüssen erlauben die oben dargestellten betriebswirtschaftlichen Kennzahlen eine Bewertung der wirtschaftlichen Lage eines Unternehmens. Die folgende Tabelle gibt eine Auswertung der Kennzahlen in Form einer Rangliste. Dabei wird pro Kennzahl eine Platzierung (1 bis 5) der Anbieter vorgenommen.

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
Liquidität	1	2	3	5	4
Verschuldungsgrad	3	4	2	5	1
Anlagendeckungsgrad	5	2	1	4	3
Umsatz	1	2	5	3	4
Umsatzrentabilität	1	5	2	4	3

Tab. 3: Entscheidungsmatrix und Auswertung der analysierten Kennzahlen

Tabelle 3 zeigt, dass die Betrachtung einer einzelnen Kennzahl eine Fehlentscheidung des Managements herbeiführen kann. Würde man beispielsweise lediglich den Umsatz der potenziellen Anbieter berücksichtigen, würde Anbieter 3 ausgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung der Umsatzrentabilität und des Verschuldungsgrades kann Anbieter 3 jedoch durchaus als möglicher Favorit betrachtet werden. In diesem Licht erscheint eine Entscheidung des Unternehmens U für diesen Anbieter durchaus sehr sinnvoll. Es wird deutlich, dass die Analyse mehrerer Kennzahlen von entscheidender Bedeutung ist, um ein aussagekräftiges Bild der potenziellen Anbieter bzw. Geschäftspartner zu erhalten.

4 Einsetzbarkeit und Fazit

Das vorliegende Papier stellt eine Querschnittsanalyse vor, mit der quantitative Informationen über die ökonomische Lage eines oder mehrerer Unternehmen gewonnen werden können.

Dieser Ansatz zeichnet sich einerseits durch seine Einfachheit und den geringen erforderlichen Aufwand aus. Andererseits basiert er auf frei verfügbaren Informationen über die betrachteten Unternehmen und liefert ein ausgesprochen differenziertes Bild von ihnen.

Der Vergleich der gewonnenen Kennzahlen mehrerer Unternehmen erlaubt, diese Gesellschaften hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Stabilität einzuordnen und so eine anstehende Entscheidung für oder gegen eines dieser Unternehmen als Geschäftspartner zu unterstützen. Würde man bei der Auswahl eines IT-Anbieters und der für diese Zwecke durchgeführten Analyse seiner finanziellen Stabilität beziehungsweise Leistungs- oder gar Überlebensfähigkeit lediglich auf die betriebswirtschaftlichen Kennzahlen »Jahresumsatzerlös« und »Jahresüberschuss« Wert legen, käme ein wenig differenziertes und möglicherweise verfälschtes Bild zustande. Anhand der hier untersuchten IT-Dienstleister A1 bis A5 wird deutlich, dass tatsächlich auch die Anbieter, deren Jahresergebnisse relativ zum Wettbewerb geringer ausfallen, an der Spitze des Rankings stehen oder zumindest mit den vermeintlich Großen der Branche mithalten können.

Insgesamt wird Führungskräften damit ein Entscheidungskriterium und dessen richtige Beurteilung an die Hand gegeben, welches sie – wie etwa im vorliegenden Beispiel – zur Einschätzung von IT-Dienstleistern, aber etwa auch von Lieferanten, möglichen Kooperationspartnern o. ä. in jedweder Branche nutzen und deren Ergebnisse sie zur Untermauerung ihrer Entscheidungen für oder gegen eine Zusammenarbeit mit diesen Unternehmen heranziehen können.

Literaturverzeichnis

- Controller-Portal 2009
<http://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Kennzahlen/deckungsgrad1.html>, (Zugriff 13.04.2009).
- <http://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Kennzahlen/liqui2.html>, (Zugriff 19.04.2009).
- <http://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Kennzahlen/Personalintensitaet.html>, (Zugriff 19.04.2009)
- Ehebrecht, H.-P., Klein, V., Krenitz, M. (2006): Finanzierung und Investition, Stam Verlag, Köln, 2006.
- Haack, B., Neumann, I. (2005): IT-Landschaft im Wandel – Veränderungsprozesse in der Wohnungswirtschaft, PROMOS Press, Berlin, 2005.
- Schneck, O. (Hrsg.) (2003): Lexikon der Betriebswirtschaft, Beck Verlag, München, 2003.

Autoren

Prof. Dr. Bertil Haack

Dekan
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Technische Hochschule Wildau [FH]
 bertil.haack@th-wildau.de

Claudia Schmidt, M.A.

Europäisches Management
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Technische Hochschule Wildau [FH]
 schmidt-claudia80@arcor.de

Regionale Potenziale für die Bereitstellung von Energieholz – Ergebnisse einer Studie in Nord-Ost Brandenburg

Mareike Schultze, Marco Hahs, Stefan Siegemund

Zusammenfassung

Die dezentrale Bereitstellung und Nutzung von Energie aus holzartiger Biomasse kann sowohl zu Klimaschutzzielen als auch zur wirtschaftlichen Entwicklung ländlicher Gebiete beitragen. Im Projekt belo-net [1] werden anhand der Region Nord-Ost-Brandenburg Ansatzpunkte für Kooperationen in regionalen Wertschöpfungsketten mit Schwerpunkt auf dem Bereich der Energieholzlogistik untersucht. Zur Bildung geographischer Handlungsschwerpunkte werden eine Rohstoff- und eine Infrastrukturanalyse kombiniert. Im Ergebnis können mögliche Standorte für Biomassehöfe, die als Lager-, Umschlag- und Verteilzentren wesentliche logistische Elemente regionaler Energieholzstrategien sind, identifiziert und bewertet werden. Waldenergieholz könnte in Nord-Ost-Brandenburg je nach Mobilisierung und Nutzung der vorhandenen Rohstoffpotenziale 5 – 6 % des regionalen Wärmebedarfs decken.

Abstract

Sustainable production of energy from forest biomass helps protecting the climate and contributes to a balanced economic development in rural areas. In the northeast of Brandenburg the conditions for bio-energy production are very good. Important means to gain access to unused biomass resources, especially in the private forests, are the cooperation of companies in regional value chains and – as logistical hubs – regional storage and distribution centres. This paper introduces a method using geographical information systems (G.I.S.) to identify areas with sufficient resources for developing value chains and setting up storage and distribution centres. In the first step, we modelled the geographical distribution of forest biomass potentials based on planning data of the forest administration. By combining these data with an analysis of infrastructure for transport and storage, we could identify more than 40 suitable sites for storage and distribution centres. If mobilisation projects take effect forest biomass could contribute a share of 5 – 6 % to the heat supply in northeastern Brandenburg.

1 Einleitung

Das Land Brandenburg will bis zum Jahr 2020 seinen CO₂ Ausstoß gegenüber dem Jahr 1990 um 40 % senken (Landesregierung Brandenburg 2006). Hierfür soll der Bereich der erneuerbaren Energien unter Nutzung der in Brandenburg nachhaltig vorhandenen Potenziale massiv ausgebaut werden. Biomasse, darunter auch Energieholz, soll mit einem Anteil von über 40 % an den erneuerbaren Energien im Jahr 2020 eine bedeutende Rolle spielen.

Die Erzeugung und Nutzung von Holzenergie kann neben positiven Umweltwirkungen auch einen wesentlichen Beitrag zur Stärkung der Wirtschaftskraft in ländlichen Gebieten leisten. Um dies zu erreichen, müssen

vorhandene endogene Potenziale – wie z. B. Biomasserohstoffe, Arbeitskräfte, Infrastruktur und Know-how – aktiviert werden (Hoffmann 2007) und ein möglichst hoher Teil der Wertschöpfung im regionalen Kontext erzeugt werden (Gothe/Hahne 2005). Der Aufbau von Kooperationen zwischen regionalen Akteuren in Wertschöpfungsketten wird in diesem Zusammenhang ein wichtiges Instrument der Regionalentwicklung gesehen (Schubert 2007).

Im Rahmen des Projekts belo-net werden Ansatzpunkte für solche Kooperationen am Beispiel einer Projektregion erarbeitet. In einem ersten Schritt werden regionale Schwerpunkte identifiziert, an denen gute Voraussetzungen für den Aufbau von Produkt- und Dienstleistungsketten mit hoher regionaler Wertschöp-

fung im Bereich Holzenergie bestehen. Als Einflussfaktoren werden die verfügbaren Rohstoffmengen und die vorhandene Infrastruktur für den Aufbau von Biomassehöfen herangezogen. Biomassehöfe sind als Lager-, Umschlag- und Verteilzentren wesentliche logistische Elemente regionaler Energieholz-Strategien. Unter Nutzung von Planungs- und Geodaten wurde die geographische Verteilung vorhandener Rohstoff- und Infrastrukturpotenziale analysiert. Die Ergebnisse wurden in einem »G.I.S. Energieholz[2]« zu einer Bewertungsbasis zusammengeführt.

2 Die Untersuchungsregion Nord-Ost-Brandenburg

Das Projektgebiet umfasst die Landkreise Märkisch-Oderland, Barnim, Uckermark und Oberhavel. Mit einer Waldfläche von rd. 265.000 ha und einer recht geringen Besiedlungsdichte von 94 Einwohnern/km² (Statistik Berlin Brandenburg 2010a) bieten sich gute Möglichkeiten der Energieversorgung mit Holz. Innerhalb des Gebiets bestehen allerdings starke regionale Unterschiede mit landwirtschaftlich geprägten Gebieten in der Uckermark und Märkisch-Oderland (Bewaldungsgrad 22,9 % bzw. 24,4 %), und dem walddreichen Barnim (46,4 % Wald) (Statistik Berlin Brandenburg 2009). Darüber hinaus entstehen durch den ausgeprägten Stadt-Land-Gradienten zwischen den berlinnahen und den peripheren Gebieten unterschiedliche Möglichkeiten zum Einsatz von Holz als Energieträger. So eignen sich dicht besiedelte Gegenden eher zur Versorgung von Haushalten mit Strom und Fernwärme, die in größeren Biomasseheiz(kraft)werken erzeugt werden. Für einzelstehende Häuser mit ausreichend Lagerfläche kommen besonders in Waldnähe beispielsweise moderne Stückholzanlagen in Frage.

Im Nord-Ost-Brandenburg produzieren allein die fünf Biomasseheizkraftwerke jährlich Strom im Wert von rd. 18 Mio. € (Vergütung nach EEG, Schneider & Aust 2010), Wärme mit einem geschätzten Wert von 37 Mio. € (Wärmepreis nach BMWI 2010) und schaffen direkt etwa 20 Vollzeitstellen (Personalschlüssel gemäß FNR 2005). Hinzu kommen die Wärmeproduktion in Kleinanlagen sowie Umsätze und Beschäftigte in den Bereichen Forstwirtschaft und Bereitstellungslogistik.

Derzeit können rund 140 Betriebe Tätigkeitsbereichen zugeordnet werden, die mit der Bereitstellung von Energieholz zusammenhängen. Im Bereich der Logistik

profitieren von einem weiteren Wachstum des Energieholzsektors nicht nur die rund 80 in der Region ansässigen Forstdienstleister sondern auch landwirtschaftliche Lohnunternehmer, Holzhandelsunternehmer und Transporteure.

Im Bereich der energetisch nutzbaren Holzrohstoffe wurden im Jahr 2009 ca. 20 Tsd. t atro[3] Altholz erfasst (LUGV 2010a; LUGV 2010b, Thraen/Kostmann 1997; Öko-Institut 2004). Eine Befragung der verantwortlichen Stellen im Landkreis Märkisch-Oderland und eine Hochrechnung mittels Geodaten ergaben ein jährliches Holzaufkommen von etwa 5.000 – 6.000 t atro aus der Pflege von Grünflächen und Straßenrändern. Davon fallen in Märkisch-Oderland 70 % im Verantwortungsbereich der Bau- und Grünflächenämter der Ämter und amtfreien Gemeinden an, 25 % im Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg und der Rest unter Verantwortung der Kreisstraßenmeisterei des Landkreises Märkisch-Oderland.

Eine weitere noch im Anfangsstadium befindliche Form der Produktion von Energieholz ist der Anbau schnellwachsender Baumarten wie Pappel, Weide oder Robinie auf landwirtschaftlichen Flächen. Vor allem in den ausgeräumten Landschaften der Uckermark und im Osten Märkisch-Oderland können Agrarholzflächen zum Struktureichtum beitragen sowie Erosionsschutz- und Biotopfunktion haben. Murn (2008) weist Vorzugsflächen für die Agrarholzproduktion in der Region aus, auf denen sich theoretisch jährlich rund 210 Tsd. t atro Agrarholz produzieren ließen.

Die heute weit bedeutendste Quelle für Energieholz ist die forstwirtschaftliche Produktion. Bei Aktivierung der ungenutzten Ressourcen im Bereich des Waldenergieholzes bestehen noch erhebliche Entwicklungsmöglichkeiten. Durch den dezentralen Anfall und die Bedeutung persönlicher Kontakte – gerade bei der Mobilisierung von Holz aus dem Privatwald[4] – bietet Waldenergieholz gute Möglichkeiten für weitere Anlagen im unteren Leistungsbereich und für den Betrieb privater Holzheizungen.

3 Potenziale an Waldenergieholz

Die Bestands- und Besitzstrukturen in den verschiedenen Teilregionen Nord-Ost-Brandenburgs bieten unterschiedlichste Voraussetzungen für die Bereitstellung von Waldenergieholz. Deshalb wurden die verfügbaren Rohholzmengen basierend auf den Forstplanungsdaten

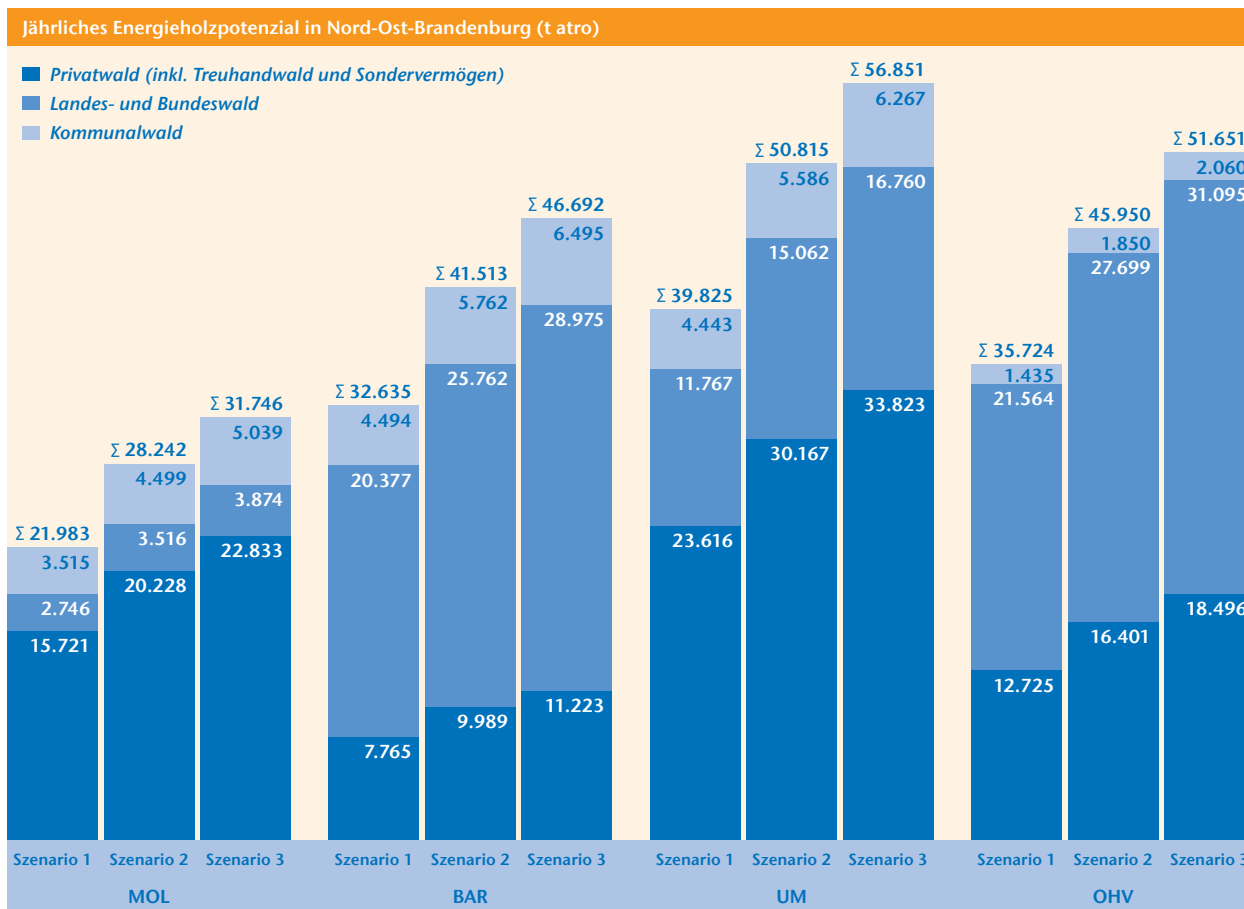


Abb. 1: Energieholzpotenzial nach Landkreisen, Waldbesitzarten und Szenarien in Nord-Ost-Brandenburg (t atro)

von Einzelbeständen flächenscharf modelliert. Die Datengrundlage besteht aus der digitalen Forstgrundkarte (FGK) und dem Datenspeicher Wald (DSW 2 Stand 2006), einer Datenbank mit detaillierten Struktur- und Sachdaten für jeden Bestand. Auf dieser Basis wurde der laufende jährliche Zuwachs getrennt nach verschiedenen Baumartengruppen[5] und deren Anteil an der Waldfläche ermittelt.

Waldenergieholz fällt bei der Pflege von Jungbeständen in Form von Vollbäumen und in älteren Beständen (Durchforstungsmaßnahmen oder Endnutzung) zusätzlich zu den stofflichen Rohholzsortimenten als sogenanntes Koppelprodukt an. Energetisch nutzbare Baumteile sind in letztem Fall Kronenholz, Reisig und unverwertbares Derbholz (Hepperle 2007).

Die Modellierung des Potenzials an Energieholz erfolgt verwendungsorientiert mithilfe von Bestandessortentafeln (Offer/Staupendahl 2009), die der Marktaktualität angepasst wurden. Neben den stofflichen Sortimenten Stammholz und Industrieholz werden Energieholz und nicht verwertbares Derbholz (NVD) unterschieden. Die Anteile an Astholz sind entsprechend der jeweiligen Höhe der Bäume als Mittelwerte nach Haschke und Ri-

ckert (2005) berücksichtigt. Um den Einfluss verschiedener Holzvermarktungsziele darzustellen, wurden drei Varianten der Sortimentsbildung verglichen:

Szenario 1: Das Derbholz wird in Stammholz und Industrieholz unterteilt, die stoffliche Nutzung des Rohholzes steht im Vordergrund. Das Energieholzpotenzial besteht aus dem ermittelten Energieholzanteil und 60 % des NVD

Szenario 2: Das Energieholzpotenzial besteht aus dem ermittelten Energieholzanteil und 80 % des NVD

Szenario 3: Das Energieholzpotenzial besteht aus dem ermittelten Energieholzanteil und 80 % des NVD. Darüber hinaus werden die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung berücksichtigt und 10 % des Industrieholzanteils dem Energieholzpotenzial zugeschlagen.

Entlang der Erntekette entstehen an verschiedenen Stellen stoffliche Verluste. Die Umrechnung von Vorratsfestern in Erntefestmeter erfolgt mittels der im DSW 2 befindlichen Umrechnungsfaktoren in Abhängigkeit

des Brusthöhendurchmessers. Verluste bei Ernte, Aufarbeitung und Rückung werden pauschal mit 15 % berücksichtigt (Becker/Engler 2009).

Für die Waldfläche Nord-Ost-Brandenburgs lässt sich inklusive NVD ein technisches Energieholzpotenzial von jährlich rund 220 Tsd. t atro ausweisen. Die erschließbare Menge wurde über die drei Szenarien im Bereich zwischen 100 und 170 Tsd. t atro eingegrenzt. Die Verteilung auf Landkreise und Waldbesitzarten zeigt Abbildung 1. Entsprechend des Planungshorizonts der zugrunde liegenden Forsteinrichtungsdaten sind die ermittelten Ergebnisse für einen Zeitraum von 10 Jahren aussagekräftig.

4 Infrastruktur für Biomassehöfe

Biomassehöfe können als Mittler zwischen Biomasseproduzenten und -abnehmern eine entscheidende Rolle für die Entwicklung des Energieholzsektors spielen. Sie bieten die infrastrukturelle Grundlage für die Bündelung von Mengen, für die Vorratshaltung und für die Aufbereitung von Ausgangsmaterialien unterschiedlicher Qualität. Damit helfen sie, bisher ungenutzte Kleinmengen aus dem Privatwald und der Landschaftspflege zu mobilisieren und zu vermarkten. Mit verschiedenen Veredelungsprozessen können an Biomassehöfen hochwertige Brennstoffprodukte hergestellt werden, die deutlich höhere Preise als unaufbereitetes Energieholz erzielen. Mittels sachgerechter Lagerung und rascher Trocknung des erntefrischen Materials (z. B. durch Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen) werden außerdem Massenverluste vermieden [6].

Durch Biomassehöfe entstehen in ländlichen Gebieten zusätzliche Möglichkeiten der Wertschöpfung und Arbeitsplätze auch für gering Qualifizierte. Regionale Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft und des Logistiksektors profitieren von zusätzlichen Aufträgen und geringen Transaktionskosten.

Geeignete Standorte für Biomassehöfe haben eine gute Anbindung an die Versorgungs- und Verkehrsinfrastruktur und liegen in räumlicher Nähe zu Rohstoff- und Absatzmärkten. Idealerweise sind bereits für die Lagerung geeignete Flächen oder Gebäude vorhanden. Ebenfalls zu beachten sind die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Betrieb der Höfe. Die konkrete Auswahl von Flächen zum Aufbau von Biomassehöfen erfordert detaillierte Vor-Ort-Analysen unter Einbeziehung der Akteure, die am Bewilligungsverfahren und am Betrieb des Hofes

beteiligt oder davon betroffen sind. Eine Vorauswahl grundsätzlich geeigneter Standorte ist jedoch mittels G.I.S. möglich (vgl. auch Kühmaier et al. 2007). Unter Verwendung des Digitalen Landschaftsmodells Brandenburg (Version 2009) wurden mögliche Standorte in der Untersuchungsregion anhand von Ausschluss- und Eignungskriterien eingegrenzt. Ausgeschlossen wurden

- Flächen in bestehender Nutzung (Flugplätze, Talsperren/Wehre; Tagebau/Rieselfeld/Schwimmbecken; Grünland/Gartenland/Moor; Waldflächen, Ackerflächen; Sonderkulturanbau; Flächen besonderer funktionaler Prägung)
- Naturschutzgebiete
- Geschützte Bereiche des menschlichen Wohnens/Lebens (Freizeitanlagen, Wohnbaufläche, Flächen im Abstand < 250 m um Wohnbauflächen)
- Geschützte Bereiche von übergeordneter Bedeutung (Wasserschutzgebiete I – III; Truppenübungsplätze)
- Als bau- oder betriebsuntauglich einzustufende Flächen (Seen, Flüsse, Sumpf/nasser Boden; Inseln) sowie ein Puffer von 30 m um Waldflächen
- Flächen in Industriegebieten, die jedoch für den Betrieb von Lagerplätzen als ungeeignet einzustufen sind (z. B. Einhandelsflächen).

Als Eignungskriterien für Biomassehöfe wurden die Verkehrsanbindung, die vorhandene Betriebsinfrastruktur (bzw. schnelle und kostengünstige Anschlussmöglichkeiten) und die Verfügbarkeit überschüssiger Energie zur Trocknung des Holzes verwendet. Für diese Kriterien wurden Attribute festgelegt, die durch Zuordnung von Bewertungspunkten zu einer Vergleichsbasis zusammengeführt wurden:

- *Verkehrsanbindung*: Euklidischer Abstand zu Autobahnen, Bundes- und Landstraßen (1, 3 und 5 km).
- *Betriebsinfrastruktur*: Industriegebiete der Nutzungsvarianten Lagerflächen, Anlagen und Gebäude zur Verwertung und Entsorgung von Abwasser und Abfallstoffen, Anlagen und Flächen zur Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität, Wärme, Wasser und andere Flächen.
- *Energie zur Trocknung des Holzes*: Bewertung der Standorte in Umkreisen von 200, 500 und 1.000 m zu den aktuell im Untersuchungsgebiet in Betrieb befindlichen Biogasanlagen gemäß HNE (2010).

Alle grundsätzlich geeigneten Flächen wurden nach dem Verschneiden der bewerteten Einzellayer in Eignungsklassen eingeteilt. Abbildung 2 zeigt die geographische Verteilung der Standorte, die als »gut« oder »sehr gut« geeignet bewertet wurden.

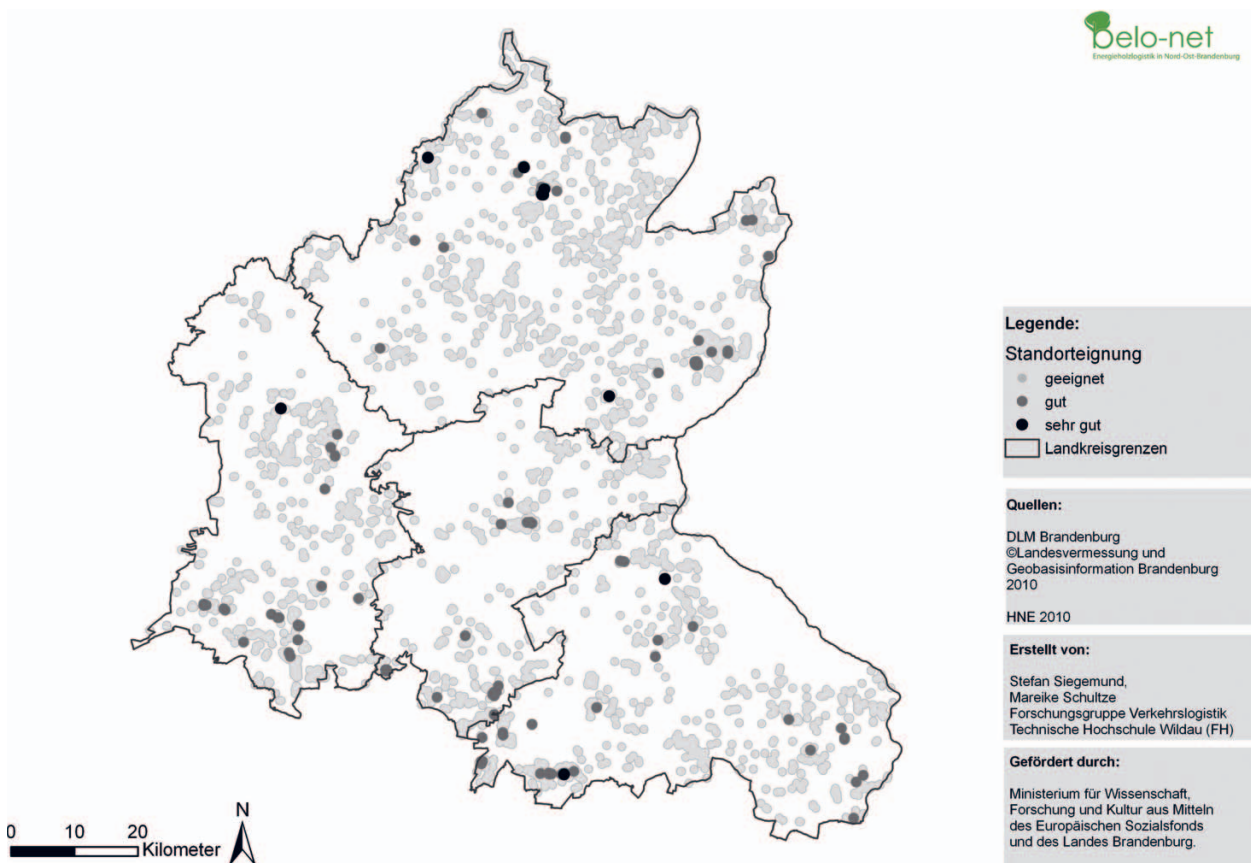


Abb. 2: Standorte in Nord-Ost-Brandenburg, die nach den verwendeten Ausschluss- und Eignungskriterien als für den Aufbau von Biomassehöfen geeignet gelten können

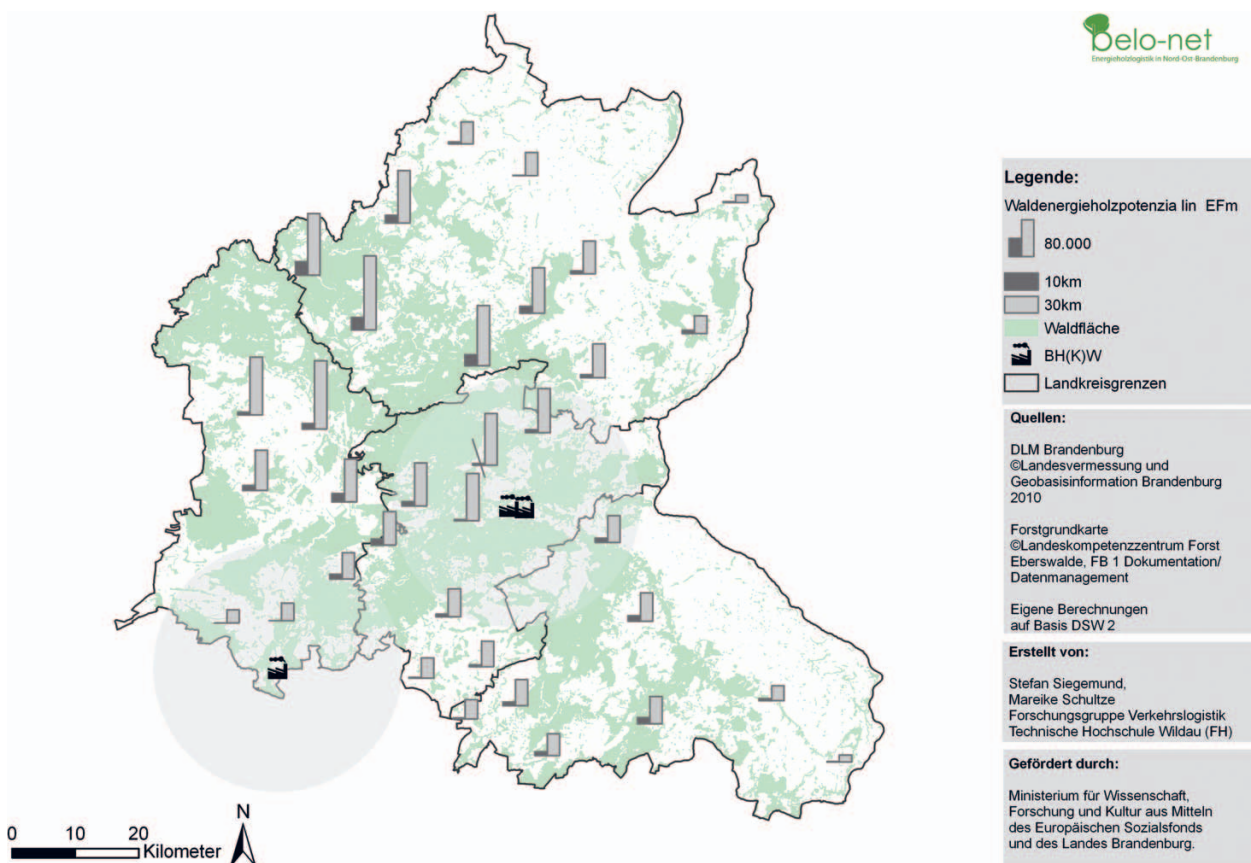


Abb. 3: Verfügbare Energieholzpotenziale (nach Szenario 3) in 10 u. 30 km Transportentfernung von den als »gut« und »sehr gut« bewerteten Standorten

Der Kostenanteil der Vorratshaltung für die bedarfsgerechten Versorgung von Abnehmern kann bis zu 70 % der Logistikkosten betragen und wird wesentlich durch die Kosten und die Auslastung der genutzten Lagerinfrastruktur beeinflusst (Schultze/Fiedler 2008). Als wesentlicher Einflussfaktor für die Möglichkeiten der Auslastung eines Biomassehofes wurden die am besten bewerteten Standorte hinsichtlich der Verfügbarkeit von Waldenergieholz in Einzugsradien von 10 km bzw. 30 km untersucht (Abb. 3). Dabei wurde der Bedarf der auf Basis von Waldenergieholz betriebenen Biomasseheiz(kraft)werke in ihren direkten Einzugsgebieten von den Potenzialdaten abgezogen.

5 Schlussfolgerungen

Ziel der Analyse war die Identifikation von Gebieten, die sich aufgrund der vorhandenen Rohstoff- und Infrastrukturpotenziale in besonderem Maße für den Aufbau von regionalen Wertschöpfungsketten der Energieholzbereitstellung und -nutzung eignen.

Die bestandesscharfe Modellierung von Rohholzpotenzialen ergibt unter Berücksichtigung der üblichen Verfahren der Sortimentsbildung eine jährlich verfügbare Menge an Waldenergieholz zwischen 110 und 170 Tsd t atro. Wird diese Menge lufttrocken (20% Wassergehalt) in modernen Holzheizungen verwendet, lassen sich daraus jährlich rund 2.000 TJ Endenergie erzeugen. Mit dieser Energiemenge lassen sich ca. 30.000 Haushalte versorgen (Statistisches Bundesamt 2006) und unter Berücksichtigung aller regionalen Effekte etwa 1.000 Arbeitsplätze schaffen (Steininger et al. 2008). Berücksichtigt man die mögliche Wärmeproduktion der derzeit laufenden Biomasseheiz(kraft)werke sowie deren Nachfrage nach Waldenergieholz, lassen sich je nach Szenario 5 bis 6 % des Wärmebedarfs der Region[7] aus Waldenergieholz decken.

Dabei ist zu beachten, dass die ermittelten Werte tendenziell eher eine vorsichtige Einschätzung der in den kommenden Jahren verfügbaren Energieholzmengen darstellen. So sind in der Regel die durch die Forsteinrichtung geplanten Hiebsmaßnahmen eher konservativ bemessen worden und die einbezogenen Vorräte und Zuwächse häufig höher als im DSW 2 hinterlegt. Die Bestandeswerte werden aufgrund veränderter Durchforstungskonzepte und Wuchsbedingungen (durch Nährstoffeinträge) oft unterschätzt (Offer/Staupendahl 2009). Müller (2010) stellt auf Basis von Inventurda-

ten einen Anstieg der Holzvorräte in Brandenburg von 10% zwischen den Jahren 2001 und 2008 fest.

Durch die Berechnung von drei Szenarien mit verschiedenen Verfahren der Bildung stofflicher und energetischer Holzsortimente konnten die Auswirkungen verschiedener Nutzungsentscheidungen in Abhängigkeit der Marktaktualität ermittelt werden. Bei zunehmender Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung scheint das Szenario 3 am ehesten die zukünftige Entwicklung abzubilden.

Durch die Kombination der Analyse von Rohstoffpotenzialen mit einer Infrastrukturanalyse konnte eine erste Bewertung von Teilregionen hinsichtlich ihrer Eignung für den Aufbau von Biomassehöfen vorgenommen werden. Die Wahl der geeigneten Standorte basiert dabei zunächst auf allgemein verfügbaren Informationen und Geodaten. Einzelne Standorte, die z. B. durch eine Vor-Ort-Analyse und Befragung der verantwortlichen Personen näher untersucht werden müssen, werden anhand konkreter Planfälle ausgewählt werden. Um das Bewertungsmodell zu verfeinern, ist weitere Forschung zu den Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs von Biomassehöfen erforderlich.

Anmerkungen

- [1] Das Projekt belo-net ist ein gemeinsames Vorhaben der Hochschulen Wildau und Eberswalde. Es wird gefördert durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Landes Brandenburg. Weitere Informationen: www.belo-net.de
- [2] G.I.S. = Geographisches Informationssystem
- [3] t atro = Tonnen Trockenmasse
- [4] Der Privatwaldanteil in Nord-Ost-Brandenburg beträgt durchschnittlich 39%. Im Landkreis Märkisch-Oderland ist diese Besitzart mit fast 60% sogar dominierend.
- [5] Nadelholz: Kiefer, Fichte, Lärche, Douglasie und sonstiges Nadelholz; Laubholz: Eiche, Buche, Birke, Erle, Esche, Pappel und sonstiges Laubholz
- [6] Die Verluste während einer sechsmonatigen Lagerung können je nach Lagergut und Lagerverfahren bis zu 25 % betragen
- [7] Bezogen auf den Wärmeverbrauch im gewerblichen und privaten Bereich, anteilig berechnet aus Daten für das Land Brandenburg und im Bereich Wärme nach der Anzahl der Betriebe und Wohngebäude (Statistik Berlin Brandenburg 2010b und 2010c, Statistik Berlin Brandenburg 2009).

Literatur

- Becker, G.; Engler, B. (2009): Stoffliche oder thermische Holznutzung: Strategien für die Sortierung von Industrie- und Kronenholz in Abhängigkeit von Bestandes- und Marktbedingungen, Vortrag auf dem Forum: Hackschnitzel – forstwirtschaftliches Produkt mit Zukunft? Vortrag auf der Ligna 2009.

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes(Deutschland) 2009; <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energiepreise-und-energiekosten1-entwicklung-energiepreise-priceindizes,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls>.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (2005): Leitfaden Bioenergie, Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, Gülzow.
- Gothé, D.; Hahne, U. (2005): Regionale Wertschöpfung durch Holz-Cluster – Best-Practice-Beispiele regionaler Holz-Cluster aus den Bereichen Holzenergie, Holzhaus- und Holzmöbelbau, wald-Arbeitspapier Nr. 14, Freiburg: Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft.
- Haschke, P.; Rickert, I. (2002): Abschätzung der Potentiale an Waldenergieholz in den Kreisen Uckermark und Barnim, unveröffentlichte Studie, Eberswalde.
- Hepperle, F. (2007): Energieholz – Konkretisierung betrieblicher Nutzungspotenziale, FVA-Einblick 3/2007, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- HNE (2010): schriftliche Mitteilungen der Arbeitsgruppe Bioenergie an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde zur Datenbasis Biogasanlagen im Land Brandenburg (Stand 31.12.2009).
- Hoffmann, D. (2007): Regionale Wertschöpfung durch optimierte Nutzung endogener Bioenergiepotenziale als strategischer Beitrag zur nachhaltigen Regionalentwicklung. Dissertation. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Kühmaier, M., Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K. (2007): Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Projektstudie im Auftrag von BMLFUW, Land Niederösterreich, Stadt Wien und ÖBf AG. Institut für Forsttechnik, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) (2010a): Abfallaufkommen Altholz aus der Siedlungsbilanz des Landes Brandenburg im Zeitraum 2009. Landkreisweise Darstellung. Schriftliche Mitteilung des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 13.09.2010.
- Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) (2010b): Abfallaufkommen Altholz der gefährlichen Abfälle im Zeitraum 2009. Landkreisweise Darstellung des Landes Brandenburg. Schriftliche Mitteilung des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 16.09.2010.
- Landesregierung Brandenburg (2006): Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg. Bericht der Landesregierung. Umsetzung des Beschlusses des Landtages, DS 4/2893-B, vom 18. Mai 2006.
- Müller, Jörg (2010): Wie nachhaltig wird gewirtschaftet? – Ergebnisse der Großrauminventur 2008 auf den BWI-Punkten im Land Brandenburg, in: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) und Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) [Hrsg.]: Wissenstransfer in die Praxis. Beiträge zum 5. Winterkolloquium am 25.02.2010 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 44, Eberswalde., 8 – 13.
- Murn, Yasmin (2008): Ertragsdaten für Agrarholz, schriftliche Mitteilung im Rahmen des Projekts DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse.
- Offer, A.; Staupendahl, K. (2009): Neue Bestandessortentafeln für die Waldbewertung und ihr Einsatz in der Bewertungspraxis, Forst und Holz 64, Heft 5.
- Öko Institut (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht Öko-Institut e.V, Institut Umwelt, Sicherheit, Energietechnik Umsicht, Institut für Energetik und Umwelt, ifeu, izes, Institut für Geoökologie an der Technischen Universität München.
- Schneider, G.; & Aust, J., (2010): Schriftliche Mitteilung vom 31.08.2010 der Arbeitsgruppe Bioenergie an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung basierend auf Daten der 50Hertz Transmission GmbH 2010 und Bilke et al. (2007).
- Schubert, D. (2007): Regionale Wertschöpfungs(ketten)partnerschaften (RWP) in der ländlichen Entwicklung. Hintergrund, Ziele, Steuerung und Potenziale, Fachpapier im Rahmen der Begleitforschung von Regionen Aktiv.
- Schultze, M.; Fiedler, P. (2008): Modelle für die logistische Bereitstellung von Dendromasse auf regionaler Ebene, in: Murach, D.; Knur, L.; Schultze, M. (Hrsg.): DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse, Endbericht, FKZ 0330580, Verlag Kessel, Eberswalde, Berlin, Cottbus.
- Statistik Berlin Brandenburg (2009): Statistisches Jahrbuch 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2010a): Statistischer Bericht A I 3 – j/09. Bevölkerung der kreisfreien Städte und Landkreise im Land Brandenburg 2009. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg . Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2010b): Statistischer Bericht E IV 4 – j/07. Energie- und CO2-Bilanz im Land Brandenburg 2007. Hrsg. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistik Berlin Brandenburg (2010c): Statistischer Bericht F I 1 – j/09. Fortschreibung des Wohngebäude und Wohnungsbestandes im Land Brandenburg am 31. Dezember 2009. Hrsg. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. Potsdam.
- Statistisches Bundesamt (2006): Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte. Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR), Wiesbaden.
- Steininger, K. et al. (2008): Volkswirtschaftliche Effekte einer erweiterten Biomasse-Energie-Nutzung in der Energieregion Oststeiermark, Wegener Center., Wissenschaftlicher Bericht Nr. 21-2008, Graz.
- Thraen, D.; Kostmann, J. (1997): Nachhaltiges Management des Stoffstroms Holz als Bestandteil von regionaltypischen Konzepten für eine nachhaltige zukunftsfähige Entwicklung von Konversionsgebieten und strukturschwachen Regionen im Land Brandenburg.

Autoren

Dipl.-Forstw. Mareike Schultze

Forschungsgruppe Verkehrslogistik
Technische Hochschule Wildau [FH]
mareike.schultze@th-wildau.de

Dipl.-Geogr. Stefan Siegemund

Forschungsgruppe Verkehrslogistik
Technische Hochschule Wildau [FH]
stefan.siegemund@th-wildau.de

M. Sc. Dipl. Ing. (FH) Marco Hahs

Arbeitsgruppe Bioenergie
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH)
Friedrich-Ebert-Str. 28, 16225 Eberswalde
marco.hahs@hnee.de

Langzeitverhalten von weichballistischen Materialien

Anja Gäbler, Michael Hendrix, Michael Herzog, Eberhard Geßner

Zusammenfassung

Dieser Aufsatz befasst sich mit dem Langzeitverhalten ballistischer Materialien. Vorrangig soll die Frage geklärt werden, ob ballistisches Material qualitätsmindernde Erscheinungen im Schutzverhalten aufweist, die mit dem fortschreitenden Alter des Materials einhergehen. Um diese Frage zu klären, wurden anhand zahlreicher Beschussversuche an polizeilichen Schutzwesten statistisch verlässliche Daten gesammelt und anschließend unter verschiedenen Blickwinkeln ausgewertet. Zusätzlich wurden verschiedene Laborversuche am Aramid-Gewebe durchgeführt.

Abstract

This publication deals with the long-term behavior of ballistic material. It aims to answer the question, whether ballistic material shows significant signs of a deterioration that comes with preceding age. To answer that question numerous shooting tests with bulletproof vests were made to collect statistically reliable Data. The data was then evaluated under different point of views. Additionally various laboratory experiments were performed with Aramid fibre.

1 Einführung

Schutzsysteme aus weichballistischen Materialien spielen in vielen Bereichen aufgrund ihres geringen Gewichts bei hohem Schutz eine zunehmende Rolle. Ein bekanntes Beispiel eines ballistischen Schutzsystems sind polizeiliche Schutzwesten. Weichballistische Materialien spielen aber nicht nur als wesentlicher Bestandteil von Schutzkleidung eine Rolle, sondern werden zum Beispiel auch zur Panzerung von Fahrzeugen eingesetzt.

Die Wirkungsweise von weichballistischen Materialien lässt sich folgendermaßen beschreiben: Wenn ein Geschoss auf eine mehrlagige Struktur aus reißfestem weichballistischem Gewebe trifft, dann wird seine kinetische Energie abgebaut, indem das Geschoss beim Durchdringen der einzelnen Gewebelagen diese zerstört oder dehnt. Nach dem Durchdringen mehrerer Lagen ist die Energie vollständig abgegeben und das Geschoss bleibt stecken. Weichballistische Materialien werden hauptsächlich zum Schutz vor Kurzwaffengeschossen oder beschleunigten Metallsplintern eingesetzt.

Schutzsysteme aus weichballistischen Materialien enthalten als wirksame Komponente zumeist Gewebe aus hochfesten synthetischen Fasern auf der Basis aromatischer Polyamide (Aramide). Ein bekannter Handelsname solcher Materialien ist Kevlar oder auch Twaron. Bis heute gibt es keine gesicherten Aussagen

darüber, ob und wie sich die Schutzeigenschaften von Aramiden mit zunehmendem Alter verändern. Hersteller von Schutzwesten gewähren derzeit 10 Jahre Garantie auf die Schutzeigenschaften der Schutzweste – Forderung der Technischen Richtlinie des Polizeitechnischen Instituts (Geßner 2009).

Im Folgenden sollen erste Ergebnisse systematisch durchgeführter Langzeituntersuchungen an Aramid-Geweben dargestellt werden. Zur Klärung der stofflichen Mechanismen, die einer möglichen altersbedingten Veränderung der Schutzwirkung von Aramiden zugrunde liegen, haben wir sowohl Beschussversuche an polizeilichen Schutzwesten als auch Laborversuche am Aramid-Gewebe durchgeführt.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Schon im Jahre 1986 wurde vom amerikanischen »National Bureau of Standards« im Auftrage des »National Institute of Justice« eine Untersuchung zum Langzeitverhalten von ballistischen Schutzgeweben auf der Basis von Kevlar durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in dem Bericht »Ballistic Tests of Used Soft Body Armor« zusammengefasst (Frank 1986).

Es wurden jedoch nur wenige Gewebe untersucht (insgesamt 24 Proben unterschiedlichen Alters, unter-

schiedlicher Herkunft und unterschiedlicher Tragedauer), so dass nur subjektive und allgemeine Aussagen über Trends möglich sind. Zwei Trends werden von den Autoren angegeben:

1. Mit zunehmendem Probenalter kann von den durchgeführten Messungen nicht auf eine Verschlechterung der Schutzeigenschaften geschlossen werden
2. Häufig getragene Schutzwesten scheinen bessere Schutzeigenschaften aufzuweisen als weniger häufig getragene Westen

Im Gegenzug dazu liegen nach einem Bericht der Polizeiführungsakademie aus dem Jahre 1998 (Polizeitechnisches Institut der Polizei-Führungsakademie 1998) die Grenzwerte V50 (V50 ist die Geschwindigkeit, bei der die Wahrscheinlichkeit für einen Durchschuss 50% beträgt) bei gealterten und getragenen Schutzwesten bei drei von vier Schutzwesten-Modellen (verschiedener Hersteller) höher als bei neuen Westen. Über das vierte Westenmodell können laut Bericht aufgrund der wenigen Messergebnisse keine Aussagen gemacht werden. Betrachtet man die Messergebnisse im Einzelnen, stellt man fest, dass die Anzahl der Schutzwesten pro Altersklasse und pro Hersteller in keinem Fall größer als 6 war.

3 Beschussversuche

Vorbereitende Arbeiten

Aufgrund einer Kooperation mit dem Zentraldienst der Polizei Brandenburg »ZDPol« standen uns 599 Unterzieh-Schutzwesten zur Verfügung, die anhand unterschiedlicher Merkmale wie Hersteller, Alter, Nutzungsgrad und Produktionscharge kategorisiert wurden. Eine Produktionscharge wird entweder durch die Zertifikatsnummer des Herstellers oder, falls diese nicht bekannt ist, durch eine selbst vergebene Bezeichnung »U2« gekennzeichnet. Der Nutzungsgrad einer Weste wurde per Augenschein geschätzt. Das Ergebnis war eine Datenmatrix über 599 Datensätze, auf deren Grundlage eine Auswahl für die Beschussversuche vorgenommen wurde. Die Kategorisierung ergab 17 verschiedenen Produktionschargen von fünf verschiedenen Herstellern mit einem Alter zwischen 0 und 18 Jahren.

Versuchsaufbau

Einige der Beschussversuche wurden im Beschussamt Mellrichstadt, die meisten jedoch auf dem Schießstand des ZDPol durchgeführt. Waffenlauf (siehe Abb. 1) und

Auflage für die Weste sind standardisiert. Die Westenauflage besteht aus einem Block Plastilin-Knete und ähnelt vom Druck- und Formverhalten den Eigenschaften des menschlichen Körpers. Als Geschoss wurde das Projektil 9 mm Luger verwendet.



Abb. 1: Beschussvorrichtung in Mellrichstadt; der Waffenlauf zeigt in Richtung des kleinen Fensters

Der Abstand der Weste zum Ausgang des Waffenlaufs betrug 10 m. Ein Hochgeschwindigkeitsmessgerät, welches die Geschwindigkeit auf eine Millisekunde genau misst, wurde in zwei Meter Entfernung vor dem Westenaufbau platziert. Die Platzierung der Schüsse und ihre Reihenfolge waren durch eine Schablone vorgegeben und wurden durch Kreide oder Wachsstift direkt auf der Weste markiert (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Blick durch das Zielfernrohr der Beschussapparatur auf die am Plastilin-Block befestigte Schutzweste mit Kreidemarkierungen

Die Geschosse wurden eigenhändig laboriert, um durch unterschiedliche Pulvermengen die Geschwindigkeit variieren zu können.

Eine ausführliche Beschreibung des Versuchsaufbaus ist z. B. (Vereinigung der Prüfstellen für angriffshemmende Materialien und Konstruktionen 2009: Seite 19-28) zu entnehmen.

Bestimmung der V50-Grenzgeschwindigkeit

Ein Maß zur Bestimmung der Schutzeigenschaften eines ballistischen Schutzsystems ist die Bestimmung der V50-Grenzgeschwindigkeit. Dieser V50-Wert ist die Geschwindigkeit eines Geschosses, bei der die Wahrscheinlichkeit eines Durchschusses bei 50% liegt. Zur Berechnung des Wertes gibt es mehrere unterschiedliche Methoden (Kneubuehl 2000: Seite 22-31). Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurden die Beschusstests nach STANAG 2920 durchgeführt (NATO STANAG 2920 2003). Dabei wurde die Schutzweste an maximal 12 fest definierten Positionen auf der Schutzweste beschossen. Die V50-Grenzgeschwindigkeit berechnete sich aus dem Median von drei Durch- und drei Steckschüssen (Kneubuehl 2000: Seite 24), wobei allerdings die Differenz der höchsten und der niedrigsten dieser sechs Geschossgeschwindigkeiten nicht mehr als 30 m/s betragen durfte (Polizeitechnisches Institut der Polizei-Führungsakademie 2003: Seite 15).

Streuung der Messwerte

Bei den Beschussversuchen war festzustellen, dass die V50-Werte auch innerhalb einer Produktionscharge Schwankungen unterliegen, die im Wesentlichen mit dem Verfahren zur Bestimmung der Grenzgeschwindigkeiten und mit Produktionsschwankungen zu tun haben dürften. Ein Beispiel für die Streuung der V50-Werte zeigt Abb. 3.

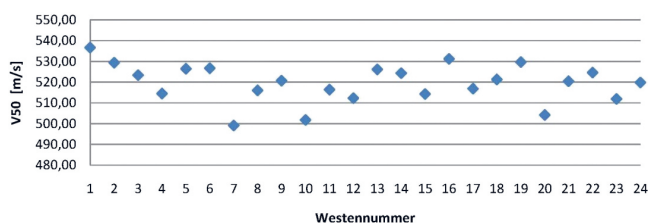


Abb. 3: V50-Werte von 24 verschiedenen 6 Jahre alten Westen der Fa. Mehler aus der Produktionscharge 03Z085-01

Es handelte sich hier ausschließlich um 6 Jahre alte Westen einer Produktionscharge der Fa. Mehler Vario

System GmbH (kurz: Mehler). Die jeweilige V50-Grenzgeschwindigkeit ist durch den blauen Punkt dargestellt.

Die V50-Werte der Westen der Produktionscharge 03Z085-01 lagen in etwa in einem Geschwindigkeitsband von 40 m/s. Messungen der Streuung an anderen Produktionschargen (auch anderer Hersteller) ergaben sowohl hinsichtlich des Mittelwertes der Versuchsreihe als auch hinsichtlich der Breite des Geschwindigkeitsbandes vergleichbare Ergebnisse.

Gebrauchszustand der Westen

Um abzuschätzen, in wie weit der Gebrauch einer Schutzweste durch z. B. Walken des Gewebes, Temperaturschwankungen und Kontakt mit Körperschweiß einen Einfluss auf die V50-Grenzgeschwindigkeit hat, wurde im Rahmen der Kategorisierung der Westen der Gebrauchszustand einer Weste per Augenschein geschätzt. Dabei wurde zwischen ungebraucht, gebraucht und stark gebraucht unterschieden. Messungen an über 30 Westen unterschiedlichen Gebrauchszustandes ließen keinerlei Abhängigkeiten des V50-Wertes vom Gebrauchszustand einer Weste feststellen. Bemerkenswert muss an dieser Stelle, dass bei allen derart untersuchten Westen die Schutzhülle gegen UV-Strahlung und Feuchtigkeit, die beide die Schutzeigenschaften von Aramid-Geweben negativ beeinflussen, unversehrt war.

Langzeituntersuchungen

Im Folgenden sollen die wesentlichen Ergebnisse der Beschussversuche dargestellt werden, wobei wir uns hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nur auf die Darstellung der Ergebnisse, die mit Schutzwesten des Herstellers Mehler gewonnen wurden, beschränken. Weiterhin werden wir an dieser Stelle nur Ergebnisse vorstellen aus Versuchen mit Westen, die nur aus Aramid-Gewebe (evtl. zuzüglich Schockabsorber) bestehen. Westen, die zusätzlich andere Bestandteile wie laminiertes Aramid, Aramid-Gelege oder Stichschutz etc. haben, sind hier nicht einbezogen.

Wir haben bis heute Beschussversuche an Schutzwesten bis zu einem Alter von 18 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind für Westen mit einem Alter von bis zu 10 Jahren durch Laborversuche bestätigt. Laborversuche an Westen, die älter sind als 10 Jahre, laufen momentan. Aus diesem Grunde sollen hier auch nur die Ergebnisse, die für bis zu 10 Jahre alte Westen gewonnen wurden, vorgestellt werden.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die für die Langzeituntersuchungen herangezogenen Westen der Fa. Meh-

ler. Die erste Spalte beinhaltet die Chargennummer, die zweite Spalte gibt das Alter der Weste zum Zeitpunkt des Beschusses an, die dritte Spalte gibt das Herstellungsjahr der Weste an und die vierte Spalte zeigt die Anzahl der für die Beschussversuche vorhandenen Westen.

Chargennummer	Alter bei Beschuss/Jahre	Herstellungsjahr	Anzahl
01W025A01	9	2001	28
01W025A01	8	2001 + 2002	25
01W025A01	7	2002	25
03Z085-01	7	2003	3
03Z085-01	6	2003	24
04Z167D01	6	2004	2
04Z167D01	5	2004	7
U2	0	2001	1
			Σ 115

Tabelle 1: Für die Langzeituntersuchungen beschossene Mehler-Westen aus reinem Kevlar-Gewebe

Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Beschussversuche an 115 verschiedenen Westen. Dargestellt ist das arithmetische Mittel aller für ein bestimmtes Alter gemessenen V50-Werte als Funktion des Alters. Da bei den Beschussversuchen der Geschossaufbau herstellerbedingt teilweise leicht variierte, sind die V50-Werte diesbezüglich korrigiert worden (Gäbler et al. 2010). Weiterhin brauchte der Ort des Beschusses nicht berücksichtigt zu werden, da Vergleichsmessungen in Mellrichstadt und beim ZD-Pol in Wünsdorf an Schutzwesten derselben Produktionscharge und desselben Herstellungsjahres keine signifikanten Unterschiede bei den V50-Werten zeigten.

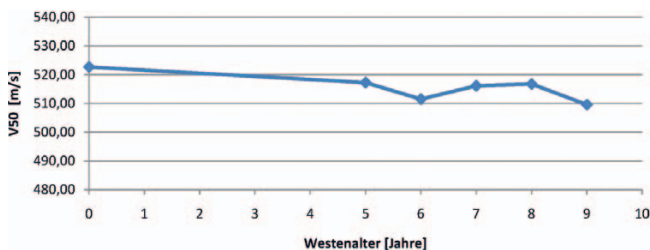


Abb. 4: Arithmetisches Mittel der V50-Werte aller Mehler-Westen gleichen Alters als Funktion des Alters

Westenaufbau und Vergleichbarkeit der Ergebnisse

Für unterschiedliche Produktionschargen kann der innere Aufbau einer Weste unterschiedlich sein. Tabelle 2 zeigt den Westenaufbau für die unterschiedlichen Chargen. Mit angegeben ist das Gewicht eines 100 x

100 mm großen Flächenstücks einer Lage des Aramid-Gewebes.

Chargennummer	Aufbau	Flächengewicht einer Lage (100 x 100 mm) / g
01W025A01	32 Lagen Aramid mit einer X-Naht (120x120mm) mittig vernäht	2,1
03Z085-01	32 Lagen Aramid mit einer X-Naht (120x120mm) mittig vernäht und in Folie eingeschweißt	2,1
04Z167D01	32 Lagen Aramid mit einer X-Naht (120x120mm) mittig vernäht und in Folie eingeschweißt	2,1
U2	32 Lagen Aramidgewebe mit X-Naht(100x100mm) und mit zwei senkrechten Nähten (70mm) am oberen und unteren Rand vernäht	2,3

Tabelle 2: Westenaufbau und Flächengewicht für unterschiedliche Produktionschargen

Die Westen der Chargen 01W025A01, 03Z085-01 und 04Z167D01 sind vom Aufbau her identisch und haben auch das gleiche Flächengewicht bezogen auf eine Stofflage. Die Westen der Charge U2 unterscheidet sich vom prinzipiellen Aufbau her nicht von den Westen der anderen drei Chargen. Die Weste der Charge U2 hat bei ebenfalls 32 Stofflagen ein leicht höheres Flächengewicht verglichen mit den Chargen 01W025A01, 03Z085-01 und 04Z167D01.

Der V50-Wert für die Charge U2 liegt in der gleichen Größenordnung wie der V50-Wert für die Chargen 01W025A01, 03Z085-01 und 04Z167D01 (vgl. Abb. 5), obwohl in dem Fall (U2) das Flächengewicht etwas größer ist. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten könnte sein, dass sich über die Jahre im Herstellungsprozess des Gewebes etwas geändert hat.

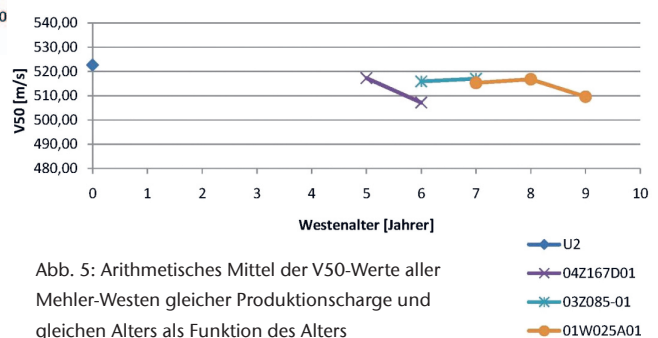


Abb. 5: Arithmetisches Mittel der V50-Werte aller Mehler-Westen gleicher Produktionscharge und gleichen Alters als Funktion des Alters

Um festzustellen, welchen Einfluss eine zusätzliche Stofflage auf den V50-Wert der Weste haben würde, hatten wir unterschiedliche Westen einer Produktionscharge (15 Jahre alt) beschossen und dabei die Anzahl der Stofflagen von Weste zu Weste reduziert. Abb. 6 zeigt das Ergebnis dieser Versuche.

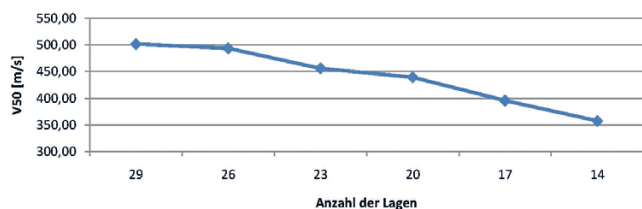


Abb. 6: V50-Werte einzelner Westen einer Produktionscharge als Funktion der Lagenzahl

Der Abfall der V50-Grenzgeschwindigkeit mit verringerter Lagenzahl ist nahezu linear und beträgt hier etwa 9,5 m/s pro Lage.

Bewertung der Beschussversuche

Den Ergebnissen der von uns durchgeführten Beschussversuche an polizeilichen Unterzieh-Schutzwesten lässt sich bis zu einem Westenalter von 10 Jahren weder eine altersbedingte Verschlechterung noch eine altersbedingte Verbesserung der Schutzzeigenschaften entnehmen. Der in Abb. 4 erkennbare leichte Abfall des V50-Wertes liegt deutlich innerhalb des Streubandes (vgl. Abb. 3) und ist daher nicht signifikant. Erste Versuche an noch älteren Westen zeigen ebenfalls keine altersbedingten Änderungen der Schutzzeigenschaften.

4 Laboruntersuchungen

Zusätzlich zu den Beschussversuchen an Schutzwesten wurden Zugversuche an Aramid-Gewebestreifen durchgeführt. An dieser Stelle sollen nur grob der Versuchsaufbau sowie die wesentlichen Ergebnisse dargestellt werden. Eine ausführlichere Beschreibung der Zugversuche sowie der ebenfalls durchgeführten DSC-Messungen an Kevlar sind (Beckmann et al. 2010) zu entnehmen.

Die Zugversuche wurden mittels der Universalprüfmaschine Zwick Z20 durchgeführt. Dazu wurden aus vorher beschossenen Westen Gewebestreifen von ca. 3 cm Breite und mit maximaler Länge ausgeschnitten (Areale mit Schädigungen durch Beschuss wurden nicht verwendet) und auf 2 cm ausgefrant, d.h. die quer zur Zugrichtung liegenden Faserbündel (Rovings) wurden an den Ecken frei gelegt.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht derjenigen Westen der Fa. Mehler, aus denen Gewebestreifen entnommen und untersucht wurden.

Nr.	Chargennummer	Aufbau	Alter	Herstellungsjahr
1	08W206A01	1 Lage Aramidlaminat (AL)+17L. Aramidgewebe (AG) + 10 Lagen AG mit Längsnahten im Abstand von 30 mm vernäht. 1 Lage AG + 5 Lagen AG. Aufbau mit je einer 50mm Längsnaht am oberen und unteren Rand mittig vernäht.	0	2009
2	05Z027A01	wie 08W206A01, außen: weißes textiles Gewebe, innen beschichtet, schwarze Folie	3	2006
3	03Z085-01	32 Lagen Aramid mit einer x-Naht (120x120mm) mittig vernäht und in Folie eingeschweißt	6	2003
4	03Z085-01	32 Lagen Aramid mit einer x-Naht (120x120mm) mittig vernäht und in Folie eingeschweißt	6	2003
5	01W025A01	32 Lagen Aramid mit einer x-Naht (120x120mm) mittig vernäht	8	2001

Tabelle 3: Für die Zugversuche benutzte Mehler-Westen

Abb. 7 zeigt die Zugfestigkeit als Funktion des Gewebeaters, während Abb. 8 die dazugehörigen Zerstörungsenergien darstellt.

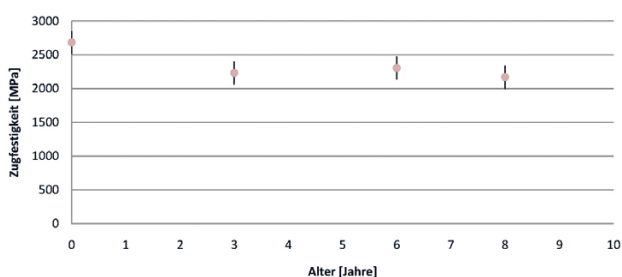


Abb. 7: Zugfestigkeit von Kevlar-Gewebe einschließlich Vertrauensintervall als Funktion des Gewebeaters

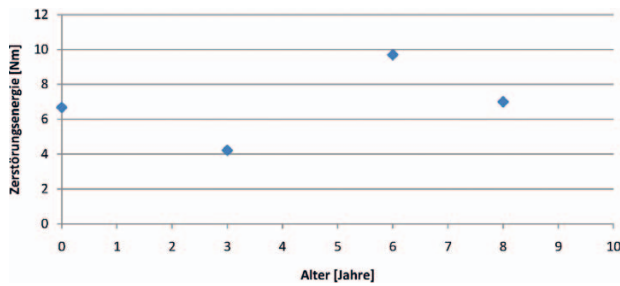


Abb. 8: Zerstörungsenergie zu Abb. 7

Die Zugversuche am Aramid-Gewebe bestätigen die Ergebnisse der Beschussversuche.

5 Ausblick

In der nächsten Zeit sollen folgende weitere Untersuchungen durchgeführt werden:

- Verifikation der Beschussversuche an bis zu 18 Jahre alten Westen durch Messungen im Labor
- Ausweitung sowohl der Beschussversuche als auch der Labormessungen an bis zu 25 Jahre alten Aramid-Geweben
- Gezielte und verifizierbare Untersuchungen in der Klimakammer zum Einfluss von UV-Strahlung und Luftfeuchtigkeit auf die Schutzeigenschaften von Aramiden

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) finanziell unterstützt.

Literatur

- Geßner, E. (2009): Langzeitverhalten von ballistischen Schutzausrüstungen, Vortrag im Rahmen der Fachkonferenz der Polizei »Waffen- und Gerätewesen«.
- Frank, D. E. (1986): Ballistic Tests of Used Soft Body Armor; U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Polizeitechnisches Institut der Polizei-Führungsakademie (1998): Langzeitverhalten von Schutzwesten IV.
- Vereinigung der Prüfstellen für angriffshemmende Materialien und Konstruktionen 2009: VPAM BSW 2006, Prüfrichtlinie »Ballistische Schutzwesten«
- Kneubuehl, B. P. (2000): Ballistischer Schutz, Thun.
- NATO STANAG 2920 (2003): Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing.
- Polizeitechnisches Institut der Polizei-Führungsakademie (2003): Technische Richtlinie »Ballistische Schutzwesten«.
- Gäbler, A, Hendrix, M., Geßner, E. (2010): Einfluss von Änderungen der Prüfmunition hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Ergebnissen bei der Ermittlung von ballistischen Grenzwerten nach STANAG 2920, pVt Polizei Verkehr Technik (in Druck).
- Beckmann, S., Herzog, M., Hendrix, M. (2010): Untersuchungen zur Langzeitstabilität von ballistischen Schutzwesten, GIT Sicherheit + Management, GIT Verlag, Darmstadt (in Druck).

Autoren

Dipl.-Wirt.-Inf. (FH) Anja Gäbler

Technische Hochschule Wildau [FH]
anja.gaebler@th-wildau.de

Prof. Dr. Michael Hendrix

Technische Hochschule Wildau [FH]
michael.hendrix@th-wildau.de

Dr. Michael Herzog

Technische Hochschule Wildau [FH]
michael.herzog@th-wildau.de

Eberhard Geßner

Leiter Produkt-Kunden-Management Technik – ZBTL2
Zentraldienst der Polizei Brandenburg
Am Baruther Tor 20, 15806 Zossen
eberhard.gessner@polizei.brandenburg.de

New Synthesis Route for PHD Polyols

Vladimir Peshkov, Rozeta Evtimova, Michael Herzog, Gerhard Behrendt

Summary

The synthesis of polyurea dispersion polyols (PHD) was developed using a new route via depolymerization of polyurethane polyureas by a mixture of at least two glycols in the presence of a consumable catalyst, i. e. a secondary aliphatic amine. On this way such polyols were produced with a particle size distribution with a maximum in the 120 to 400 nanometer region with hydroxyl numbers of 180 to 300 mg KOH/g being optically clear and highly reactive. The exact adjustment of the ethylene oxide content of the reaction mixture together with that of the polyether polyol originally present in the polyurethane polyurea used in a predetermined range of surface tension as well as specific reaction conditions leads to these polyols which will give in turn polyurethanes with exceptional properties.

Zusammenfassung

Es wird ein neuer Weg für die Herstellung von Harnstoff Dispersions-Polyolen (PHD) über die Depolymerisation von Polyurethan-Polyharnstoffen unter Verwendung einer Mischung von zumindest zwei Glykolen und einem Katalysator, z. B. einem sekundären aliphatischen Amin, entwickelt. Auf diesem Weg wurden Polyole mit einem Maximum der Teilchengrößenverteilung im Bereich 120 bis 140 Nanometer mit Hydroxyl-Zahlen im Bereich 180 bis 300 mg KOH/g bei optischer Klarheit und hoher Reaktivität hergestellt. Bei genauer Abstimmung des Ethylenoxidgehalts der Reaktionsmischung auf den der Polyetherpolyole, die ursprünglich im Polyurethan-Polyharnstoff verwendet wurden, sowie durch Arbeiten sowohl in einem definierten Bereich der Oberflächenspannung wie auch der Reaktionsbedingungen werden die beschriebenen Polyole erhalten, die wiederum zu Polyurethanen mit außergewöhnlichen Eigenschaften umgesetzt werden können.

Introduction

Polyurea dispersion polyols (PHD or PIPA polyols) are presently prepared by the in situ polyaddition reaction of isocyanates and amines in propylene oxide based high molecular weight polyether polyols [Narayan 1992]. The reaction between the added amine, usually ethanolamine or hydrazine, and the isocyanate, in general toluylene diisocyanate (TDI) is performed in high speed mixers in a way that only the amine group reacts with the formation of urea groups. The hydroxyl groups do not take part in the reaction. By this process, it is attempted to obtain the highest possible solids load in the polyol at lowest viscosities and long shelf life [Rische 2004]. The particle size of the polyureas in the polyol is beyond 5 μm resulting in typical dispersions. In this paper we report on a new way to obtain stable dispersions with oligourea particles in the nanometer range with a load of 10 to 20 % by weight. As

a general method a combined aminolysis/glycolysis of polyurethane polyureas as are present in high resiliency foams [Behrendt 1999] is used. In this method the glycol component is adjusted with a balanced proportion of ethylene and propylene oxide units and specific reaction conditions are to be used.

Materials and Methods

In the synthesis of the PHD polyols diethylene glycol (DEG) and dipropylene glycol (DPG) received from Stockmeyer GmbH were used without further purification. Polypropylene glycols were a gift from BASF AG which is gratefully acknowledged. Polyethylene glycols 200, 400, or 600 were received from BASF AG and used without further purification but only dried over molecular sieves. Di-n-butyl amine reagent grade was obtained from BASF AG. HR foams were received as a gift

from Fehrer AG of Markranstädt, Germany. The general synthesis route is as follows: Into a 1.5 l four necked glass flask equipped with magnetic stirrer, nitrogen inlet, reflux condenser, and thermocouple with exterior electric heating mantle and magnetic stirrer unit the calculated amounts of glycols were placed adding 5 % b. w. of the secondary amine. After heating up the mixture to a temperature of 180°C the foam flakes were introduced with stirring. After 0, completing the addition the reaction mixture is stirred for another 30 minutes at 220°C. The reaction mixture is then cooled to ambient temperature and used without further purification or other treatment steps. Hydroxyl numbers and amine numbers were determined according to standards [DIN 1971]. The viscosity was measured through the rotation and oscillation mode of a Rheostress® 300 (Haake GmbH) with the temperature controlled at 25°C. Particle sizes were determined using the NANOPHOX® laser light scattering method.

Results

In a first series of experiments the composition of the solvolysis mixture was composed of DEG and DPG with other parameters kept constant. The ratio of DEG and DPG was systematically changed in steps of 10% (table 1). By these changes the ethylene oxide content of the polyol mixture was gradually increased while the surface tension of the mixture gradually decreased taking the ethylene oxide end block of the polyether polyol in the HR foam as constant with 13% b. w. The surface tension, usually measured in aqueous solution, can also be used as a parameter to predict the solubility of urea structures. As is shown in figure 1 the viscosity, the particle size of the oligoureas in the polyol, and the stabil-

ity changed dramatically as a result of increasing ethylene oxide content. When using 100% DPG, which is the typically used solvolysis reagent [Tucker 1976], the particle size exceeds 10 µm in average and the reaction mixture tends to become instable. With increasing the ethylene oxide content, i. e. increasing the portion of DEG, the stability improves and the particle size decreases reaching a minimum at 40 to 50 % of DEG or with a total ethylene oxide content of the mixture of about 25% b. w. In this range the particle size was found to be in the range of 100 to 400 nm with a maximum of the particle size distribution curve at 180 nm.

As is seen from table 1 with 0 or 10 % b. w. of DEG in the solvolysis mixture the polyurea particles in the particulate reaction mixture are in the range above 1 µm. They were actually found to be in the range from

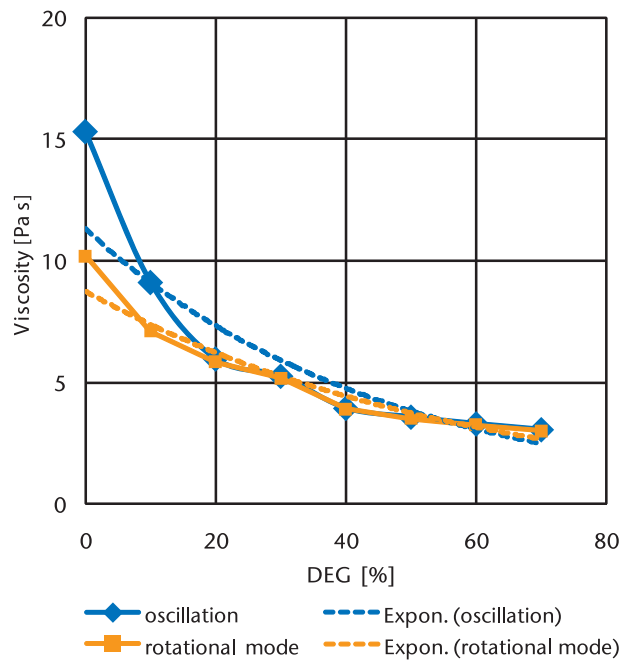


Fig. 1: Viscosity and stability of PHD polyols prepared from DEG/DPG mixtures as solvolysis reagent

No.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
DPG:DEG	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	40 : 60	30 : 70
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	280	302	310	320	333	344	330	340
Amine No. (mg KOH/g)	58	58	56	58	59	57	55	59
Viscosity O (mPas)	15,300	9,100	5,960	5,250	3,930	3,570	3,290	3,050 *)
Viscosity R (mPas)	10,200	7,100	5,830	5,170	3,900	3,520	3,250	3,000 *)
Difference of viscosities	5,100	2,000	130	80	30	50	40	- *)
Remarks	particulate dispersion	particulate dispersion	clear	clear	clear	clear	clear	two phases

Tab. 1: Solvolysis results of HR foams in DEG – DPG mixtures under constant conditions (63 % b. w. foam, time of reaction 30 minutes, reaction temperature 220°C) (viscosity measurement by oscillation »O«, by rotational mode »R«), *) The viscosity could be determined in the upper phase only so that no viscosity difference value is given.

No.	17.5	17.4	17.1	17.6	17.7
HR foam (%)	53	58	63	68	73
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	400	338	330	248	202
Viscosity R (mPas)	2,020	3,630	5,250	14,000	30,000
Viscosity O (mPas)	2,080	3,700	5,290	16,700	42,000
Viscosity difference	60	70	40	2,700	12,000
remarks	clear	clear	clear	turbid	turbid

Tab. 2: Effect of HR foam concentration on solvolysate properties using a ratio of DPG and DEG of 40 and 60

8 to 76 μm . With increasing the content of DEG in the solvolysis mixture the solvolysate becomes clear and the viscosity decreases to a minimum at 60 % of DEG. Furthermore, the difference of viscosities determined in the rotational and oscillation mode also decreases to reach a minimum at a DEG content of 40% b. w. in the glycol mixture as well. This difference is a hint as to the type of viscosity, i. e. the higher this value the higher the proportion of non-Newtonian viscosity (structural viscosity) and, consequently, the particle size and the radii of solvation.

Polyols prepared by this method were stored at ambient temperature to check for their shelf life. It was observed that the shelf life increased with decreasing particle size reaching more than 360 days with the PHD polyols prepared with solvolysis glycol mixtures with between 40 and 60% b. w. of DEG. Further, the viscosity of the reaction mixture prepared at a reaction temperature at 180°C during addition and 220°C had its minimum at a ratio between 50 and 60% b. w. of DEG. It is assumed that in this range the stability is highest. The particle size distribution was measured by NANOPHOX and gave at 50 % of DEG a distribution curve starting at 20 nm with a maximum of 120 nm and finishing at 320 nm. It is suggested that for the lowest particle sizes of the oligoureas in the reaction mixture the viscosity itself and the difference between the viscosity as measured by rotational and oscillation mode has its minimum. At this, the stability of the polyols shows its maximum when using the same concentration of the oligoureas in the other mixtures of the series. The ef-

fect of the concentration of the HR foam in the reaction mixture was derived in a series of experiments which data are shown in table 2.

As can be seen from table 2 the optimum concentration of HR foam was found to be 63 % b. w. because at higher concentrations the viscosity of the reaction mixture rises sharply and becomes turbid due to larger particles. An increase of this concentration leads to a sharp increase in viscosity and especially in structural viscosity and, hence, to a tremendous increase in particle size giving rise to finally unstable and inhomogeneous solvolysates. By increasing the molecular weight of the polyethylene glycol (PEG) from 102 of DEG to 600 and using a similar approach with increasing the PEG content in the reaction mixture the results differed from those obtained with DEG with respect to stability and particle sizes (see table 3). When using PEG 200 (which is mainly tetraethylene glycol) instead of DEG and employing the same reaction conditions, solvolysis products could be obtained only in the range between 10 and 30% b. w. of PEG 200. Higher ratios always lead to unstable products and the formation of two phases. As the difference of the viscosities measured in the rotational and oscillation mode exceeded in all solvolysis products independent on the ethylene oxide content in the reaction mixture 700 mPas, it was assumed that the particle size was approaching 1 μm . This was verified by laser light scattering which found a distribution between 720 nm and 5.6 μm . Thus, it could be shown that PEG 200 was less suitable to be used as a solvolysis reagent due to the longer polyether chains and lower

No.	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3
PEG 200 (%)	10	30	0	0	0
PEG 600 (%)	0	0	10	30	50
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	322	284	284	238	-
Viscosity R (mPas)	4,210	6,000	4,000	3,300	-
Viscosity O (mPas)	4,890	6,880	4,220	3,330	-
Remarks	clear	slightly turbid	slightly turbid	slightly turbid	two phases

Tab. 3: Effect of higher molecular weight of polyethylene glycols used on the properties of solvolysis products (all other conditions as before)

No.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5
MEG:PEG 200	90 : 10	70 : 30	50 : 50	70 : 30	10 : 90
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	345	314	268	212	159
Viscosity R (mPas)(1)	2,560	2,450	2,240	2,340	1,930
Viscosity O (mPas)(1)	2,620	2,380	2,300	2,300	1,970
Visosity difference	60	70	60	40	40
Remarks	two phases	two phases	two phases	two phases	two phases

Tab. 4: Solvolysis of HR foams with mixtures of DPG and higher polyethylene glycols; (1) viscosities were measured in the top phase only

No.	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7
DEG : PEG 200	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40	50 : 50	30 : 70	10 : 90
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	262	225	213	200	184	159	131
Viscosity R (mPas)	3,000	2,760	2,670	2,170	2,220	2,500	2,560
Viscosity O (mPas)	3,050	2,800	2,700	2,200	2,250	2,560	2,590
Viscosity difference	50	40	30	30	30	60	30
remarks	Top 80 %	Top 70 %	Top 70 %	Top 65 %	Top 60 %	Top 70 %	Top 60 %

Tab. 5: Solvolysis of HR foams with DEG – PEG 200 mixtures (conditions as described, analytical values are for the top phase only)

hydroxyl group concentration. Using PEG 600 instead of PEG 200 and using up to 50% b. w. in the glycol mixture the results were similar. Only in the range of 10 to 25 % b. w. of PEG 600 stable reaction products could be obtained. In contrast to the solvolysis products obtained with PEG 200 the differences in the measured viscosities were much smaller, i. e. in the range of 50 to 200 mPas. This hints to smaller particles in the solvolysis mixture. The values found were, nevertheless, in the same range as with PEG 200.

In another series, the dipropylene glycol was substituted by monoethylene glycol to avoid the effect of additional propylene units in the solvolysis mixture (table 4).

All solvolysates shown in table 4 resulted in two phase systems, the top phase being a clear viscous liquid while the bottom phase was a dark, turbid high viscous liquid. Such products are not useful in application and, consequently, were not further investigated. In another series of experiments the monoethylene glycol was substituted by DEG (table 5). The solvolysis products obtained with these mixtures were only two phase

systems, i. e. the oligourea phase together with a minor amount of a glycol separated directly after synthesis. With increasing the amount of PEG 200 the amount of the top phase decreased to give a minimum at a 50 : 50 ratio of DEG : PEG 200. Thus, also such a combination of glycols for solvolysis of HR foams turned out to be of academic interest only.

In the series depicted in table 5, all top phases were clear viscous liquids while the bottom phases were dark, turbid, high viscous liquids. The process variant with these mixtures does neither lead to homogeneous solvolysis products nor to nanoscale oligoureas in them. Two other glycols were investigated to find further compositions to produce nanoscale oligourea dispersion polyols. In the first series of experiments the main component was chosen to be butane-1,4-diol (BD), used in admixture with various proportions with PEG 200. In any proportion between 10 and 50% b. w. of added PEG 200 the solvolysis products were again two phases and were not further analysed. In the second series of experiments a triple mixture of DPG, DEG, and polypropylene glycol of molecular weight 2000 (PPG 2000) was

No.	19.7	19.3	19.1	19.2
DPG : DEG : PPG	40 : 60 : 0	36 : 54 : 10	32 : 48 : 20	24 : 36 : 40
Hydroxyl No. (mg KOH/g)	330	290	275	217
Viscosity R (mPas)	3,250	5,300	6,900	12,00
Viscosity O (mPas)	3,290	6,400	8,900	13,600
Viscosity difference	40	1,100	2,000	1,600
remarks	clear	clear	slightly turbid	turbid

Tab. 6: Solvolysis of HR foams with mixtures of DPG, DEG, and PPG 2000

used (table 6). PPG 2000 was chosen so as to decrease the amount of short chain glycols which affect flexible foams produced from them in a negative way. In this series, under certain conditions clear, homogeneous solvolysis products containing nanoscale oligoureas were obtained.

Only at low concentrations in the range up to 15 % b. w. of the long chain polyether diol stable homogeneous solvolysis products were obtained. But already the addition of 10% b. w. of PPG 2000 to the solvolysis mixture results in an increase of the viscosity difference as an expression of increasing structural viscosity but the solvolysate remains clear showing that the particle size is below 1 μm . With increasing the percentage of PPG 2000 in the mixture the viscosity of the resultant polyol increases sharply and so does the difference of both viscosity measurement modes. This is again a hint to the effect of the ratio of ethylene oxide and propylene oxide but also on the effect of the amount of hydroxyl groups present in the mixture and the effect of longer polyether chains and coiling which may get into competition with the oligourea particles to either commingle with them or form complex adducts.

Discussion of results

HR foams are produced in general with a high molecular weight polyether polyol of a molecular mass of about 5000 to 5500 g/Mol and an ethylene end block of about 13% b. w. as the basic component. Foaming is achieved by the reaction of water and an aromatic polyisocyanate, generally polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (p-MDI). By using a molar excess of water, and its hydroxyl groups to the hydroxyl groups of the polyether alcohol in the range of 4 to 1, the ratio of urea groups to urethane groups is in a similar ratio. The most simple molecule being formed would be 4,4'-diphenylmethane diamine (MDA) which has a molecular size in the range of 1.5 nm [Swardstrom 1972]. When only one urea group in a series based on MDA is present the size of the molecule exceeds 5 nm. As a consequence of the formulation and the reactions proceeding during foaming, the distribution of the oligoureas is between 1 and 10 repeating units with a maximum of between 4 and 5 MDI residues, i. e. the average molecular size is in the range of 20 to 30 nm. Consequently, shorter molecules or smaller particle sizes cannot be found. The particle size of the ureas as received from the foam should be –

without considering agglomeration-in the range of 20 to 80 nm [Armistead 1988].

Urea groups form strong hydrogen bonds among themselves and to other groups being able to interact. Thus, the agglomeration of the urea groups during the foaming reaction and, further, during the solvolysis is the reason for larger particles and the particle size distribution found. When urea groups are agglomerated once, severe reaction conditions have to be used to split the hydrogen bonds. In such cases a side reaction occurs with cleavage of some of the urea groups in the end position of the blocks leading to formation of MDA. But, MDA is a carcinogen and, hence, has to be avoided so as to minimise problems with legislation. The increasing amount of MDA is found when increasing both the reaction time and temperature. MDA has another undesired effect – it leads to increases in the viscosity of the mixture due to thixotroping.

By careful adjustment of the reaction conditions and the use of increased ethylene oxide content in the solvolysis mixture both the formation of MDA and the agglomeration of the urea groups can be reduced. Hence, the tendency for oligoureas to form larger structures can be minimized leading to low viscosity and long time stable nanoscale oligourea dispersion polyols [Peshkov 2008]. By careful investigation of several types of glycols, reaction conditions, and percentage of HR foams in the reaction mixture, it was shown that only with a proportion of the short chain glycols DEG and DPG of about equal amounts stable PHD polyols could be produced. The ratio of DPG and DEG to produce stable PHD polyols with the oligoureas in the nanometer range was shown to be between 55 % and 40 % b. w. of DPG. Homogeneous, clear polyols with a percentage of nanoscale oligoureas between 10 and 20 % b. w. showing a particle size in the region starting with 20 nm in the NANOPHOX curve could be obtained only by using simple mixtures of DEG and DPG in a certain proportion. The use of monoethylene glycol, butane-1,4-diol, or higher polyethylene glycols had only a negative effect and resulted in two phase systems.

Polyetherpolyols build of $C_{2,5}$ alkoxides are suitable to stabilize nanoscale structures particularly by reduction of the surface energy. Typical water-based microemulsions show spontaneously formed droplets in the range of some 10 nm to 100 nm. For the purpose of stabilizing microemulsions a variety of alkoxy derivatives with detergent properties is available with the Lutensol® product group of the BASF AG [Nguyen-Kim 2006]. Our

experiments have shown that not only nanostructures in liquid aqueous systems may be stabilized but also dispersions of solid particles are formed and stabilized by appropriate polyether systems. The PHD polyols thus produced are suitable for the production of flexible, semi flexible, and rigid polyurethanes, especially coatings. These polyols when reacted with suitable diisocyanates or polyisocyanates result in polyurethanes with extraordinary properties [Peshkov 2006]. If such two component systems composed of the stable PHD polyols and suitable polyisocyanates are reacted in the absence of foaming agents under film forming conditions, coatings with exceptional high mechanical and thermo-mechanical properties are obtained [Peshkov 2010] which maybe used as leather, textile or metal coatings.

Acknowledgements

V.P. gratefully acknowledges support of Lausitzer Edelmetalltechnik GmbH for financial support. The authors gratefully acknowledge gifts of polyethers from BASF AG.

References

- [Narayan 1992] Narayan, T., Kinnaird, M.G. (BASF Corp.): Polyurea Based Dispersions, Foams Prepared Therefrom, and a Process for the Preparation Therein, USP 5,288,766 (28.02.1992)
- [Rische 2004] Rische, T., Naujocks, K., Feller, T., Gurtler, C., Mazanek, J. (Bayer AG): Polyurethane Polyurea Dispersions, USP 6,784,243 (31.08.2004)
- [Behrendt 1999] Behrendt, G., Pohl, M.: Verfahren zur Herstellung von Polyolen und diese Polyole, DE-OS 199 17 932 (21.10.1999), EP1086169, USP 6.683.119 (27.01.2004)
- [DIN 1971] DIN 53240: Bestimmung der Hydroxylzahl, 1971-12
- [Tucker 1976] Tucker, B., Ulrich, H. (Upjohn Co.): Novel Process of Reclaiming Polyurethane Foam, USP 3,983,087 (28.09.1976)
- [Swardstrom 1972] Swardstrom, J.W., Duvall, L.A., Miller, D.P.: The Crystal and Molecular Structure of Tris-(4,4'-diaminodiphenylmethane)-Sodium Chloride, Acta Cryst. B28, 2510-2514 (1972)
- [Armistead 1988] Armistead, J.P., Wilkes, G.L., Turner, R.B.: J. Appl. Polym. Sci. 35, 601 629 (1988); Hesse, H., Meisert, E., Eisele, U., Morbitzer, L., Goyert, W.: Kolloid Z. und Polym. 250, 797 (1972)
- [Peshkov 2008] Peshkov, V., Hunger, H.-D., Behrendt, G. (Technische Fachhochschule Wildau): Neue Polyharnstoff-Dispersionspolyole und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE-Pat.-Anm. 10 2008 008 045.4 (05.02.2008)
- [Nguyen-Kim 2006] Nguyen-Kim, S. (BASF AG), Urethane Compound Comprising an Incorporated Polyether Group-Containing Silicone Derivative an a Nitrogen Heterocycle, WO 2006/069742 A1 (06.07.2006)
- [Peshkov 2006] Peshkov, V., Naber, B.W., Schmidt, K.-H., Behrendt, G. (Recyclit GmbH): Verfahren zur Herstellung neuer, flammgeschützter Polyurethane, DE-Anm. 10 2006 058 400.7 (07.12.2006)
- [Peshkov 2010] Peshkov, V., Knoll, U., Evtimova, R., Behrendt, G.: Polyurethanes Based on New PHD polyols, J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy, in preparation

Autors

Dipl.-Ing. Vladimir Peshkov

University of Chemical Technology and Metallurgy
8 Kl. Ohridski bul. 1756 Sofia, Bulgaria
peshkov@uctm.edu

Prof. Dr. Rozeta Evtimova

University of Chemical Technology and Metallurgy
8 Kl. Ohridski bul. 1756 Sofia, Bulgaria
evtimova@uctm.edu

Dr. rer. nat. Michael Herzog

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Technische Hochschule Wildau [FH]
michael.herzog@th-wildau.de
www.th-wildau.de/mherzog

Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Behrendt

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Technische Hochschule Wildau [FH]
gerhard.behrendt@th-wildau.de

Irradiation effects in nanostructured FeCrAl oxide dispersion strengthened steel

Asta Richter, Chun-Liang Chen, Reinhard Kögler, Georg Talut

Abstract

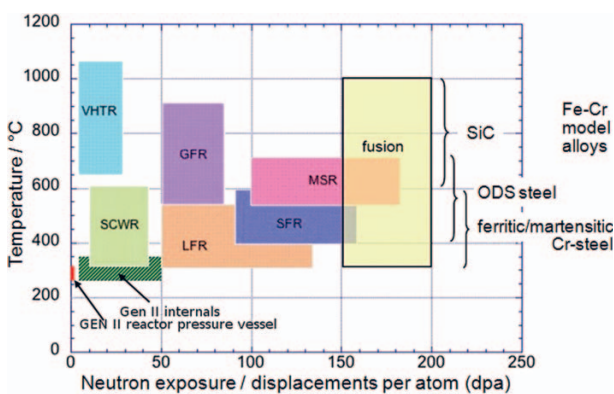
Nanostructured ferritic oxide dispersion strengthened (ODS) alloy is an ideal candidate for fission/fusion power plant materials, particularly in the use of a first-wall and blanket structure of a next generation reactor. These steels usually contain a high density of Y-Al-O nanoparticles, high dislocation densities and fine grains. The material contains nanoparticles with an average diameter of 21 nm. Irradiation of these alloys was performed with a dual beam irradiation of 2.5 MeV Fe⁺/31 dpa and 350 keV He⁺/18 appm/dpa. Irradiation causes atomic displacements resulting in vacancy and self-interstitial lattice defects and dislocation loops. Additionally to structural changes, the effect of the irradiation generated defects on the mechanical properties of the ODS is investigated by nanoindentation. A clear hardness increase in the irradiated area is observed, which reaches a maximum at a close surface region. This feature is attributed to synergistic effects between the displacement damage and He implantation resulting in He filled vacancies.

Zusammenfassung

Ferritische Legierungen mit nanodispersen Oxidpartikeln zur Härtesteigerung sind ein geeignetes Material für Behälter und Ummantelungsstrukturen in modernen Fusions- und Kernspaltungsanlagen. Diese Stähle haben eine hohe Dichte von Y-Al-O Nanoteilchen mit einem mittleren Durchmesser von 21 nm, eine hohe Versetzungsdichte und besitzen eine feine Kornstruktur. Bestrahlungsexperimente wurden mit einer Zwei-Strahl-Ionen-Quelle mit Eisen 2.5 MeV Fe⁺/31 dpa und Helium 350 keV He⁺/18 appm/dpa durchgeführt. Die Bestrahlung erzeugt atomare Defekte mit Leerstellen und Zwischengitterdefekten sowie Versetzungsschleifen. Zusätzlich zu den mikro-strukturellen Modifikationen wurde die Änderung der mechanischen Eigenschaften mit der Bestrahlung untersucht. Insbesondere im oberflächennahen Bereich führt die Ionenbestrahlung zu einer klaren Härtesteigerung. Dieses Verhalten wird mit einem synergetischen Modell zur Erzeugung atomarer Strahlendefekte und der Bildung von mit Helium gefüllten Leerstellen diskutiert.

1 Introduction

Advanced fission and fusion reactor service conditions are characterized by a combination of high temperatures and intense neutron radiation fields (Fig. 1). The study of effects of a combination of high levels of He and irradiation damage on the mechanical properties of reactor steels is a very important issue in the development of new reactor types [Zinkle et al. 2000, Yamamoto et al. 2007]. The production of 10-15 appmHe/dpa in fusion reactors is about one order of magnitude higher than in the case of fission [Baluc 2006]. Atoms will be displaced from their lattice position creating large excess concentrations of vacancy and self-interstitial atom defects, typically characterized by the neutron dose unit of displacement per atom (dpa). Helium is a transmutation product gas in nuclear reac-



VHTR: Very high temperature reactor; SCWR: Super critical water reactor; GFR: Gas fast reactor; LFR: Lead fast reactor; SFR: Sodium fast reactor; MSR: Molten salt reactor

Fig. 1: Generation IV nuclear reactor concepts with their operation temperatures and neutron exposure. Several suitable materials for operation conditions are indicated. (S. J. Zinkle, OECD-NEA Workshop on Structural Materials for Innovative Nuclear Energy Systems, Karlsruhe, Germany, June 2001)

tors, the concentration of which is measured in atom parts per million (appm). Helium is insoluble in steel and precipitates in gas bubbles, that are formation sites for both growing voids and grain boundary creep activities. Nuclear transmutations also change the elemental alloy composition and produce radionuclides with a wide spectrum of decay times, but will not be considered in this paper.

Advanced reactors do not demand only novel fuel forms. They also call for novel structural materials. Standard strategies for toughening materials for high-temperature applications appear unlikely to offer much help for use in nuclear reactors, where intense radiation can make materials unstable [Duffy 2010, Guerin et al. 2009, Baluc 2006]. PM 2000 is an iron-based oxide dispersion strengthened steel alloy, which possesses excellent high-temperature strength and is a promising candidate for high-temperature structural material applications, such as advanced fission/fusion power plants or hydrogen combustion energy cells.

The effect of irradiation on ODS alloys has been an important issue and stimulated worldwide investigations in the last decade [Odette et al. 2008, Pouchon et al. 2010, Kishimoto et al. 2007, Yamamoto et al. 2007]. Displacement damage drives complex microstructural and microchemical evolutions and undergoes interactions with helium. In order to understand the irradiation

behavior of PM2000, high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) investigations and nanoindentation experiments are performed. These are suitable methods to find potential structural changes, which can be compared with measurements of the mechanical properties in a thin surface layer damaged by irradiation.

2 Experimental procedures

2.1 Materials production and processing

Oxide dispersion strengthened alloys such as PM2000, MA956 and ODS Fe₃Al are Fe-based alumina forming alloys with the additions of mainly Y₂O₃ oxide (~0.5wt%) for mechanical strengthening. The alloys also contain Ti (~0.5wt%) which is added as a sink for impurities such as S, N and O. The sample studied was a hot-rolled sheet of PM2000 which is manufactured using the mechanical alloying process in a high-energy ball mill in which powders of the 73.5 wt% Fe master alloy plus 20 wt% Cr, 5.5 wt% Al, 0.5 wt% Ti, and 0.5 wt% Y₂O₃ are mixed together (Fig. 2). A process control agent (usually an organic agent) is added to the powder mixture during milling to reduce cold welding between particles, especially when the powder mix involves a substantial fraction of a ductile component. The next step is con-

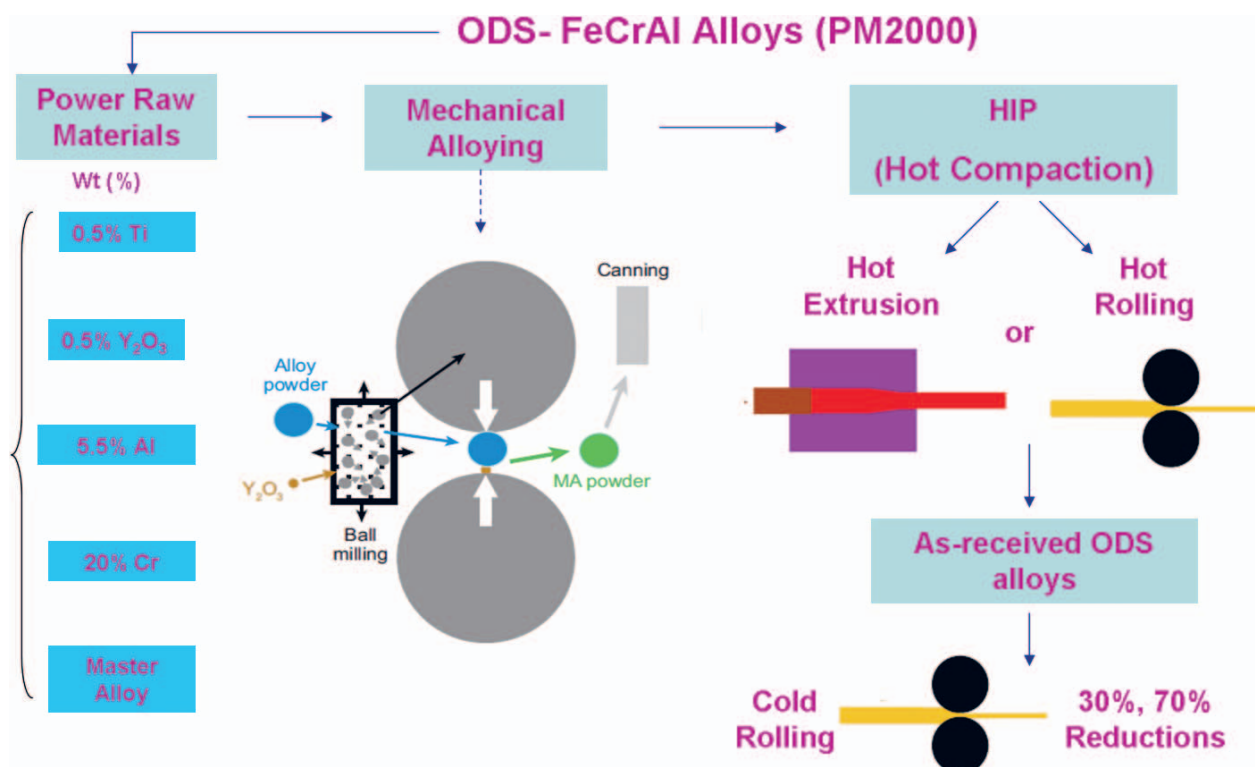


Fig. 2: Composition, mechanical alloying principle and processing of ODS PM2000 steel.

solidation by extrusion or by means of hot compaction and then the extruded alloy is hot or cold rolled. After that, the consolidated ODS steel was annealed at ~ 1050 °C for 1 hour for thermal stabilization.

PM2000 ODS alloys contain nano-scale, uniformly dispersed Y–Al oxide particles in a Fe–Cr–Al matrix, which inhibit dislocation movement and therefore retard the recovery and re-crystallization process, where re-crystallization occurs at exceptionally high temperatures, in the order of 0.9 of the melting temperature. Although the high aluminum content can be disadvantageous because of the high activation potential for fusion applications, the formation of the Al_2O_3 layer on the surface provides superior oxidation and corrosion resistance.

2.2 Irradiation

Since direct neutron irradiation experiments are limited in terms of a variation of parameters such as fluence and temperature and are also very time consuming and produce highly reactive material, ion irradiation is often performed as a substitute for the true reactor conditions. Our ODS samples were irradiated in the dual beam implantation chamber (DB) at FZD Rossendorf, Center for Application of Ion Beams in Materials Research [Kaschny et al. 2005]. The facility allows materials to be implanted using two ion beams simultaneously. The sample is located at the 45° cross point of two beam lines, one from a single-ended HVEE 500 kV ion implanter and the other from a HVEE 3MV Tandatron accelerator. Each beam line is equipped with independent ion fluence and current control. The special design of the beam sweeping system enables both ion beams to scan the target surface simultaneously in synchronous mode, i.e. both ion spots are kept at coincident positions over the target. The self-ion irradiation with Fe^+ ions for steel, was selected to simulate the effects of a neutron induced collision cascade. The Fe^+ ion beam causes the radiation damage and the He^+ ion beam provides the source of He to model the agglomeration similar to that produced by the nuclear reaction. The Fe^+ ions in the dual-beam facility were implanted with an energy of 2.5 MeV and 31 dpa in the ODS PM2000 sample. The energy of the He^+ ions in the dual-beam irradiation is adapted in such a way that the maximum of the implanted He^+ ions appears at the same depth as that of the Fe^+ ions. Thus, the energy of the He^+ ions was set at 350 keV. With a fluence of 1.4×10^{15} ions/cm² the He^+ /dpa ratio is 18 appm/dpa.

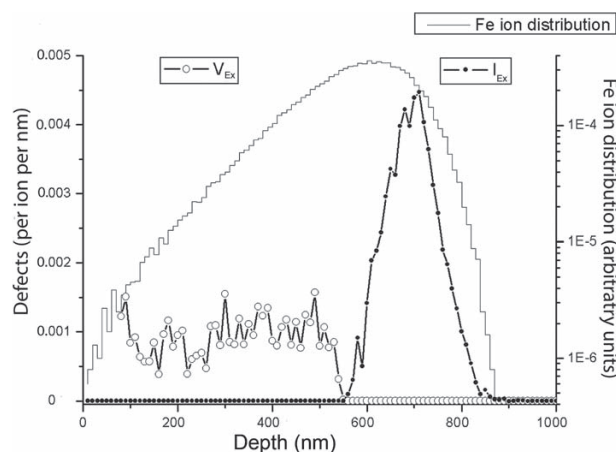


Fig. 3: Calculated depth profile for implantation of 2.5 MeV Fe^+ ions into ODS steel together with the corresponding distributions of excess vacancies V_{Ex} and excess interstitials I_{Ex} . The ion beam hits the sample surface under an angle of 22.5° .

Extended SRIM calculations [Kögler et al. 2009] of the damage profile are given in Fig. 3 and show a maximum of the implanted Fe^+ ions at about 600 nm. The full cascade of radiation damage was calculated and displayed in Fig. 3 with the produced excess interstitials and excess vacancies. The area of excess vacancies is spatially well separated from the excess interstitials and shows different features. The vacancy-rich region is fairly flat and located close to the surface ranging from up to 500 nm. The excess interstitials appear at larger depth with a maximum around 700 nm.

2.3 Nanoindentation

Ion implantation as a convenient way for introducing irradiation damage has a limited damage depth, which is about 850 nm maximum in our experiments. Nanoindentation is a suitable method to determine the mechanical properties of such a thin irradiated surface layer. During a typical nanoindentation test, load and displacement are recorded as the indenter tip is pressed into the sample surface with a prescribed loading and unloading profile. The load-displacement curve provides much more information than a microscopy image of the impression, since it includes plastic and elastic features of the material. The main reason for the application of nanoindentation is its relative experimental simplicity with minimal specimen preparation required. In contrast to other established mechanical tests, e. g. uniaxial tension, the goal of indentation experiments is to probe small volumes and to perform indentations on submicron scales [Gouldstone et al. 2007, Wolf et al. 2003, Richter et al. 2008, Chen et al. 2010]. Additionally, the technique has a great importance for

experimental studies of fundamental material physics on the basis of high resolution load-displacement data.

Most nanoindentation experiments were performed using the electrostatic transducer of the Hysitron triboscope in the UBI 1 at the Technical University of Applied Sciences Wildau. The maximum load applied is 10 mN. Most indents were performed at lower load to study the near surface area in more detail and to avoid effects from the bulk non-irradiated material. In order to get a survey about the hardness profile with larger depth, indentation with the UNAT-M of the company ASMEC was performed up to 100 mN.

The most common use of nanoindentation is for the measurements of hardness and indentation modulus. Hardness H represents the mean contact pressure under load and is obtained by the applied load F divided by the projected area A_c of the indenter tip at the corresponding contact depth h_c . The indentation modulus E is derived from the slope of the load-displacement curve upon unloading as the material recovers elastically [Oliver et al. 1992, Wolf et al. 2003]. All load-displacement curves were analyzed according to the standard Oliver-Pharr method [Oliver et al. 1992]. Investigations are performed with a blunted 90° diamond cube corner tip. The calibration of the tip to determine the depth dependent area function $A_c(h_c)$ was obtained with the standard curve-fitting method using fused quartz, with its known reduced modulus as the reference material. Additionally, calibration with a sharp silicon grating was performed [Richter et al. 2006].

3 Results

Typical microstructures of as-received PM2000 ODS steel are shown in Fig. 4a. A few dislocation lines are clearly visible. The fine-scale Y-Al-O particles tend to pin dislocations (Zener pinning), which revealed evidence of particle-subgrain boundary interactions in the microstructure. The high temperature strength of the ODS alloys emanates from the inhibition of dislocation motion in the metal matrix by the oxide dispersion retarding the recovery and re-crystallization processes. This increases the creep resistance of the alloys.

Fig. 4b shows the microstructures of an as-received PM2000 steel after dual beam irradiation. Transmission electron microscopy (TEM) observations have been performed at the cross section area on the top thin layer (about 850 nm depth), where irradiation damage was

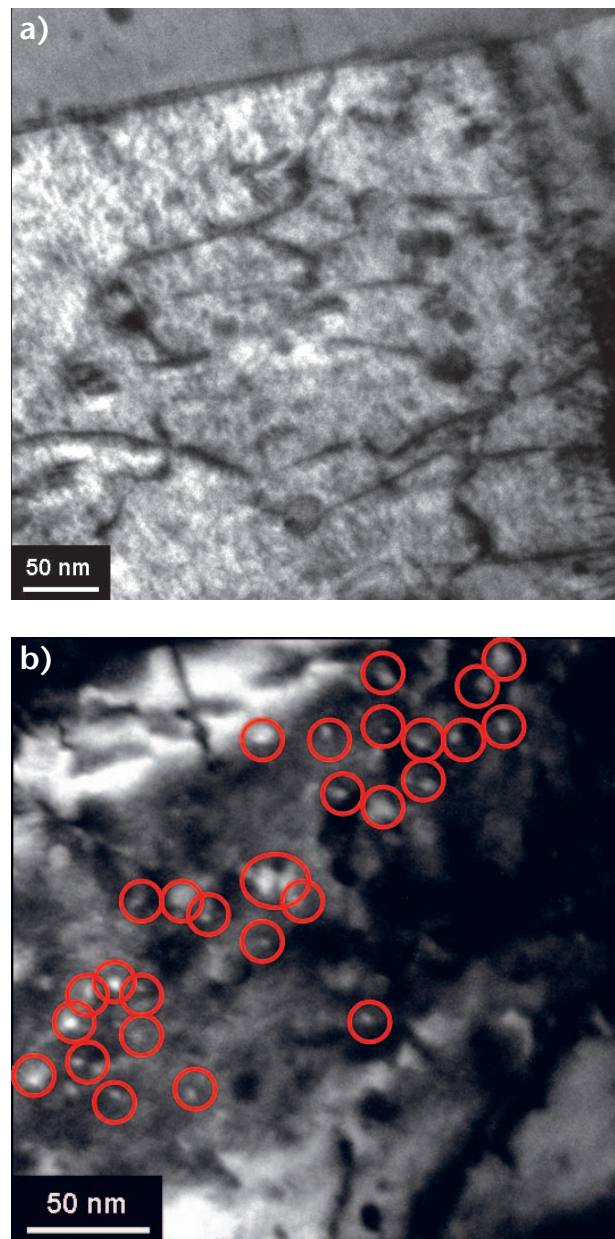


Fig. 4: TEM micrographs of ODS PM2000 steel with (a) Y-Al-O particles pinning dislocations in the as-received state and (b) cross section micrograph after dual beam irradiation with bright spots indicating a band of He filled vacancies marked by red circles.

generated. A large number of bright spots was detected by over and under focus of the electron beam. The features marked by red circles on the TEM image (Fig. 4b) might represent helium filled vacancies, which are non-uniformly distributed in the microstructure. The size of these helium cavities is about 6 nm in diameter and they tend to form a vacancy band. In general, helium bubbles act as formation sites for growing voids and can also lead to highly brittle intergranular fast fracture as helium formed on grain boundaries [Odette et al. 2008].

Depth dependent hardness measurements of the ODS as-received samples are displayed in Fig. 5. These nanoindentation measurements confirm the hardness increase in the thin irradiated surface layer. Measurements with large applied loads up to 100 mN were performed, which result in a penetration range that corresponds to the peak in the calculated average displacement damage (see Fig. 3). At about 600 nm depth, the hardness of the dual beam irradiated ODS alloy has the same value as that of the non-irradiated state. The measured hardness in this region was dominated by the large volume of softer non-irradiated material beyond the implanted range. There is pronounced pile-up around the nanoindenters, but significant cracking could not be observed. The hardness close to the surface at 100 nm displacement is about 0.7 GPa larger in the irradiated region compared to that in the non-irradiated sample. The hardness decreases gradually with increasing displacement and finally approaches the hardness value of the non-irradiated bulk state.

Since hardness values at very shallow penetration depth cannot be obtained with high accuracy at large applied loads, measurements have been performed up to a depth of 250 nm with an applied maximum load of 5 mN. The results for ODS are shown in the insert of Fig. 5. For the non-irradiated ODS sample, the hardness decreases with increasing penetration depth from 5.15 GPa in the near surface region to an almost constant value of 4.2 GPa at about 250 nm in the bulk material. This hardness change is attributed to the well-known indentation size effect (ISE) [Nix et al. 1998, Wolf et al. 2003], which is also discussed in other nanoindentation studies of ion irradiated steels [Hosemann et al. 2008, Heintze et al. 2009, Pouchon et al. 2010].

The depth dependent hardness profile for the irradiated ODS sample is significantly different from that of the non-irradiated one and reflects the irradiation induced hardness changes in a thin surface layer. It is clearly seen that the dual beam irradiation causes a drastic increase of the hardness in comparison to that of the non-irradiated ODS sample. The ISE effect would not be strong enough to account for that hardness increase close to the sample surface. Thus, the dual beam irradiation is the main factor to generate such a typical depth dependent hardness profile. There is a clear hardness maximum of 6.3 GPa at about 50 nm with a steady decrease to a close proximity of the hardness of the non-irradiated ODS sample. The hardness increase

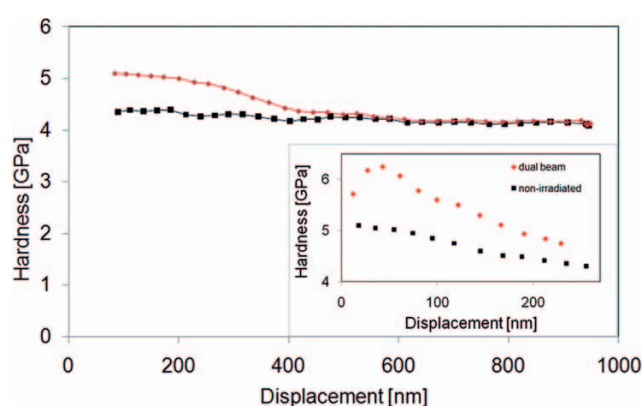


Fig. 5: Depth dependent hardness of ODS in the as-received state (■ non-irradiated) and after dual-beam irradiation (◆) with 2,5 MeV Fe^+ ions and 18 appm/dpa He^+ . The insert displays the depth dependent hardness for smaller penetration values for 5 mN maximum load.

in the irradiated sample is with 1.25 GPa largest at the maximum hardness, which means 22% relative to the hardness in the non-irradiated ODS steel. For larger indentation depth, the hardness of the irradiated sample approaches that of the non-irradiated ODS steel. Although keeping in mind the 10% Bückle rule [Bücker 1973], the measured hardness maximum is closer to the surface than expected from the maximum of the damage profile at 600 nm calculated by SRIM (Fig. 3). It could indicate that the hardness of the ODS material is not affected by the dual beam irradiation in the region where the most displacements per atom would be expected. However, the corresponding distributions of excess vacancy V_{Ex} and excess interstitial I_{Ex} could support an interpretation. The vacancy profile is located in a near surface region and is more or less flat up to a depth of 500 nm, whereas the maximum of the interstitials is at 700 nm. Dislocation loops may mainly form in the region of interstitials and cause a hardness increase beyond the maximum of the average damage profile of Fe^+ ions. Moreover, it is expected that the He^+ ions are very mobile in the irradiated iron matrix. They will not stay at the depth of their maximum defect deposition, but move to the vacancies where they accumulate and could form He bubbles. Therefore the number of defects in this region is increased. The dislocation loops as well as the He bubbles act as obstacles for the dislocation glide. Hence, the observed hardness maximum in a close surface region could be the result of additional formation of He cavities. Further experiments are in preparation to verify this interpretation.

4 Conclusions

Based on this study on irradiation effects on mechanical properties in nanodispersed ODS steels the following conclusions have been reached.

- Fe⁺/He⁺ dual beam ion irradiation method is one of the most suitable techniques to simulate real fusion environmental conditions and to study basic synergistic effects between the displacement damage and He implantation in ODS alloys.
- Nanoindentation is a useful tool to measure mechanical property changes in the damage layer of less than 1 μm in ion irradiated nanodispersed ODS steels.
- Dual beam irradiation results in all PM2000 ODS samples in a hardening effect. For irradiated ODS steels, a distinct hardness maximum close to the surface is observed. This is in contrast to the depth, where the maximum average displacements per atom predicted by model calculations is expected. The irradiation induced hardness in the maximum was increased by 22% related to the non-irradiated ODS specimen.
- The full cascade of radiation damage was simulated by extended binary collision models. The area of excess vacancies is spatially well separated from the excess interstitials and shows different features. The shallow vacancy band close to the surface allows the accumulation of He⁺ ions in the vacancies, thus forming fine He filled cavities. This model supports qualitatively the observed depth dependent hardening profile.
- Fine He cavities could be observed as bright spots of a few nanometers in TEM images of the irradiated ODS samples. They are not homogeneously distributed but form a band close to the sample surface. This supports the mechanism of He filled vacancies.
- These investigations help to understand the microstructural changes in PM 2000 Fe-based ODS alloys, which are considered as a prospective structural materials for high temperature gas cooled nuclear reactors.
- Further investigations are necessary to understand the role of the high dislocation density and the nanoparticles and their interaction with the irradiation produced defects.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge financial support from Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) under the grant RI 1093/10-1. We are pleased to acknowledge valuable discussions and support in TEM investigations with Prof. Gordon Tatlock, the University of Liverpool and Dr. Arndt Muecklich, FZD Rossendorf. The authors also thank Prof. Roger Smith, Loughborough University, for his permanent interest in this work and useful discussions, Dr. Bodo Wolf, the University of Applied Sciences Lausitz, for his support in nanoindentation and the team of the company ASMEC for providing some of the indentation measurements

References

- Baluc, N. (2006): Materials for fusion power reactors, *Plasma Phys. Control. Fusion* 48 B165-B177.
- Büchel, H. (1973): in *The Science of Hardness Testing and its Research Applications*, edited J.H. Westbrook and J. Conrad, ASM, Metals Park, Ohio.
- Chen, C.-L., Richter, A., Thomson, R.C. (2010): Investigation of mechanical properties of intermetallic phases in multi-component Al-Si alloys using hot-stage nanoindentation, *Intermetallics* 18, 499-508.
- Duffy, D.M. (2010): Fusion power: A challenge for materials science, *Phil. Transactions Roy. Soc. A* 368, 3315-3328.
- Gouldstone, A., Chollacoop, N., Dao, M., Li, J., Minor, A.M., Shen, Y.-L. (2007): Indentation across size scales and disciplines: Recent developments in experimentation and modeling, *Acta Materialia* 55, 4015-4039.
- Guerin, Y., Was, G.S., Zinkle, S.J. (2009): Materials Challenges for Advanced Nuclear Energy Systems, *MRS Bull* 34, 10-14.
- Heintze, C., Recknagel, C., Bergner, F., Hernández-Mayoral, M., Kolitsch, A. (2009): Ion-irradiation-induced damage of steels characterized by means of nanoindentation, *Nuclear Instr. and Meth. B* 267, 1505-1508.
- Hosemann, P., Vieh, C., Greco, R.R., Kabra, S., Valdez, J.A., Cappiello, M.J., Maloy, S.A. (2009): Nanoindentation on ion irradiated steels, *Journal of Nuclear Materials* 389, 239-247.
- Kaschny, J.R., Koegler, R., Tyrroff, H., Buerger, W., Eichhorn, F., Muecklich, A., Serre, C., Skorupa, W. (2005): Facility for simultaneous dual-beam ion implantation, *Nucl. Instr. And Meth. A* 551, 200-207.
- Kishimoto, H., Yutani, K., Kasada, R. (2007): Heavy-ion irradiation effects on the morphology of complex oxide particles in oxide dispersion strengthened ferritic steels, *Journal of Nuclear Materials* 367, 179-184.
- Kögler, R., Ou, X., Skorupa, W., Möller, W. (2008): The origin of the energy-dose window in separation-by-implanted-oxygen materials processing, *Appl. Phys. Lett.* 92, 181906-1-3.
- Nix, W.D., Gao, H. (1998): Indentation size effects in crystalline materials: A law for strain gradient plasticity, *J. Mech. Phys. Solids* 46, 411-425.

- Odette, G.R., Alinger, M.J., Wirth, B.D. (2008): Recent developments in irradiation-resistant steels, *Annu. Rev. Mater. Res.* 38, 471-503.
- Oliver, W.C., Pharr, G.M. (1992): An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments, *J. Mater. Res.* 7, 1564-1583.
- Pouchon, M.A., Chen, J., Ghislemi, R., Michler, J (2010): Characterization of irradiation damage of ferritic ODS alloys with advanced micro-sample methods, *Experimental Mechanics* 50, 79-84.
- Richter, A., Smith, R., Dubrovinskaia, N., McGee, E. (2006): Mechanical properties of superhard materials synthesised at various pressure-temperature conditions investigated by nanoindentation, *High Pressure Research* 26, 99-109.
- Richter, A., Chen, C.-L., Smith, R., McGee, E., Thomson, R.C., Kenny, S.D. (2008): Hot Stage nanoindentation in multi-component Al-Ni-Si alloys: experiment and simulation, *Journal Materials Science and Engineering A: Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing* 494, 367-379.
- Wolf, B., Richter, A. (2003): The concept of differential hardness in depth sensing indentation, *New Journal of Physics* 5, 15.1-15.17.
- Yamamoto, T., Odette, G.R., Miao, P., Hoelzer, D.T., Bentley, J., Hashimoto, N., Tanigawa, H., Kurtz, R.J. (2007): The transport and fate of Helium in nanostructured ferritic alloys at fusion relevant He/dpa ratios and dpa rates, *J. Nucl. Mater.* 367-370, 399-400.
- Zinkle, S.J., Ghoniem, N.M. (2000): Operating temperature windows for fusion reactor structural materials, *Fusion Engineering and Design* 51-52, 55-71.

Authors

Prof. Dr. Asta Richter

Department of Engineering
University of Applied Sciences Wildau
asta.richter@th-wildau.de

Ass.-Prof. Dr. Chun-Liang Chen

Department of Materials Science and Engineering
I-Shou University
Kaohsiung 840, Taiwan

Dr. Reinhard Kögler and Dr. Georg Talut

Institute of Ion Beam Physics and Materials Research
Research Center, Dresden-Rossendorf FZD
01328 Dresden, Germany

Numerische Aspekte einer Mechanik-Aufgabe

Rainer Berghaus, Achim Kehrein

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit entstand aus einem einfachen Mechanik-Problem, das auf eine trigonometrische Gleichung führte. Wir vergleichen am Beispiel dieses Problems verschiedene numerische Verfahren miteinander.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist nicht die Lösung der Gleichung – sie kann sogar exakt ermittelt werden –, sondern eine Darstellung am konkreten Beispiel, wie man numerische Lösungen gewinnen kann. Insbesondere soll die Bedeutung von Bildern für die numerischen Verfahren betont werden.

Schließlich werden einige praktische Aspekte diskutiert, die nur selten konkret in der Literatur beschrieben werden. Beispielsweise bewirkt die schlechte Konditionierung des Problems, dass das Bisektionsverfahren keine eindeutige Lösung im Rahmen der Rechengenauigkeit besitzt.

Abstract

This paper is motivated by a mechanics problem and its trigonometric equation. Based on this problem we compare several numerical solution techniques.

The paper's purpose is not simply the solution of an equation – there is even an exact solution – but a detailed presentation of an example how to obtain a numerical solution. In particular, the presentation stresses the importance of pictures in supporting numerical methods.

Moreover the paper discusses some practical aspects that rarely appear in the literature. The bisection method, for instance, fails to produce a unique solution with respect to a given computational accuracy.

1 Das mechanische Problem

Gegeben sei ein System (Abb. 1) zweier gleich großer Massen $[m]$, die über ein Seil verbunden sind und einer Gewichtskraft F_G unterliegen. Das Seil wird über eine Rolle umgelenkt, so dass eine Masse frei hängt und die zweite auf einer geneigten Ebene liegt. Gesucht wird der Grenzwinkel α_{grenz} bei dem die Haftreibung F_R an der Masse auf der schiefen Ebene das System gerade noch im Gleichgewicht hält. Wir nehmen an, dass die Haftreibung proportional zur Normalkraft ist, $F_R = \mu \cdot F_N$, und für den Haftreibungskoeffizienten $0 < \mu < 1$ gilt. In den meisten praktischen Fällen ist das experimentell nachweisbar (Hibbeler, 2004, Abschnitt 8.1). Das Seil und die Umlenkrolle werden hingegen als reibungsfrei und masselos angenommen.

Liegt die geneigte Ebene im Extremfall horizontal, so zieht die frei hängende Masse die aufliegende in Richtung der Rolle. Dazu benötigt man $\mu < 1$. Wird der Neigungswinkel α größer, so wird die Reibung kleiner und die der Bewegung entgegenwirkende Hangabtriebskraft größer. Im anderen Extremfall, bei $\alpha = 90^\circ$, ist die Reibung $F_R = \mu \cdot F_N = 0$, weil keine Normalkraft

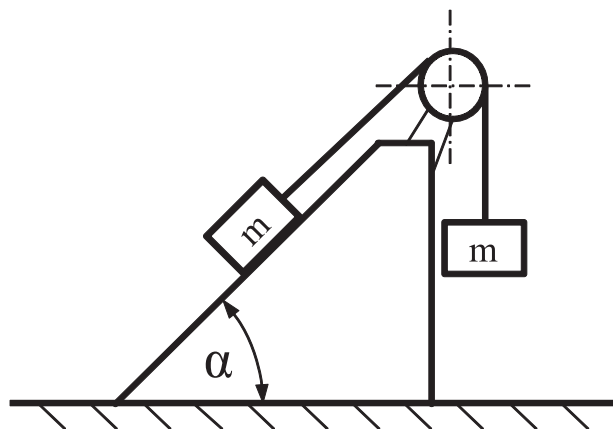


Abb. 1: mechanisches Problem

F_N die Reibflächen gegeneinander drückt. Dann befindet sich das System im indifferenten Gleichgewicht, da auf beiden Seiten der Rolle eine gleich schwere Masse frei hängt. Da der Haftreibungskoeffizient $\mu > 0$ ist, gibt es einen Bereich für den Neigungswinkel der Ebene zwischen α_{grenz} und 90° , in dem die aufliegende Masse nicht von der frei hängenden in Bewegung gesetzt wird.

1.1 Mechanische Lösung

Zunächst werden die beiden Massen und die Rolle freigeschnitten und die Gleichgewichtsbedingungen für die einzelnen Körper aufgestellt.

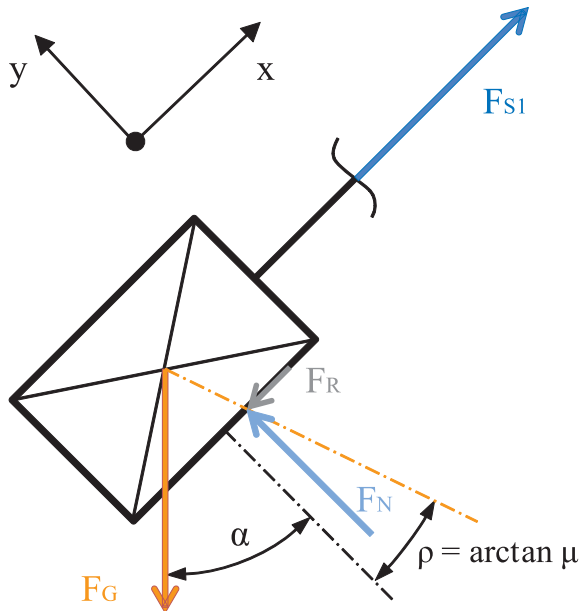


Abb. 2: aufliegende Masse

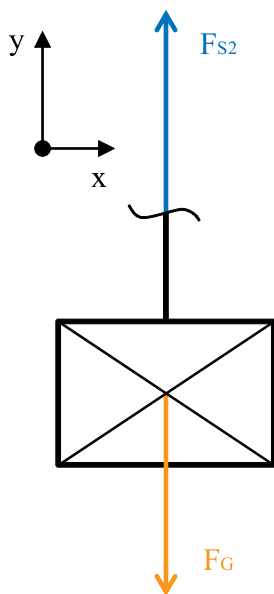


Abb. 3: frei hängende Masse

Die Summe aller an der aufliegenden Masse angreifenden Kräfte ist Null, (Das Koordinatensystem liege parallel zur Seilkraft F_{S1} , s. Abb. 2)

$$\vec{0} = \vec{F}_{S1} + \vec{F}_R + \vec{F}_N + \vec{F}_G$$

$$\vec{0} = \begin{pmatrix} F_{S1} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -F_R \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ F_N \end{pmatrix} + |\vec{F}_G| \begin{pmatrix} -\sin \alpha \\ -\cos \alpha \end{pmatrix}$$

wobei $F_R = \mu \cdot F_N$ und $F_G = m \cdot g$ sind.

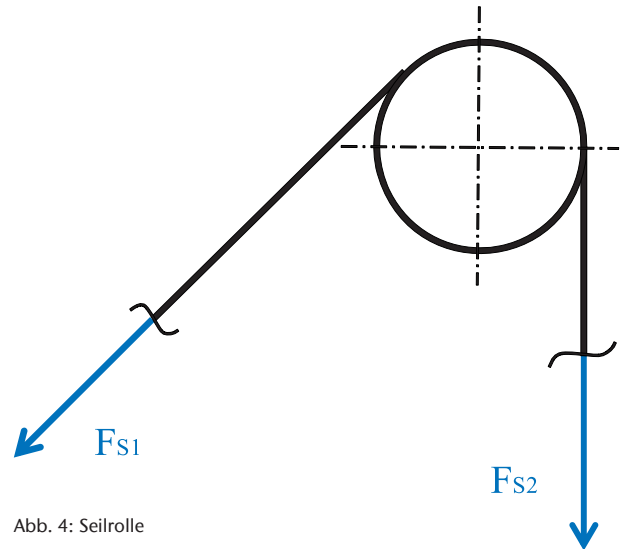


Abb. 4: Seilrolle

Für die Y-Komponente folgt daraus $F_N = F_G \cdot \cos \alpha$ und für die X-Komponente wird aus $F_{S1} = F_R + F_G \sin \alpha$ durch Einsetzen der drei vorhergehenden Formeln:

$$F_{S1} = m \cdot g \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

Auch an der frei hängenden Masse muss die Summe aller Kräfte Null sein. (Das Koordinatensystem liege parallel zur Seilkraft F_{S2} , s. Abb. 3)

$$\vec{0} = \vec{F}_{S2} + \vec{F}_G = \begin{pmatrix} 0 \\ F_{S2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -F_G \end{pmatrix}$$

woraus mit $F_G = m \cdot g$ folgt, dass $F_{S2} = m \cdot g$.

Das Momentengleichgewicht um den Mittelpunkt der Rolle ergibt: $\vec{0} = \vec{r}_1 \times \vec{F}_{S1} + \vec{r}_2 \times \vec{F}_{S2}$

Da die Seilkräfte tangential an der Rolle liegen, sind sie senkrecht zu den Radien. Die Hebelarme der Seilkräfte haben somit beide den Betrag r . Die sich ergebenden Momente sind entgegengesetzt und liefern $F_{S1} = F_{S2}$. Das entspricht der einfachen Überlegung: Wenn die Rolle reibungsfrei ist, sind die Seilkräfte gleich (vgl. Abb. 4).

Setzt man nun in $F_{S1} = F_{S2}$ die Seilkräfte ein, erhält man eine Gleichung, die nur vom Grenzwinkel α_{grenz} und der Senkrechten ($\alpha=90^\circ$) erfüllt wird.

$$m \cdot g \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = m \cdot g$$

Das mechanische Problem führt also auf die Gleichung $\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha = 1$ (1)

2 Das mathematische Problem

Die mechanische Betrachtung führte auf das rein mathematische Problem, Gleichung (1) zu lösen. Dazu präsentieren wir nun verschiedene, vor allem numerische Methoden. Die Rechnungen wurden auf einem »TI-30 Galaxy«-Taschenrechner durchgeführt; er zeigt 8 Dezimalstellen an.

2.1 Analytische Lösung

Bevor wir uns den numerischen Lösungsmethoden zuwenden, stellen wir kurz die exakte Lösung vor. Interessant dabei ist, dass die hier formal auftretende Hilfsgröße ε bei einer späteren numerischen Lösung eine geometrische Bedeutung erhält.

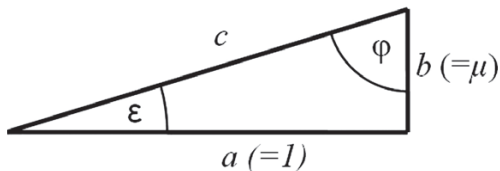


Abb. 5: Interpretation der Koeffizienten der Linearkombination als Dreiecksseiten

In der Linearkombination $a \sin \alpha + b \cos \alpha$ interpretiert man die Koeffizienten a und b als Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks (s. Abb. 5). Erweitert man die Linearkombination mit der Hypotenuse $c = \sqrt{a^2 + b^2}$,

also $c \left(\frac{a}{c} \sin \alpha + \frac{b}{c} \cos \alpha \right)$ dann sind die neuen Koeffizienten der Kosinus bzw. Sinus des Winkels ε in dem Dreieck. Das Additionstheorem des Sinus liefert $c(\cos \varepsilon \sin \alpha + \sin \varepsilon \cos \alpha) = c \sin(\alpha + \varepsilon)$. Damit erhält Gleichung (1) die Gestalt

$$1 = c \sin(\alpha + \varepsilon) \text{ mit } c = \sqrt{1^2 + \mu^2} \text{ und } \varepsilon = \arctan \mu$$

Für den konkreten Reibungskoeffizienten $\mu=0,1$ ergibt sich $\alpha + \varepsilon = \arcsin \left(\frac{1}{\sqrt{1^2 + (0,1)^2}} \right) \approx 1,4711277$

Dem Dreieck in Abb. 5 entnehmen wir $\varepsilon = \arctan 0,1 \approx 0,0996687$ und erhalten:

$$\alpha \approx 1,4711277 - 0,0996687 = 1,3714590 \quad (\approx 78,58^\circ).$$

Anmerkung: Statt des Sinus-Additionstheorems kann man auch das Kosinus-Additionstheorem verwenden und erhält

$$\cos(\varphi - \alpha) = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

2.2 Zeichnerische Lösung

As already stated, sketching functions realistically is crucial for understanding most nonlinear numerical problems.

Acton (2005, S. 4)

Für die erste Übersichtsgraphik verwenden wir die zu Gleichung (1) äquivalente Gleichung

$$1 - \sin \alpha = 0,1 \cos \alpha \quad , \quad \text{mit } 0 < \alpha < \pi/2$$

Sie bietet den Vorteil, dass beide Gleichungsseiten wohlbekannt und leicht zu zeichnende Funktionen sind (s. Abb. 6). Aufgrund des Krümmungsverhaltens gibt es zwei Schnittpunkte – den Extremfall bei $\alpha = \pi/2$ und den gesuchten Grenzwinkel zwischen 1,2 und 1,4.

Abb. 6 zeigt, dass die beiden Kurven im Schnittpunktbereich nahezu parallel verlaufen – daher kann der Schnittpunkt zunächst nur ungenau abgelesen werden. Die geometrische Parallelität ist ein Hinweis auf Schwierigkeiten bei numerischen Verfahren.

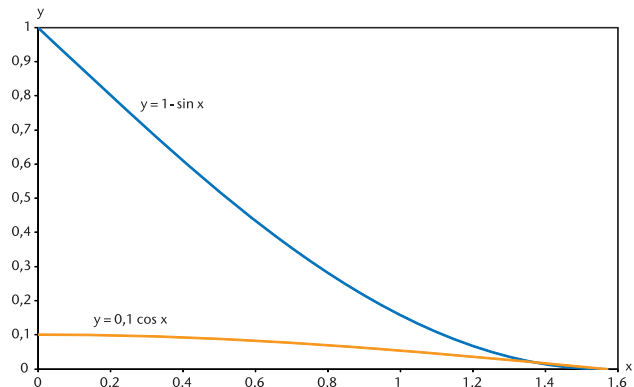


Abb. 6: Übersichtsdarstellung der Gleichung als Schnittpunktproblem

Die Vergrößerung des relevanten Ausschnitts in Abb. 7 liefert bereits eine Unter- und eine Obergrenze für den gesuchten Schnittpunkt mit praktisch brauchbarer Genauigkeit:

$$\alpha_u = 180^\circ/\pi \cdot 1,36 = 77,9^\circ \text{ und } \alpha_o = 180^\circ/\pi \cdot 1,38 = 79,1^\circ.$$

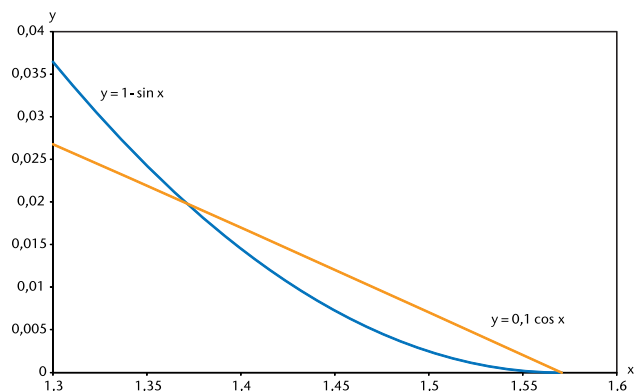


Abb. 7: Vergrößerung des Schnittpunktbereichs

2.3 Bisektionsverfahren

Da am gesuchten Schnittpunkt die Größenrelation zwischen den beiden Funktionen wechselt, kann man mit dem einfachen Bisektionsverfahren den Schnittpunkt einschachteln.

Wir starten mit $\alpha_0 = 1,36$ und $\alpha_1 = 1,37$, so dass einmal die subtrahierte Sinuskurve und einmal die skalierte Kosinuskurve den größeren Funktionswert liefert. Der Schnittpunkt liegt im Intervall (α_0, α_1) . Wir bestimmen die Funktionswerte am Mittelpunkt des Intervalls und entscheiden anhand der Größenbeziehung, mit welchem Teilintervall das Verfahren fortgesetzt wird. So erhält man die folgende Tabelle:

n	α_n	$1 - \sin \alpha_n$	$0,1 \cos \alpha_n$	Relation	Schnittstelle in
0	1,37	0,020 0919	0,019 9450	>	
1	1,38	0,018 1465	0,018 9641	<	$[\alpha_0, \alpha_1]$
2	1,375	0,019 1069	0,019 4548	<	$[\alpha_0, \alpha_2]$
3	1,372 5	0,019 5964	0,019 6999	<	$[\alpha_0, \alpha_3]$
4	1,371 25	0,019 8434	0,019 8225	>	$[\alpha_4, \alpha_3]$
5	1,371 875	0,019 7197	0,019 7612	<	$[\alpha_4, \alpha_5]$
6	1,371 5625	0,019 7815	0,019 7918	<	$[\alpha_4, \alpha_6]$
7	1,371 4063	0,019 8124	0,019 8072	>	$[\alpha_7, \alpha_6]$
8	1,371 4844	0,019 7970	0,019 7995	<	$[\alpha_7, \alpha_8]$
9	1,371 4453	0,019 8047	0,019 8033	>	$[\alpha_9, \alpha_8]$
10	1,371 4649	0,019 8008	0,019 8014	>	$[\alpha_9, \alpha_{10}]$
11	1,371 4551	0,019 8028	0,019 8024	>	$[\alpha_{11}, \alpha_{10}]$
12	1,371 4600	0,019 8018	0,019 8019	<	$[\alpha_{11}, \alpha_{12}]$
13	1,371 4576	0,019 8023	0,019 8021	>	$[\alpha_{13}, \alpha_{12}]$
14	1,371 4588	0,019 8020	0,019 8020	=	$= \alpha_{14} ?$

Üblicherweise weist man dem Bisektionsverfahren die folgenden Eigenschaften zu: Das Verfahren konvergiert gegen den gesuchten Wert (sobald man ein geeignetes Startintervall gefunden hat), aber es konvergiert langsam. Man benötigt jeweils 10 Schritte, um drei zusätzliche Nachkommastellen Genauigkeit zu gewinnen.

Die Berechnung zum Wert α_{14} deutet an, dass auch beim Bisektionsverfahren numerische Schwierigkeiten auftreten können. Haben wir dort zufällig die Schnittstelle gefunden? Die Problematik liegt in der endlichen Zahlendarstellung und der Flachheit der zu berechnenden Funktionen. Tatsächlich zeigt der Taschenrechner für alle fünf Winkel von 1,371 4587 bis 1,371 4591 und beide Funktionen denselben Funktionswert 0,019 8020 an, so dass alle diese Winkel im Rahmen der Taschenrechneranzeige als Schnittstellen in Frage kommen. Die Genauigkeit der Lösung des Bisektionsverfahrens wird durch die Geometrie des Problems – es ist »schlecht konditioniert« (Acton, 2005, S. 18ff) –, stärker eingeschränkt als durch die Genauigkeitsbeschränkungen des Taschenrechners.

2.4 Treppenstufen-Verfahren – Fixpunktiteration

All transcendental equations must be solved iteratively.

Acton (1990, S. 41)

Das »Treppenstufen-Verfahren«, das in Abb. 8 visualisiert wird, bietet ebenfalls eine robuste Annäherung an den Schnittpunkt. Wir beginnen mit einem Näherungswert α_0 und berechnen den Funktionswert $y_0 = 0,1 \cos \alpha_0$. Vom Punkt auf der Kosinuskurve (α_0, y_0) bewegen

wir uns horizontal bis zur Sinuskurve (α_1, y_0) , wobei $\alpha_1 = \arcsin(1 - y_0)$. Nun bewegen wir uns vertikal bis zum Punkt $(\alpha_1; 0,1 \cos \alpha_1)$ auf der Kosinuskurve. Abb. 8 zeigt wie die wiederholte Anwendung dieses Treppenstufen-schritts den gesuchten Wert α mit zunehmender Genauigkeit liefert. Darüber hinaus sieht man, dass das Verfahren für jeden Startwert α_0 aus dem Intervall $(0, \pi/2)$ konvergiert. Das ist in Anbetracht des uninteressanten Schnittpunkts bei $\pi/2$ eine bedeutende Eigenschaft.

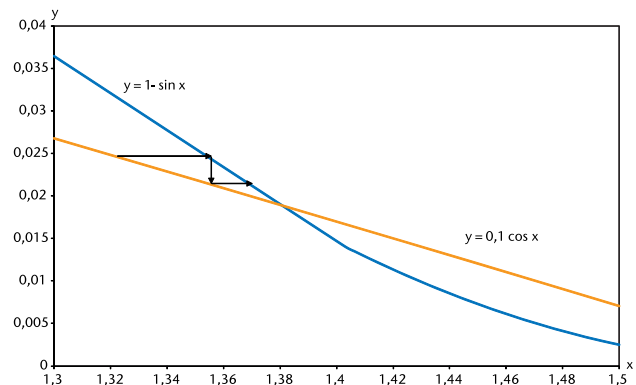


Abb. 8: Visualisierung des Treppenstufen-Verfahrens

Der Startwert $\alpha_0 = 1,37$ liefert beispielsweise

n	α_n	n	α_n	n	α_n
1	1,370 7382	6	1,371 4376	11	1,371 4584
2	1,371 1026	7	1,371 4484	12	1,371 4587
3	1,371 2827	8	1,371 4538	13	1,371 4589
4	1,371 3717	9	1,371 4564	14	1,371 4589
5	1,371 4158	10	1,371 4577		

Die Iteration konvergiert ebenso langsam wie das Bisektionsverfahren. Die langsame Konvergenz ist eine Folge davon, dass die beiden Kurven in Schnittpunktnähe nahezu parallel verlaufen.

Kombiniert man die beiden Teilformeln des Treppenstufen-schritts, so erhält man natürlich die klassische Fixpunktiteration

$$\alpha_{n+1} = \Phi(\alpha_n) \text{ mit } \Phi(x) = \arcsin(1 - 0,1 \cos x)$$

deren Konvergenz aber nicht so offensichtlich ist wie bei der graphischen Darstellung durch Treppenstufen: Die Ableitung

$$\Phi'(x) = \frac{0,1 \sin x}{\sqrt{1 - (1 - 0,1 \cos x)^2}}$$

wächst auf dem Intervall $(0, \pi/2)$ von 0 auf ∞ . Dass bei dem gesuchten Schnittpunkt die Ableitung kleiner als 1 ist, also die Fixpunktiteration konvergiert, wird erst auf den zweiten Blick deutlich (vgl. Abb. 9).

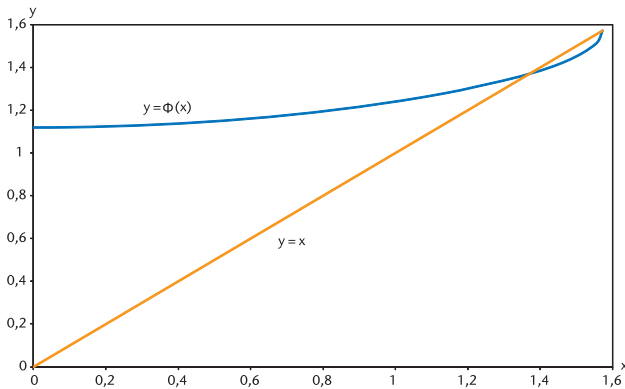


Abb. 9: Funktion der Fixpunktiteration

Die Fixpunktiteration kann die schlechte Konditionierung des Problems nicht beheben. Allerdings kommen für die Fixpunktiteration nur noch drei Winkel im Rahmen der Taschenrechneranzeige als Lösungen in Frage: 1,371 4589; 1,371 4590; 1,371 4591

2.5 Iteration unter Berücksichtigung der Parallelität

Wir entwickeln nun ein Iterationsverfahren, das die Parallelität der beiden Kurven berücksichtigt. Zunächst berechnen wir dazu die Stelle φ , an dem sie tatsächlich parallel sind. Gleichsetzen der Ableitungen der beiden Funktionen liefert

$$-\cos \varphi = -\mu \sin \varphi \quad (2)$$

also für $\mu = 0,1$ die Gleichung $\tan \varphi = 10$ und den Wert $\varphi \approx 1,471 1277$. Dieser Winkel ist der andere spitze Winkel in dem schon betrachteten rechtwinkligen Dreieck in Abb. 5.

Numerisch ist es günstig, kleine Größen zu berechnen. Also setzen wir $\alpha = \varphi - \varepsilon$ in die Gleichung ein und erhalten $1 - \sin(\varphi - \varepsilon) = 0,1 \cos(\varphi - \varepsilon)$. Die Subtraktionstheoreme liefern

$$1 - (\sin \varphi \cos \varepsilon - \cos \varphi \sin \varepsilon) = 0,1 (\cos \varphi \cos \varepsilon + \sin \varphi \sin \varepsilon)$$

Umgruppieren nach Funktionen der unbekanntnen Größe ε liefert

$$1 - (\sin \varphi + \mu \cos \varphi) \cos \varepsilon + (\cos \varphi - \mu \sin \varphi) \sin \varepsilon = 0$$

wobei der zweite Klammerausdruck aufgrund der Definition von φ null ist, vgl. Gleichung (2). Wir erhalten

$$\cos \varepsilon = \frac{1}{\sin \varphi + \mu \cos \varphi}$$

Die trigonometrischen Werte $\sin \varphi = 1/\sqrt{1+\mu^2}$ sowie $\cos \varphi = \mu/\sqrt{1+\mu^2}$ werden aus dem rechtwinkligen Dreieck in Abb. 5 abgelesen. Einsetzen und Umformen ergibt

$$\cos \varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

Aufgrund der einfachen Gestalt der Gleichung könnte man nun wie bei der analytischen Lösung in den Taschenrechner einsetzen. Wir wollen stattdessen einen numerischen Zugang verwenden, der auch bei komplizierteren Gleichungsformen zum Erfolg führt. Außerdem hoffen wir, so die schlechte Konditionierung des Problems zu reduzieren.

Für Haftreibungskoeffizienten μ nahe bei 0 wird die rechte Seite nahe bei 1 liegen. Numerisch ist es günstiger, die kleine Abweichung von 1 als Ausgangsgröße der Berechnung zu verwenden. Damit wird ε ebenfalls klein sein. Wie nutzen die Taylor-Entwicklungen

$$\cos \varepsilon = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2!} + \frac{\varepsilon^4}{4!} - \dots$$

$$\text{sowie } \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}} = 1 - \frac{1}{2}\mu^2 + \frac{3}{8}\mu^4 - \frac{5}{16}\mu^6 + \dots$$

Da beide Entwicklungen mit 1 starten, kann man nun die jeweiligen Abweichungen miteinander vergleichen. Im Rahmen der Taschenrechnergenauigkeit sind die folgenden Summanden hinreichend.

$$\frac{\varepsilon^2}{2!} - \frac{\varepsilon^4}{4!} = \frac{1}{2}\mu^2 - \frac{3}{8}\mu^4 + \frac{5}{16}\mu^6$$

Man vereinfacht über

$$\varepsilon^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\varepsilon^2}{24} \right) = \frac{1}{2}\mu^2 - \frac{3}{8}\mu^4 + \frac{5}{16}\mu^6$$

zu

$$\varepsilon^2 (12 - \varepsilon^2) = 12\mu^2 - 9\mu^4 + 7,5\mu^6$$

Für $\mu=0,1$ ergibt sich so die Fixpunktiteration für die quadrierte Größe

$$\varepsilon_{n+1}^2 = \frac{0,1191075}{12 - \varepsilon_n^2}$$

Die Iteration liefert mit dem natürlichen Startwert $\varepsilon_0^2=0$ die Werte

n	ε_n^2
1	0,009 9256
2	0,009 9338
3	0,009 9338

Letztendlich erhält man $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon^2} = 0,0996687$ und damit auf dem dritten Wege die gesuchte Lösung:

$$\alpha = \varphi - \varepsilon \approx 1,471 1277 - 0,099 6687 = 1,371 4590$$

Bei der Iteration liefert der Taschenrechner ein eindeutiges Ergebnis. Die schlechte Konditionierung des Problems steckt in der Wurzeloperation.

Wo liegen die Vorteile des fortgeschrittenen Iterationsansatzes? Man beachte, dass die einfache Iteration erst nach 13 Schritten eine stabile Lösung erreichte und in jedem Schritt eine Kosinus- und eine Arkussinusbe-

rechnung erforderlich waren. Dahingegen benötigt die fortgeschrittene Variante nur 2 Schritte, die darüber hinaus nur die Grundrechenarten verwenden. Wäre ein ähnliches Problem im Rahmen einer Programmschleife sehr oft wiederholt zu berechnen, so wäre der Zeitaufwand der fortgeschrittenen Methode deutlich geringer.

Schließlich wird bei der Herleitung der fortgeschrittenen Iteration auch der Winkel $\varphi = \alpha + \varepsilon$ mit einer Bedeutung belegt. Er kam als Hilfsgröße schon in der exakten Rechnung vor, schien dort aber eher künstlich und ohne tiefere Bedeutung zu sein.

2.6 Newton-Verfahren

Abschließend wenden wir das Newton-Verfahren an. Die Iterationsvorschrift

$$x_{n+1} = x_n - \frac{1 - \sin x_n - 0,1 \cos x_n}{-\cos x_n + 0,1 \sin x_n} \quad \text{für } n=1, 2, 3, \dots$$

benötigt mit dem zeichnerisch gefundenen Startwert $x_0 = 1,37$ lediglich drei Iterationen:

n	x_n	$f(x_n)$	$f'(x_n)$	$f(x_n)/f'(x_n)$
0	1,37	0,000 147	-0,101 4589	-0,001 445
1	1,371 4485	0,000 001	-0,100 0105	-0,000 0105
2	1,371 4590	$3,58 \cdot 10^{-10}$	-0,100 0000	$-3,58 \cdot 10^{-9}$
3	1,371 4590			

Allerdings müssen pro Iteration zwei trigonometrische Funktionswerte berechnet werden. Der fortgeschrittene Iterationsansatz erweist sich weiterhin als effizienter.

Der Erfolg des Newton-Verfahrens hängt darüber hinaus sowohl von einem guten Startwert als auch von einer geeigneten Geometrie im Bereich der Nullstelle ab. Im vorliegenden Problem ist diese Geometrie durchaus kritisch zu sehen. Problematisch ist, dass die Funktion, deren Nullstelle wir suchen, vgl. Abb. 10, in der Nähe der Nullstelle sehr flach verläuft.

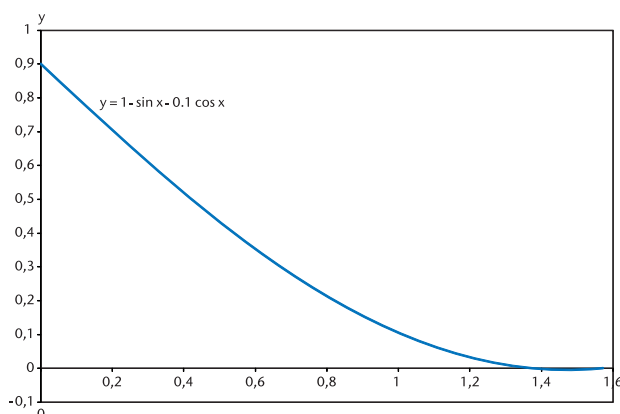


Abb. 10: Darstellung als Nullstellenproblem für Newton-Verfahren

Wählt man einen Startwert aus diesem Bereich, z. B. $x_0 = 1,47$ so liefert ein Newton-Schritt

$$x_{n+1} = 1,47 - \frac{-0,0049869}{-0,0011333} = 1,47 - 4,4003353 = -2,9303353$$

womit das Verfahren den Einzugsbereich der gesuchten Nullstelle verlässt. Das Newton-Verfahren liefert nicht für jeden Startwert aus $(0, \pi/2)$ die gesuchte Lösung. Abb. 10 zeigt, dass für einen Startwert kleiner als die gesuchte Nullstelle das Newton-Verfahren aufgrund der Konvexität der Funktion jedoch zuverlässig konvergieren wird. Erneut zeigt sich die Bedeutung von Zeichnungen im Zusammenhang mit numerischen Verfahren.

3 Zusammenfassung

Indeed, a sketch is the best source of good starting values [...]
Acton (1990, S. 48)

Zeichnungen sind unerlässlich für numerische Verfahren. Sie bieten einen ersten Überblick über die Lösungen und die zu erwartenden Probleme bei ihrer Berechnung. Sie helfen auch bei der Wahl eines geeigneten Verfahrens. Noch konkreter entnimmt man ihnen die Startwerte, die von vielen Verfahren benötigt werden. Schließlich kann man häufig ersehen, welche Konvergenzbereiche die unterschiedlichen Verfahren besitzen.

Einige weniger bekannte Aspekte numerischer Verfahren wurden am Beispiel vorgestellt: Die Lösung des Bisektionsverfahrens muss in der Praxis nicht eindeutig sein. Ist ein Problem schlecht konditioniert, kann auch die robuste Bisektion daran nichts ändern. Die Fixpunktiteration kann als Treppenstufenverfahren einfach visualisiert werden. Dabei kann die Iteration wesentlich optimiert werden, wenn man das Problem mit Hilfe kleiner Größen formuliert. Die Treppenstufeniteration und ihre Optimierung zeichnen sich gegenüber dem bekannteren Newton-Verfahren dadurch aus, dass die Wahl des Startwertes weniger problematisch ist. Die Konvergenz ist im Beispiel sogar global und für das optimierte Verfahren existiert der natürliche Startwert 0. Abschließend sei noch erwähnt, dass der Rechenaufwand beim optimierten Treppenstufenverfahren minimal ist – es werden nur Grundrechenarten statt aufwändiger Funktionsauswertungen benötigt. Bei Berechnungen innerhalb häufig zu durchlaufender Schleifen ist das eine wichtige Eigenschaft.

Literatur

- Acton, F. (2005). *Real Computing Made Real – Preventing Errors in Scientific and Engineering Calculations*. Dover Publications, Mineola, New York
- Acton, F. (1990). *Numerical Methods that work*. Mathematical Association of America
- Hibbeler, R. C. (2004). *Statics & Dynamics*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 10th e

Autoren

Rainer Berghaus

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Technische Hochschule Wildau [FH]
Fichtestraße 97, 15745 Wildau

Dr. (USA) Achim Kehrein

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Technische Hochschule Wildau [FH]
achim.kehrein@th-wildau.de

Nutzung eines Vorrichtungsbaukastens für die Bearbeitung komplexer Aufgabenstellungen in Lehre und Praxis

Norbert Miersch

Zusammenfassung

Das Thema beschäftigt sich mit dem Einsatz von Baukastenvorrichtungen in Lehre und Praxis. Es werden Begriffe zum Vorrichtungsbau erläutert. Sonder- und Baukastenvorrichtung werden miteinander verglichen. Es wurde eine allgemeine Vorgehensweise entwickelt (Algorithmus). Der Ablauf für Planung und Montage einer Baukastenvorrichtung wird an einem praktischen Beispiel demonstriert. Es werden Vorteile bei der Nutzung eines 3D-CAD-Systems aufgezeigt. Der Artikel zeigt auf, dass die Vorrichtungsproblematik komplex ist. Es wird technologisches und konstruktives Wissen benötigt. Ein fachübergreifendes Arbeiten ist erforderlich. Es können zukünftig Aufgabenstellungen in Lehre und Praxis bearbeitet werden.

Abstract

The subject deals with the use of modular devices in teaching and practice. There are concepts introduced to the fixture. Special and modular device can be compared. We developed a general approach (algorithm). The process for planning and installation of a modular device is demonstrated by a practical example. It identifies benefits of using a 3D CAD system. The article shows that the device problem is complex and requires technological and constructive knowledge. An inter-disciplinary work is required. In future problems in teaching and practice may be processed.

Einleitung

Im Studiengang Ingenieurwesen/Maschinenbau der TH Wildau (FH) wurde für die Lehre sowie die Bearbeitung von Aufgabenstellungen aus der Industrie ein Vorrichtungsbaukasten der Firma »Hohenstein Vorrichtungsbau und Spannsysteme GmbH« mit Nutsystem (T-Nut nach DIN 650) angeschafft. Solide Erfahrungen zum Vorrichtungsbau liegen durch die Bearbeitung verschiedener Aufgabenstellungen aus der Praxis im Lehrgebiet Vorrichtungskonstruktion vor (Miersch et al. 2003). Hier wurden bisher Sondervorrichtungen konstruiert.

Die Arbeit mit einem Vorrichtungsbaukasten setzt eine von den Sondervorrichtungen abweichende Vorgehensweise voraus. Mit einem Baukasten können unterschiedliche Vorrichtungen montiert werden.

In der Lehre beschränkt sich der Ablauf bei der Bearbeitung von Aufgabenstellungen nun nicht mehr wie bei Sondervorrichtungen auf die Konstruktions- und Planungsphase, sondern die theoretische Lösung wird praktisch umgesetzt und überprüft. Es entsteht eine montierte Vorrichtung.

Weiterhin ermöglicht der Vorrichtungsbaukasten

die Bearbeitung von Aufgabenstellungen aus der industriellen Praxis. Solche Vorrichtungen werden in der Produktion (Null- und Kleinserienfertigung) oder im Versuchs- oder Prototypenbau bei der Entwicklung von neuen Produkten benötigt. Das Baukastensystem kann also auch Anwendung in angewandter Forschung und Entwicklung finden.

Der Vorrichtungsbaukasten mit dazugehörigen Montagewerkzeugen, Hilfsmittel zur Lagerhaltung und Montage, Rechner mit dem 3D-CAD-System SolidWorks und einer durch Studenten programmierten Software für die Vorrichtungsteilverwaltung wurden im Labor für Maschinenberechnung schrittweise integriert. In Teams können dann spezielle Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Begriffsbestimmungen und Eingrenzungen

Der Vorrichtungsbau ist ein Teilgebiet des Werkzeugbaues (Dolmetsch et al. 2007). Vorrichtungen werden im Maschinenbau insbesondere in den Branchen Werk-

zeugmaschinenbau, Stahlbau, Kranbau, Fahrzeugbau sowie Luft- und Raumfahrttechnik in Herstellungs-, Montage-, Prüf- und Reparaturprozessen eingesetzt.

Betrachtet man nur den Herstellungsprozess, gibt es zugeordnet zu den Verfahrenshauptgruppen nach DIN 8580, verschiedene Arten von Vorrichtungen, wie beispielsweise Bohr-, Dreh-, Fräs-, Klebe-, Schweiß-, Schrumpf-, Beschichtungs- und Wärmebehandlungsvorrichtungen.

Für die nachfolgenden Ausführungen soll sich die Verwendung von Vorrichtungen auf die mechanische Bearbeitung von Einzelteilen beziehen. Nach DIN 6300 und (Perovic, 1999) sind Vorrichtungen Fertigungsmittel, die zu bearbeitende Werkstücke in eine bestimmte Lage zum bearbeitenden Werkzeug bringen und während der Bearbeitung in dieser Lage halten. Eine Vorrichtung muss zwei Grundfunktionen erfüllen:

1. Das Bestimmen: Entziehen aller erforderlichen Freiheitsgrade¹ für eine reproduzierbare Lagesicherung.
2. Das Spannen: Halten des Werkstückes in der reproduzierbaren Lage während der Bearbeitung.

Neben den zwei Grundfunktionen gibt es nach (VDI-Gesellschaft 1992) Ergänzungsfunktionen. Dazu gehört beispielsweise das »Stützen«. Stützelemente schaffen eine zusätzliche Vorrichtungskontaktfläche.

Um die besondere Vorgehensweise bei der Konstruktion bzw. Montage von Baukastenvorrichtungen gegenüber Sondervorrichtungen herauszustellen, werden im folgenden Gliederungspunkt beide Vorrichtungen miteinander verglichen.

Vergleich von Sonder- und Baukastenvorrichtungen

Baukastenvorrichtungen werden hauptsächlich in der Einzel- und Kleinserienfertigung, in der Produktforschung, oder für den Anlauf einer Serie eingesetzt. In der folgenden Tabelle 1 wird eine qualitative Bewertung beider Vorrichtungsarten vorgenommen.

Der Ablauf zur Bereitstellung beider Vorrichtungsarten unterscheidet sich im Wesentlichen nach dem Bestimmen und Spannen. Er wird in der Abb. 1 gegenübergestellt.

Die Nutzung eines 3D-CAD-Systems kann für eine virtuelle Vorrichtungsmontage genutzt werden. Dadurch verkürzen sich die Bereitstellungsfristen der Vorrichtung. Bei vorhandenen 3D-CAD-Daten des Baukastens und des Werkstückes kann die Vorrichtungsmontage,

Kriterien	Art der Vorrichtung	
	Sonder	Baukasten
Flexibilität	gering	hoch
Genauigkeit	sehr hoch möglich	hoch
Zeit bis zur Verfügbarkeit	lang	kurz
Steifigkeit	hoch	gering
Systemkosten	niedrig	hoch
für Serienfertigung	geeignet	weniger geeignet

Tab. 1 : Vergleich von Sonder- und Baukastenvorrichtung

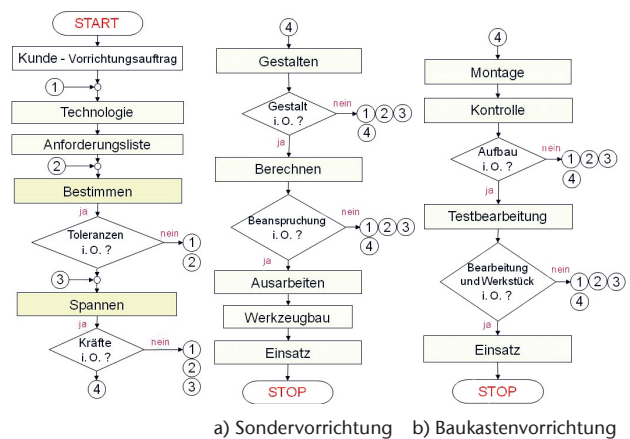


Abb. 1: Ablauf der Konstruktion von Sonder- bzw. Montage von Baukastenvorrichtungen; a) Sondervorrichtung; b) Baukastenvorrichtung nach dem Spannen

die NC-Programmierung und NC-Simulation während der Lieferfrist des unbearbeiteten Werkstückes (Rohteiles) erfolgen.

Im Weiteren wird anhand eines repräsentativen Werkstückes aus der Praxis der komplexe Ablauf für die Planung und Montage einer Baukastenvorrichtung verdeutlicht.

Planung und Montage einer Baukastenvorrichtung

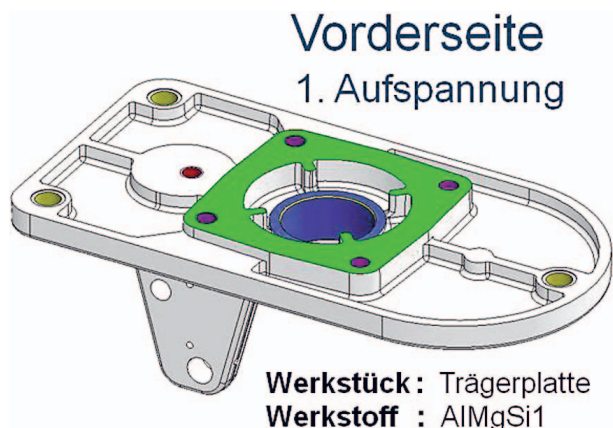
Das repräsentative Werkstück wird im Folgenden als »Trägerplatte« bezeichnet. Die Trägerplatte soll in einer Aufspannung bearbeitet werden (siehe Abb. 2).

Beispielhaft wird der Ablauf bis zur Montage der Vorrichtung für die Bearbeitung der ersten Aufspannung entsprechend Abb. 1b) betrachtet.

Abb 2: Repräsentatives Werkstück

Vorrichtungsauftrag

Der Bedarf einer Vorrichtung entsteht bei der Erarbeitung der Technologie für das Werkstück ausgehend vom Rohteil.



Technologie

Die Technologie berücksichtigt neben der Arbeitsvorgangsfolge wenn erforderlich auch eine Arbeitsstufenfolge. Die Arbeitsstufenfolge ist eine detaillierte Beschreibung des Arbeitsvorganges. Dazu gehören Informationen zum Fertigungsverfahren (Werkzeugmaschine), den technologischen Arbeitswerten sowie den Bearbeitungszeiten (Haupt- und Nebenzeiten). Formelemente wie Bohrungen, Fasen oder Flächen werden unter Berücksichtigung der Maß-, Form-, Lage- und Oberflächentoleranzen in einer oder mehreren Aufspannungen auf einer Werkzeugmaschine mit verschiedenen Werkzeugen durchgeführt.

Beispielhaft wurde für die erste Aufspannung der Trägerplatte das Bearbeitungszentrum VC 560 (Standort Labor 14-A0.09) ausgewählt. Die nachfolgende Abb. 3 zeigt in der Reihenfolge der Positionsnummern ausgewählte Arbeitsstufen mit konkreten technologischen Arbeitswerten.

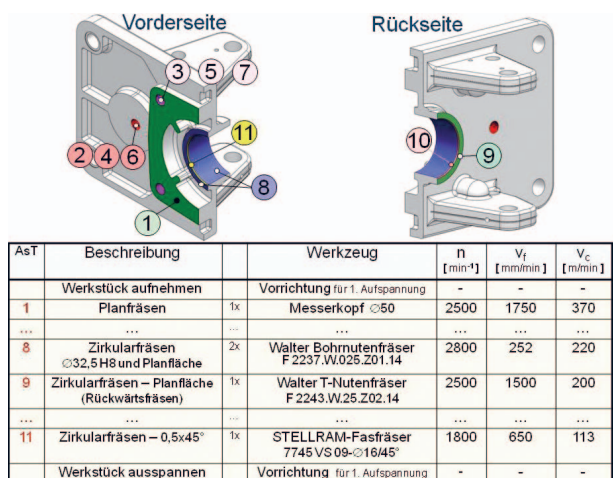


Abb. 3: Arbeitsstufenfolge der ersten Aufspannung für die Trägerplatte am BAZ VC 560

Für das ausgewählte BAZ VC 560 wurde in Arbeitsstufe 8 (Auftreten der größten Schnittkraft) nach Abb. 3 eine Schnittkraft von 785 N bei einem Leistungsbedarf von 3,2 kW berechnet. Dieser Leistungsbedarf liegt unter der Antriebsleistung des BAZ VC 560 mit 7,5 kW im Dauerbetrieb. Im Ergebnis der Berechnung kann die Werkzeugmaschine für die geplante Bearbeitung verwendet werden.

Anforderungsliste

Eine zweckmäßige Vorgehensweise in der Vorrichtungskonstruktion und -planung stellt die Nutzung einer Anforderungsliste dar. Diese wird vorzugsweise in der Produktkonstruktion verwendet. Die Anforderungsliste dient zur Klärung und genauen Festlegung der Aufgabe. Sie ist eine systematisch erarbeitete Zusammenstellung aller Daten und Informationen für den Vorrichtungskonstrukteur bzw. -monteur (Conrad 2010). In Tabelle 2 werden auszugsweise die wichtigsten Daten, die für die Montage der Baukastenvorrichtung der Trägerplatte erforderlich sind, zusammengestellt.

F/W	Beschreibung
1 Werkstück/Vorrichtung	
F	drei Bohrungen Ø 9,3 mm zum Bestimmen vorgefertigt
W	keine Zukaufteile, Elemente des Baukastens nutzen
2 Bestimmen	
F	Bestimmen in 2 Bohrungen, 6 Freiheitsgrade binden
F	Toleranz der Vorrichtung = 1/3 der Toleranz des Werkstückes
3 Spannen	
F	mit Muskelkraft spannen $F_H = 75 \text{ N}$
F	Spannen gegen Auflagebolzen
4 Bearbeitung	
F	Vorrichtung für die »erste Aufspannung«
F	Werkzeugmaschine BAZ VC 560

Tab. 2: Auszug der Anforderungsliste für die Baukastenvorrichtung der Trägerplatte; Legende: F-Forderung, W-Wunsch

Bestimmen

Um eine reproduzierbare Lage des Werkstückes in der Vorrichtung zu gewährleisten, werden Bestimmelemente genutzt. In Abb. 4 sind in einer Übersicht grundlegende Bestimmelemente mit der Anzahl der gebundenen Freiheitsgrade systematisiert. Man unterscheidet Bestimmelemente zum Bestimmen in der Außen- und Innenkontur des Werkstückes. Beispielsweise werden durch das Bestimmen mit einem vollen langen Bolzen

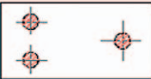
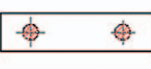




Bestimmen			Freiheitsgrade
Außenkontur			
Fläche			3
schmale Leiste			2
Einzelanlage			1
Prisma		kurz	2
		lang	4
Innenkontur			
Bolzen (voll)		kurz	2
		lang	4
Schwertbolzen		kurz	1
		lang	2

Abb. 4: Systematik der Hauptbestimmelemente

vier Freiheitsgrade gebunden (entzogen). Wird auf einer zylindrischen Außenkontur in einem langen Prisma bestimmt, werden auch hier vier Freiheitsgrade entzogen.

Die Bestimmelemente des Vorrichtungsbaukastens lehnen sich grundsätzlich an diese Systematik an. Da die Werkstücktoleranzen während der Fertigung bei reproduzierbarer Lage einzuhalten sind, gibt es Regeln. Im Folgenden sind die wichtigsten Regeln zum Bestimmen aufgeführt. Nähere Erläuterungen zu den Regeln sind in entsprechender Literatur (Trummler et al. 1994; Matuszewski 1986) gegeben.

Regel 1: Überbestimmen ist zu vermeiden!

Regel 2: Bringe Bestimm- und Bezugsebene zur Deckung!

Regel 3: Grenze die Vorrichtungstoleranz auf 1/3 bis 1/5 der Werkstücktoleranz ein!

Regel 4: Führe den vollen Bolzen länger aus als den Schwertbolzen! (Für das Bestimmen in zwei Bohrungen.)

Für die Trägerplatte (Regel 2 konnte nicht für alle Maße eingehalten werden) waren Toleranzuntersuchungen erforderlich. In der folgenden Abb. 5 sind die Elemente des Vorrichtungsbaukastens für das Bestimmen der Trägerplatte in der 1. Aufspannung dargestellt (Trägerplatte schwach gezeichnet). Insgesamt wurden der Trägerplatte in dieser Aufspannung sechs Freiheitsgrade entzogen.

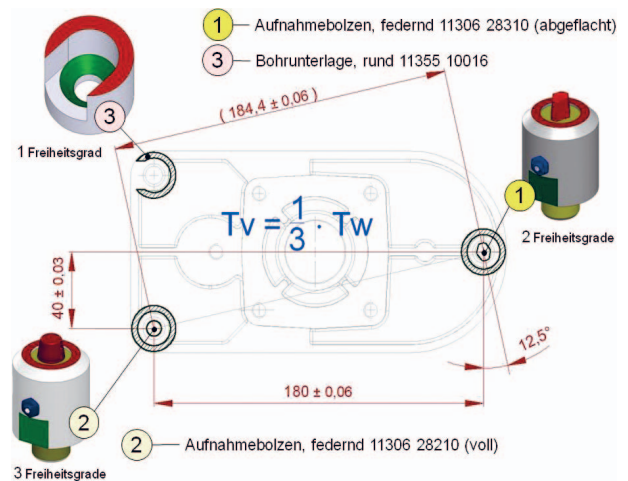


Abb. 5: Bestimmelemente der Trägerplatte in der 1. Aufspannung

Spannen

Bei Nutzung eines Vorrichtungsbaukastens werden in der Regel mechanische Spannelemente wie Spanneisen, Niederzugspanner, Spannschrauben, Spannexzenter und Spannschrauben eingesetzt. Im Allgemeinen werden in der Praxis keine Spannkraften berechnet. Die meisten Spannelemente werden aufgrund von Erfahrungen eingesetzt und gehandhabt. Gegebenenfalls werden die Schnittdaten (n , v_p , v_c) an der Werkzeugmaschine angepasst.

Um das Spannen reproduzierbar und fehlerfrei zu realisieren, wird empfohlen, folgende Regeln zu beachten, die wiederum in entsprechender Literatur (Trummler et al., 1994; Matuszewski, 1986) kommentiert werden.

Regel 1: Berechne Ersatzkraft (korrigierte Schnittkraft) und stelle Kräfteplan auf!

Regel 2: Berücksichtige Handkraft bei der Kraftübertragung!

Regel 3: Vermeide die Verspannung (offset) des Werkstückes!

Regel 4: Vermeide zu große Flächenpressungen am Werkstück!

Bezogen auf die Trägerplatte ergibt sich nach Abb. 6 folgender Kräfteplan. Zur Auswahl zweckmäßiger Spannelemente ist es ratsam, entsprechende Berechnungen zu den Spannelementen durchzuführen (z. B. Schraubenerrechnungen).

Montage

Wie oben bereits erwähnt ist es zweckmäßig, auch in der industriellen Praxis (VDI-Gesellschaft 1992), die Vorrichtung in einem 3D-CAD-System zu montieren (Baugruppe). Der Lieferant der Baukastenvorrichtung (in diesem Fall die Firma Hohenstein Vorrichtungsbau und

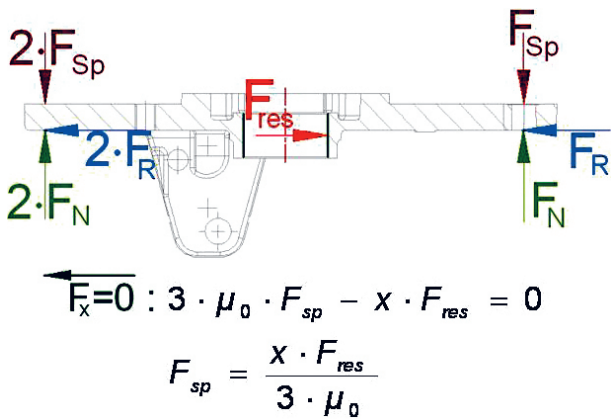


Abb. 6: Kräfteplan für die Trägerplatte in der 1. Aufspannung
 Legende: F_x = Summe der Kräfte in X-Richtung; F_{res} = Resultierende Schnittkraft; F_R = Reibkraft; F_N = Normalkraft; F_{sp} = Spannkraft; x = Korrekturfaktor für Schnittkraft; μ_0 = Haftreibungszahl

Spannsysteme GmbH) liefert hierzu in den wichtigsten CAD-Formaten wie CATIA, SolidWorks, Inventor, SolidEdge und den wichtigsten neutralen Formaten STEP, IGES, SAT, die 3D-Daten der Vorrichtungselemente.

Zur effizienten Verwendung des Vorrichtungsbaukastens der Firma Hohenstein Vorrichtungsbau und Spannsysteme GmbH an der TH Wildau wurden durch eine Studentengruppe alle Vorrichtungsteile des Baukastens in eine Featureverwaltung (Bibliotheksfeatures) eingepflegt. Damit ist es möglich, übersichtlich und komfortabel im 3D-CAD-System SolidWorks eine Baukastenvorrichtung zusammenzubauen. Die vollständig erstellte Baukastenvorrichtung der Trägerplatte für die 1. Aufspannung wird in Abb. 7 a) dargestellt. Um den Ablauf zu verdeutlichen, ist dazu die real montierte Vorrichtung für die Trägerplatte in Abb. 7 b) gegenübergestellt.

Für die Montage der Vorrichtung wird neben einem Montageplan eine Stückliste benötigt. Die zu verwendenden Einzelteile werden m. H. der Stückliste aus der Werkzeugausgabe entnommen (Lagerverwaltungssoftware). Der Montageplan gibt dem Vorrichtungsmoniteur vor allem die Reihenfolge der zu montierenden Einzelteile, Baugruppen und Unterbaugruppen vor. Beispielhaft wird der Montageplan für die Unterbaugruppe Schwertbolzen in Abb. 8 dargestellt.

Schlussfolgerung und Ausblick

Das im Studiengang Ingenieurwesen/Maschinenbau investierte Baukastensystem der Firma Hohenstein Vorrichtungsbau und Spannsysteme GmbH wurde im

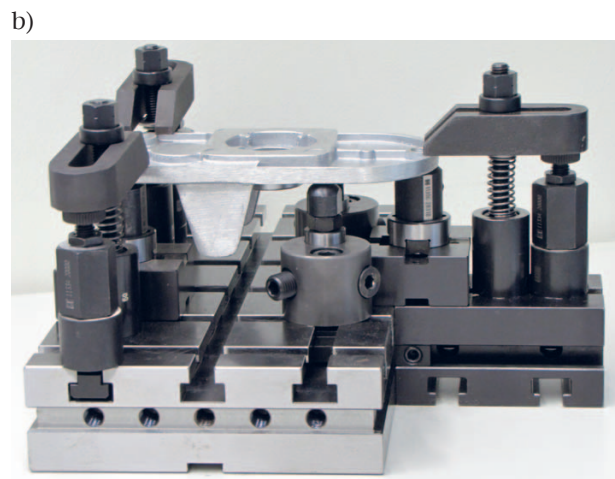
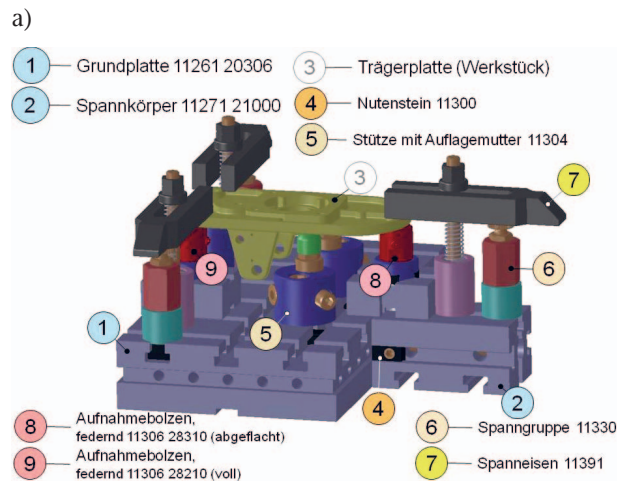


Abb. 7: Baukastenvorrichtung für das Werkstück »Trägerplatte« in der 1. Aufspannung; a) Vorrichtung im 3D-CAD-System »SolidWorks« virtuell montiert; b) Vorrichtung mit »Trägerplatte« für die Fertigung real montiert

G. Pos.	Benennung	Verrichtungsgruppe Verrichtung	Stck.
G1		Fügen	
1	Zwischenkörper 11276		1
2	Nutenstein 11300 11000	Schrauben an Pos. 1	1
3	Senkschraube DIN 963	Schrauben mit Pos. 1,2	1
G2		Fügen	
4	Aufnahmering 11305		1
5	Nutenstein 11300 12000	Schrauben an Pos. 4	4
6	Senkschraube DIN 963	Schrauben mit Pos. 4,5	4
G3		Fügen	
7	Aufnahmebolzen 11306 2810		1
8	Spannbolzen 11316	Schrauben mit Pos. 7	1
G4		Justieren / Fügen	
9	Nutenstein 11302	Stecken G2 mit G1 Einstellen G3 mit G1 und 9 Schrauben G3 mit Pos. 9	1

Abb. 8: Montageunterweisung für die Unterbaugruppe »Schwertbolzen«

Lehrgebiet Vorrichtungskonstruktion erfolgreich eingeführt. In Zukunft wird der Baukasten in Lehre, Technologietransfer und Forschung genutzt.

Durch die Aufbereitung der Vorrichtungsproblematik für die Lehre konnte die Vorgehensweise bei der

Nutzung von Baukastenvorrichtungen gegenüber Sondervorrichtungen herausgearbeitet werden. Ein repräsentatives Beispiel stellt den Ablauf beispielhaft dar.

Der vorliegende Artikel klärt zunächst Fachbegriffe zum Vorrichtungsbau. Die Problematik wird auf die mechanische Bearbeitung eingegrenzt. Danach werden Sonder- und Baukastenvorrichtungen gegenübergestellt und bewertet.

Im Weiteren wurde der Planungsablauf, anhand konkreter Daten am Beispiel einer »Trägerplatte« beispielhaft dargestellt.

Es stellte sich heraus, dass die Vorrichtungsproblematik sehr komplex ist. In der Vorrichtungsplanung und -konstruktion sind technologische und konstruktive Kenntnisse erforderlich. Der im Artikel beschriebene Ablauf hebt diese Komplexität im Besonderen hervor.

Zukünftig können mit dem vorhandenen Baukastensystem auch konkrete Aufgabenstellungen aus der Industrie bearbeitet werden. In der Abarbeitung der Aufgabenstellungen ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in den Laboren des Fachbereiches I/WI an der TH Wildau möglich.

Für das repräsentative Beispiel Trägerplatte sind noch folgende Teilaufgaben abzuarbeiten (siehe auch Einhaltung des Ablaufes im Abb. 1b):

1. Vermessung der montierten Vorrichtung (Lage der Bestimmelemente).
2. Erstellung des NC-Programmes für die Bearbeitung.
3. Bearbeitung der Trägerplatte.
4. Kontrolle (Vermessung) der Trägerplatte.
5. Baukastenvorrichtung für die 2. Aufspannung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anschaffung des Baukastensystems im Zusammenhang mit der komplexen und interdisziplinären Abarbeitung der Aufgabenstellung unter Nutzung modernster Hard- und Software den Studenten eine auf hohem Niveau fundierte Ausbildung bietet, die auch eine Integration von Industrieprojekten möglich macht.

Kurzzeichenverzeichnis

Kurzzeichen	Beschreibung	Einheit
A-Plan	Arbeitsplan	
VK-Konzept	Vorrichtungskonzept	
NC-Prog	NC-Programmierung	
SiMu	NC-Simulation	
BAZ	Bearbeitungszentrum	
N	Drehzahl	min ⁻¹
F _{sp}	Spannkraft	N
F _H	Handkraft	N
I/WI	Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen	
v _f	Vorschubgeschwindigkeit	mm/min
v _c	Schnittgeschwindigkeit	m/min
T _v	Vorrichtungstoleranz	μm
T _w	Werkstücktoleranz	μm
L _{vb}	Länge des vollen Bolzens	mm
L _{sb}	Länge des Schwertbolzens	mm
F _x	Summe der Kräfte in X-Richtung	N
F _{res}	Resultierende Schnittkraft	N
F _r	Reibungskraft	N
F _N	Normalkraft	N
X	Korrekturfaktor für Schnittkraft	
KMG	Koordinatenmesgerät	
μ ₀	Haftreibungszahl	

Anmerkung

- [1] Einem Werkstück können maximal sechs Freiheitsgrade entzogen werden. Es sind drei Dreh- und drei Verschiebungsfreiheitsgrade. Der entzogene Freiheitsgrad wird i.d.R. im Vorrichtungsbau in einer Richtung entzogen. Für die andere Richtung ist dabei konstruktiv ein Spann- oder Hilfspannelement vorzusehen.

Literatur

- Conrad, K.-J. (2010): Grundlagen der Konstruktionslehre, Methoden und Beispiele für den Maschinenbau, 5. Auflage, Carl Hanser Verlag, München.
- Dolmetsch, H., Kilgus, R., Holznagel, D., Klein, W., Keller, E., Odenwald, T. (2007): Metalltechnik Fachbildung, Der Werkzeugbau, 14. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.
- Matuszewski, H. (1986): Handbuch Vorrichtungen, Konstruktion und Einsatz, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Miersch, N., Busse, G., Fricke, J., Stengl, A. (2003): Analyse und Auswertung von Besonderheiten und Problemen bei der Konstruktion einer Serienvorrichtung im Rahmen einer praxisnahen Aufgabenstellung für die Lehre, Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau, Heft 1 / 2003, 52 – 57
- Perovic, B. (1999): Werkzeugmaschinen und Vorrichtungen, Berechnung und Konstruktion, Carl Hanser Verlag.
- Trummler, A., Wiebach, H. (1994): Vorrichtungen der Produktionstechnik, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (1992): Vorrichtungen, Rationelle Planung und Konstruktion, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Norbert Miersch
Maschinenbau/Werkzeugkonstruktion
Technische Hochschule Wildau [FH]
norbert.miersch@th-wildau.de

Marktforschung in der Praxis: Kundenpräferenzen beim Kauf eines neuen Fernsehgerätes

Sascha Bartels, Fabian Bräuner, Mario Glowik, Roman Hawlitzky, Claudia Kottke, Claudia Liedtke, Julia Mücke, Matthias Schidzick, Christopher Weiß

Zusammenfassung

In der heutigen Zeit sind Medien aller Art im alltäglichen Leben anzutreffen. Ob früh am Morgen die frisch gedruckte Zeitung, das Radio in der Küche, der Lieblingsfilm im Fernsehen oder das Internet via Mobiltelefon. Viele Menschen können sich heutzutage ein Leben ohne Mobiltelefon oder Fernsehgerät nicht mehr vorstellen. Die Industrie hat dies erkannt und bringt fast täglich neue Weiterentwicklungen auf den Markt. Smartphones, die beinahe so viel können wie ein Laptop oder Fernseher, die den Zuschauer via 3D-Technologie in das Geschehen eintauchen lassen, entwickeln sich zu Standardprodukten.

Bei der heutigen Geschwindigkeit der Neuentwicklungen und den immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen ist es besonders wichtig, den Endverbraucher vom Mehrwert zu überzeugen. In diesem Zusammenhang ist es notwendig herauszukristallisieren, worauf der Endkunde Wert legt und welche Informationsschwächen er hat. Hierzu haben acht Studierende der TH Wildau aus dem Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik eine empirische Studie entwickelt.

Abstract

In your everyday life, media of all kinds are found. Whether early in the morning, freshly printed newspaper, the radio in the kitchen, favorite movies on TV or the Internet via mobile phone. Many people can not imagine a life without mobile phone or TV. The industry has recognized that and almost every day they have new developments for the market. Smartphones have nearly as much as functions as a laptop or a television and are able to bring the viewers into actions via 3D technology as a standard.

Because of the speed of new developments and the shortening product life cycle it is especially important to convince the consumer«s added value. In this case it is important to have a look what is significant for the end consumer and what lack of information does the consumer have. Concerning these problems, eight students of the University of Applied Science Wildau from the Department of Business Administration and Business Informatics designed an empirical study.

1 Zum Begriff der Marke

Die hohe Relevanz von Marken ist für den Erfolg eines Unternehmens unbestreitbar (Esch et al. 2006: 2). Die vielleicht bedeutendste und nachhaltigste Marketingleistung besteht darin, eine stabile Marke einzuführen und diese für die Zukunft zu erhalten und zu sichern (Kotler et al. 2001: 736).

Es lassen sich, nach Meffert et al. (2002: 6) drei Begriffsverständnisse von Marken unterscheiden:

- die Marke als ein gewerbliches Schutzrecht,
- die Marke als markiertes Produkt,
- die Marke als produktübergreifendes Konzept.

Versteht man die Marke als ein produktübergreifendes Konzept, ergibt sich folgende Definition: Die Marke kann als ein, in der Psyche des Konsumenten und sons-

tiger Bezugsgruppen der Marke fest verankertes, unverwechselbares Vorstellungsbild von einem Produkt oder einer Dienstleistung definiert werden (Meffert et al. 2002: 6). Der Markenaufbau muss als ein strategisches, langfristig ausgelegtes Konzept betrachtet werden. Dieser Prozess kann nur gelingen, wenn ein Markenbild bzw. Markenimage in den Köpfen der Menschen erzeugt wird. In diesem Zusammenhang spricht man von einer Markenidentität (Hohn 2008: 136).

Eine klare Identität und die sachlich-funktionale Kompetenz einer Marke schafft notwendiges Vertrauen beim Verbraucher. Eine Markenidentität kann aber nicht kurzfristig entwickelt werden. Der Entwicklungsprozess einer Marke ist langfristig auf mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte angelegt (Adjouri 2002: 125). Der richtige Aufbau einer Marke lohnt sich, denn gut

geführte Marken »leben länger« als jede Produktionsanlage und jeder Produktlebenszyklus (Kotler et al. 2001: 741).

2 Begriffsbestimmung und Anforderungen an eine moderne Marktforschung

Auf Grund verkürzter Produkt- und Technologielebenszyklen steigt die Komplexität an eine zeitnahe, effiziente Marktforschung. Unterstellt man eine marktorientierte Unternehmenskultur, so ist es Hauptaufgabe der Marktforschung, dem Marketing-Management auf empirischem Wege die Informationsgrundlage für die absatzpolitische Ziel- und Maßnahmenplanung bereitzustellen. Unter Marktforschung versteht man das systematische Sammeln, Aufbereiten, Analysieren und Interpretieren von Daten über Märkte und Marktbeeinflussungsmöglichkeiten zum Zweck der Absicherung von Marketingentscheidungen. Außerdem ist die Marktforschung durch den systematischen Einsatz wissenschaftlicher Untersuchungsmethoden gekennzeichnet. Ziel ist nicht nur die sorgfältige Beschreibung von Märkten, sondern auch die Gewinnung von Aussagen über Ursache-Wirkungsbeziehungen, z. B.: »Wie wirkt der Einsatz von Marketing-Maßnahmen auf das Käuferverhalten?« (Böhler 2004: 19).

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen quantitativer und qualitativer Marktforschung. Die Kernaufgabe der quantitativen Marktforschung ist die möglichst exakte Beschreibung der Marktlage und -entwicklung. Im Zentrum stehen Zahlen und Daten, wie z. B. Marktanteile, Marktvolumen, Wettbewerberverhalten,

Angebots- und Nachfrageverhalten. Dazu werden umfangreiche Stichproben mit relativ hohen Datensätzen benötigt. Die Auswertung der Daten erfolgt EDV-basiert mit Hilfe spezieller Statistik-Programme wie beispielsweise SPSS (Hofte-Frankhauser/Wälty 2009: 11).

Das Hauptanliegen der qualitativen Marktforschung ist das Verstehen, d. h. die Erklärung des Abnehmerverhaltens. Im Zentrum steht die Analyse von Wirkungszusammenhängen. Die Hauptthemen bei der qualitativen Marktforschung sind eher komplexe, nicht quantifizierbare »softe Faktoren«, beispielweise Erkenntnisfaktoren wie Werte, Motive, Einstellungen, Handlungsbeweggründe etc. Dazu werden in den meisten Fällen kleinere Stichproben und spezielle Erhebungs- und Auswertungstechniken (z. B. persönliche Interviews) eingesetzt (Hofte-Frankhauser/Wälty 2009: 11).

Die Datenerhebung erfolgt mittels Sekundär- oder Primärmarktforschung. Gegenstand der Sekundärmarktforschung (Engl. »Desk Research«) ist die Beschaffung von Daten, die bereits zu einem früheren Zeitpunkt und für andere Zwecke erhoben wurden. Dieses Datenmaterial wird im Hinblick auf das vorliegende Marktforschungsproblem aufbereitet und analysiert. Bei der Sekundärmarktforschung bedient man sich sowohl innerbetrieblicher als auch außerbetrieblicher Informationsquellen. Zu den innerbetrieblichen Quellen zählen u. a. Kunden-Datenbanken und Verkaufs- oder Reklamationsstatistiken. Bei den außerbetrieblichen Informationsquellen handelt es sich beispielsweise um Publikationen von Institutionen, Verbänden, Fachverlagen, Marktforschungsinstituten oder Forschungsergebnisse von Hochschulen. Sekundärdaten sind tendenziell relativ kostengünstig und schnell verfügbar. Jedoch

Erhebungstechniken			
Charakterisierung	Befragung	Beobachtung	Test
Definition	Datenerhebungsmeth., bei der eine Person mit gezielten Fragen zur Angabe der gewünschten Informationen bewegt werden soll.	Zielgerichtete und planmäßige Erfassung sinnlich wahrnehmbarer Sachverhalte zum Zeitpunkt ihres Geschehens durch beobachtende Personen oder Instrumente.	Wiederholbare, unter kontrollierten Bedingungen ablaufende Versuchsanordnung, in der vermutete kausale Zusammenhänge zweier oder mehrerer Faktoren durch Veränderung der Testgröße überprüft werden.
Arten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Quantitative Befragung ■ Qualitative Befragung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Feldbeobachtung ■ Laborbeobachtung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Labortest ■ Markttest
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erhebung der Umsatzbewegungen im Detailhandel ■ Geschmacksvergleich zwischen eigenem neuem Schoggimüesli und Konkurrenzprodukt 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kundenlaufstudie im Detailhandel ■ Beobachtung des Einkaufsverhaltens ■ Handhabungsbeobachtungen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einfluss verschiedener Produktdesigns auf Kaufbereitschaft der Abnehmer ■ Auswirkung unterschiedlicher Regalplatzierungen auf Absatz

Abb. 1: Informationsquellen der Primärmarktforschung (Maranghino-Singer 2005: 16)

sind sie oftmals zu wenig spezifisch für die konkrete Fragestellung und/oder nicht aktuell genug (Böhler 2004: 63). Die Primärmarktforschung (Engl. »Field Research«) kommt dann zum Einsatz, wenn für die Lösung des Marktforschungsproblems neue Daten beschafft und aufbereitet werden müssen (Hofte-Frankhauser/Wälty 2009: 54). Die folgende Abbildung liefert eine Übersicht über relevante Informationsquellen der Primärmarktforschung und deren Erhebungstechniken.

Im Zusammenhang mit Fragetechniken ist eine Unterscheidung in offene und geschlossene Fragen üblich. Offene Fragen liefern i.d.R. komplexere Hintergrundinformationen, verlangen aber vom Befragten, dass er seine Antworten selbst formuliert. Bei geschlossenen Fragen werden die Antwortkategorien vorgegeben und können bspw. durch ein »Kreuz« oder »Haken« durch den Befragten gekennzeichnet werden (Böhler 2004: 99). Geschlossene Fragestellungen haben den Vorteil einer quantifizierbaren Auswertung.

Für eine Marktforschungsstudie ist u. a. die nachfolgende Schrittfolge empfehlenswert (Herrmann et al. 2008: 8):

1. Problemformulierung und Festlegung des Untersuchungsdesigns
2. Bestimmung der Verantwortlichkeiten
3. Festlegung der Datenerhebungsmethode
4. Stichprobenauswahl
5. Gestaltung des Erhebungsinstrumentes
6. Durchführung der Datenerhebung
7. Editieren und Kodierung der Daten
8. Datenanalyse und -interpretation
9. Präsentation der Ergebnisse

Die Studie zu marketingrelevanten Informationen bezüglich der Präferenzen von Kunden beim Kauf eines neuen Fernsehgerätes wurde in Anlehnung an obige Schrittfolge strukturiert.

3 Methodik

Im Mittelpunkt der Studie steht die Fragestellung, ausschlaggebenden Faktoren für oder gegen den Kaufentscheid eines neuen Fernsehgerätes im Zuge einer Primärerhebung herauszufiltern (1. Schritt: Problemformulierung und Festlegung des Untersuchungsdesigns). Das Projekt wurde von Studierenden im 2. Semester des Masterstudienganges »Business Management«, des Fachbereichs Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik unter Anleitung ihres betreuenden Professors ent-

wickelt und durchgeführt (2. Schritt: Bestimmung der Verantwortlichkeiten).

Der Fragebogen stellt ein Instrument der Datenerhebung dar (3. Schritt: Festlegung der Datenerhebungsmethode), welches regelmäßig in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie in der Psychologie Verwendung findet (SDI Research 2010). Der Aufbau eines Fragebogens sowie die Gestaltung und Fragestellung spielen eine wesentliche Rolle in Bezug auf die erfolgreiche Umsetzung eines Marktforschungsprojekts. Anstelle eines mit unzureichender Vorsicht konzipierten Fragebogens, sollte dieser mit Bedacht und ausreichend Zeit entwickelt werden, um der gewünschten Qualität gerecht zu werden. Gleichmaßen ist es empfehlenswert, den konstruierten Fragebogen einem Vor-Test zu unterziehen (LIS Bremen 2006).

Unter Berücksichtigung dieser Herangehensweise, ergab sich für die Studierenden zunächst die Notwendigkeit einer gründlichen Recherche zu den Themen Markenbildung und Fernsehgerätemarkt. Die Studierenden beschäftigten sich mit entsprechender Literatur und bereits erprobten Fragebögen, um möglichst viele Anregungen zu erhalten, mit deren Hilfe es möglich war, einen individuell passenden Fragebogen zur erfolgreichen Umsetzung des Projektziels zu entwickeln.

Bei der Generierung der Fragestellung waren alle Gruppenmitglieder beim Brainstorming (IBIM 2010) beteiligt, um zu diskutieren, welche der Fragestellungen besonders dringlich sind. Im Ergebnis haben die Studierenden der Marktforschungsgruppe einen gemeinsam entwickelten Fragebogen in einem Feldversuch an 10 Probanden im Dezember 2009 getestet (Vor-Test) und im Nachgang modifiziert. Im Ergebnis, d. h. in der modifizierten Endfassung des Fragebogens, wurden sowohl offene als auch geschlossene Fragen verwendet. Unter anderem wurden auch anonymisierte, soziodemographische Fragestellungen, wie beispielsweise das Geschlecht formuliert, um entsprechende Hintergrundinformationen für ein Kundensegmentiertes Marketing zu gewinnen (Broda 2006). Die Hauptstudie erfolgte im Zeitraum zwischen Januar und Juni 2010. Für die Stichprobe wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Technischen Hochschule Wildau [FH], sowie potentielle Interviewpartner aus dem Kreis der Familien und Bekannten der Studierenden herangezogen. Regional ist die Befragung damit auf den Raum Berlin-Brandenburg konzentriert (4. Schritt: Stichprobenauswahl). Insgesamt wurden 420 standardisierte Fragebögen erstellt, 390 Fragebögen auf elektronischem Wege

versandt und 30 Fragebögen im Rahmen von persönlichen Interviews verwendet. Insgesamt sind 71 Fragebögen beantwortet worden von denen 69 verwertbare Fragebögen für die Auswertung herangezogen werden konnten. Das entspricht einer Rücklaufquote von 16 Prozent. (5. Schritt: Gestaltung des Erhebungsinstrumentes und 6. Schritt: Durchführung der Datenerhebung). Für die Projektumsetzung wurde der Raum 320 im neu geschaffenen Marktforschungslabor im Haus 100 an der Technischen Hochschule Wildau [FH] genutzt. Die Studierenden haben die Antworten aus den Fragebögen übernommen, kodiert und mithilfe des Statistikprogramms SPSS ausgewertet. Insgesamt haben 35 männliche und 30 weibliche Interviewpartner an der Befragung teilgenommen. 4 Befragte wollten zu ihrem Geschlecht keine Aussage machen (7.Schritt: Editieren und Kodierung der Daten). Die Datenanalyse und -interpretation lieferte Ergebnisse, die wie folgt dargestellt werden können (gemäß Schritte 8 und 9):

4 Datenauswertung

Kaufpreis

Der Großteil (rund 51 Prozent) der befragten Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Stichprobe, avisiert einen Kaufpreis zwischen € 800 und € 1.200 für ein neues Fernsehgerät. Dieser Bereich könnte daher als Massenmarkt interpretiert werden. 20 Prozent sind bereit, bis € 600 für ein neues Fernsehgerät auszugeben. Immerhin sind 16 Prozent der Befragten offen, € 1.500 und mehr! für ein neues Gerät zu investieren. Ebenfalls interessant ist, dass rund 9 Prozent gar keine Präferenz bezüglich des Kaufpreises haben. Diese Gruppe bildet aus Unternehmenssicht ein besonders interessantes Potenzial für Marketingspezifische Instrumente (emotionale Ansprache durch eine Marke).

Die Ergebnisse der Erhebung haben keine wirklich signifikanten, geschlechterspezifischen Unterschiede,

in Bezug auf den Kaufpreis, ermittelt. Tendenziell haben die weiblichen Befragten eine Präferenz im unteren Preissegment (bis € 400), während die männlichen Befragten in der Kategorie bis € 1.000 überwiegen. Um in dieser Kategorie verlässlichere Daten zu erhalten, müsste die Stichprobe in einer Folgerhebung wesentlich erweitert werden.

Gültig	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozen-te	Kumulierte Prozen-te
keine Präferenz	6	8,7	8,7	8,7
bis 200 Euro	4	5,8	5,8	14,5
bis 400 Euro	4	5,8	5,8	20,3
bis 600 Euro	6	8,7	8,7	29,0
bis 800 Euro	13	18,8	18,8	47,8
bis 1000 Euro	12	17,4	17,4	65,2
bis 1200 Euro	10	14,5	14,5	79,7
bis 1500 Euro	3	4,3	4,3	84,1
bis 2.000 Euro	5	7,2	7,2	91,3
über 2.000 Euro	3	4,3	4,3	95,7
keine Angabe	3	4,3	4,3	100,0
Gesamt	69	100,0	100,0	

Abb. 2: Marktsegmentierung nach Fernsehgerätekaufpreis

Technologie

Nur rund die Hälfte der Befragten wissen um den Unterschied von »HD-ready« und »full HD«. Dabei ist zu beachten, dass die Bildqualität von modernen LCD und Plasmageräten ohne full HD (1.920 × 1.080 Pixeln) herkömmlichen Röhrengeräten noch immer unterlegen ist. Hinzu kommt, dass Ausstellungs- und Vorführgeräte im Handel, oftmals mit einem Blu-ray Rekorder (Signalgeber) gekoppelt sind, der technologisch momentan die höchste Bildauflösung (nämlich full HD) garantiert. Das heißt, 43 Prozent der Befragten (Antwortkategorien: ist mir egal bzw. nein) ist theoretisch für eine irreführende Werbung anfällig. Diese potenti-

Anzahl	maximaler Kaufpreis in €											Gesamt
	keine Präferenz	bis 200	bis 400	bis 600	bis 800	bis 1.000	bis 1.200	bis 1.500	bis 2.000	über 2.000	keine Angabe	
weiblich	3	3	3	3	5	3	5	1	2	2	0	30
männlich	3	1	1	3	7	9	5	2	3	1	0	35
keine Angabe	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	4
Gesamt	6	4	4	6	13	12	10	3	5	3	3	69

Abb. 3: männlich vs weiblich * maximaler Kaufpreis Kreuztabelle Mehrheit haben

ellen Kunden sehen bspw. ein Vorführgerät im Handel (z. B. mit full HD und an ein blu-ray Gerät gekoppelt), wissen aber nicht um die unterschiedliche Bildschirmauflösung und machen ihren Kaufentscheid in erster Linie vom Preis (bzw. irreführenden Werbeversprechen) abhängig. Wenn das neue Fernsehgerät (HD-ready und analoges Signal) dann zu Hause benutzt wird, ist die Wahrscheinlichkeit einer Enttäuschung gegeben. Natürlich bleiben auch full-HD Geräte ohne digitales Signal weit unter ihren Möglichkeiten (Bildschirmauflösung).

Gültig	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
ist mir egal	7	10,1	10,1	10,1
Ja	36	52,2	52,2	62,3
Nein	23	33,3	33,3	95,7
keine Angabe	3	4,3	4,3	100,0
Gesamt	69	100,0	100,0	

Abb. 4: Unterschied HD_ready_vs_fullHD

Da in den kommenden Jahren nach Vorstellungen der Industrie das sog. digitale (Bezahl-) Fernsehen (ausgerichtet auf full HD Geräte), zunehmend den Markt bestimmen wird, ist ein relativ früher Folgekauf (nämlich der momentanen Besitzer von HD-ready Geräten), zur Freude der den Markt beherrschenden Fernsehgerätehersteller aus Asien, wie bspw. Samsung und Sony vorprogrammiert. Die Marken Samsung (23 Prozent) und Sony (22 Prozent) wurden mehrheitlich von den Befragten als präferierten Marken genannt (z. B. wurde Loewe überhaupt nicht genannt). Philips gehört nach den Ergebnissen der Studie ebenfalls zu den bevorzugten Marken in Bezug auf den Kauf eines Fernsehgerätes (13 Prozent). In diesem Zusammenhang muss man aber wissen, dass Philips mittlerweile den überwiegenden Teil seiner Wertschöpfungsaktivitäten nach Asien, insbesondere China, verlagert hat.

Anzahl	Wichtigkeit Zusatzfunktionen				relativ wichtig	wichtig	extrem wichtig	keine Angabe	Gesamt
	völlig unwichtig	unwichtig	relativ unwichtig	keine Meinung					
weiblich	6	3	2	10	5	3	1	0	30
männlich	3	3	2	7	7	8	5	0	35
keine Angabe	0	0	0	1	0	0	0	3	4
Gesamt	9	6	4	18	12	11	6	3	69

Abb. 6: männlich vs weiblich * Wichtigkeit Zusatzfunktionen Kreuztabelle

In Übereinstimmung mit der momentanen Marktentwicklung verifizieren auch die Ergebnisse der Studie eine klare Präferenz für LCD-Geräte. Rund 65 Prozent würden sich für ein LCD-Gerät entscheiden. Dabei gibt es bei den männlichen Befragten eine relativ höhere Präferenz für LCD-Geräte (80 Prozent), als bei den weiblichen Befragten (53 Prozent). Die weiblichen Befragten sind tendenziell aufgeschlossener für ein Plasmagerät (30 Prozent) im Vergleich zu den männlichen Interviewpartnern (14 Prozent).

Anzahl	Bilddarstellung					Gesamt
	männlich vs weiblich	andere	Röhren	LCD	Plasma	
weiblich	2	2	16	9	1	30
männlich	1	1	28	5	0	35
keine Angabe	0	0	1	0	3	4
Gesamt	3	3	45	14	4	69

Abb. 5: männlich vs weiblich * Bilddarstellung Kreuztabelle

Mehr als die Hälfte der Befragten (58 Prozent) hat zu dem Thema Zusatzfunktionen (z. B. Ambilight von Philips, DVBT-Tuner) eine eher ablehnende Haltung (völlig unwichtig, unwichtig oder relativ unwichtig) bzw. hat keine Meinung oder wollte keine Angabe gemacht. Tendenzial haben aber die männlichen Befragten eine höhere Affinität für Zusatzfunktionen als die weiblichen Befragten.

Informationsbeschaffung und Kaufort

Der Großteil der Befragten informiert sich vor einem Kaufentscheid anhand von Testberichten (30 Prozent). Der Anteil der Befragten die sich vor einem Kauf überhaupt nicht informieren ist auf der anderen Seite ebenfalls relativ hoch (28 Prozent). Während die männlichen Befragten tendenziell auf Testberichte als Informationsgrundlage zurückgreifen, verlassen sich die

weiblichen Befragten eher auf Empfehlungen aus dem Familien- und Freundeskreis.

Der überwiegende Teil der Interviewpartner kauft ein neues Fernsehgerät in großen Elektronikkaufhäusern (56 Prozent). Darüber hinaus wird anhand des ausgewerteten Datenmaterials deutlich, dass die weiblichen Befragten – im Vergleich zu den männlichen Teilnehmern der Stichprobe – einem Kauf im Internet wesentlich kritischer gegenüberstehen.

5 Schlussbemerkung

Die vorliegende Studie zu marketingrelevanten Informationen in Zusammenhang mit dem Kauf eines neuen Fernsehgerätes wurde im Wesentlichen von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus acht Studierenden des Masterstudienganges Business Management im 2. Semester initiiert, konzipiert und durchgeführt. Die Marktforschungsstudie ist ein Beispiel für die angewandte Forschung und praxisnahe Lehre, unter weitestgehender Einbeziehung der Studierenden, an der Technischen Hochschule Wildau [FH]. Erkenntnisse aus der Auswertung von 69 Fragebögen, könnten in einer späteren Projektphase, mit einem wesentlich erweiterten Stichprobenumfang, vor dem Hintergrund einer möglichst hohen Repräsentativität, verifiziert werden. Die Projektgruppe der Studierenden nebst Professor bedankt sich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern

der Technischen Hochschule Wildau (FH), die sich trotz intensiver Arbeitsbelastung, die Zeit genommen haben, den Fragebogen auszufüllen und damit ihren ganz persönlichen Beitrag für eine interessante, praxisnahe Lehre im Sinne unserer Studierenden, geleistet haben.

Literaturverzeichnis

- Adjouri, N. 2002: Die Marke als Botschafter – Markenidentität bestimmen und entwickeln. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Böhler, H. 2004: Marktforschung. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Broda, S. 2006: Marktforschungs-Praxis: Konzepte, Methoden, Erfahrungen. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Esch, F., Tomczak, T., Kernstock, J. und Langner, T. 2006: Corporate Brand Management. 2. Aufl., Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Herrmann, A., Homburg, C. und Klarmann, M. 2008: Handbuch Marktforschung: Methoden – Anwendungen – Praxisbeispiele. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Hofte-Frankhauser, K., Wälty, H. 2009: Marktforschung: Grundlagen mit zahlreichen Beispielen, Repetitionsfragen mit Lösungen und Glossar. Zürich: Compendio Verlag.
- Hohn, S. 2008: Public Management – Marketing Management für den öffentlichen Sektor. 2. Aufl., Wiesbaden: Gabler Verlag.
- IBIM 2010: <http://www.ibim.de/techniken/3-1.htm> (Zugriff am 18. Juni 2010).
- Kotler, P., Bliemel, F. 2001: Marketing-Management – Analyse, Planung und Verwirklichung. 10. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kuß, A., Eisend, M. 2010: Marktforschung: Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- LG 2010: <http://www.lg.com/de/index.jsp> (Zugriff am 18. Juni 2010).
- LIS Bremen 2010: <http://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/Skript%20Fragebogenerstellung.pdf> (Zugriff am 28. Juni 2010).

Anzahl männlich vs weiblich	Informationsquellen vor dem Kauf						Gesamt
	nein	ja = Freunde und Familie	ja = Testbericht	ja = Internet	ja = Verkäuferin/ Verkäufer	keine Angabe	
weiblich	8	10	8	2	1	1	30
männlich	11	6	13	4	0	1	35
keine Angabe	0	0	0	0	0	4	4
Gesamt	19	16	21	6	1	6	69

Abb. 7: männlich vs weiblich * Informationsquellen vor dem Kauf Kreuztabelle

Anzahl männlich vs weiblich	Kaufstätte					keine Angabe	Gesamt
	Internet	Facheinzelhandel	große Elektronikhäuser	andere	Internet		
weiblich	2	5	19	3	1	30	
männlich	10	4	20	1	0	35	
keine Angabe	0	0	0	0	4	4	
Gesamt	12	9	39	4	5	69	

Abb. 8: männlich vs. weiblich * Kaufstätte Kreuztabelle

- Maranghino-Singer, B., »ISB.« 2005: www.isb.uzh.ch/studium/courses05/pdf/0281_marketing.pdf (Zugriff am 2. Mai 2010).
- Meffert, H., Burmann, C. und Koers, M., »Ephorie.de.« 2001: <http://www.ephorie.de/pdfs/Meffert-Markenmanagement.pdf> (Zugriff am 7. Juni 2010).
- SDI Research 2010: <http://www.sdi-research.at/lexikon/befragung.html> (Zugriff am 29. Juni 2010).
- Zednik, A., Strebinger, A. 2005: Marken-Modelle der Praxis: Darstellung – Analyse und kritische Würdigung. Wiesbaden: Universitätsverlag.

Autoren

Sascha Bartels

Technische Hochschule Wildau [FH]

Fabian Bräuner

Technische Hochschule Wildau [FH]

Prof. Dr. Mario Glowik

Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
Technische Hochschule Wildau [FH]
mario.glowik@th-wildau.de

Roman Hawlitzky

Technische Hochschule Wildau [FH]

Claudia Kottke

Technische Hochschule Wildau [FH]

Claudia Liedtke

Technische Hochschule Wildau [FH]

Julia Mücke

Technische Hochschule Wildau [FH]

Matthias Schidzick

Technische Hochschule Wildau [FH]

Christopher Weiß

Technische Hochschule Wildau [FH]

Blended Learning: Auf dem langen Weg zur neuen Qualität in der Lehre

Maika Büschenfeldt, Margit Scholl

Zusammenfassung

Blended Learning ist ein *integriertes* Lernkonzept, das die Möglichkeiten des Online Lernens in Kombination mit den traditionellen Formen des Präsenzlernens in optimaler Weise verbinden soll. Blended Learning ist herausfordernd, weil die konsequente Umsetzung auch Innovationen in der Lehre einschließt und zur Veränderung der *Lehrkultur und Lernformen* führt. In Weiterentwicklung des Forschungsansatzes des EU-Projektes COMBLE identifizieren wir drei relevante Bereiche zur Verankerung von Blended Learning: die institutionelle und organisatorische Einbindung, die technische Infrastruktur mit ihren technischen Support und die didaktische Infrastruktur mit didaktischen Unterstützungsmaßnahmen.

Abstract

Blended Learning is an integrated learning concept that combines the possibilities of online learning with traditional forms of classroom learning in an optimal way. Blended learning is challenging because the consistent implementation of this learning concept also includes innovations in teaching, leading to a change in teaching culture and ways of learning. In developing the research approach of the EU project COMBLE further, we identify three relevant areas for the anchoring of Blended Learning: the institutional and organizational integration, the technical infrastructure with technical support and the educational infrastructure with educational assistance.

1 Einleitung

Lebenslanges Lernen zählt seit Jahren zu den gesellschaftspolitischen Herausforderungen und zu den vorrangigen bildungspolitischen Aufgaben. Im Rahmen der »Qualifizierungsinitiative für Deutschland« [1] gehört die Durchlässigkeit zwischen beruflicher Ausbildung und Hochschulbildung zu den zentralen Zielsetzungen der Bildungspolitik. Die Hochschulen sind damit aufgefordert, nicht nur den Hochschulzugang und die Anrechenbarkeit beruflicher Qualifikationen zu erleichtern, sondern auch für beruflich Qualifizierte berufsbegleitende Studienangebote als Beitrag zum lebenslangen Lernen zu schaffen. (BMBF 2008)

Die Erwartung an die Hochschulen, ihren Beitrag zum lebenslangen Lernen und zur Durchlässigkeit zu leisten, liegt durchaus im Eigeninteresse, da der erwartete Rückgang der Studierendenzahlen im Zuge des demografischen Wandels dazu zwingt, nach neuen Zielgruppen Ausschau zu halten. Für die Hochschulen bedeutet dies zunächst zweierlei:

- Sie haben sich auf neue Zielgruppen und auf die Rolle als Anbieter beruflicher bzw. berufsbegleitender Weiterbildungsangebote einzustellen. Daraus

erwachsen neue Anforderungen an Professionalität, Zertifizierung und Praxisorientierung in der Gestaltung und Durchführung von Weiterbildungsangeboten und Fortbildungslehrgängen. Zu den Anforderungen gehört zusätzlich die Umstellung auf flexiblere Lehrangebote, die gleichsam das Methodenrepertoire und die Organisation der bislang praktizierten Präsenzlehre zur Disposition stellen. Ebenso werden im Zuge einer stärkeren Internationalisierung zukünftig verstärkt kulturelle Aspekte zu berücksichtigen sein.

- Neue Anforderungen ergeben sich aber auch aus der Entwicklung neuer Technologien und der Erschließung neuer Kommunikationswege, die unter dem Stichwort Web 2.0 oder Social Media nicht ganz zu Unrecht die Erwartung wecken, durch deren Nutzung eine neue Qualität in der Aus-, Fort- und Weiterbildung zu erreichen. Da unsere Gesellschaft sich durch das Internet und seine Dienste als neue Kommunikationsform verändert, stellt sich somit die Frage, ob sich diese Entwicklung bislang angemessen in der Hochschullehre niedergeschlagen hat. Darüber hinaus führt diese technisch orientierte Modernisierung unserer Gesellschaft zu erhöhten Anforderun-

gen an eine umfassende Informationssicherheit und es wird in den Bildungsstätten notwendig, sich mit diesen Fragen kritisch auseinanderzusetzen. Dabei gilt es zu prüfen, inwieweit sich die tradierten Ansätze und Regeln der realen, visuellen Welt in eine zunehmend virtuelle Welt übertragen lassen oder ob neue Ansätze geschaffen werden müssen.

Mit dem Anspruch, flexiblere Lernangebote unter Ausnutzung moderner Kommunikationstechnologien zu entwickeln, kommen daher vielfältige Anforderungen auf die Hochschulen zu. E-Learning wird für berufs begleitende Angebote wie das Fernstudium zum »muss« und für die klassische Präsenzlehre zur ernsthaften Option, weshalb sich die Hochschulen diesen Anforderungen und Prozessen stellen sollten.

E-Learning galt noch vor einigen Jahren als Bildungsform des 21. Jahrhunderts, von der man in der allgemeinen Hype Stimmung annahm, dass diese die traditionellen Bildungsformen vollständig verdrängen werde. Inzwischen ist die anfängliche Euphorie der Erkenntnis gewichen, dass E-Learning die traditionellen Bildungsformen nicht ersetzen, aber sinnvoll unterstützen und zu deren Weiterentwicklung beitragen kann. E-Learning wird in diesem Sinne zum Blended Learning (BL), d. h. zur sinnvollen Kombination von Präsenz- und Online-Lehre. Die Umsetzung von Blended Learning ist keine triviale Aufgabe, sondern mit erheblichen Anstrengungen verbunden, da ein solches Vorhaben weitaus mehr erfordert als die Bereitstellung der technischen Infrastruktur durch den Aufbau einer E-Learning Plattform.

Wie ein solches Ziel erreicht werden kann, ist Gegenstand dieses Artikels. Ausgangspunkt bilden die aktuellen Anforderungen an die Hochschullehre (Abschnitt 2) und die Frage, was Gegenstand einer Blended Learning Strategie als Grundlage für den Aufbau einer didaktischen Infrastruktur sein kann (Abschnitt 3). Der Aufbau, die Bedeutung und Nutzung der technischen Infrastruktur beschreibt Abschnitt 4 am Beispiel der Projekte **Virtual Campus** und **learn@wildau**. In diesem Abschnitt wird die Einsatzbereitschaft für Blended Learning an der TH Wildau anhand der Auswertung von Nutzungsdaten der zentralen E-Learning Plattform untersucht. Konkrete Umsetzungsschritte und didaktische Überlegungen zur Etablierung von Blended Learning skizziert Abschnitt 5. Fazit und Ausblick folgen im letzten Abschnitt.

2 Die Ebenen des Blended Learning

Im EU-Projekt COMBLE [2] wurde bereits ein formales Modell als Instrument zur Prüfung der »Blended Learning Readiness« entwickelt. In diesem Modell werden über die Unterscheidung der Hauptakteursgruppen die verschiedenen Ebenen des Blended Learning identifiziert und die Frage in den Mittelpunkt gestellt, inwieweit eine Institution überhaupt die notwendigen Voraussetzungen für das Blended Learning erfüllt.

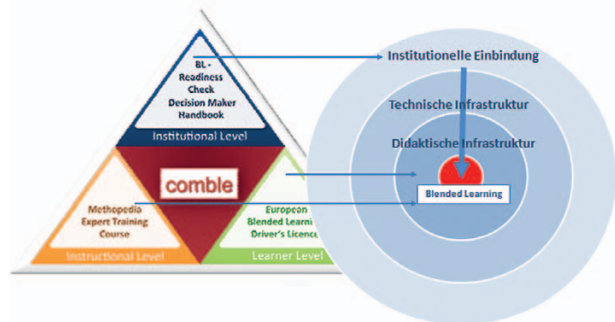


Abb. 1: Übertragung der Erkenntnisse aus COMBLE auf eine konkrete Einführungsstrategie für Blended Learning

In Weiterentwicklung des COMBLE Ansatzes möchten wir in diesem Artikel drei große Bereiche hervorheben, die wir als Voraussetzung für die Etablierung von Blended Learning in einer Organisation wie der TH Wildau ansehen:

(a) Institutionelle Einbindung

Eine Blended Learning Strategie kann erfolgreich nur entwickelt und umgesetzt werden, wenn Blended Learning institutionell eingebunden wird (»Institutional Level« in COMBLE). Konkret bedeutet dies, dass die dazu nötigen Ressourcen (auch auf Ministerialebene) bereitgestellt und Grundsatzfragen wie Mitwirkungs- und Akzeptanzförderung einbezogen werden. Hier sind insbesondere die *Entscheidungssträger* gefragt, die den Willen zur Neugestaltung mittragen und die Erkenntnis teilen, dass die Einführung von Blended Learning über die erfolgreiche Implementierung einer Lernplattform hinaus, weitreichende Veränderungen in der Organisation und der Lernkultur erfordert.

(b) Technische Infrastruktur

Als Beitrag der technischen Infrastruktur spielen E-Learning Plattformen eine zentrale Rolle. Die Existenz einer zentralen, hochschulweiten Lernplattform hat sich inzwischen vom Status des exotischen Beiwerks zum festen Angebot vieler Hochschulen entwickelt und gilt als

wichtiger Standortfaktor in der Konkurrenz der Hochschulen untereinander. Herausforderung ist hier nicht nur die technisch einwandfreie Implementierung einer Plattform, sondern auch die Aufgabe, die nötige Akzeptanz unter Studierenden und Lehrenden herzustellen. Dies setzt eine **aktive Hilfe** bei der Integration der Lerntechnologie in die laufenden Lehrveranstaltungen voraus. Aktive Hilfe kann nur geleistet werden, wenn die Nutzung der Plattform dauerhaft durch einen gut organisierten und personell ausreichend ausgestatteten Support unterstützt wird und auch Mittel zur technischen Weiterentwicklung der Plattform bereitstehen.

(c) Didaktische Infrastruktur

Die Bereitstellung einer E-Learning Plattform als technisches Service Angebot ist eine wichtige Voraussetzung, markiert jedoch nicht das Ende, sondern erst den Anfang der Entwicklung, die auf eine neue Qualität und Formvielfalt der traditionellen Lehre hinausläuft. Wir stehen damit vor einem **Transformationsprozess**, der von der traditionellen Präsenzlehre in die online-gestützte Lehre führt und beides miteinander verbindet. Dieser Wandel sollte nicht planlos verlaufen, sondern von einer gezielten Blended Learning Strategie (BL-Strategie) flankiert werden. Diese Strategie berührt im COMBLE Dreieck den »Instructional Level« mit der Zielgruppe der Lehrenden und den »Learners Level« mit der Zielgruppe der Studierenden (siehe Abb.1). Gegenstand dieser Strategie ist die Organisation der **didaktischen Beratung, Weiterbildung und Unterstützung**. Dies beinhaltet auch die konkrete Gestaltung des Transformationsprozesses von der Präsenzveranstaltung zum Blended Learning, den Erwerb und die Sicherung von Methodenkenntnissen sowie die Evaluation und Qualitätssicherung der Lehrangebote. Die BL-Strategie erschließt den Weg in den Aufbau einer didaktischen Infrastruktur, die für Lehrende und Lernende den Rahmen und die notwendige Unterstützung in der Neugestaltung der Lehre bietet.

3 Gegenstand einer Blended Learning Strategie

3.1 E-Learning und Blended Learning

E-Learning steht als Oberbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Lernformen und Technologien, die nur gemeinsam haben, dass Lehr- und Lernprozesse durch elektronische Medien unterstützt werden. (Kep-

ser 2010: 200) Unter eine solch allgemeine Definition fällt somit nicht nur das Online gestützte Lernen, sondern auch die frühen Ansätze des Offline-Lernens am Computer z. B. mit Lernprogrammen auf DVD. Eine präzisere, allgemein anerkannte Definition des Begriffs steht noch aus. Das mag seinen Grund in der Vielgestaltigkeit dieses Feldes haben, die auch die Suche nach allgemeinen Aussagen über das E-Learning mehr oder weniger unmöglich macht. Schulmeister bemerkt dazu (Schulmeister 2005: 477):

»Es können keine allgemeinen Aussagen über E-Learning gemacht werden, da E-Learning-Angebote sich gravierend in Zielen, Szenarien, Lernumgebungen, Methoden und Lernobjekten unterscheiden«

Der Begriff Blended Learning bezieht sich auf den organisatorischen Aspekt des E-Learnings, thematisiert das Verhältnis von Präsenz- und Onlinelehre sowie die gezielte Aktivierung und Beteiligung der Lernenden. In der Definition von (Sauter u. a. 2004) wird Blended Learning als **integriertes** Lernkonzept in Verbindung mit den Technologien des Internets beschrieben:

»Blended Learning ist ein integriertes Lernkonzept, das die heute verfügbaren Möglichkeiten der Vernetzung über Internet oder Intranet in Verbindung mit »klassischen« Lernmethoden und -medien in einem sinnvollen Lernarrangement optimal nutzt. Es ermöglicht Lernen, Kommunizieren, Informieren und Wissensmanagement, losgelöst von Ort und Zeit in Kombination mit Erfahrungsaustausch, Rollenspiel und persönlichen Begegnungen im klassischen Präsenztraining.« (Sauter et al. 2004: 68)

In dieser Definition finden sich bereits bedeutsame Hinweise auf das Potenzial und die Besonderheit des Blended Learning Ansatzes.

2.2 Die Potenziale des Internets

Das Internet mit seinen Diensten wird zum Medium des Blended Learnings und eröffnet der Lehre die Möglichkeit, den räumlichen und zeitlichen Beschränkungen zumindest teilweise zu entfliehen. Das Potenzial dieser Verbindung liegt somit in der Flexibilisierung durch die Entkopplung des Lernens von Zeit und Raum. In der Literatur wird das didaktische Potenzial des Internets darüber hinaus entlang der Funktionen im Lehr- und Lernprozess beschrieben: (Hof 2009: 73)

- **Learning by Distributing**, gründet im Potenzial beliebiger Vervielfältigung und Verteilung digitaler Formate. Der Lernprozess wird durch das Bereitstellen und/oder den Austausch von Informationen und

Materialien unterstützt. Dies stellt für uns lediglich die Grundlage des Blended Learning dar.

- **Learning by Interacting**, gründet im Potenzial dynamischer Webanwendungen oder Digitalmedien mit den Lernenden zu interagieren. Der Lernprozess kann auch ohne direkte Präsenz eines Lehrenden interaktiver gestaltet werden, findet jedoch in den beschränkten Reaktionsmöglichkeiten der eingesetzten Software seine Grenzen. Dies ist ein notwendiger weiterer Schritt, den Lehrende und Lernende gehen sollten und setzt bereits ein verändertes Methoden- und Handlungskonzept voraus.
- **Learning by Collaboration**, gründet im Potenzial des Internets als Kommunikationsmedium wirksam zu werden und bezeichnet Lernansätze, die auf der netzwerkartigen Interaktion von Personen untereinander basieren. Mit dieser Entwicklungsstufe werden die Rollen der Lehrenden und Lernenden verändert und an neuere didaktische Methoden und Lernformen angeknüpft.

3.3 Blended Learning als integriertes Lernkonzept

Blended Learning ist ein *integriertes* Lernkonzept, das die Möglichkeiten des Online-Lernens in Kombination mit den traditionellen Formen des Präsenzlernens in optimaler Weise verbinden soll. Dies beschreibt zwar wichtige Aspekte der Anforderungen, lässt aber offen, wie sich die Potenziale des Internets und die klassischen Formen der Präsenzlehre als integratives Gesamtkonzept kombinieren lassen. Gegenstand einer BL-Strategie muss daher sein, eine didaktische Infrastruktur aufzubauen, die es Lehrenden ermöglicht, das Online-Lernen und die Präsenzlehre als integriertes Konzept zu einer neuen Qualität der Lehre zu verbinden. Die auf die reine Präsenzlehre zugeschnittenen Lernformen wie Vorlesung, Seminar oder Übung stehen damit in ihrer klassischen Ausprägung zur Disposition und es stellt sich die Frage, inwieweit diese durch neue Lernformen ergänzt und selbst modifiziert werden sollten. Dieser Weg geht mit Veränderungen in den Abläufen und Raumnutzungen einher, so dass ein didaktisches Konzept ohne organisatorische Einbindung sehr schnell an seine Grenzen stoßen kann. In Anlehnung an das skizzierte dreistufige Modell in Abb. 1 soll im Folgenden die Einsatzbereitschaft für Blended Learning an der TH Wildau untersucht werden. Ausgehend von der Auswertung der Nutzungsdaten der E-Learning Plattform soll dabei insbesondere der Aufbau einer didaktischen Infrastruktur in den Mittelpunkt gestellt werden.

4. E-Learning an der TH-Wildau: die technische Infrastruktur als Basis

Die konkrete Einführung und Einrichtung einer hochschulweiten E-Learning Plattform an der TH Wildau begann mit dem Infrastruktur-Projekt **Virtual Campus** und erfolgte danach im Zeitraum von Juni 2009 bis Juni 2010 in enger Zusammenarbeit mit dem Hochschulrechenzentrum unter dem Programmnamen **learn@wildau**. Ziel war es, die vielen Insellösungen der Hochschule durch eine einheitliche und supportgestützte E-Learning-Infrastruktur abzulösen, um damit eine technische Basis für die Online-Unterstützung der Lehre aller Fachbereiche im Direkt- und Fernstudium zu schaffen.

4.1 Die Lernplattform

Als Learning-Management-System (LMS) wird die Open Source Software Moodle verwendet, die von einer internationalen Community entwickelt und sowohl an Schulen als auch an Universitäten weltweit genutzt wird. Kernstück dieses LMS sind Kursräume, die für die Lehrenden mehr als 20 konfigurierbare Aktivitäten bereithalten, um den Lernprozess zu unterstützen. Dazu zählen u. a. eine umfangreiche Ressourcenverwaltung, Foren, Glossare, Wikis, Aufgaben, Tests, Datenbanken oder Blogs.

Seit dem Wintersemester 2009/10 läuft die Plattform im Normalbetrieb, wird vom Hochschulrechenzentrum der TH Wildau gehostet und durch **eine** wissenschaftliche Projektstelle mit studentischer Unterstützung als Support betreut.

4.2 Nutzung der Plattform

Eine Einschätzung der Nutzung und Funktionsweise der Moodle Plattform soll im Folgenden auf der Grundlage der anonymen Auswertung der Logdaten, Datenbankinhalten und Supportanfragen nachvollzogen werden. Grob unterscheiden lassen sich zunächst Aussagen über die Häufigkeit der Zugriffe auf die Lernmodule der Plattform (Aktivitäten), die einen Eindruck über die Intensität der Nutzung vermitteln. Um das Bild abzurunden, soll anhand der Zugriffsverteilung auf die verschiedenen Module ebenfalls nachvollziehbar gemacht werden, inwieweit bislang auch interaktive und kollaborative Funktionen der Plattform genutzt wurden.

Im Zeitraum vom Projektbeginn im Juni 2008 bis Ende des Sommersemesters 2010 wurden auf der E-Learning Plattform der TH Wildau insgesamt 1,25 Mio. Aktivitäten [3] geloggt.

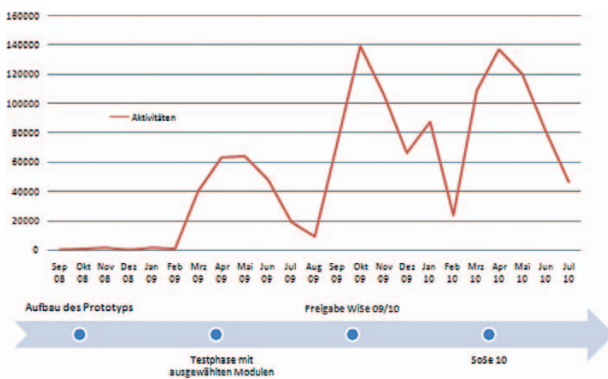


Abb. 2: Entwicklung der Zugriffe im Projektverlauf

Der Projektverlauf zeigt sich in der Entwicklung der Zugriffe (Aktivitäten) in Abb. 2: So waren in der Aufbauphase des Prototypen noch recht wenige Zugriffe zu verzeichnen. In dieser Phase wurde nur eine einzige Lehrveranstaltung zu Testzwecken durchgeführt. Im Sommersemester 2009 wurde die Testphase auf weitere 10 Kurse mit ca. 600 Studierenden ausgeweitet und entsprechend höhere Zugriffszahlen erzielt. Seit dem Wintersemester 2009/2010 ist die E-Learning-Plattform für alle Lehrveranstaltungen freigegeben und in die Phase des Normalbetriebes übergegangen. Die höchsten Zugriffszahlen sind bislang zu Semesterbeginn und die niedrigsten Zugriffszahlen in der vorlesungsfreien Zeit zu verzeichnen.

Bis zum Ende des Sommersemesters 2010 wurden insgesamt 3.088 Nutzer und Nutzerinnen registriert. Wird die Anzahl der Registrierungen um inaktive oder nur geringfügig genutzte Accounts bereinigt, wurde die Plattform von rund 2.100 Personen regelmäßig genutzt, die dort zwischen Januar und Juli 2010 durchschnittlich 289 Aktivitäten pro Kopf auslösten. Die gezählten Aktivitäten verteilten sich auf rund 319 aktive Kurse [4], wobei jeder Kurs durchschnittlich 2.722 Zugriffe (Aktivitäten) zu verzeichnen hatte. Damit wurde bislang ca. die Hälfte der Hochschulangehörigen im Bereich Lehre an der TH-Wildau erreicht. Im aktuellen Wintersemester 2010/2011 zeigt sich mit den Neumatrikulationen eine weitere deutliche Steigerung des Nutzeranteils. Insgesamt sprechen die reinen Zugriffszahlen dafür, dass sich die noch recht junge Plattform inzwischen an der TH Wildau etabliert hat und auch relativ intensiv genutzt wird.

Hinweise auf die Qualität der Nutzung finden sich in der Verteilung der Zugriffe auf die einzelnen Module (Aktivitäten), die sich grob zu den bereits genannten Kernfunktionen des E-Learnings zuordnen lassen. Seit Übergang in den Normalbetrieb im September 2009, ei-

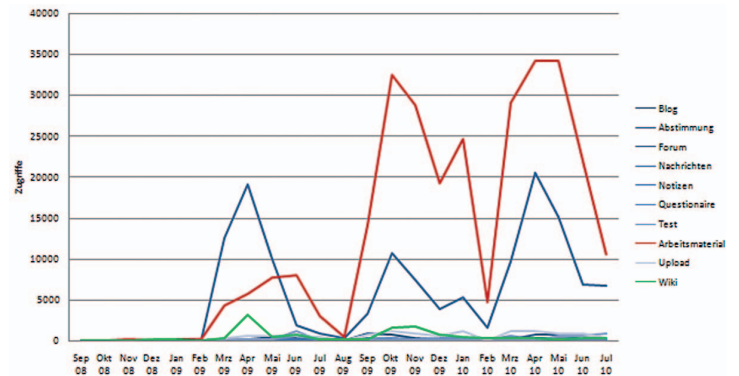


Abb. 3: Verteilung der Zugriffe nach Modul/Aktivitäten

ner wahrlich sehr kurzen Implementierungszeit, finden sich die höchsten Zugriffszahlen im Ressourcenmodul, d. h., der Bereitstellung und Nutzung von Arbeitsmaterialien (rote Linie in Abb. 3).

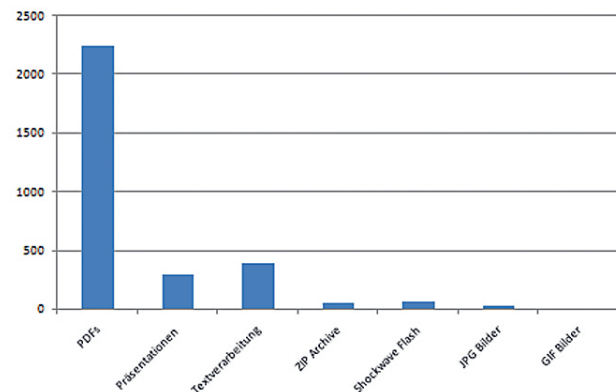


Abb. 4: Arbeitsmaterialien der Lernplattform

Bis Ende des Sommersemesters 2010 sind insgesamt 4.037 Arbeitsmaterialien und Verlinkungen auf externe Quellen bereitgestellt worden. Von den 3.077 Arbeitsmaterialien, die in Form von Dateien auf dem Server abgelegt wurden, stellen PDF-Dateien, Präsentationen und Dokumente der Textverarbeitung den Löwenanteil (vgl. Abb. 4). Die starke Nutzung des Ressourcenmoduls und das Übergewicht von digitalen Dokumenten aus der »Offline Welt« deuten auf **Learning by Distributing** als dominierende Nutzungsform der Plattform. Diese Nutzungsform hat durchaus Vorteile, da Learning by Distributing die Präsenzlehre durch die komfortable Bereitstellung von Lehrmaterialien entscheidend stützt, bedeutet aber trotzdem, dass die Potenziale der Interaktivität und des kooperativen Arbeitens noch nicht voll genutzt werden.

Die Nutzung des Ressourcenmoduls gibt ebenso Hinweise auf **Learning by Interacting**, da über das Ressourcenmodul auf insgesamt 67 Flash-Dateien mit interaktiver Funktionalität verlinkt wird. Die Plattform bietet

ferner interaktive Kurse, die über SCORM eingebunden sind und mit insgesamt 6.783 Zugriffen durchaus aktiv genutzt werden. Interaktion zeigt sich ebenfalls in der Nutzung der Upload-Funktion (12.162 Zugriffe), welche die Abgabe von Arbeitsleistungen der Studierenden erleichtert oder das Quiz-Modul (3.925 Zugriffe), das die Erstellung von Multiple Choice Tests ermöglicht.

Neben der dargestellten Nutzung des Ressourcenmoduls ist insbesondere die starke Nutzung der Diskussionsforen auffällig, was darauf hinweist, dass auch **Learning by Collaboration** auf der E-Learning-Plattform eine Rolle spielt (blaue Linie in Abb. 3). Die Nutzung kollaborativer Tools wie Blogs (4.717 Zugriffe) oder Wikis (11.571 Zugriffe) sind in dieser frühen Nutzungsphase nicht unerheblich, sodass davon auszugehen ist, dass die Potenziale der Kollaboration und Kommunikation über die E-Learning-Plattform bereits jetzt in einigen Lehrveranstaltungen Berücksichtigung erfährt.

Aus der Datenanalyse der Lernplattformnutzung an der TH Wildau sind deutliche Ansätze einer neuen Vielfalt an Lehr- und Lernformen zu erkennen. Um diese Ansätze weiter zu entfalten und damit eine neue Qualität der Lehre zu sichern, ist aktuell und zukünftig die systematische Einbindung von Blended Learning in unterschiedliche Lernszenarien zu unterstützen und zu entwickeln (vgl. Abb. 5).

5 Von der Präsenzlehre zum Blended Learning

5.1 Blended Learning als Veränderung der Lehrkultur und Lernformen

In den Projekten Virtual Campus und learn@wildau wurde mit der erfolgreichen Einführung einer E-Learning-Plattform die technische Infrastruktur als Voraussetzung für die Umsetzung innovativer Lehre geschaffen. Die aktuelle Nutzung der E-Learning-Plattform zeigt zwar, dass die interaktiven und kollaborativen Potenziale der Plattform schon in Ansätzen genutzt werden, aber von der Umsetzung neuer Lernformen in einem »Blended Learning Setting« noch nicht die Rede sein kann. Vor diesem Hintergrund wird die Erkenntnis bedeutsam, dass der konsequente Weg in das Blended Learning immer auch Innovationen in der Lehre einschließt und damit auch zu **Veränderungen in der Lehrkultur und der Lernformen** führen muss.

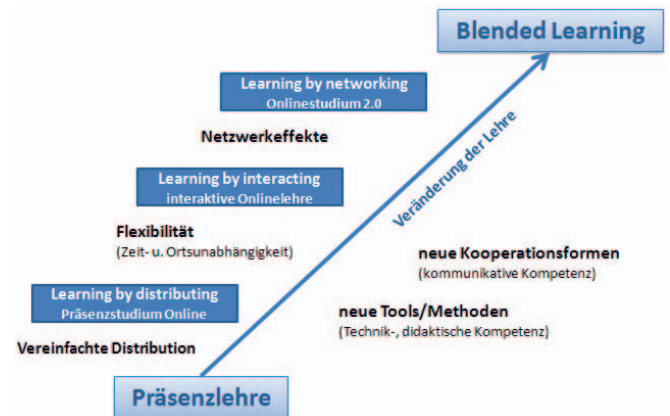


Abb 5 Die Stufen des Blended Learning

5.2 Potenziale des Internets als Impulsgeber und Voraussetzung

Ausgangspunkt sind die Potenziale des Internets, die vermittelt durch eine Lernplattform zum Impulsgeber und zur Voraussetzung für neue Lernformen werden können. Die Hauptfunktionen des E-Learning lassen sich als hierarchische Stufen des Blended Learnings darstellen, wobei mit jeder Stufe besondere Potenziale, aber auch besondere Anforderungen an Lehrende und Studierende verbunden sind (vgl. Abb. 5).

Learning by Distributing stellt in dieser Hierarchie die einfachste Variante des E-Learning dar, die auch die traditionellen Lernformen unberührt lässt, solange die Bereitstellung der Materialien in klassischer Rollenverteilung durch die Lehrenden und die Nutzung (bzw. der Download) durch die Studierenden erfolgt (Präsenzstudium Online). Die Möglichkeit der kostengünstigen und einfachen Verteilung von Lernmaterialien kann jedoch ebenso andere Lernparadigmen unterstützen, wenn Learning by Distributing für Gruppen- und Projektarbeit genutzt wird. Bereits auf dieser Stufe werden besondere – nicht als selbstverständlich voraussetzende – Anforderungen an das Qualifikationsprofil der Lehrenden und Studierenden gestellt. So müssen beide Zielgruppen mit den wichtigsten Funktionen der E-Learning-Plattform vertraut sein. Die Bereitstellung von Lehrmaterialien stellt zudem die Lehrenden vor das Problem, Digitale- oder Printmedien der Offlinewelt für die Onlinewelt aufzubereiten und auf der Plattform in eine sinnvolle Kursstruktur zu bringen. Mit dem aktuellen Supportangebot der Lernplattform kann dieser Level der didaktischen Infrastruktur durch Video-Tutorials, Kurzschulungen sowie Telefon oder E-Mail-Support weitestgehend abgedeckt werden.

Mit dem Level des **Learning by Interacting** werden bereits die interaktiven Potenziale eines Online-Angebotes genutzt. Der Gewinn liegt in der größeren Zeit- und Ortsunabhängigkeit, was insbesondere bei berufsbegleitenden Bildungsangeboten aber auch für ein familienfreundliches Studieren Vorteile bietet. Zeit- und Ortsunabhängigkeit bedeutet allerdings, dass die Lehrenden und Lernenden mit einer veränderten Kursorganisation und der Nutzung interaktiver Tools konfrontiert werden, die nicht nur beherrscht, sondern auch in einen didaktischen Rahmen eingebettet werden müssen.

Mit dem Level des **Learning by Collaboration** erschließen sich die Netzwerkeffekte des Online-Lernens. Dieser Level ist nicht nur mit besonderen Tools, sondern auch mit besondere Lernformen und Methoden verbunden, die einen Bruch mit der an Hochschulen tradierten Lehre darstellen. Learning by Collaboration knüpft in der Regel an neuere didaktische Konzepte an, die nicht auf Frontalunterricht, sondern auf aktivierende Lernformen setzen. In der Hochschullehre würde das bedeuten, dass beispielsweise die Vorlesung als klassische Lernform zugunsten projektorientierter Konzepte wie **Work-Based Learning** oder **Problem-Based Learning** zurückgedrängt wird. Inspiration und Anregung wird zudem im kollaborativen Arbeiten des »Mitmach-Web« gesucht [5], das als innovativer Weg in das lebenslange Lernen bereits diskutiert wird und seine Anhänger findet. Es gilt dabei, Lernende aus der Rolle des passiven Konsumenten in die Rolle des aktiv Gestaltenden zu heben und diesen Lernprozess kritisch zu begleiten. Unter dem Begriff »Social Media« zusammengefasst, sollen die aktiv Gestaltenden in »Communities« die Lernprozesse zu mehr Transparenz, Offenheit, Partizipation und Kollaboration führen. (Scholl u. a. 2010) In der Freizeit beteiligen sich bereits viele Studierende an Social Media Plattformen wie StudiVZ oder Facebook und lernen darüber intuitiv und informell. In Unternehmen ist Social Media Kommunikation – trotz mangelhafter Strategieentwicklung und oft fehlender Guidelines – aktuell und auch zukünftig ein bedeutendes Thema (Fink et al. 2010), und selbst moderne Verwaltungen kommen mit Government 2.0/ Open Government daran nicht vorbei (Appel 2010). Daher ist anzunehmen, dass die zukünftigen Arbeitgeber unserer Absolventen neben Fachkompetenz und Soft Skills auch Fähigkeiten und Fertigkeiten im Bereich von Social Media erwarten.

5.3 Blended Learning als Transformation der Hochschullehre

Eine BL-Strategie beinhaltet neben der Didaktik auch die Organisationsstrukturen und Abläufe, die den Rahmen und Weg in eine neue Qualität der Lehre beschreiben. In der Hochschullehre und daran anknüpfender Angebote geht es in der Regel um die Transformation der Einzelmodule eines Studienganges vom Offline-Modul zum Blended-Learning-Modul.

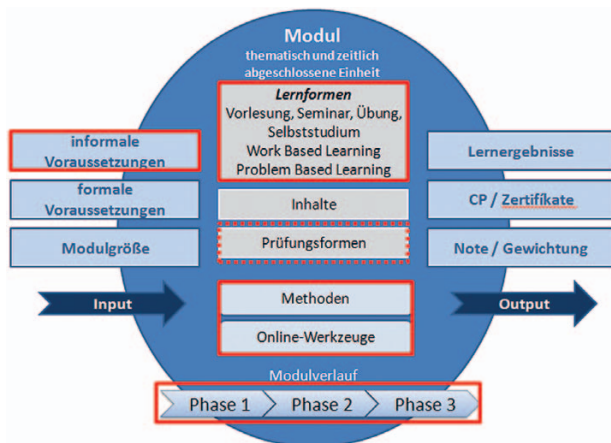


Abb. 6: Ansätze der Transformation im Studienmodul, Quelle: (Achterberg u. a. 2010)

Der Transformationsprozess berührt nicht alle Elemente eines Moduls: Konstant bleiben in der Regel die formalen Festlegungen eines Moduls, wie die fachlichen Voraussetzungen, die Gewichtung der Note oder die Anzahl der Creditpoints. Unberührt bleiben auch die Inhalte und die Lernergebnisse. Gegenstand des Transformationsprozesses ist und zur Disposition steht hingegen der Modulverlauf, die Lernformen, Methoden und Werkzeuge. Dies berührt zusätzlich das Qualifikationsprofil der Lehrenden und Studierenden. (rot umrandete Bereiche der Grafik, Abb. 6):

- **Modulverlauf:** Die Umsetzung von Blended Learning bietet die Chance, die orts- und zeitgebundenen Teile der Präsenzveranstaltung durch Online-Angebote zu ersetzen. Die auf das Vollzeitstudium mit wöchentlichen Präsenz-Veranstaltungen und fester Wochenstundenzahl ausgerichteten Studienmodule können auf diese Weise flexibilisiert werden, sodass über diese Module auch berufsbegleitende Angebote für neue Zielgruppen erschlossen werden können. Flexibilisierung ist jedoch in der Regel mit einer Veränderung des Modulverlaufs verbunden. In der Gestaltung des Modulverlaufs müssen die Abfolge und Verteilung von Online- und Präsenzzeiten, sowie die Betreu-

ungsmodalitäten neu festgelegt werden. Ein großes Potenzial der Online-Lehre besteht somit in flexiblen Angeboten mit veränderten Präsenzzeiten.

- **Lernformen:** Mit der Ergänzung oder Ersetzung von Präsenzzeiten stehen gleichsam die klassischen, auf die reine Präsenzlehre zugeschnittenen Lernformen wie Vorlesung, Seminar oder Übung zur Disposition. Weil die angestrebten Lernergebnisse eines Moduls unabhängig von der gewählten Lernform sind, bleiben die Lernziele eines Studienmoduls davon unbeeinträchtigt. Um jedoch die Potenziale des Online-Lernens im Sinne einer Nachhaltigkeit für alle Lerntypen auszuschöpfen, sollten die Lernformen im Sinn von BL modifiziert werden.
- **Methoden und Werkzeuge:** Mit der Ergänzung und Ersetzung von Teilen der Präsenzlehre durch Formen der Online-Lehre ist die Nutzung von Online-Werkzeugen und spezieller Methoden verbunden, die eine optimale Verbindung von Präsenz- und Onlinelehre erst möglich machen. Gefordert ist, technische Kompetenz und zusätzliches Methodenwissen in der Anwendung der Online-Werkzeuge integrativ einzubinden.
- **Qualifikationsprofil:** Die Nutzung von Online-Medien zwingt die Lehrenden dazu, das auf die klassische Präsenzlehre abgestimmte Methodenrepertoire um methodische Elemente zu erweitern, die auf die Online-Lehre abgestimmt sind. In Abhängigkeit von den verwendeten Methoden und Online-Tools erfordert die konsequente Nutzung der Online-Medien ebenfalls zusätzliche kommunikative und technische Kompetenzen. Die Erweiterung des Qualifikationsprofils betrifft nicht nur die Lehrenden, sondern auch die Studierenden/Lernenden, da der Einsatz von Online-Medien und selbstorganisierter Lernformen erhebliche Anforderungen stellt.

In der Konsequenz fordert die erfolgreiche Umsetzung eines BL-Konzeptes, eine umfangreiche technische und didaktische Unterstützung inklusive benutzerfreundlicher Schnittstellen, der Bereitstellung eines Methodenpools, Erfahrungsberichten und vielfältigen Möglichkeiten der Diskussion und des Austausches.

5.4 Herausforderungen beim Aufbau einer didaktischen Infrastruktur

Der Aufbau einer didaktischen Infrastruktur soll helfen, die Potenziale und Kommunikationswerkzeuge des Internets über neue Lernformen und Methoden in eine neue Qualität der Lehre zu führen. Die Qualität

der Lehre ändert sich dabei in den Lernformen, Methoden, Kooperationsstrukturen und der Kursorganisation unter Beibehaltung der ursprünglichen Lernziele. Anders formuliert, die Studierenden erwerben unter einer BL-Strategie dasselbe Fachwissen und dieselben Fachfähigkeiten auf gleichem Niveau, jedoch mit *zusätzlichen* Lerneffekten und Fertigkeiten sowie mit allen Vorteilen der orts- und zeitunabhängigen Online-Lehre. Eine didaktische Infrastruktur, muss für den Transformationsprozess von der klassischen Präsenzlehre zum Blended Learning die Voraussetzungen schaffen und die dazu notwendigen Mittel bereitstellen. In Anlehnung an die Stufen und Funktionen des E-Learnings und den Ansatzpunkten der Transformation in der Hochschullehre stellt sich die Anforderungen und Elemente einer didaktischen Infrastruktur wie folgt dar (vgl. Abb. 5):

- Mit jeder Stufe der Hauptfunktionen des E-Learnings wächst das Potenzial des Online-Lernens von der vereinfachten Distribution von Lernmaterialien bis hin zur Flexibilisierung durch die Zeit und Ortsunabhängigkeit interaktiver Angebote oder der Nutzung von Netzwerkeffekten im kollaborativen Lernen.
- Mit jeder Stufe steigen gleichzeitig der Änderungsbedarf im Modulverlauf, in der Auswahl der Lernformen sowie der Bedarf an neuen Methoden und Werkzeugen.
- Mit jeder Stufe steigen infolgedessen die Anforderungen an das Qualifikationsprofil der Lehrenden und Lernenden sowie an die Selbst- und Gruppenorganisation.

Bei der Einführung von Blended Learning handelt es sich um einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess, dessen Pilotprojekte und Best Practice Beispiele in einer *Strategie* für den notwendigen Aufbau einer didaktischen Infrastruktur mündet. Die organisatorische Etablierung von Blended Learning sollte gemeinsames Ziel sein auch wenn der Aufbau einer didaktischen Infrastruktur zusätzliche Ressourcen und Anstrengungen erfordert, die durch den technischen Support allein nicht geleistet werden können.

Im Zuge dieses Wandels der Hochschullehre wird es auch zu einer Rollenveränderung der Lehrenden und Lernenden kommen. Für die Lehrenden wird dies – zumindest anfangs – mit Mehrarbeit verbunden sein, sei es für die Entwicklung neuer didaktischer Konzepte oder sei es für die Erstellung onlinegerechter Lernmaterialien. Das kann nur gelingen, wenn die Lehrenden durch eine organisatorisch eingebettete didaktische In-

frastruktur praktische Hilfe und Unterstützung bekommen. Voraussetzung dafür ist deren flächendeckende institutionelle Einbindung an der Hochschule, die Raum für die begleitende Entwicklung weiterführender Strategien schafft. Dabei sollte die BL-Strategie bis auf die Frage der Anrechenbarkeit für Lehrende operationalisiert und beantwortet werden.

5 Fazit und Ausblick

Wie radikal muss Blended Learning umgesetzt werden, um in der Hochschullandschaft und am Markt bestehen zu bleiben? Welche Anwendungsbereiche eignen sich besonders dazu, Blended Learning Settings zu entwickeln? Wie sehen sinnvolle Konzepte der einzelnen BL-Ausprägungen (z. B. problembasiert, projektbasiert oder aktionsbasiert) konkret für die einzelnen Studiengänge der TH Wildau aus? Welche Fähigkeiten und Fertigkeiten müssen Lehrende und Lernende entwickeln, um in ihren neuen Rollen bestehen zu können? Diese Fragen und die Beschreibung des Prozesses von der Präsenzlehre zum Blended Learning zeigen, dass ein solches Vorhaben ernsthafter Anstrengungen aller Seiten bedarf und eine deutliche Veränderung der Lernkultur notwendig macht, die Überzeugungsarbeit erfordert. Zusätzlich bedarf es verstärkter Kleingruppenarbeit und anderer Raumnutzungen, die organisiert werden müssen, und sicherlich erweiterter personeller Ressourcen zur technischen und didaktischen Unterstützung. Insofern verwundert es nicht, dass erfolgreiche BL-Konzepte mit einer organisatorischen Strategieentwicklung einhergehen müssen, wenn man die Umsetzung einer neuen Qualität der Lehre ernst nimmt.

Im Juni 2010 wurde zur Unterstützung das **Wildau Institut für innovative Lehre, lebenslanges Lernen und gestaltende Evaluation (WILLE)** unter dem Dach des TWZ e.V. gegründet. Zweck des Instituts ist die Förderung des lebenslangen Lernens und die Verbesserung der Lehr- und Lernqualität unter Einsatz innovativer Lehrmethoden und Technologien. Ziel ist die Umsetzung und Institutionalisierung von Blended Learning in der Hochschullehre und akademischen Weiterbildung sowie in ausgewählten Anwendungsfeldern der beruflichen Fortbildung. Das Institut fördert und betreibt zu diesem Zweck die wissenschaftlich fundierte Forschung, Entwicklung und Evaluation innovativer Lernkonzepte, die eine didaktisch sinnvolle Verknüpfung von traditioneller Präsenzlehre und modernen

Formen des Online-Lernens (Blended Learning) anstreben. Das Institut nimmt darüber hinaus Informations-, Weiterbildungs- und Beratungsaufgaben für den akademischen und berufspraktischen Nachwuchs in und außerhalb der Region wahr. Das Institut arbeitet mit Hochschulen, Ministerien, Behörden, Unternehmen, Verbänden, Kommunen, Weiterbildungsträger und anderen Institutionen, insbesondere der Technischen Hochschule Wildau [FH] und ihren Kooperationspartner, eng zusammen. Zielgruppen sind u. a. Hochschullehrende, freie Dozenten, Weiterbildungseinrichtungen und berufstätig Lernende aus allen Bereichen. Das Institut verfolgt gemeinnützige Ziele und Zwecke und strebt deshalb nur die Deckung der entstandenen Kosten an.

An der TH Wildau selbst wird in dem Zielvereinbarungsprojekt »Service Point Qualifizierung– Blended Learning als Schlüssel zwischen Beruf und Aus- bzw. Weiterbildung am Beispiel der Logistik« mit einer wissenschaftlichen Mitarbeiterstelle den Entwicklungsaspekten eines »Blended Learning Settings« nachgegangen. Hier wird versucht, die notwendige Strategie zur hochschulweiten Einführung von Blended Learning mit konkreten Konzepten aufzuzeigen und beispielhaft in der Logistik umzusetzen. Unser Beitrag verdeutlicht die dahinterliegende Komplexität und die knappen personelle Ressourcen. Auch sind keineswegs alle Fragen hinsichtlich der Akzeptanz und Anrechnung geklärt. Die TH Wildau kommt trotzdem voran, vor allem wegen der professionellen Kompetenz der Projektmitarbeiter und der Synergieeffekte durch weitere Drittmittelprojekte.

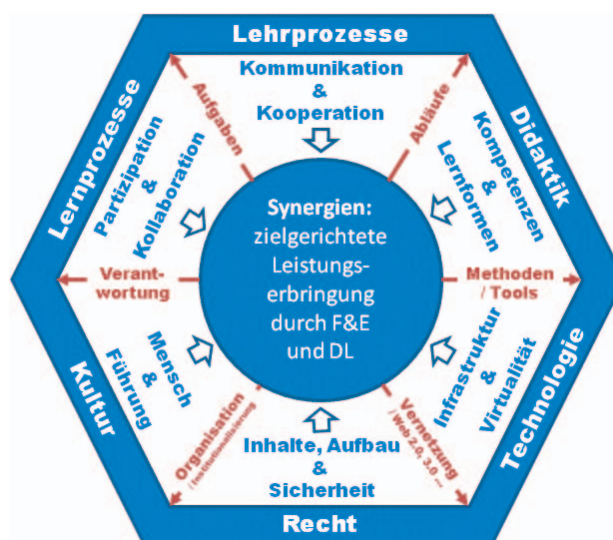


Abb. 7: Gesamtkonzept zur neuen Qualität in der Lehre

Die Abb. 7 fasst das bisher von den Autorinnen entwickelte Gesamtkonzept in seinen vielfältigen Aspekten und synergetischen Potenzialen zusammen: Neben den bereits im Artikel angesprochenen Lehr- und Lernprozessen, der Didaktik und der Technologie fließen in dieser Darstellung auch Aspekte der (Lern-/Lehr-) Kultur und des Rechts ein, die gesondert zu behandeln sind. Mit den dargestellten Wechselwirkungen versucht die Abbildung den Ausblick auf die zukünftigen Anforderungen grafisch zu fassen. Im Mittelpunkt der Abb. 7 stehen die Synergieeffekte durch Forschung und Entwicklung (F&E) in (Drittmittel-) Projekten und die Erfahrungen aus den angebotenen Dienstleistungen (sowohl innerhalb der Direkt- und Fernstudiengänge als auch z. B. über das Institut WILLE). In diese Aktivitäten fließen alle bisherigen Überlegungen zu einer BL-Strategie ein (blau-weiße Pfeile in Abb. 7) und werden in den Forschungsprojekten untersucht, für Aus-, Fort- und Weiterbildung weiterentwickelt und in Piloten getestet sowie konkret gestaltet.

Eine BL-Strategie der höchsten Stufe (vgl. Abb. 5) umfasst nach Abb. 7 (im äußeren Rand angeordnet) integrativ die Lehr- und Lernprozesse mit Kommunikation und Kooperation der Lehrenden sowie Partizipation und Kollaboration der Lernenden. Zunehmend wird dazu die Lernkultur einer Organisation zu hinterfragen sein, die den lernenden Menschen in seiner Wissensentwicklung unterstützen soll und neue Anforderungen an die Führungskräfte stellen wird. Die technologische Infrastruktur als Basis neuer Virtualität muss flankiert werden durch einerseits die Einhaltung und Ausgestaltung rechtlicher Aspekte einer umfassenden Informationssicherheit (wie IT-Sicherheitsmaßnahmen, Datenschutz und Datensicherheit, Urheberrecht, Regelungen etc.) und andererseits durch eine bereits beschriebene didaktische Infrastruktur, die die Entwicklung der didaktischen Kompetenzen der Lehrenden und den Einsatz der vielfältigen Lernformen unterstützen hilft, indem aus der Forschung & Entwicklung heraus Beispiele passender Abläufe, mit nutzbaren Methoden und Tools für die Praxis zur Verfügung gestellt werden. Damit werden die im Artikel besprochenen »Blended Learning Settings« konkret machbar, die Verantwortlichkeiten der Akteure zur Aufgabenbewältigung verdeutlicht und die Abläufe modernisiert.

Diese perspektivische Anforderungsdarstellung (Abb. 7) im Blick sollten an der TH Wildau die nächsten konkreten Umsetzungsschritte verstärkt der institutionellen Stärkung einer didaktischen Infrastruktur gewidmet werden.

Anmerkungen

- [1] Aufstieg durch Bildung – die Qualifizierungsinitiative der Bundesregierung: Bildungsgipfel am 22. Oktober 2008 in Dresden. Auf dem Bildungsgipfel haben Bund und Länder Aktivitäten zur Förderung und Unterstützung von Bildung über den gesamten Lebensweg von der frühkindlichen Bildung bis zur Weiterbildung im Beruf vereinbart.
- [2] Das COMBLE Projekt wurde bereits im Rahmen der Wissenschaftlichen Beiträge vorgestellt. (Niemczik et al. 2008) <http://www.comble-project.eu>, 15.09.2010.
- [3] Die Aktivitäten der Administratoren/innen sind in dieser Zahl bereits herausgerechnet.
- [4] Auch diese Zahl ist um Kurse mit niedrigen Zugriffszahlen bereinigt, gezählt wurden nur Kurse mit mehr als 30 Zugriffen.
- [5] Berger, A. (2007), »Mitmach-Web als Millionärsgarantie« im Stern, <http://www.stern.de/digital/online/verkauf-von-facebook-anteilen-mitmach-web-als-millionaersgarantie-601046.html>, 12.09.2010

Literatur

- Achterberg, B., Büschenfeldt, M. und Vossel, M. (2010): Modularisierung, HDL Fachtagung.
- Appel, J. (2010): »Web 2.0 – und die Chancen für die öffentliche Verwaltung in Blogs, Podcast, Social Networks und Co.«, Entwicklung eines Leitfadens, Diplomarbeit, FB WVR, Studiengang Verwaltung und Recht, TH Wildau.
- BMBF (2008): Lebenslanges Lernen, <http://web.archive.org/web/20080822031749/http://www.bmbf.de/de/411.php>, Zugriff 02.09.2010
- Fink, S., Zerfaß, A. (2010): Social Media Governance 2010, Universität Leipzig / Fink & Fuchs PR, <http://www.socialmediagovernance.eu>, Zugriff 15.8.2010.
- Hof, C. (2009): Lebenslanges Lernen: Eine Einführung, Kohlhammer, Stuttgart.
- Kepser, M. (2010): E-Learning an der Hochschule. In: Neue Impulse in der Hochschuldidaktik, Springer, <http://beat.doebe.li/bibliothek/t12006.html>, Zugriff 07.09.2010.
- Niemczik, C., Brenstein, E. und Scholl, M. (2008): COMBLE: Community of Integrative Blended Learning Experts“, Wissenschaftliche Beiträge 2008, 87-93.
- Sauter, A., Sauter, W., Bender, H. (2004): Blended learning: effiziente Integration von E-Learning und Präsenztraining, 2., überarb. Auflage, Luchterhand, Unterschleißheim/München.
- Scholl, M., Brenstein, E. und Niemczik, C. (2008): Ready for Blended Learning? – Ein ganzheitlicher Ansatz. In: 5. Beckmannkolloquium, Wismar, 2008, http://www.comble-project.eu/Plone/whatmore/DISS-Conference-Paper-Ready-for-BL.pdf/at_download/file, Zugriff 06.09.2010.

- Scholl, M., Niemczik, C. und Büschenfeldt, M. (2010): Learning Communities im Web 2.0 am Beispiel von Methopedia – Inspirationen für die Lehre?, *Wissenschaftliche Beiträge 2009/2010*, 23-32.
- Schulmeister, R. (2005): Kriterien didaktischer Qualität im ELearning zur Sicherung der Akzeptanz und Nachhaltigkeit. In: Euler, D.: *E-Learning in Hochschulen und Bildungszentren.*, Oldenbourg, München, <http://www.google.de/firefox?client=firefox-a&rls=org.mozilla:de:official>, Zugriff 07.09.2010

Autoren

Prof. Dr. Margit Scholl

Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik
FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
Technische Hochschule Wildau [FH]
margit.scholl@th-wildau.de, www.th-wildau.de/scholl

Dipl.-Soz. Maika Büschenfeldt

Projektmitarbeiterin Projekt learn@wildau
(Zentrale Lernplattform Moodle)
FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
Technische Hochschule Wildau [FH]
maika.bueschenfeldt@th-wildau.de

Studierende aus Russland an der Technischen Hochschule Wildau – Lernsituation und Anpassung an das Lernumfeld ^[1]

Olga Rösch, Bettina Strewe

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel hat einige Bereiche der Lernsituation Studierender aus Russland an der Technischen Hochschule Wildau [FH] (University of Applied Sciences) zum Thema. Es geht hierbei hauptsächlich um die Bewertung des Studienaufenthalts und der Lernsituation aus der Perspektive von Studierenden aus Russland, darunter auch von Austauschstudierenden. Die Ausführungen stützen sich auf eine kleine Umfragestudie, die unter der o.g. Zielgruppe an der TH Wildau [FH] durchgeführt wurde.

Abstract

The present article deals with the learning situation of students from Russia presently studying at University of Applied Sciences Wildau as regular or guest students. The focus is mainly on how students from Russia value the study period resp. study visit in Wildau concerning learning situation and learning context. The results are based on a small survey that was carried out among the above mentioned target group.

1 Einige themenrelevante Daten

Die Technische Hochschule Wildau [FH] – i. f. TH Wildau genannt – ist eine seit 1991 [2] bestehende Hochschule südöstlich von Berlin mit 23 Studiengängen im Direktstudium und sechs Fernstudiengängen in technischer und verwaltungstechnischer Ausrichtung (<http://www.th-wildau.de/vor-dem-studium/hochschule/fakten.html> – 24.06.2010). Den größten Fachbereich stellt das Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen mit mehreren technisch orientierten Studiengängen. Die Gesamtstudierendenzahl betrug nach Angaben der TH zu Beginn des Wintersemesters 2009 10.3954 Studierende.

1.1 Ausländische Studierende in Wildau

Die TH Wildau legt auf die Kooperation mit ausländischen Hochschulen großen Wert. Dies spiegelt sich deutlich in der stetig steigenden Anzahl ausländischer Studierender an der TH Wildau.[3] Die Kontakte zu Hochschulen im Ausland beziehen sich dabei aus der Tradition heraus zum einen überwiegend auf Ost- und Südosteuropa, haben sich allerdings in den letzten Jahren auch auf Lateinamerika und den arabischen Raum erweitert. Es besteht eine Zusammenarbeit mit etwa 20 ausländischen Hochschulen. Viele ausländische Studierende besuchen die TH Wildau im Rahmen

des DAAD und des SOKRATES/ERASMUS-Programms. So kamen zu Beginn des WS 2009/2010 von insgesamt 3954 Studierenden 8,7% aus dem Ausland, in absoluten Zahlen 344 Studierende.[4] Ein Teil dieser Gäste wiederum kommt als Austauschstudierende aus Russland. Zudem studieren an der TH Wildau zahlreiche Russlanddeutsche als regulär eingeschriebene Studenten.[5]

1.2 Veränderungen durch den Bologna-Prozess

Die zunehmend internationale Ausrichtung von Hochschulen in den letzten Jahren und der Austausch von Studierenden vieler europäischer Länder untereinander [6] ist auch durch den so genannten Bologna-Prozess möglich, der sich zum Ziel setzt, das Zusammenwachsen Europas auch auf Hochschulebene zu fördern und die Mobilität europäischer Studierender innerhalb Europas zu erleichtern (Bologna-Erklärung 1999).[7] Auch an der TH Wildau sind in den letzten Jahren Studiengänge und Studieninhalte den Vorgaben des Bologna-Prozesses angepasst worden.

In der so genannten »Bologna-Erklärung« wurde 1999 in der italienischen Universitätsstadt Bologna die Absicht festgeschrieben, einen so genannten »Europäischen Hochschulraum« zu schaffen, der neben einem vergleichbaren Bachelor-Master-System ein europäisches System zur Anrechnung von Studienleistungen

sowie die unkomplizierte Mobilität von Studierenden im Europäischen Hochschulraum ermöglichen soll, damit diese von Auslandsaufenthalten an Hochschulen außerhalb ihres Heimatlandes uneingeschränkt profitieren können (s. Bologna-Erklärung 1999 [8]).

2 Stellenwert von Lehre und Lernen

Als ein bedeutender Aspekt für den erfolgreichen Fortgang des Bologna-Prozesses wird die »Verbesserung von Lehre und Lernen« im europäischen Hochschulraum (s. Leuvenener Communiqué 2009: 1 und 4, Adam 2010: 23, »Learning is not a spectator sport!« Önderoglu 2010: 23) sowie das Bestreben von »studierendenzentriertem Lernen« (Erklärung von Budapest und Wien zum Europäischen Hochschulraum 2010: 2) benannt. Letztere Zielsetzung wirft auch die Frage auf, wie es um die Orientierung auf die Studierenden in den einzelnen Ländern bestellt ist, was darunter zu verstehen sei und wie – auch aus interkultureller Perspektive – etwa in stärker hierarchisch orientierten Kulturen studierendenzentriertes Lernen in das kulturelle Verständnis integriert werden kann.

Bei aller Bereicherung eines Auslandssemesters oder -jahres beschreiben in der Tat viele Gaststudierende Lernverhalten, Lerngewohnheiten und Studienorganisation in Deutschland als von deren Heimatland erheblich abweichend. Auch Beobachtungen von Dozentinnen und Dozenten lassen vermuten, dass sich Studierende aus verschiedenen Ländern in den Hochschulveranstaltungen bezüglich ihrer Lerngewohnheiten anders verhalten als Studierende, die in Deutschland lernsozialisiert wurden.

Aufgrund dieser Beobachtungen wird im vorliegenden Beitrag die Frage gestellt, wie Studierende aus Russland ihr eigenes Lernverhalten im Kontext ihres Studiums in Deutschland einschätzen.

Studien und Untersuchungen der letzten Jahre zu diesem Thema zeigen, dass in der Tat Unterschiede im Lernverhalten, in der Lernsozialisation, im Lernstil etc. beobachtet werden (Barmeyer 2005; Bongards/Stumpf/Leenen 2008; Queis 2009; Koptelzewa 2009). Anscheinend nicht immer fällt ausländischen Studierenden der Eingliederungsprozess hinsichtlich ihres Lernerfolges leicht. Oft scheint das Verstehen fremder Lernstrategien und die Adaption an diese sogar so viel Energie zu binden, dass gerade Austauschstudierende – wenn überhaupt – erst am Ende ihres Gastaufenthal-

tes in Deutschland einen Lerngewinn erzielen können (s. Kap. 4).

In diesem Zusammenhang wird nun thematisiert, wie sich der Lernprozess aus Sicht der Betroffenen darstellt und welche Wünsche russische Studierende an der TH Wildau hinsichtlich einer besseren Unterstützung zur Erleichterung ihres Studienaufenthaltes seitens der Gasthochschule äußern. Daraus kann gefolgert werden, wie den aus Russland stammenden Studierenden im Studium bessere Unterstützung gewährt werden könnte, um vor allem den Lernprozess zu erleichtern und Lernerfolge sichern zu helfen.

3 Umfrage unter Studierenden aus Russland

Um möglichst authentische und konkrete Aussagen zum Thema »Lernsituation« treffen zu können, wurden 12 Studierende aus Russland zu ihren Eindrücken und Erfahrungen während ihres Studienaufenthaltes an der TH Wildau schriftlich befragt.[9] Diese geringe Befragtenzahl kann natürlich nicht als repräsentativ gelten, ihre Meinung kann jedoch als Indikator für Aussagetendenzen gewertet werden. Im Folgenden sollen die Auswertung der Umfrage und ihre Ergebnisse vorgestellt werden. Es handelt sich dabei nicht um eine Evaluation der Lehrveranstaltungen seitens der Zielgruppe, sondern geht vielmehr darum, das Befinden der Studenten zu erfassen und sowohl positive Erfahrungen als auch mögliche Anpassungsschwierigkeiten während des Studienaufenthaltes an einer deutschen Hochschule aus Sicht der Betroffenen darzustellen. Die gewonnenen Daten können als Anregung für weitere Überlegungen zur Optimierung von zukünftigen Studienaufenthalten von Austauschstudenten dienen.[10]

Die Informanten wurden zu mehreren Themenbereichen befragt. In der folgenden Teilauswertung wird der Schwerpunkt auf das Thema Lernsituation gelegt [11] Dabei liegt die Konzentration auf drei Aspekten:

- Beobachtungen während der Studienzeit an der TH Wildau
- eigene Schwierigkeiten
- Empfehlungen für das Auslandsstudium.

Die Studierenden konnten die auf Deutsch gestellten Fragen wahlweise auf Deutsch oder Russisch beantworten.

3.1 Bewertung des Lehr- und Lernstils an der TH Wildau im Verhältnis zur Heimathochschule [12]

Der »Lehrstil (ist) total anders als in meiner Universität« ist eine weitgehend übereinstimmende Aussage der Befragten der Gruppe der Austauschstudierenden und wird meist als attraktiv und interessant empfunden: »...материал предоставляется в максимально понятной форме: много наглядных материалов, презентации к лекциям и, конечно, практические занятия.« Das heißt: »Der Lernstoff wird in einer absolut verständlichen Form präsentiert: es wird viel veranschaulicht, die Vorlesungsfolien werden in schriftlicher Form zur Verfügung gestellt und vor allem gibt es praktische Übungen.«

Von allen Studierenden werden Professionalität der Dozenten und gute Vorbereitung sowie der Praxisbezug zum Beruf positiv hervorgehoben.

Hier sei angemerkt, dass die Studierenden aus Russland neben der Lernstoffverarbeitung auch noch eine mentale Umstellung vollziehen müssen. In ihrer Sozialisation als Studierende waren sie bis dato gewohnt, eher theoretischen Lernstoff aufzunehmen, sich einzuprägen und bei Bedarf zu reproduzieren. Zugespitzt wurde diese Studienkultur osteuropäischer Prägung von v. Queis (2009: 55) wie folgt beschrieben: »Denke nicht, sondern schreibe mit, lerne auswendig und bestehe die Prüfung«. Dagegen wird an deutschen Fachhochschulen theoretisches Wissen in Verknüpfung mit praktischen Vorgehensweisen »mit vielen Übungen und aktivem Experimentieren« (Bongards/Stumpf/Leenen 2008: 213), d. h. in Anwendung dargeboten. Aktives Selbststudium wird dabei vorausgesetzt. Diese – offenbar für viele Studierende aus Russland neue – Lernsituation führt anfänglich meist zu Verunsicherung.

Auf die Frage danach, welchen Lehrstil die Studierenden bevorzugen, gibt es einen deutlichen Unterschied in den Antworten. Während Austauschstudierende zu drei Vierteln die Vorlesung bevorzugen, sehen länger in Deutschland Studierende aus Russland Vorteile in verschiedenen Lehrstilen: die jeweiligen Vorzüge sowohl von Vorlesungen als auch Einzel- und Gruppenarbeit bzw. Präsentationen werden mit Anschaulichkeit begründet und damit, dass Lernen in der Gruppe einprägsamer sei. »In den Vorlesungen erklären sie, nicht diktieren, deswegen konnten wir etwas verstehen, nicht nur schreiben.« Der Lernstoff würde anhand zahlreicher Beispiele erklärt.

In der Gruppenarbeit würden laut Befragtenangaben Studierende aus Russland auch durch Dozenten ermutigt, sich mit deutschen Studierenden zu mischen. So wird der Versuch unternommen, Sprachbarrieren durch den aktiv gesuchten Kontakt in der Gruppe zu überwinden und damit Sicherheit in der Fremdsprache als auch Lerninhalte und Selbstvertrauen zu stärken. Andere Befragte äußern allerdings sprachliche Schwierigkeiten bis hin zu Sprachbarrieren mit der Konsequenz, keinen Kontakt zu deutschen Studierenden aufbauen zu können. Sowohl der Lerneffekt als auch soziale Aspekte werden als Vorteile von Gruppenarbeit immer wieder hervorgehoben, auch Eigeninitiative werde bestärkt (»man ist gezwungen, selber etwas zu tun«). Als vorteilhaft wird auch die Erlangung sozialer Kompetenzen durch Gruppenarbeit und deren Bedeutung für die berufliche Nutzung erkannt.

Unterschiede im Lehr- und Lernstil im Verhältnis zur Heimatuniversität wurden auch in Zusammenhang mit der Atmosphäre und dem Kontakt zu Dozenten gebracht. Es herrsche eine »sehr entspannte Atmosphäre im Unterricht« und die »Dozenten waren besonders aufmerksam auf ausländische Studenten«.

3.2 Aussagen zur Prüfungsform

Im Hinblick auf Prüfungen äußerten alle befragten Austauschstudierenden, dass in Deutschland vorwiegend schriftliche Prüfungen durchgeführt würden, was für russische Studierende ungewohnt erscheint, da an russischen Hochschulen überwiegend mündlich geprüft wird. Gleichwohl wurde die schriftliche Form von einem Austauschstudierenden sogar als »die beste Form« bezeichnet, doch werden die Pausen zwischen den Prüfungen als zu kurz empfunden (»увеличить интервал для подготовки между экзаменами«), dies gleichermaßen von bereits länger an der TH Wildau Studierenden aus Russland, zumal die »Anzahl der Prüfungen doppelt so hoch« wie in Russland sei. Zudem wurden schriftliche Prüfungen als besonders schwer beschrieben, da »man mehr Zeit braucht, um die Aufgabe zu verstehen«.

Was die Unterrichtsmethodik betrifft, so scheint in der vorliegenden Situation die Umstellung der Betroffenen auf einen moderativen Lehrstil weniger schwierig ausgefallen zu sein als dies den Erhebungen (im geisteswissenschaftlichen Bereich) z. B. von Koptelzowa (2009) zu entnehmen ist. Dies könnte auch darauf zurückgeführt werden, dass in technischen und betriebswirtschaftlichen Studienrichtungen anders als in geisteswissenschaftlichen sowohl in Deutschland als

auch in Russland eher ein »stark kognitiv ausgerichteter Lehrstil« (Barmeyer 2005: 183f.) herrscht. Folgerichtig hängen offenbar verschiedene Arbeitstechniken und Lehrmethodiken mit den zu vermittelnden Inhalten zusammen (ebd.).

Bei der hier befragten Zielgruppe handelt es sich wie oben erwähnt um Studierende technischer und betriebswirtschaftlicher Studiengänge. Es kann davon ausgegangen werden, dass die diesbezüglichen Lerninhalte im Unterschied zu geisteswissenschaftlichen Fächern stärker fakten- und materialbezogen angelegt und somit methodisch weniger prozessorientiert sind und kaum Meinungsbildung durch wissenschaftliche Diskurse erfordern. Infolgedessen wird in technisch bzw. wirtschaftlich ausgerichteten Lehrveranstaltungen verhältnismäßig weniger diskutiert als in geisteswissenschaftlichen. Auf diese fachliche und methodische Differenzierung ist möglicherweise zurückzuführen, dass die von ausländischen Studierenden sonst oft genannte Diskussionsfreudigkeit der deutschen Studierenden in der hiesigen Informandengruppe nicht einmal Erwähnung fand. In den Erhebungen von Koptelzewa (2009: 271ff.) hingegen stieß diese Art der Auseinandersetzung mit dem Lernstoff – nämlich Diskussion – bei russischen Studierenden auf deutliche Abneigung.

4 Kulturelle Aspekte der Integration in das fremdkulturelle Lernumfeld

In der einschlägigen Fachliteratur ist bereits wiederholt beschrieben worden, dass kulturelle Prägung bzw. bildungsbezogene Sozialisation von Studierenden das Lernverhalten auch in einer kulturell fremden Lernumgebung nachhaltig beeinflusst (Barmeyer 2005; Koptelzewa 2009; Rusch-Kurz 2000). Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass ein Teil der Anpassungsschwierigkeiten während eines Studienaufenthalts in Deutschland kulturell bedingt ist. Dies betrifft nicht nur die kulturellen Unterschiede im Bereich der Alltagskommunikation, sondern auch die Abweichungen in den akademischen Bildungssystemen. Besonders deutlich scheint die Differenz zwischen »akademischen Kulturen« der osteuropäischen und der westeuropäischen Länder in den geisteswissenschaftlichen Fächern im Rahmen der universitären Lehre zu sein (Koptelzewa 2009, s. auch Kap. 2). So erführen die jeweiligen akademischen Traditionen sowohl durch Studierende als auch durch Dozierende auf beiden Seiten nicht ge-

nügend gegenseitige Wertschätzung, die Unterschiede in den kommunikativen Strategien würden kaum wahrgenommen bzw. nicht richtig erkannt und dem Verhalten der jeweils anderen Seite in den Lehr- und Lernsituationen würde viel Defizitäres zugeschrieben, woran sich die »nostrozentrischen« Haltungen erkennen ließen (Koptelzewa 2009: 265ff.). Aus Sicht mittel- und osteuropäischer Lernregionen unterstreicht Zgaga (2010) dies in seiner Rückschau auf die bisher erreichten Ziele im Bologna-Prozess, indem er »systemic barriers« benennt: »Europe's national systems have been traditionally different.« (Zgaga 2010: 7) und »... system level incompatibilities between national frameworks existed« (ebd.)[13].

Für einen Teil der Anpassungsschwierigkeiten osteuropäischer Austauschstudenten werden oft die »autoritären Schulsysteme« verantwortlich gemacht, in denen die Betroffenen sozialisiert worden waren (Rusch-Kurz 2000: 85ff.). Das hierarchisch geprägte Verhalten setzte sich auch an Hochschulen fort, »wo das Verhältnis [der Dozenten, R./S.] zu den Studenten durch Machtdemonstrationen und Distanz geprägt« sei (Thomas/Yoosefi 2003: 34; vgl. auch Queis 2009: 55; Strewe 1994: 31).

Diese Feststellungen rekurren auf mindestens eine der vielzitierten Kulturdimensionen von Hofstede, die die russische und die deutsche Kultur voneinander unterscheiden: divergierender Grad der Machtdistanz [14]. Auch im Hochschulkontext erweist sich dieser für das kommunikative Verhalten in den Lernsituationen als wirksam (Koptelzewa 2009: 266ff.; Bongards/Stumpf/Leenen 2008: 206f.).

Der kulturanthropologische Forschungsansatz, Kulturen über die zunächst unsichtbaren Wertesysteme mittels Beschreibungsgröße Kulturdimension »sichtbar« zu machen, hat sich als sehr fruchtbar erwiesen. Auf diesem Ansatz bauen viele spätere Untersuchungen über kulturelle Differenzen auf, die sich z. T. aus den Hofstede'schen Kulturdimensionen ergeben. So wurde im Rahmen der kulturvergleichenden Psychologie der relationale Begriff Kulturstandard (Thomas 2003: 119) als eine Beschreibungseinheit entwickelt, womit v. a. kulturspezifische Verhaltensmuster gemeint sind. Aus der Perspektive der deutschen Kultur wurden für die russische Kultur Kulturstandards wie Hierarchieorientierung, Kollektivorientierung, Personenorientierung u. a. ermittelt (Thomas/Yoosefi 2003). Kulturelle Aspekte der deutsch-russischen Zusammenarbeit bzw. die jeweiligen Besonderheiten des kommunikativen Ver-

haltens auch auf anderen Feldern der Bildung wie auch in Geschäftsbeziehungen werden seit einigen Jahren in den Fachpublikationen eingehend beschrieben (Rösch 2005; Strewe 2005).

In der vorliegenden Datenerhebung sind vor allem diejenigen Äußerungen signifikant, die ein jeweils anderes Hierarchieverständnis belegen. So fiel den russischen Studierenden auf, dass die deutschen Lehrenden den Studierenden »nahe stehen« bzw. »gleichgestellt« seien, sich hilfsbereit zeigten (»Der Dozent ist ein Helfer für den Studenten«, »Sie diskutieren viel mit den Studenten«) und den Studierenden gegenüber »respektvoll, offen und freundlich« verhielten. Die Studenten würden hier in Bezug auf Anwesenheit, Hausaufgaben usw. weniger kontrolliert (»За студентами меньше контроля«). Den Äußerungen war zu entnehmen, dass dies als positiv erlebt wurde. Andererseits beurteilten einige der Befragten das Verhalten von deutschen Studierenden, die die Nivellierung der Hierarchien (möglicherweise auch unbewusst) in Szene gesetzt hatten, als wenig respektvoll gegenüber den Dozenten.

5 Überlegungen zur Optimierung der Lernsituation von Studenten aus Russland

5.1 Studienorganisation

Der Hochschultyp Fachhochschule scheint den hier befragten Austauschstudierenden aus Russland in Bezug auf die Studienorganisation der technisch und betriebswirtschaftlich ausgerichteten Studiengänge um einiges vertrauter vorzukommen als die Studienorganisation an deutschen Universitäten, insbesondere in den geisteswissenschaftlichen Richtungen. Der Stundenplan wird in den Hochschulen (FH) im Großen und Ganzen vorgegeben. Fächerauswahl sowie Curriculum sind stringent aufgebaut, wodurch eine größere Ähnlichkeit zur Studienorganisation an den russischen Heimatuniversitäten entsteht. Im Unterschied zu deutschen Universitäten treffen russische (Austausch)Studierende an deutschen Fachhochschulen zudem eher auf geschlossene Seminargruppen, in denen die Studierenden über mehrere Semester zusammen lernen: sie kennen sich besser privat, organisieren sich in diversen Projektgruppen, fertigen Referate in Gruppen an und nehmen neben dem gemeinsamen Besuch von Vorlesungen zusammen an Laborübungen teil. Somit kommen gerade Austauschstudenten in eine »stehende«

Seminargruppe (mit schwach ausgeprägten dynamischen Gruppenbildungsprozessen). In dieser Hinsicht dürfte den russischen Studierenden die Integration in die Seminargruppen an einer deutschen Hochschule vom Typ Fachhochschule etwas leichter fallen als an einer Universität.

5.2 Lehrstil

Darüber hinaus scheint die Umstellung auf einen vorwiegend moderativen Lehrstil in nicht geisteswissenschaftlichen Fächern aufgrund der Fachspezifik in den Ingenieurwissenschaften bzw. der größeren Korrespondenz der Lehrinhalte wenig problematisch zu sein. Die stets positive Hervorhebung des Praxisbezuges in der Lehre durch die Befragten spricht dafür, dass das praxisorientierte Ausbildungskonzept einer Fachhochschule, welches sich im Einklang mit den hochschulpolitischen Rahmenvorgaben der Kultusministerkonferenz (»stärker anwendungsorientiert«) befindet (KMK 2003: 2), den Bedürfnissen der russischen Studierenden sehr entgegen kommt und eindeutig als Gewinn für die berufliche Tätigkeit verstanden wird.

5.3 Wünsche und Empfehlungen der befragten Studierenden

Wenngleich die Fachkompetenz und Professionalität der Lehrenden an der TH Wildau seitens der Befragten allgemein stark gewürdigt wurde, wurde in Bezug auf die Unterrichtsgestaltung doch eine andere eindringliche Botschaft an die deutschen Lehrenden artikuliert: den russischen Studierenden würde zugute kommen, wenn die Lehrenden dem zurückhaltenden Agieren der betroffenen Studierenden entgegenwirkten und die Integration der Betroffenen gezielt förderten, indem sie z. B. mehr Initiative ergriffen und die russischen Studierenden für Gruppenübungen auf die Seminargruppe »verteilen«, damit diese nicht »unter sich« blieben. Dieser Appell wird durch den Sachverständigenrat 2010, der in seinem Jahresbericht zur Integration ebenfalls auf die Bedeutung pädagogischer Öffnung hinweist (Sachverständigenrat 2010: 59), bestätigt.

Weiter äußerten die Befragten (sowohl die Austauschstudierenden als auch die bereits länger in Wildau Studierenden) ihre Schwierigkeiten mit der Organisation der Prüfungen: Angesichts der (etwas größeren als von zuhause gewohnten) Anzahl und des Schwierigkeitsgrades der Prüfungen wurde wiederholt beklagt, dass die Zeitintervalle zwischen den Prüfungsterminen enorm kurz seien. In Bezug auf die Durchführung der

schriftlichen Prüfungen wurde mehrfach der Wunsch geäußert, die Aufgabenstellung von Dozenten mündlich erklärt zu bekommen, um sprachliche Missverständnisse auszuräumen.

Auf die Frage, was die Informanten ihren Kommilitonen in der Heimat empfehlen würden, wenn diese sich auf ein Studium in Deutschland vorbereiteten, wurde an erster Stelle mehrfach die Erhöhung der Sprachkompetenz im Deutschen betont (*»Sie müssen sehr gut deutsch sprechen«*). Dem folgten Empfehlungen, relevante Informationen über das Studium in Deutschland rechtzeitig einzuholen, außerdem Mahnungen, das *»Studium in Deutschland ernst zu nehmen«*, *»Selbstständigkeit«* zu entwickeln und sich auf Teamarbeit einzustellen bis hin zu einem Vorschlag, nicht alle gleichsprachigen Studenten zusammen in einem Wohnheim unterzubringen.

5.4 Kulturelle Anpassung

Um die oben genannten Anpassungsprozesse besser zu gestalten bzw. einen Kulturschock zu lindern, erachten die Autorinnen es als notwendig und hilfreich, den Austauschstudierenden sofort zu Beginn ihres Aufenthalts an jeder deutschen Hochschule ein Interkulturelles Training anzubieten bzw. sie in die stattfindenden Seminare für Interkulturelle Kommunikation einzubinden (Rösch 2010: 71ff.). Die Notwendigkeit einer solchen Maßnahme wurde bereits an vielen Hochschulen erkannt. Laut Kammhuber sei wichtig,

»selbständig und fortlaufend interkulturelle Lernproblematiken in Alltagssituationen wahrzunehmen, aktiv interkulturelles Wissen zu erschließen und Handlungsprobleme ... für das Wohlbefinden der eigenen Person, für die Beziehung zum Interaktionspartner und die Bewältigung der Aufgabe zu lösen sowie die dabei gewonnenen Erfahrungen bewerten und kommunizieren zu können.« (Kammhuber 2007: 13).

Auch Bildungs- und Zuwanderungsberichte heben immer wieder den hohen Stellenwert von zielgerichteten Bildungsmaßnahmen für den Integrationsprozess hervor (Sachverständigenrat 2010: 63).

6 Fazit

Abschließend kann man festhalten, dass Studierende aus Russland an der TH Wildau – so die Resultate der vorliegenden Umfrage – sich bemühen, mit den deutschen Hochschulgegebenheiten umzugehen, dabei etliche Unterschiede zum Heimatsystem feststellen und diese für sich teils positiv werten können. Allerdings benötigen sie offenbar auch viel Zeit und Energie dafür, dass sie sich erst in Deutschland Informationen zum deutschen Hochschulsystem und den Prüfungsgegebenheiten beschaffen bzw. Arbeitsweise und Lernstil aus eigener Erfahrung erleben können und somit in der ersten Zeit ihres Studienaufenthaltes viel Kraft in den Umstellungsprozess und die Adaptionsbemühungen investieren müssen.

Als weitere Maßnahme wäre daher zu empfehlen, bereits im Heimatland den Studierenden, die ins Ausland gehen möchten, entsprechende Vorbereitungsstrainings, -seminare und Beratung durch ihre Auslandsämter, entsprechend geschulte Tutoren bzw. qualifiziertes Personal angedeihen zu lassen. Solche interkulturellen Trainings und ggf. auch Informationsveranstaltungen sollten speziell auf die Hochschul-, Lern- und Arbeitsgegebenheiten zwischen Heimat- und Zielland abgestimmt sein. Dies würde den mentalen und kulturellen Adaptionsprozess von Austauschstudierenden erheblich erleichtern, Kräfte für die inhaltliche Arbeit im Zielland freisetzen und damit den Erfolg eines Auslandsstudienaufenthaltes deutlich erhöhen können.

Anmerkungen

- 1 Die diesem Artikel zugrunde liegenden Umfrageergebnisse werden in einer anderen thematischen Fassung zeitnah in der Online-Fachzeitschrift »Das Wort – Germanistisches Jahrbuch Russlands« veröffentlicht.
- 2 <http://www.th-wildau.de/vor-dem-studium/hochschule/geschichte.html> – Abfrage am 21.07.2010.
- 3 Der Anteil ausländischer Studierender nahm deutlich zu: von 1,7 Prozent (im WS 2004/2005) auf 6,41 Prozent (im WS 2009/2010). (<http://www.th-wildau.de/vor-dem-studium/hochschule/portrait.html> – 24.06.2010)
- 4 Im ersten Hochschulsesemester im WS 2009/2010 beträgt diese Kennzahl 11,25 Prozent, im ersten Fachsemester im WS 2009/10 9,78 Prozent. (<http://www.th-wildau.de/vor-dem-studium/hochschule/portrait.html> – Abfrage am 24.06.2010)
- 5 Diese sind quantitativ schwer zu benennen, da sie als Bürger mit deutschem Pass nicht statistisch geführt werden, häufig jedoch in Russland zur Schule gegangen, also dort lernsozialisiert sind.
- 6 Zu aktuellen Zahlen s. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/09/58&format=HTML&aged=0&language=D&guiLanguage=en>
- 7 Für die Bundesrepublik Deutschland haben im Jahre 2006 12,8% ausländischer Studierender die Gelegenheit wahrgenommen, für ein oder zwei Semester an einer deutschen Hochschule zu studieren (Daten der Bologna-Ministerkonferenz 2009).
- 8 Diese Erklärung geht wiederum auf die so genannte »Magna Charta Universitatum« von 1988 zurück, die hier nur erwähnt werden kann, s. hierzu die Entwicklung unter Bologna-Prozess 2010. Dem Abkommen gehören derzeit (2010) 47 Staaten an, darunter auch Deutschland und Russland (s. Erklärung von Budapest und Wien zum Europäischen Hochschulraum 2010: 1), die sich zum Ziel gesetzt haben, verbindliche Rahmen und geeignete Instrumente zur Umsetzung steigender und problemloserer Mobilität sowie zur Angleichung und gegenseitigen Anerkennung von Leistungen Studierender in Europa zu schaffen.
- 9 Von diesen 12 Studierenden gehören fünf Studierende in die Gruppe der Austauschstudierenden, die im WS 2009/10 für ein Semester an der TH Wildau studierten, sieben Studierende kommen ursprünglich aus Russland und studieren bereits seit mehr als einem Jahr an der TH Wildau.
- 10 Natürlich wäre eine größere Stichprobe wünschenswert, außerdem wäre auch eine Erhebung der Meinung von Dozenten mit gleicher Themenstellung von Nutzen. Diese konnten jedoch in diesem Rahmen nicht eingebracht werden.
- 11 Aufgrund der geringen Befragtenzahl wird mit einfachen Mehrheiten und Aussagetendenzen gearbeitet.
- 12 Als Heimathochschulen werden St. Petersburg und Jaroslavl genannt.
- 13 Auch das Londoner Communiqué von 2007 hält fest, dass Lernresultate für Studierende noch stärker in den Vordergrund gestellt werden müssen (§§2.2, 2.4, 3.5). In dem sich anschließenden Bologna-work program 2007-2009 heißt es dazu: »The aim is to develop a broader view of substantial differences, ..., and, to seek to assess substantial differences in terms of learning outcomes.« (8)
- 14 Unter Machtdistanz wird »das Ausmaß, bis zu welchem die weniger mächtigen Mitglieder von Institutionen bzw. Organisationen eines Landes erwarten und akzeptieren, dass Macht ungleich verteilt ist« verstanden (Hofstede 2006: 59).

Literatur

- Adam, St. (2010): Qualifications frameworks helping to reorient 21st-century education. In: Ministry of Science and Research, Austria/ Ministry of Education and Culture, Hungary 2010: Bologna. 1999-2010. = [duz_spec_Bologna.pdf](#), Abfrage am 11.06.2010. S. 23.
- Barmeyer, Ch. I. (2005): Interkulturelles Management und Lernstile. Studierende und Führungskräfte in Frankreich, Deutschland und Quebec. Campus Verlag Frankfurt/New York.
- Bologna-Erklärung (1999) = Der Europäische Hochschulraum. Gemeinsame Erklärung der Europäischen Bildungsminister. 19. Juni 1999, Bologna. (Im Original: The European Higher Education Area. The Bologna Declaration of 19 June 1999. Joint declaration of the European Ministers of Education.)
- Bologna-Ministerkonferenz (2009) = Bologna-Ministerkonferenz: 30% der 25- bis 34-Jährigen in der EU27 absolvieren ein Hochschulstudium. Höherer Anteil an Frauen als Männern unter Hochschulabsolventen. Reference: STAT/09/58, Date: 28/04/2009 (<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/09/58&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en>, Abfrage am 21.07.2010)
- Bologna-Prozess (2010) = Bologna-Prozess: Schaffung eines Europäischen Hochschulraums. Auf: http://europa.eu/legislation_summaries/education_training_youth/lifelong_learning/c11088_de.htm, Abfrage am 21.07.2010
- Bongards, M., Stumpf, S., Leenen, R. (2008): Interkulturelle Bezüge im Studium der Ingenieurwissenschaften – Erfahrungen und Konsequenzen am Campus Gummersbach der Fachhochschule Köln. In: Rösch, O. (Hrsg.): Technik und Kultur, Wildauer Schriftenreihe Interkulturelle Kommunikation, Band 6, Verlag News & Media, Berlin.
- Das Wort = DAAD/Schütz, St. (Hrsg.): Das Wort. Germanistisches Jahrbuch Russland. Moskauer Staatliche Universität (MGU), Moskau. Online: <http://www.daad.ru/wort/wort.htm>, Abfrage am 15.10.2010.
- Harutyunyan, G., Bonete, R. (2010): Enhancing opportunities for students an staff. In: Ministry of Science and Research, Austria/ Ministry of Education and Culture, Hungary 2010: Bologna. 1999-2010. = [duz_spec_Bologna.pdf](#), Abfrage am 11.06.2010, 31-32.
- Hofstede, G. (2006): Lokales Denken, globales Handeln. Interkulturelle Zusammenarbeit und globales Management. 3. vollständig überarbeitete Auflage. Reihe Beck-Wirtschaftsberater, Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- <http://www.th-wildau.de/vor-dem-studium/hochschule/geschichte.html>, Abfrage am 21.07.2010.
- Kammhuber, St. (2007): Interkulturelles Lernen aus psychologischer Perspektive. Zur Qualitätssicherung interkultureller Trainings. In: Schmidt, Ch. M., Neuendorff, D. (Hrsg.): Sprache, Kultur und Zielgruppen. Bedingungsgrößen für die Kommunikationsgestaltung in der Wirtschaft, 9-26.
- Key issues 2007 = Government Offices of Sweden (Hrsg.) (2007): Key issues for the European Higher Education Area – Social Dimension and Mobility. Västerås.
- Koptelzewa, G. (2009): Interkulturalität in der akademischen Zusammenarbeit zwischen Ost und West. In: Umland, A., Bürgel, M. (Hrsg): Geistes- und sozialwissenschaftliche Hochschullehre in Osteuropa IV: Chancen und Hindernisse internationaler Bildungskooperationen. Peter Lang Verlag, Frankfurt.

- Leuener Communiqué 2009 = Bologna-Prozess 2020. Der Europäische Hochschulraum im kommenden Jahrzehnt. Communiqué der Konferenz der für die Hochschulen zuständigen europäischen Ministerinnen und Minister, Leuven/Louvain-la-Neuve, 28. und 29. April 2009.
- London Communiqué 2007 = Bologna Process. London Communiqué. Towards the European Higher Education Area: responding to challenges in a globalised world.
- Önderoglu, S. (2010): Developing a National Qualifications Framework (NQF): The example of Turkey. In: Ministry of Science and Research, Austria/Ministry of Education and Culture, Hungary 2010: Bologna. 1999-2010. = *duz_spec_Bologna.pdf*, Abfrage am 11.06.2010, 23.
- Queis, D. v. (2009): Interkulturelle Kompetenz. Praxis-Ratgeber zum Umgang mit internationalen Studierenden. WBG, Darmstadt.
- Rösch, O. (2005): Gemeinsame Ziele – unterschiedliche Wege? Über die Gleichzeitigkeit des Ungleichzeitigen in der deutsch-russischen Zusammenarbeit, Veröffentlicht im September 2005 in der Internet-Zeitschrift für Kulturwissenschaften (INST). <http://www.inst.at/trans/14Nr/roeschfv14.htm>, Abfrage am 23.07.2010.
- Rösch, O. (2010): Das Lehrgebiet Interkulturelle Kommunikation für Studierende der nicht-geisteswissenschaftlichen Studiengänge an der TFH Wildau. In: Eß, O. (Hrsg.): *Das Andere lehren – Handbuch zur Lehre Interkultureller Handlungskompetenz*, Münster, 71-83.
- Rusch-Kurz, S. (2000): Interkulturelles Lernen in einem Akademischen Auslandsamt. In: Erdmann, K., Theisen, H. (Hrsg.): *Der westöstliche Hörsaal. Interkulturelles Lernen zwischen Ost und West*, Berlin, Wostok, 82-86.
- Sachverständigenrat 2010 = Sachverständigenrat deutscher Stiftungen für Integration und Migration 2010 Hg.: *Einwanderungsgutachten 2010: Jahresgutachten 2010 mit Integrationsbarometer*, Berlin.
- Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2003): *10 Thesen zur Bachelor- und Masterstruktur in Deutschland*. Verfügbar unter: http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_06_12-10-Thesen-Bachelor-Master-in-D.pdf, Abfrage am 27.07.2010.
- Strewe, B. (1994): Bildung in Russland. Vom allgemeinen Kulturgut zur privaten Investition. In: *Grenzgänge – Kultur Ost, Kultur West*. = *DIE Zeitschrift für Erwachsenenbildung* Nr. 2, 30-34.
- Strewe, B. (2005): Eigenverantwortung und Selbstbestimmung. *Erwachsenenbildung in Südosteuropa*. In: *Osteuropa*. 55. Jg. 8/2005, 225-235.
- Thomas, A. (2003): *Kulturvergleichende Psychologie. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage*, Hogrefe, Göttingen/Bern/Toronto/Seattle.
- Thomas, A., Yoosefi, T. (2003): *Beruflich in Russland. Trainingsprogramm für Manager, Fach- und Führungskräfte*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Zgaga, P. (2010): The Making of Bologna. In: Ministry of Science and Research, Austria / Ministry of Education and Culture, Hungary: *Bologna 1999-2010*. = *duz_spec_Bologna.pdf*, Abfrage am 11.06.2010. 7-10.

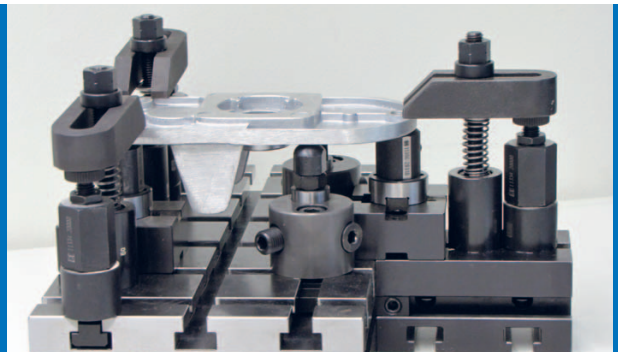
Autorinnen

Prof Dr. phil. Olga Rösch

Professur für Interkulturelle Kommunikation mit dem Schwerpunkt Mittel- und Osteuropa im Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Hochschule Wildau [FH]
Leitung des Instituts für Interkulturelle Kommunikation
olga.roesch@th-wildau.de
www.th-wildau.de/roesch

Bettina Strewe, Dr. phil.

Freiberufliche Dozentin für Kommunikation und Interkulturelle Kommunikation mit dem Schwerpunkt Mittel-, Südost- und Osteuropa an Hochschulen und in der Weiterbildung.
InterKultOst Potsdam
bettina.strewe@th-wildau.de
www.bettina.strewe.de



TH Wildau [FH]
Bahnhofstraße
15745 Wildau
www.th-wildau.de