

WISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE

Forschung • Lehre • Technologietransfer



Technische Fachhochschule Wildau
University of Applied Sciences



Wissenschaftliche Beiträge

Forschung ■ Lehre ■ Technologietransfer

Heft 2007

Impressum

Herausgeber

Der Präsident der Technischen Fachhochschule Wildau
Prof. Dr. László Ungvári
Bahnhofstraße
15745 Wildau
Tel. +49 3375 508-101
Fax +49 3375 500324
www.tfh-wildau.de

Redaktionskollegium der TFH Wildau für die »Wissenschaftlichen Beiträge«

Prof. Dr. phil. Stephan Broda
Prof. Dr. Bernhard Eylert
Prof. Dr. phil. Olga Rösch
Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Poeschel

Redaktionsleitung

Markus Vossel
Tel. +49 3375 508-673
Redaktionsschluss: Oktober 2007
E-Mail: markus.vossel@tfh-wildau.de

Lektorat, Gesamtherstellung und Verlag

Verlag News & Media · Marcus von Amsberg
Perelsplatz 18
12159 Berlin
Tel. +49 30 85962170
Fax +49 30 85962171
E-Mail: verlag@newsmedia.de
www.newsmedia.de

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

ISSN 0949–8214

Inhalt

Vorwort	4
<i>Thomas Biermann</i> Wie fliegen wir morgen? – Neue Tendenzen im Luftverkehr.....	7
<i>Marin Boyadzhiev, Rainer Langenstraßen, Rozeta Eftimova, Sanchy Nenkova, Gerhard Behrendt</i> Development of Branched Aromatic Polyester Polyols from PET	11
<i>Stephan Broda</i> Internationale Marktforschung.....	17
<i>Bernd Eylert, Patrik Groh, Eike Kräft, Thomas Weidner</i> Erstellung eines Geschäftsmodells zur Ausrüstung von Taxi Berlin mit einem digitalen Bündelfunksystem	21
<i>Bertil Haack, Jens Kramer</i> Die beiden Seiten der Nachnutzbarkeit Ein Paradigmenwechsel im IT-Projektgeschäft.....	29
<i>Michael Herzog, Rainer Wegner</i> Erzeugung von Cordierit-Keramikschäumen über die Zwischenstufe hochgefüllter Polyurethan-Schaumstoffe.....	36
<i>Michél Hellmann, Judith Offermann, Franz Wildenauer</i> Cyanobakterienkultivierung zur Extraktion toxischer Metabolite	41
<i>Thomas Balkenhohl, Falco Beutler, Daniel Schäfer, Fred Lisdat</i> Entwicklung eines impedimetrischen Biosensors für den Nachweis von Antigliadin Autoantikörpern	48
<i>Bertram Meimbresse, Gerhard Schilk, Herbert Sonntag</i> The Promotion of Intermodal Transport in Central Europe Through the Design and Realisation of eLogistics Services.....	58
<i>Karin Siemroth</i> Entwicklung eines koaxialen Faltenbalgzylinders zur Übertragung von linearen Bewegungen ins Hochvakuum.....	68
<i>Ralf Vandenhouten, Thomas Behrens, Miriam Selz</i> Datenerfassung und Visualisierung von Vitalparametern und Primärsignalen auf dem Computer und auf mobilen Endgeräten.....	72
Beitrag von Studierenden	
<i>Christian Halama, Nico Venske</i> Entwicklung eines Geschäftsmodells	78



Neben der angewandten Forschung und Entwicklung (FuE), die sich in den vorliegenden Wissenschaftlichen Beiträgen 2007 erneut sehr vielfältig präsentiert, ist die Aus- und Weiterbildung eine Kernaufgabe der TFH Wildau. Zu Beginn des Wintersemesters 2007/08 sind 3.348 Studierende an unserer Hochschule eingeschrieben. Mit 2.755 Bewerbern erreichte die Nachfrage nach einem Studienplatz zum vierten Mal in Folge eine neue Rekordzahl. Gegenüber dem Wintersemester 2006/07 ist dies eine Zunahme von 11,7 Prozent. Im Durchschnitt kamen diesmal 4,1 Bewerbungen auf einen curricularen Studienplatz. Daher mussten wir, wie schon im vergangenen Jahr, alle Studiengänge mit einem Numerus Clausus belegen.

Nicht nur die Studienplatznachfrage ist gestiegen, sondern auch die Absolventenquote, die inzwischen bei über 80 Prozent liegt. Dieser Erfolg beruht auf der im Rahmen des TQM erfolgten Implementierung eines hochschulweiten Tutoriensystems und weiterer Unterstützungsmaßnahmen in Studium und Lehre. So haben unsere Studierenden unter anderem die Möglichkeit, an verschiedenen FuE-Projekten mitzuarbeiten.

Seit dem Jahr 2001 gehört die TFH Wildau bei der angewandten Forschung im Vergleich der 166 Fachhochschulen der Bundesrepublik nach Kriterien wie absolute Höhe der eingeworbenen Drittmittel je besetzte Professur und Drittmittel je forschender Professor zu den drei führenden Einrichtungen. In den letzten fünf Jahren stiegen die eingeworbenen Drittmittel jeweils um durchschnittlich 10,5 Prozent.

Seit langem können die forschenden Professoren ihr Niveau halten bzw. ausbauen, weitere Professoren haben inzwischen ebenfalls mit der Drittmittelforschung begonnen und neu berufene Professoren bringen sich mit eigenen Forschungsprofilen ein. Wir führen diese Aktivitäten auch auf das innovative Klima an unserer Hochschule und unsere besonderen Serviceangebote zurück. Dazu gehören die Technologie- und Innovationsberatungsstelle (TIB), das Service- und Kompetenz-Center für den internationalen Wissens- und Technologietransfer (SeWiTec) und das Technologietransfer- und Weiterbildungszentrum an der Technischen Fachhochschule Wildau e. V. (TWZ).

Durch die Hochschule haben sich in Wildau und Umgebung stabile Netzwerke aus Wissenschaft und Wirtschaft herausgebildet. Jüngstes Beispiel ist das NEMO-Netz-

werk »Prozessensorik für Qualitätssicherung und Umweltmonitoring« (ProSenQU), das im Februar bei einer Informationsveranstaltung im Technologie- und Gewerbezentrum Prignitz in Wittenberge an den Start ging. Zwölf Industrie- und fünf Wissenschaftspartner aus Brandenburg und Sachsen bündeln in ProSenQU ihre Kompetenzen, um Innovationen auf dem Gebiet der Sensortechnik zu entwickeln und wirtschaftlich zu verwerten. Die TFH Wildau übernimmt dabei die Funktion des Netzwerkmanagers.

Im Juli 2007 sind wir dem Kooperationsnetzwerk »Security and Safety made in Berlin-Brandenburg« (SeSamBB) beigetreten. Das Netzwerk versteht sich als Kooperationsplattform für das Branchenfeld »Sicherheit mit IT«. Die Mitgliedschaft ist eine logische Konsequenz aus den zahlreichen Vorhaben, die an unserer Hochschule bearbeitet werden. Einen besonderen Schwerpunkt bilden dabei neue Technologien und innovative Lösungen bei der Flughafensicherheit im Zusammenhang mit dem Bau des Airports Berlin Brandenburg International (BBI). Im Fokus stehen u. a. Projekte zur Entwicklung moderner Gebäudetechniken, von Überwachungs- und Ortungssystemen sowie von sprengstoffsicheren Materialien.

Im September fand an der TFH Wildau die internationale Konferenz »LINDI 2007 – Logistics and Industrial Informatics« statt. Namhafte Wissenschaftler und Unternehmer aus Deutschland, Ungarn, Österreich, Polen, den Niederlanden, Italien, Spanien und Südkorea diskutierten über neue effektive Logistikkonzepte und -lösungen. Die Idee zu LINDI geht auf eine Initiative der TFH Wildau und der Hochschule Budapest Tech zurück. Beide Einrichtungen kooperieren seit Jahren eng miteinander. Die Konferenz stärkte unsere Rolle als Kompetenzzentrum der Logistik. Zugleich wurden weitere Möglichkeiten für grenzüberschreitende Kooperationen erschlossen, neue Partner für FuE-Projekte gewonnen sowie die Netzwerke für innovative Branchenlösungen enger geknüpft.

Im Rahmen des Symposiums »15 Jahre TFH Wildau – Ein Programm und Produkt erfolgreicher Hochschulpolitik im Land Brandenburg« haben wir im Oktober Kooperationsvereinbarungen mit der Polytechnischen Universität Timisoara/Rumänien und dem mittelständischen Funktechnik-Unternehmen ELDAT aus Zeesen unterzeichnet. Das Symposium bildete den Abschluss einer Programmreihe unter der Schirmherrschaft der Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Prof. Dr. Johanna Wanka, anläss-

lich des Gründungsjubiläums der TFH Wildau. Bereits im Januar und April 2007 hatten in dieser Reihe zwei viel beachtete Veranstaltungen stattgefunden, bei denen zahlreiche Redner die TFH Wildau als einen Motor für die wirtschaftliche Entwicklung in der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg würdigten.

Unser Engagement für die Region drückt sich auch durch den »UnternehmerCampusWildau« (UCW) aus. Er bietet Existenzgründern, Jungunternehmern sowie wissens- und technologieorientierten kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) Hilfestellungen bei der schrittweisen Entwicklung ihrer innovativen Ideen zu tragfähigen Unternehmenskonzepten an. Das Programm wurde im April auf den Deutschen Gründer- und UnternehmerTagen deGUT 2007 in Berlin vorgestellt. Einen besonderen Schwerpunkt des UCW bilden die Ideenentwicklung und Businessplanung in der Vor-Gründungsphase, die Unternehmensgründung selbst und die frühe Entwicklungsphase unmittelbar nach der Gründung. Der UCW ist eine gemeinsame Aktion der TFH Wildau mit der Mittelbrandenburgischen Sparkasse, der Unternehmensbeteiligungsgesellschaft der Brandenburger Sparkassen, der Zukunfts-Agentur Brandenburg, der Brandenburg Capital und von O₂ Deutschland.

Die TFH Wildau beteiligte sich auch wieder an der weltgrößten Computermesse CeBIT und an der Hannover Messe. Auf der CeBIT zeigte ein Team von Telematikern mit »ixMAT« ein Universalwerkzeug für die mobile Datenerfassung und -übertragung, das als Hardware lediglich ein handelsübliches Handy mit Kamerafunktion benötigt. Auf der Hannover Messe präsentierten wir uns als Kompetenzzentrum für Mikrotechnologien. Seit dem Jahr 2005 konzentrieren wir uns in diesem Bereich auf den Brückenschlag von der klassischen, auf dem Grundwerkstoff Silizium basierenden Mikrosystemtechnik zu KMU-kompatiblen Technologien mit traditionellen Materialien wie Metalle und Kunststoffe.

Auf der 16. Internationalen Luftfahrtmesse AERO in Friedrichshafen stellten wir neben unseren branchenspezifischen Studienangeboten außerdem die Messdrohne ATISS 2, eine fliegende Messplattform für unterschiedliche nutzerdefinierte Messaufgaben, sowie das Projekt »Smart Aerial Photogrammetry System« (SMAP), das qualitativ hochwertige Luftbilder für Vermessungszwecke liefert, vor. Dazu wird ein unbemanntes, ferngelenktes Kleinflugzeug mit einer professionellen hochauflösenden digitalen Luftbildkamera, einer Videokamera,

einem Navigationssystem und einer Telemetriestrecke zur Bodenstation ausgestattet.

Preise und Auszeichnungen sind eindeutige Indikatoren für die Leistungsfähigkeit von Forschungseinrichtungen, Hochschulen, Kommunen und Unternehmen. Die TFH Wildau hat 2007 gleich zwei hochrangige Wettbewerbe gewonnen.

Im Rahmen des 6. TechnologieTransferTages Berlin-Brandenburg erhielten die interdisziplinäre Arbeitsgruppe aus Logistikern und Telematikern der TFH Wildau unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag (Verkehrslogistik) und Prof. Dr.-Ing. Stefan Brunthaler (Telematik) sowie der Hauptkooperationspartner Dr. Reinhardt Töpel, Geschäftsführer der ReiCo Logistik Gruppe im brandenburgischen Nunsdorf bei Zossen, den 1. Preis des Technologietransfer-Preises Brandenburg. Ausgezeichnet wurde das internetgestützte Informationssystem RÜFILOG (Rückverfolgung durch den Einsatz der RFID-Technik in der TransportLOGistik), das die lückenlose Verfolgung von Waren in der Lebensmittelkette auf der Grundlage der Radiofrequenz-Identifikation (RFID) rückwärts vom Endkunden zum Hersteller und vorwärts in umgekehrter Richtung ermöglicht.

Die TFH Wildau, die Gemeinde Wildau und die Wildauer Wohnungsbaugesellschaft beteiligten sich gemeinsam an dem Wettbewerb »365 Orte im Land der Ideen« der Deutschen Bank und der Standortinitiative »Deutschland – Land der Ideen«. Unter 1.500 Bewerbern konnte sich Wildau als »Ausgewählter Ort 2007« durchsetzen. »Wildau ist ein europäischer Spitzencampus für Zukunftsbranchen. Ob Luftfahrttechnik, Telematik oder Biosystematik – Wildau steht für Innovation und Zukunft made in Germany«, begründeten die Veranstalter des Wettbewerbs ihre Entscheidung.

Wir nehmen diese Auszeichnungen gerne als Verpflichtung für die Zukunft an.



Prof. Dr. László Ungvári
Präsident

Wie fliegen wir morgen?

– Neue Tendenzen im Luftverkehr

Thomas Biermann

Zusammenfassung

Der Fortschritt im Luftverkehr wird eher in kleinen Schritten erfolgen, denn Verkehrsflugzeuge stellen eine reife Technologie da, die kaum mehr revolutionäre Neukonstruktionen erwarten lässt. Aber auf längere Sicht können die zunehmende Individualisierung und Automatisierung dramatische Veränderungen der Flugreise mit sich bringen.

Abstract

Progress in air transport will be incremental, as building commercial airliners has become a mature technology, where revolutionary new designs should not be expected in the foreseeable future. But individualisation and automation could in the long run lead to dramatic changes in the way we travel by air.

1 Lufttransport heute

1.1 Das Jahrhundert des Flugzeugs

Das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert des Flugzeugs, so wie das 19. Jahrhundert die Ära der Eisenbahn und das 20. Jahrhundert die des Automobils war. Der Flughafen, nicht mehr der Hauptbahnhof ist heute Mittelpunkt der Verkehrsströme und zentraler Erfolgsfaktor der regionalen Entwicklung (Thompson 2007). In der Weltwirtschaft dient der Luftverkehr zunehmend auch dem Gütertransport – zwar wird nur 1 % der Gütertonnage im weltweiten Außenhandel per Luftfracht abgewickelt, doch macht dies, weil primär die höherwertigen Produkte den Luftweg nehmen, fast 40 % des gesamten Warenwertes aus (Trettheway 2007).

1.2 Das Verkehrsflugzeug ist ausgereift

Eine Revolution des Luftverkehrs durch vollkommen neue Antriebe oder Materialien ist für die kommenden 20 Jahre praktisch auszuschließen. Der Motorflug ist nunmehr gut 100 Jahre alt und demnach eine reife Technologie, welche die ganz großen Sprünge der Entwicklung hinter sich hat.

Die Leistungsfähigkeit des Flugzeuges hinsichtlich Nutzlast und Reichweite nimmt weiter zu, entgegen früherer Erwartung wird sich indes in der Dimension Geschwindigkeit – typischerweise im Bereich um 800 km/h – in einem absehbaren Zeithorizont nichts ändern. Überschallgeschwindigkeit ist nicht allein aus wirtschaftlichen Erwägungen kein Thema mehr, die Sensibilität in Umweltfragen lässt derartig lärmintensive und energiefressende Technologien nicht mehr zu.

Unter Experten noch in der Diskussion ist das Nur-Flügel-Flugzeug. Die Integration von Zelle und Flügel hätte aus Sicht des Passagiers »fliegende Kinosäle« mit ei-

ner ganz anderen Innenraumstruktur mit sich gebracht, doch zeigen sich bei diesen futuristischen Konzepten bislang technisch kaum beherrschbare Probleme. Es steht demnach zu erwarten, dass die großen Verkehrsflugzeuge ihre seit Einführung der Jets in den späten 1950er Jahren vertraute Silhouette für die nächsten Jahrzehnte beibehalten. Der Fortschritt findet – wie beim Auto – vorwiegend »unter der Haube« statt.

1.3 Vorwärts in kleinen Schritten

Aber er findet statt: die Zellenstruktur der neuen Boeing 787 »Dreamliner« besteht beispielsweise weitgehend aus Kunststoff statt Aluminium. Die Gewichtsersparnis reduziert den Treibstoffverbrauch und damit die Umweltbelastung. Der Passagier profitiert direkt von dem Wandel der Werkstoffe. Die für das Wohlbefinden so belastende Trockenheit der Luft an Bord eines Verkehrsflugzeuges beruht nämlich darauf, dass die Klimaanlage entsprechend eingestellt sind, um die Korrosion der Metallstruktur zu vermeiden. In einem »Plastikflugzeug« kann hingegen normale Luftfeuchtigkeit herrschen.



Abb. 1: Boeing 787 (Foto: Boeing)

Auf kurze Sicht definieren viele kleine Veränderungen wie die oben geschilderte den Fortschritt:

- kostengünstige Langstreckenflugzeuge im 200-Sitzer Format erlauben Direktverbindungen, wo bislang die Reise nur per Umsteigen realisierbar war;
- Telefon und Internet an Bord werden bald selbstverständlich sein;
- der Schlafkomfort in den First Class-Sitzbetten ist bald höher als bei der Mehrzahl der Menschen zu Hause;
- die Automatisierung von Reservierung und Ticketing erlaubt Selbstbedienungskonzepte, wo früher viel menschliche Arbeitskraft notwendig war;
- optimierte Bodenprozesse erhöhen die Produktivität von Flugzeug und Crew, sie erlauben Billigflüge, die dem Luftverkehr neue Zielgruppen erschließen (Biermann 2005).

2 Neue Trends

2.1 Individualisierung in der Luft

Seit mehreren Jahren erleben die Business Jets einen ungeheuren Aufschwung, gegenwärtig sind nach Expertenschätzungen weltweit 11.000 Einheiten im Einsatz, davon 75 % in den USA. Die Vorteile dieser Maschinen sind vielfältig. Die Unabhängigkeit von Flugplänen und die Vermeidung zeitraubender Sicherheitskontrollen am Flughafen spielen eine wichtige Rolle. Der Hauptvorteil besteht jedoch in der Möglichkeit, Orte abseits der wesentlichen kommerziellen Flugrouten – etwa in Osteuropa oder der chinesischen Provinz – direkt zu erreichen (Economist 2007).

Die Anfangsinvestition für ein modernes Geschäftsreiseflugzeug liegt allerdings im Bereich von knapp 10 Mio. € für einen 7-Sitzer Lear Jet und bis zu 50 Mio. € für das Spitzenmodell Bombardier Global Express, das 19 Passagiere über 11.000 km weit befördern kann. Die Betriebskosten für zwei Piloten, Wartung, Treibstoff, Landegebühren etc. übersteigen schnell die 1 Mio. €-Grenze pro Jahr.

Daher operieren viele solcher Jets im Teileigentum. Für einen Bruchteil des Kaufpreises erwirbt man ein Nutzungsrecht für beispielsweise 25 % der verfügbaren Zeit. Nach Expertenschätzungen wird ein für die Eigennutzung angeschafftes Geschäftsreiseflugzeug im Durchschnitt nur 325 Stunden im Jahr geflogen, eine Maschine in Fractional Ownership hingegen 900 Stunden, wodurch sich eine wesentlich günstigere Verteilung der Fixkosten ergibt (Singh 2006).

Der individualisierte Luftverkehr wächst jedes Jahr doppelt so schnell wie der Gesamtmarkt. Er dürfte in Zukunft weiteres Potenzial durch die neue Kategorie der Very Light Jets (VLS) gewinnen, die am Beginn der Serienproduktion stehen. Dabei handelt es sich um extrem leicht gebaute kleine Flieger, die 3 bis 6 Passagiere befördern und die Fähigkeit besitzen, auf Bahnen von nur 900 m Länge zu starten und zu landen. Sie sind für Stückpreise ab 1,6 Mio. € zu haben und können von einem statt zwei Piloten geflogen werden. Ein Indikator

für die Wachstumsaussichten in diesem Segment ist die Tatsache, dass nicht nur kleine Startup-Unternehmen ihr Glück mit der Entwicklung von VLJs versuchen, sogar der japanische Automobilhersteller Honda hat ein serienfertiges Modell vorgestellt.



Abb. 2: HondaJet (Foto: Honda)

Der Investitionsbedarf und die Betriebskosten fallen um Größenordnungen günstiger aus als bei herkömmlichen Jets. Als magische Kostengrenze für die Massennutzung gilt der Wert von 1 US-Dollar pro Meile und Passagier (grob gerechnet 50 Eurocents pro Passagier-Kilometer), womit ein VLJ-Flug dem Preisrahmen eines Linienfluges in First-/Business-Class vergleichbar wäre (Singh 2006). Das eigene Flugzeug, die Beteiligung an einem Timesharing-Modell oder die Nutzung von Luft-Taxi-Diensten wird so selbst für das Management eines mittelständischen Unternehmens mit entsprechenden Reisebedürfnissen überlegenswert. Die Firma Day Jet in Florida hat 240 VLJs vom Typ Eclipse 500 als Luft-Taxi geordert, die ersten drei Exemplare wurden im März 2007 geliefert.

2.2 Automatisierung am Boden und an Bord

Als zweites Thema mit hohem Aufmerksamkeitswert gilt die Automatisierung, insbesondere im Cockpit der Verkehrsflugzeuge. Heute steuern zwei Männer (manchmal auch Frauen) einen Airbus oder eine Boeing. Früher waren auf einem Flugdeck fünf Leute beschäftigt. Die Fortentwicklung der Elektronik machte den Funker und den Navigator bald überflüssig, der dritte Mann – der Flugingenieur – verschwand ab 1980. Steht nun der Copilot zur Disposition, vielleicht gar der Kapitän?

Auf die Flugdurchführung spezialisierte moderne Bordcomputer sind längst in der Lage, das Flugzeug allein zu fliegen. Die Besatzung leistet auf vielen Flügen nicht viel mehr als den Druck auf den Startknopf und eine Lautsprecherdurchsage. Menschliche Piloten sind in unvorhergesehenen Sondersituationen zweifellos wertvoll, doch ist die Technik mittlerweile so zuverlässig, dass solche Situationen kaum noch vorkommen. Menschen bringen auf der anderen Seite selbst viele Probleme mit ein – sie machen Fehler, werden krank, streiken oder stecken auf dem Weg zum Airport im Stau.

Piloten sind außerdem teuer. Dafür ist neben der aufwändigen Ausbildung und dem Gehalt bei geringer

Produktivität (Flugstundenbegrenzung wegen strikten Ruhezeitregeln) die Technik mit verantwortlich. Ein modernes Cockpit erfordert extrem kostspielige Mensch-Maschine-Schnittstellen, weil ein elektrisches Warnsignal vom Radar nicht direkt an die Steuerung geht, sondern über das Auge und die Hand des Flugzeugführers geleitet werden muss.

Unbemannte Flugzeuge befinden sich daher im Aufwind. Im militärischen Bereich sind Aufklärungsdrohnen und unbemannte Kampffjets bereits seit den 1980er Jahren Routine. Im zivilen Bereich gibt es nach einer Übersicht der NASA mittlerweile ebenfalls eine große Zahl von Anwendungen von der Fischereiüberwachung über den Agrarflug – Ausbringung von Düngern und Pestiziden bei großen Landwirtschaftsflächen – bis zu fliegenden Mobilfunkantennen (Cox et. al. 2004).

Das Hauptargument für unbemanntes Fliegen liegt im zivilen Sektor in der potenziell sehr langen Verweildauer in der Luft. Da der schwere Pilot und die noch schwereren Lebenserhaltungs- und Steuersysteme eingespart werden, kann mehr Treibstoff an Bord mitgeführt werden. Aus diesem Grund bleibt das Gerät mühelos bis zu 40 Stunden in Aktion – und so ein Autopilot wird auch nicht müde.



Abb. 3: Global Hawk (Foto: Northrop Grumman)

Die regelmäßig eingesetzten unbemannten Fluggeräte sind gegenwärtig noch recht klein, ihre Größe reicht vom gehobenen Spielzeugformat bis zum Kleinflugzeug. Diese so genannten UAVs (unmanned aerial vehicles) bewegen sich

- autonom und fliegen ein vorher definiertes Programm ab, oder
- werden vom Boden gesteuert, wobei der Leitstand mehrere solcher Flugkörper gleichzeitig im Auge halten kann, oder
- sie werden durch ein bemanntes »Mutter-Flugzeug« kontrolliert, das aus der Luft in Sichtnähe ein UAV-Rudel steuert.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit gehört die Zukunft autonom operierenden UAVs, bei denen ein Bodenleitstand nur im Bedarfsfall »remote« eingreift.

Ab 2020 ist mit deutlich größeren unbemannten Transportfliegern zu rechnen, vor allem für routinemäßig

anfallende kleinere Sendungen abseits der Hauptverkehrsströme im Kurier- und Expressverkehr (Cox et. al. 2004). Im Passagierverkehr hingegen wird das pilotenlose Flugzeug auf sich warten lassen. Komplizierte Rechts- und Haftungsprobleme sind noch zu lösen und die Akzeptanz des Publikums ist ungewiss. Im Schienenverkehr gibt es bereits positive Erfahrungen mit führerlosen Fahrzeugen im Nahverkehr, insbesondere auf Flughäfen zwischen weit entfernten Terminals und auf einzelnen U-Bahn-Strecken. Für die Mehrzahl der Menschen dürfte aber der Einstieg in ein Flugzeug ohne menschlichen Kommandanten heute kaum zumutbar sein.

Die Bewegung solcher unbemannter Flugkörper am Boden ist überdies ein kompliziertes Thema, weshalb man UAVs kaum je auf belebten Flughäfen zu sehen bekommt. Ebenfalls noch ungeklärt ist die Beherrschung der Einführungsphase, wenn sich bemannte und unbemannte Fliegerei im Luftraum mischt. Realistisch scheint hingegen für einen überschaubaren Zeitraum die Vision eines computergesteuerten Verkehrsflugzeuges, bei dem im Cockpit ein Mann (sicher nicht zwei) für alle Fälle Wache hält und der Bodenleitstand im Fall des Falles die Kontrolle übernimmt.

2.3 Folgen

Beide Tendenzen, Aufkommen der Very Light Jets auf kurze Sicht und die Automatisierung im Cockpit der Verkehrsflugzeuge in längerer Perspektive, bedeuten für junge Piloten, dass sich ihre berufliche Zukunft verdunkelt. Der Bedarf an qualifizierten Flugzeugführern steigt in diesem Szenario nicht mehr automatisch mit dem Wachstum des Luftverkehrs an – im Gegenteil. Der Traumberuf »echter Jungs« war früher Lokomotivführer und später Lastwagenfahrer auf der Langstrecke als »Kapitän der Landstraße« – ein durch die Realität längst entzauberter Mythos. Der Traumberuf Pilot könnte in absehbarer Zeit einen vergleichbaren Entzauberungseffekt erfahren.

3 Ausblick

Wir wissen, dass große Innovationen in aller Regel auf einer Zusammenfügung von zwei bereits bekannten Technologien basieren, die in isolierter Anwendung nur geringen Nutzen in einer kleinen Nische entfalten, aber gemeinsam einen markanten Durchbruch erlauben. Die gute alte Eisenbahn zum Beispiel verdankt ihren Erfolg einer Kombination der im Bergbau seit 500 Jahren bekannten Rad-Schiene Technik mit der im 18. Jahrhundert erfundenen Dampfmaschine (Biermann/Dehr 1997).

Die Kombination der Very Light Jets und der UAV-Technologie, so lässt sich vorhersehen, bildet den logischen nächsten Schritt in der Entwicklung der Flugreise. Manager in der Mitte des 21. Jahrhunderts werden über einen Mini-Jet (beziehungsweise für kürzere Routen eine Art Hubschrauber) nicht weit vom Wohn- oder Arbeitsplatz verfügen, bei dem der Passagier selbst sein

Ziel eintippt und auf Start drückt. Ohne menschlichen Piloten wird er/sie zum Ziel gebracht. Sollte ein Störfall eintreten, betätigt der Passagier einen Notknopf, so dass das Gerät automatisch zum nächsten Landeplatz fliegt oder sich eine Bodenzentrale zuschaltet, die manuell die Steuerung übernimmt.

Die Idee eines pilotenlosen Kleinflugzeuges gewinnt ihren besonderen Reiz im Fractional-Ownership-Modell bzw. in der Betriebsform als Luft-Taxi. So muss die Maschine nicht tagelang ungenutzt herumstehen, bis ihr Besitzer sie benötigt, sie könnte per Knopfdruck angefordert werden und nach dem Flugeinsatz gleich weiterreisen zum nächsten Nutzer. Positionierungsflüge ohne Passagiere sind der Alptraum jedes Flugplaners – sie verlieren ihren Schrecken, wenn kein Pilot mehr während solcher nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten Geld kostet und möglicherweise just dann, wenn er gebraucht wird, aus der Ruhezeit fällt.

Aus ökonomischer Sicht bildet eine Kombination von VLJ und UAV deshalb eine durchaus überzeugende Vision, selbst wenn ein Einsatz in Mitteleuropa eher schwierig vorstellbar ist. Ein gutes Straßennetz, viele Schienenverbindungen und ein dicht bevölkerter Luftraum lassen hier für diese neuartigen Luftfahrzeuge kaum dringenden Bedarf erkennen. In China, Russland, Indien oder Brasilien hingegen überwiegen die Chancen ganz eindeutig die Probleme und Risiken. Aller Voraussicht nach wird diese neue Technologie zuerst in den USA in die Praxis gehen, weil dort das notwendige Know-how, die Kapitalkraft und die Innovationsfreude gebündelt vorhanden sind und vor allem in der Fläche abseits der Metropolregionen mit großer Nachfrage zu rechnen ist.

Dieser Beitrag basiert auf Erkenntnissen aus der Diskussionsveranstaltung »Captain Computer – Chancen und Risiken durch Automatisierung im Luftverkehr«, durchgeführt vom Wildau Institute of Technology (WIT) und dem TÜV Nord im Mai 2007 in Berlin unter Beteiligung von Experten der Berliner Flughäfen, des DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt), der DFS (Deutsche Flugsicherung), der Lufthansa und des UAV D·A·CH (Unmanned Aerial Vehicle Working Group).

Literatur

- Biermann, Thomas, Yield management in the airline Industry, Vortrag auf der LINDI-Konferenz, Wildau, September 2007
- Biermann, Thomas, Gehört der Himmel den ALDI-Airlines? Neuer Wettbewerb im europäischen Luftverkehr, in: Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau 2005
- Biermann, Thomas/Dehr, Gunter (Hrsg.), Innovation mit System, Berlin, Heidelberg 1997
- Cox, T./Nagy, C./Skoog, M./Somers, I., Civil UAV Capability Assessment, (Draft for NASA Directorate), 2004
- Delfmann, Werner (Hrsg.), Strategic Management in the Airline Industry, Ashgate 2005
- Shaw, Steven, Airline Marketing and Management, Ashgate 2004
- Singh, Rajiv, VLJs – The rise of the hub busters, www.domain-b.com, 2006
- Taneja, Nawal, Simply-flying – Optimizing the Airline Business Model, Ashgate 2004
- The Economist, Fly me home James – travelling in an executive jet is just the ticket, 14. July 2007
- Thompson, David, International Aviation's role in Productivity Growth and Climate Change – Can we resolve the dilemma? Vortrag Hamburg Aviation Conference, Februar 2007
- Tretheway, Mike, Perspectives and Retrospectives, Vortrag Hamburg Aviation Conference, Februar 2007

Internetquellen

- www.dlr.de
- www.shephard.co.uk/UVonline
- www.uavdach.org

Autor

Prof. Dr. rer. pol. Thomas Biermann
Wildau Institute of Technology
an der Technischen Fachhochschule Wildau
Tel. +49 3375 508-601
biermann@wit-wildau.de
www.wit-wildau.de

Development of Branched Aromatic Polyester Polyols from PET

Marin Boyadzhiev, Rainer Langenstraßen, Rozeta Eftimova, Sanchy Nenkova, Gerhard Behrendt

Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit einer neuen Klasse verzweigter aromatischer Polyesterpolyole (APP), die auf PET-Abfällen basieren und für die Herstellung hochwertiger Polyurethane entwickelt wurden. Dieses Ziel wurde durch eine modifizierte Umesterung von PET durch eine Glykollmischung mit einem geringen Anteil Triolen erreicht. Es wurde eine Reihe verzweigter APP mit Hydroxylzahlen im Bereich von 260 bis 380 mg KOH/g und Hydroxyl-Funktionalitäten zwischen 2,00 und 2,30 erhalten. Die Viskosität der Produkte steigt im Bereich der Funktionalität von 2,03 bis 2,12 geringfügig und darüber stärker an. Für jede Reihe der APP mit Hydroxylzahlen von 260, 320 bzw. 380 mg KOH/g wurde bezüglich der Viskosität, der Langzeitstabilität und der Hydroxyl-Funktionalität ein Eigenschaftsoptimum gefunden. APP mit höherer Hydroxyl-Funktionalität können zur Herstellung von Polyurethan-Gießharzen und jene mit niedrigeren Hydroxylzahlen für Beschichtungen, z. B. von Leder, verwendet werden.

Abstract

This paper is directed to the development of a new type of branched aromatic polyester polyols (APP) based on PET wastes designed to produce high quality polyurethanes (PUR). To this end, a modified transesterification of PET by a glycol mixture was used and simultaneously small amounts of triols were incorporated into the reaction mixture. By this method, a series of branched APP's with hydroxyl numbers in the range of 260 to 380 mg KOH/g and hydroxyl functionalities between 2.00 and 2.30 was received. The viscosity of the products increased slowly with the functionality in the range of 2.03 to 2.12 and sharper beyond this value. An optimum of properties was found in each series of APP with hydroxyl numbers of 260, 320, and 380 mg KOH/g, resp. with respect of viscosity, long term stability and hydroxyl functionality. APP with a higher hydroxyl functionality are useful to produce cast polyurethane resins, those with lower hydroxyl numbers for coatings, e. g. of leather.

1 Introduction

During the production and processing of polyethylene terephthalate (PET), e. g. in the production of bottles, fibres, or building materials, as well as after the use of PET articles, wastes arise to a great extent. Wastes are presently used in physical recycling (e. g. bottle to bottle process) and chemical recycling (receiving raw materials or polyols). We consider here only the way of chemical recycling to produce polyols. According to Grigsby [1,2] PET wastes are reacted under pressure with diethylene glycol (DEG), occasionally other glycols and additives having higher functionality, e. g. glycerol, are introduced into the reaction mixture. In a second step, ethylene glycol (EG, MEG) is partly distilled off. Peterson [3] describes the reaction of PET with DEG and/or other glycols in horizontal stirring reactors.

We want to report here on a new route to produce a new type of APP. This process to produce APP, e. g. from PET bottles or production wastes, or of wastes of the German »Duales System«, was developed at the University of Applied Science (Technische Fachhochschule) Wildau, Germany, in cooperation with the University of Chemi-

cal Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria. A summary of basic results was given previously by Evtimova et al. [4]. Furthermore, the process to produce linear and branched APP from PET production wastes and flakes from bottle recycling was developed as a continuous one [5].

2 Experimental part

Materials used for producing APP and PUR on their basis are:

- DEG (PUR quality of at least 98% by BASF AG),
- Glycerol (least 99.8 %, by RME GmbH Schwarzhede),
- Dibutyl-tin-dilaurat (DBTL) (synthesis quality, 98 %, by Nitroil Performance Chemicals, Hamburg),
- Adipic acid (at least 99.6% purity, by BASF AG),
- PET granulate (by NEO Group, Klaipeda) or flakes from bottle recycling (by Texplast GmbH Wolfen),
- Isocyanate: pure MDI (by Puralis GmbH) and polymeric MDI (Lupranat® M20S of BASF AG).

The general route to produce branched APP is as follows:

Into a 10 l stainless steel reactor with heating oil mantle, stirrer and FTIR spectrometer immersion probe (ReactIR 4000 from Mettler Toledo GmbH, Giessen, Germany), the calculated amounts of DEG and DBTL are introduced. While heating this mixture to about 165° C the reactor is constantly flushed with nitrogen. After said temperature is reached, the calculated amount of adipic acid is introduced in portions by the solid feed. After completing the addition, the temperature is raised to 220° C and water is distilled off. After the distillation ceased, another portion of DEG mixed with glycerol and the calculated amount of PET are added. The temperature is raised to 250° C and kept there for 4.5 hours while a pre-calculated amount of monoethylene glycol (MEG) is distilled off. After this amount is obtained, the temperature is reduced and the APP recovered via a filtering unit. The process is controlled by the amount of the different distillates obtained. The APP is characterized by the following methods:

- Hydroxyl number by titration according to DIN 53240,
- Acid number by titration according to DIN 53402,
- Viscosity using a Rheostress 300 viscosimeter (ThermoHaake, Karlsruhe, Germany) in the rotation and oscillation modes.

The scaling up was performed in 100 l and 400 l stainless steel reactors using a similar processing route.

Polyurethane systems based on the APP are developed to form rigid foams, cast resins or coatings.

The polyurethane films were produced by hand casting technique on siliconized paper or using the Mathis® Lab Dryer® to produce the films under controlled conditions (temperature, time). The polyurethane casts were produced by hand mixing, degassing and pouring into a respective mould. Rigid foams were produced either by manual mixing using a stirrer with 6000 rpm. The foams were produced with a density of 40 to 400 g/dm³. Foams were alternately produced on a two component foaming machine using a low pressure machine of Lackfa GmbH.

The polyurethanes were characterized by:

- dynamic-mechanical analysis (Netzsch DMA 242),
- differential scanning calorimetry (Netzsch DSC 204),
- mechanical testing (Zwick Materialprüfmaschine Z 020) for tensile strength, elongation at break and flexural strength,
- Shore D hardness (Shore Tester),
- Microscopy by a scanning electron microscope (SEM).

3 Results and discussion

The general route to produce APP from PET is known to be a transesterification of the high molecular weight PET by glycols with simultaneous cleavage of the macromolecular chains according to the following equation (figure 1):

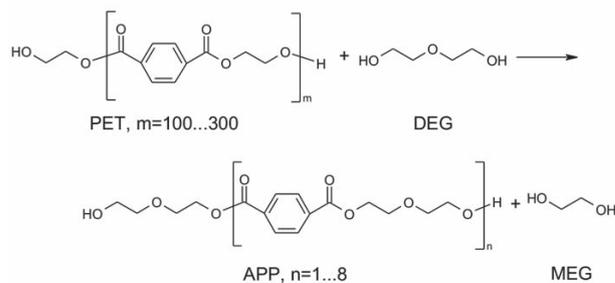


Figure 1. General equation of PET transesterification

Such transesterifications employing one or more glycols were described earlier [6, 7]. The process was performed with or without the use of catalysts or with one glycol both as a reaction partner and to be liberated or more glycols of which in some processes two are distilled off so as to increase the rate of reaction. As a starting material PET wastes, i. e. oligocondensates of the production process, maybe used as a single reaction partner [8] or as an additional processing aid [9]. Generally, in this process, the lower molecular weight glycol is liberated in a balance process, so that this has to be constantly eliminated to support the transesterification and receive oligomers with the desired number of repeating structural units from 1 to 8. Some of transesterification reagents or products remain in the reaction mixture, generally between 3 to 10 % by weight and serve as a solvent for the oligomers produced. It has to be considered in terms of the stability of the APP and for the quality of the polyurethanes produced from them that the amount of MEG is kept as low as possible. The presently produced APP are strictly linear products without any branching so that crosslinked polyurethanes are solely produced by formulation.

In our approach we substituted part of the glycol, in general DEG was used, by a triol so as to receive branching in the oligomer chains. Further, part of the aromatic acid was substituted by an aliphatic acid to control the viscosity of the produced APP. Furthermore, we investigated several catalysts or catalyst systems in combination with the temperature of the reaction to reduce the time of transesterification [10].

The aliphatic dicarboxylic acid is further introduced into the oligomeric chain to control the properties of specialty polyurethanes and, especially, to reduce the brittleness of polyisocyanurates produced on their base at high isocyanate indexes.

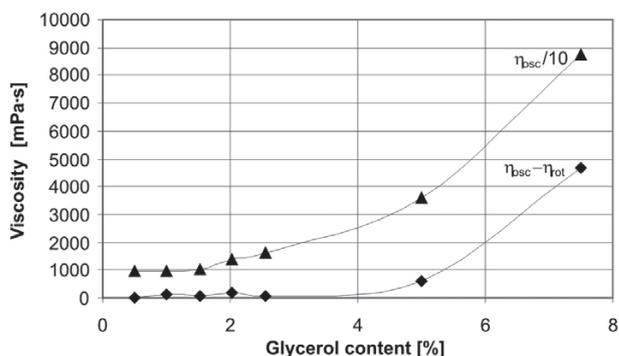


Figure 2. Dependence of the viscosity η of polyols on glycerol content (hydroxyl number 240 mg KOH/g, 12 % adipic acid)

The APP is produced in three categories according to the application in polyurethane systems which are qualified in terms of their hydroxyl number. Thus, we developed three families of APP with hydroxyl numbers of 240, 320 and 380 mg KOH/g. Of these, the first is mainly designed for application in duromer foams, polyisocyanurates, or coatings, the second for panel foams or cast resins, and the latter for typical rigid foams, e. g. for pipe insulation. Another type of APP was developed with lower hydroxyl numbers such as 180 mg KOH/g to be employed in cover coatings for leather in aliphatic diisocyanate systems [11].

In the series with the hydroxyl number adjusted to 240 mg KOH/g the amount of glycerol was varied from 0 to 8%. Increasing the amount of glycerol leads to an increase of the functionality of the polyols produced from 2.03 to 2.15. As it is shown in figure 2 the viscosity of the polyols with 12% of adipic acid rises rather linearly to about 5% of glycerol and starts to increase steeper at higher amounts incorporated into the chain of the oligomers. The reason for the steeper increase may be derived from the second curve of figure 2 in which the difference of the viscosities measured by rotational and oscillational mode is shown. This curve shows a significant sharp increase at this point hinting to another type of origin of the viscosity. While the rotational mode of the viscosity only corresponds to the Newtonian mode the oscillational mode reflects the structural viscosity as well. The difference is, therefore, a qualitative measure for the non-Newtonian part of the viscosity. This increases sharply at the addition of about 5% of glycerol showing an increasing portion of structural viscosity. Any structural viscous materials represent problems in the handling of them in the polyurethane machinery and have to be avoided so that the amount of branching of the APP of this type is limited to a maximum of 5% or a hydroxyl functionality of 2.12.

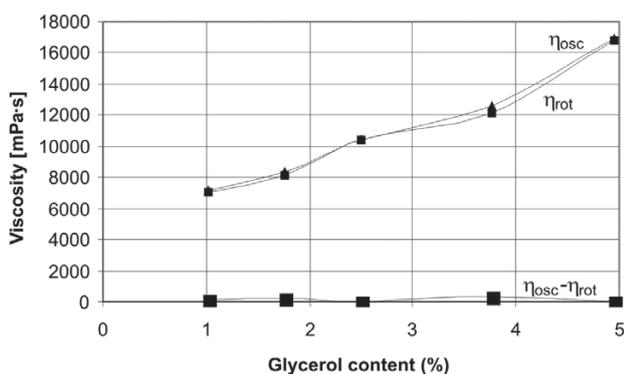


Figure 3. Dependence of the viscosity η of polyols on glycerol content (hydroxyl number 240 mg KOH/g, 16% adipic acid)

Figure 3 shows that higher functionality corresponds with a higher viscosity of the polyols with 16% of adipic acid reaching values up to 17,000 mPa·s. The difference in the values of viscosity in the oscillation and rotation mode of the polyols does not exceed 400 mPa·s which shows that there is generally little content of molecular superstructures up to the investigated area of 5% of

glycerol. This makes the polyols of the respective range of functionalities well suitable for polyurethane production. The differences of the viscosity measurements with both modes are solely dependent on the amount of aliphatic dicarboxylic acid incorporated while the formation of non-Newtonian viscosity depends on the amount of triol, here glycerol, used.. A higher amount of adipic acid used in the production of APP, thus, leads to a decrease of the viscosity and simultaneously to a decrease of the content of molecular superstructures.

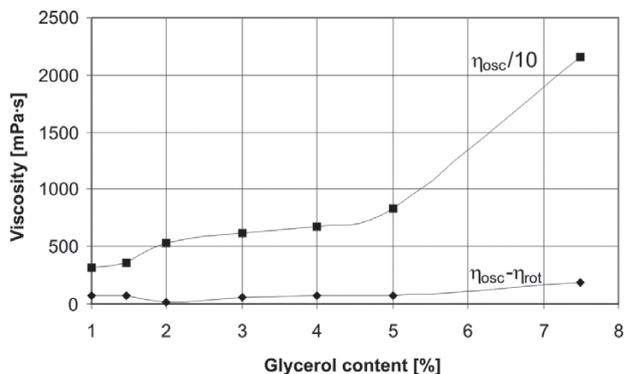


Figure 4. Dependence of the viscosity η of polyols on glycerol content (hydroxyl number 320 mg KOH/g, 6% adipic acid)

In the third series with the hydroxyl number of the APP adjusted to 320 mg KOH/g the amount of glycerol was increased from 0 to 8%. This leads again to a higher hydroxyl functionality but also to a rise in the value of the viscosity up to 20,000 mPa·s. As it is shown in figure 4 the difference in the values of the viscosity in the oscillation and rotation mode of the polyols is very low in the range up to 5% of glycerol which does not allow an interpretation as it is close to the standard equipment error. The slight increase in viscosity after passing the mark of 5% of glycerol is very much lower than in the previous series and does not exceed of 400 mPa·s which is a much smaller increase than in the first series showing that lower molecular weights of the oligomeric chains and a slightly increased amount of glycol solvents hinder the formation of structural viscosity. Based on that the application of the polyols depends only on the viscosity values.

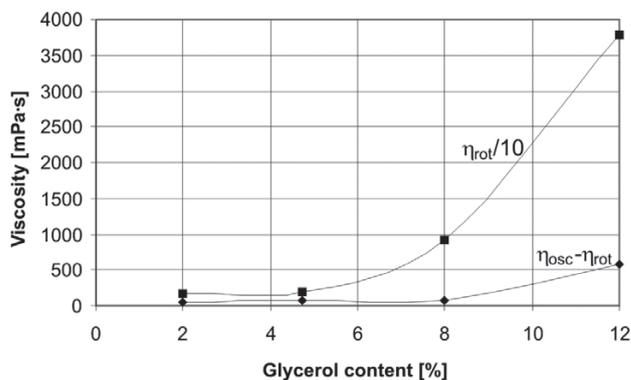


Figure 5. Dependence of the viscosity η of polyols on glycerol content (hydroxyl number 380 mg KOH/g, no adipic acid)

In the forth series with APP of hydroxyl numbers in the range of 380 mg KOH/g, the amount of glycerol was increased from 0 to 12%. The value of the viscosity rises up to 35,000 mPa·s. As is shown in figure 5 the difference in the values of the viscosity in the oscillation and rotation mode of the polyols is increasing to slightly more than 500 mPa·s. The increase is very low in the area up to 8% of glycerol and is only slightly exceeding the standard error of the instrument. Beyond 8% of glycerol in the formulation the increase becomes more pronounced. Here again, this behaviour of the viscosity over functionality shows a dependence on the structural part of the viscosity by increasing the latter.

In another series, formulations to produce polyols with such a hydroxyl number were developed without using adipic acid. In this series, the development of a higher degree of structural viscosity was observed at a hydroxyl functionality of 2.12, i. e. at a content of glycerol of 9%. This shows again that the incorporation of the aliphatic dicarboxylic acid into the oligomer chains has very little effect on the build-up of structural viscosity and is only responsible for the adjustment of the viscosity of the polyol with respect to its field of application.

As it can be seen in all the series employing different hydroxyl numbers the viscosity rised with the degree of branching in the polyol chains and decreases with increasing the amount of aliphatic dicarboxylic acid built into the oligomer chains.

The APP produced in this way are to be used for non-porous polyurethanes, e. g. solid resins, casts, sealants and especially coatings. One field of application is the use of these APP in coating formulations for leather and fibres.

Otherwise, they maybe used for cast resins or reinforced casts to produce polyurethane heels. To produce such the following lab formulation VS 249 was used:

APP (OH No. 259 mg KOH/g, $f_n = 2.08$)	97.1 parts
Titanium dioxide (micronized)	0.6 parts
Sodium aluminium silicate (Baylit®)	2.3 parts
Lupranat® M20S	60.0 parts

The components were degassed and mixed by hand to give a clear liquid and cast into moulds at room temperature. Curing was performed for 8 hours at 120° C. After cooling to room temperature the casts were recovered from the moulds, subjected to 14 days of after-curing and tested. The results of the testing is depicted in table 1. Further results on systematic investigations with cast polyurethanes obtained from APP of varying properties and different isocyanates will be given in a forthcoming paper [12, 13].

Property	Dimension	Value
Glass transition (DSC)	°C	53.6
Glass transition region (DMA)	°C	31 - 72
Tensile strength	N/mm ²	116.7
Elongation at break	%	1.48
Flexural strength	N/mm ²	177.8
Flexural elastic modulus	N/mm ²	3476

Table 1: Properties of cast polyurethanes of lab formulation VS249

Further, from APP thus produced protective coatings for natural and artificial leather were prepared on the Mathis LabCoater®. To this end, an APP with a hydroxyl number of 228 mg KOH/g and a functionality of 2.08 (i. e. a glycerol content of 5%) was used. The lab formulation VS322 was as follows:

APP (OH No. 228 mg KOH/g, $f_n = 2.08$)	93.2 parts
Titanium dioxide (micronized)	1.0 parts
Iron dark brown pigment	4.7 parts
Sodium aluminium silicate (Baylit®)	1.1 parts
4,4'-dicyclohexylmethane diisocyanate	52.0 parts

Property	Dimension	Value
Glass transition (DSC)	°C	45
Glass transition region (DMA)	°C	25-65
Tensile strength	N/mm ²	110
Elongation at break	%	2.1
Flexural strength	N/mm ²	190

Table 2: Properties of films obtained from lab formulation VS322

The APP were chosen due to their UV stability. The mechanical testing resulted in the values depicted in table 2.

Further investigations were made with foaming. Two different densities were chosen, i. e. 50 g/dm³ and 130 g/dm³ using APP of different hydroxyl functionality [14]. The formulations are given in table 3, the properties obtained in table 4.

Substance	K 3105061-50	K 2909065-130
APP (OH 380)	93.5	0
APP (OH 244)	0	95.4
PC Cat NP 40	0.9	0.9
DMEOA	0.1	0.1
TEGOSTAB® B8433	1.0	0.9
Water	4.5	0.5
Pentane	0	2.2
Lupranat® M20S	163.5	65.0

Table 3: Foam lab formulations

The foams were produced by hand mixing in amounts to be sufficient to fill an 8 l mould of aluminium coated with a separating wax. After foaming up the moulds were closed and kept at room temperature for one hour before being opened. The blocks were demoulded and left at room temperature for seven days before cutting into standard cubes or rods. Testing was performed after further two days conditioning at room temperature. The results of the mechanical testing are presented in table 4.

Property	Dimension	K 3105061-50	K 2909065-130
Dimensional change at 120° C	%	+0.94	+0.52
Dimensional change at 150° C	%	-	+0.65
Flexural strength	N/mm ²	0.86	1.89
Flexural elastic modulus	N/mm ²	13.4	29.3

Table 4: Mechanical properties of foams

As can be seen from the tables 1 to 4 the new developed APP lead to polyurethanes with exceptional high property values. Especially the high dimensional stability of the foams and the high flexural strength of the cast resins is attributed to the new structure of the APP [15]. Furthermore, the investigation into coatings including final coatings of leather shows that by the development of a special type of such APP highly scratch resistant and UV stable coatings were obtained when using an appropriate diisocyanate. Thus, these new APP offer new opportunities to develop and apply specialty polyurethanes with high quality levels.

4 Conclusions

New branched aromatic polyester polyols were obtained by incorporating small portions of glycerol into the oligomer chain of such polyols during the transesterification reaction of PET. By adjusting the ratio of PET, DEG, adipic acid and glycerol as a branching agent in the reaction mixture long time stable aromatic polyester polyols with adjustable properties such as hydroxyl number, branching and viscosity at very low acid number were obtained. In thorough investigations of three series of such polyols in the hydroxyl number range of 240, 320, and 380 mg KOH/g the optimum conditions were determined by the viscosity of the resulting products and by the structural part of the viscosity which was estimated as the difference of the viscosities determined by the rotational and oscillation mode. This difference of viscosities shows a pronounced point of inflection in any series depending on the amount of glycerol added, i. e. the hydroxyl functionality, generally in the range of 5% of glycerol or a corresponding hydroxyl functionality of 2.08. The point of inflection was shown to be dependent on the amount of adipic acid added as a viscosity reducer. This points to the fact that the branching of the oligomer chain is responsible for the build-up of superstructures in the polyols and, hence, the formation of the main portion of structural or non-Newtonian viscosity whereas an increased addition of adipic acid decreases the formation of superstructures in the range of triols investigated. The build-up of superstructures as measured by the difference of viscosity measurements in two modes has to be strictly avoided so as to use the polyols without technical problems in the fields of the applications anticipated. The polyols are useful to produce polyurethanes in the fields of light stable coatings, cast resins e. g. as heels, reinforced cast resins or high quality rigid foams.

Acknowledgement

The authors are grateful for financial support of the studies by Lausitzer Edelstahltechnik GmbH, Doberlug-Kirchhain, Germany. The authors thank Recyclit GmbH, Wildau, Germany, for placing at their disposal diethylene glycol, glycerol and adipic acid free of charge.

References

- [1] Grigsby, R. A., Liquid Terephthalic Ester Polyols, EP 0 154 079 (29.10.1984/11.09.1985)
- [2] Grigsby, R. A., Liquid Terephthalic Ester Polyols and Polyisocyanurate Foams therefrom, US 4,469,824 (18.11.1983/04.09.1984)
- [3] Peterson, D., Apparatus and Method for Converting Polyethylene Terephthalate into Polyester Polyols, US patent 6,048,907 (23.08.1999/11.04.2000)
- [4] Evtimova, R./Lozeva, Y./Schmidt, K.-H./Wotzka, M./Wagner, P./Behrendt, G., Polyester Polyols From Waste PET Bottles For Polyurethane Rigid Foams, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2003, 19-25
- [5] Langenstraßen, R./Fulev, S./Apel, A./Gebert, B./Lehmann, D./Behrendt, G., Entwicklung einer Anlage zur kontinuierlichen Herstellung von PET-Recycling-Polyolen, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2006, 55-64
- [6] Vaidya, U. R./Nadkarni, V. M., Polyester Polyols for Polyurethanes from PET Waste, J. Appl. Polym. Sci. 35, 775-785 (1988)
- [7] Vaidya, U. R./Nadkarni, V. M., Polyester polyols from PET waste: effect of glycol type on kinetics of polyesterification, J. Appl. Polym. Sci. 38, 1179-1190 (1991)
- [8] Reck, W., Verfahren zur Herstellung von aromatischen Polyesterpolyolen sowie aromatische Polyesterpolyole, DE-OS 199 63 731 (24.12.1999/05.07.2001)
- [9] Langenstraßen, R./Fulev, S./Apel, A./Gebert, B./Lehmann, D./Behrendt, G., Entwicklung der Grundlagen für eine Laboranlage zur kontinuierlichen Herstellung von PET-Recycling-Polyolen, Wiss. Beitr. Techn. Fachhochsch. Wildau 2004, 34-45
- [10] Boyadzhiev, M./Fulev, S./Langenstraßen, R./Evtimova, R./Behrendt, G., Investigation of the catalysis of the transesterification of PET, to be published in J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy
- [11] Fulev, S., Recycling of PET Wastes – Investigation of the Transesterification Reaction, Ph. D. dissertation, Sofia, 2007
- [12] Stoycheva, V./Boyadzhiev, M./Langenstraßen, R./Behrendt, G., Polyurethanes Based on Aromatic Polyester Polyols with Varying Hydroxyl Functionality, paper to be published in J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy
- [13] Stoycheva, V./Staabs, B.(Recyclit GmbH), Neue Polyurethanharze und Verfahren zu ihrer Herstellung, patent application DE 10 2006 038 259.5 (08.08.2006)
- [14] Peshkov, V./Naber, B. W./Schmidt, K.-H. (Recyclit GmbH), Verfahren zur Herstellung neuer, flammgeschützter Polyurethane, patent application DE 10 2006 058 400.7 (07.12.2006)
- [15] Langenstraßen, R./Schmidt, K.-H., Entwicklung von Isolationsmaterialien aus tief- und hochtemperaturbeständigen Polyurethan-Hartschaumstoffen auf der Basis von aromatischen Polyesteralkoholen, final report in the InnoRegio project FIRM, Teilthema 9, Wildau, 2006

Literature

in alphabetical order

- Boyadzhiev, M./Fulev, S./Langenstraßen, R./Evtimova, R./Behrendt, G., Investigation of the catalysis of the transesterification of PET, to be published in J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy
- Evtimova, R./Lozeva, Y./Schmidt, K.-H./Wotzka, M./Wagner, P./Behrendt, G., Polyester Polyols From Waste PET Bottles For Polyurethane Rigid Foams, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2003
- Fulev, S., Recycling of PET Wastes – Investigation of the Transesterification Reaction, Ph. D. dissertation, Sofia, 2007
- Grigsby, R. A., Liquid Terephthalic Ester Polyols, EP 0 154 079 (29.10.1984/11.09.1985)
- Grigsby, R. A., Liquid Terephthalic Ester Polyols and Polyisocyanurate Foams therefrom, US 4,469,824 (18.11.1983/04.09.1984)
- Langenstraßen, R./Fulev, S./Apel, A./Gebert, B./Lehmann, D./Behrendt, G., Entwicklung der Grundlagen für eine Laboranlage zur kontinuierlichen Herstellung von PET-Recycling-Polyolen, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2004
- Langenstraßen, R./Fulev, S./Apel, A./Gebert, B./Lehmann, D./Behrendt, G., Entwicklung einer Anlage zur kontinuierlichen Herstellung von PET-Recycling-Polyolen, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2006
- Langenstraßen, R./Schmidt, K.-H., Entwicklung von Isolationsmaterialien aus tief- und hochtemperaturbeständigen Polyurethan-Hartschaumstoffen auf der Basis von aromatischen Polyesteralkoholen, final report in the InnoRegio project FIRM, Teilthema 9, Wildau, 2006
- Peshkov, V./Naber, B. W./Schmidt, K.-H. (Recyclit GmbH), Verfahren zur Herstellung neuer, flammgeschützter Polyurethane, patent application DE 10 2006 058 400.7 (07.12.2006)
- Peterson, D., Apparatus and Method for Converting Polyethylene Terephthalate into Polyester Polyols, US patent 6,048,907 (23.08.1999/11.04.2000)
- Reck, W., Verfahren zur Herstellung von aromatischen Polyesterpolyolen sowie aromatische Polyesterpolyole, DE-OS 199 63 731 (24.12.1999/05.07.2001)
- Stoycheva, V./Boyadzhiev, M./Langenstraßen, R./Behrendt, G., Polyurethanes Based on Aromatic Polyester Polyols with Varying Hydroxyl Functionality, paper to be published in J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy
- Stoycheva, V./Staabs, B. (Recyclit GmbH), Neue Polyurethanharze und Verfahren zu ihrer Herstellung, patent application DE 10 2006 038 259.5 (08.08.2006)
- Vaidya, U. R./Nadkarni, V. M., Polyester Polyols for Polyurethanes from PET Waste, J. Appl. Polym. Sci. 35, 775-785 (1988)
- Vaidya, U. R./Nadkarni, V. M., Polyester polyols from PET waste: effect of glycol type on kinetics of polyesterification, J. Appl. Polym. Sci. 38, 1179-1190 (1991)

Authors

Dipl.-Chem. Marin Boyadzhiev

Wildau University of Applied Sciences
Tel. +49 3375 508-406
marin.boyadzhiev@tfh-wildau.de

Dr. Rainer Langenstraßen

Wildau University of Applied Sciences
Tel. +49 3375 508-502
rainer.langenstrassen@tfh-wildau.de

Prof. Dr. Rozeta Eftimova

University of Chemical Technology and Metallurgy
8 St. Kliment Ohridski blvd.
1756 Sofia
Bulgaria

Prof. Dr. Sanchy Nenkova

University of Chemical Technology and Metallurgy
8 St. Kliment Ohridski blvd.
1756 Sofia
Bulgaria
Tel. +359 2 8685493, +359 2 8163101

Prof. Dr. Gerhard Behrendt

Wildau University of Applied Sciences
Tel. +49 3375 508-591
gerhard.behrendt@tfh-wildau.de

Internationale Marktforschung

Stephan Broda

Zusammenfassung

Unternehmen, die international agieren bzw. agieren möchten, müssen die Funktionsweisen der fremden Märkte kennen und ihre Geschäftspraktiken entsprechend einstellen. Internationale Marketingstrategien zeichnen sich durch hohe Komplexität aus. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Bedeutung und wesentlichen Elemente der internationalen Marktforschung sowie über deren Zukunftstrends.

Abstract

Companies already acting internationally or going international need to understand how international markets function and how the need to adjust their business practices. Yet international marketing strategies are characterised by great complexity. The article gives an overview of the meaning of international market research, its core elements as well as trends for the future.

1 Warum internationale Marktforschung?

Die richtige Einschätzung des internationalen Marktgeschehens ist für jedes Unternehmen eine große Herausforderung, da die Implementierung globaler Marketingstrategien durch hohe Komplexität, zeitliche Unsicherheiten sowie beträchtliche Kosten gekennzeichnet ist. Im Rahmen der Risikominimierung setzt hier die internationale Marktforschung an, die eine entscheidende Rolle bei der Vorbereitung von Marketingentscheidungen spielt. Dabei erfüllt die internationale Marktforschung folgende Hauptaufgaben (Homburg/Krohmer 2003, S. 920; Broda 2005, S. 101 ff.; Knapp/Wachter 1998, S. 26):

- Sie liefert die empirische Datenbasis, um die Expansion in renditeträchtige Auslandsmärkte zu beschleunigen oder geeignete Übernahmekandidaten (Produkte, Firmen) zu identifizieren.
- Die internationale Marktforschung ermöglicht die Früherkennung von Marktveränderungen (Trend-Scout-Funktion), welche später auch für das eigene Unternehmen oder den nationalen Markt von Bedeutung sein können.
- Die Beobachtung internationaler Produktmärkte führt zu Lerneffekten, da ausländische Konkurrenzaktivitäten analysiert (Best Practice, Benchmarking) und für das eigene Unternehmen nutzbar gemacht werden.
- Internationale ökonomische sowie politische Veränderungen haben Auswirkungen auf den nationalen Markt (z. B. Asienkrise oder 11.09.2001). Hier gilt es adäquat zu reagieren.

2 Anforderungen an die internationale Marktforschung

Im internationalen Bereich stellt sich insbesondere die Frage, inwieweit Marktforschungsmethoden über verschiedene Kulturkreise hinweg gültig sind. So treffen beispielsweise in westlichen Kulturkreisen die Konsumenten individuelle Kaufentscheidungen, hingegen spielen in östlichen Kulturen Gruppenentscheidungen eine wichtigere Rolle (Homburg/Krohmer 2003, S. 920). In der Praxis lässt sich jedoch feststellen, dass zwei Drittel aller internationalen Marktforschungsstudien in den in Abbildung 1 dargestellten Ländern durchgeführt werden, so dass die Problematik internationaler Gültigkeit der Forschungsergebnisse nicht überbewertet werden sollte.

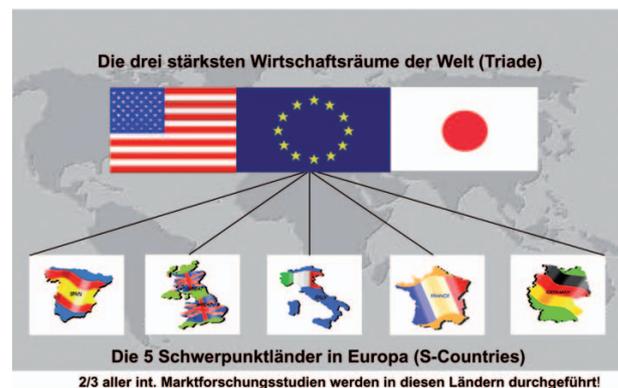


Abb. 1: Geografische Schwerpunkte internationaler Marktforschung

Um auch im internationalen Bereich die üblichen Gütekriterien wie Reliabilität und Validität zu erfüllen und darüber hinaus kulturübergreifend vergleichbare Daten zu erheben, ist es zwingend erforderlich, ein einheitliches Studiendesign (Untersuchungsinhalt, Zielgruppen,

Methodik, Fragebogen, Vercodung, Auswertung und Interpretation) zu gewährleisten (Knapp/Wachter 1998, S. 27).

Dabei ist es besonders wichtig, dass die Befragten in den verschiedenen Ländern die Bedeutung von Fragen und Ratingskalen identisch interpretieren (Verständnisäquivalenz). Des Weiteren ist sicherzustellen, dass die Respondents in den verschiedenen Ländern bei Gleichheit der relevanten Bedingungen auch gleich antworten (Beantwortungsäquivalenz). Hier entstehen vor allem folgende Probleme (Knapp/Wachter 1998, S. 29 f.; Homburg/Krohmer 2003, S. 921 f.):

- **Soziale Wünschbarkeit:** Bezüglich der sozialen Erwünschtheit von Antworten ist es beispielsweise in den USA durchaus üblich, sich sehr positiv über den persönlichen Erfolg zu äußern, wohingegen dies in Frankreich ein eher weniger akzeptiertes soziales Verhalten darstellt.
- **Höflichkeitsbias:** Im Kommunikationsverhalten ist zu beachten, dass die Bereitschaft zur deutlichen Kritikäußerung je nach Land unterschiedlich hoch ausgeprägt ist. Insbesondere in Ostasien besteht die Neigung, den Interviewer nicht zu verärgern und daher stets zustimmende Antworten zu geben.
- **Extremer Antwortstil:** Bei Skalenabfragen können verstärkt die Extrempunkte der Skala oder nur die Mitte besetzt sein. Ebenfalls ist häufig eine Ja/Nein-Sage-Tendenz zu beobachten.
- **Allgemeiner Sprachgebrauch:** Bei der Gestaltung von Fragen ist ein nach Ländern unterschiedlicher Sprachgebrauch zu berücksichtigen. So bietet die deutsche Sprache im allgemeinen die Möglichkeit zu präziseren Formulierungen, als beispielsweise die US-amerikanische.

3 Organisation der internationalen Marktforschung

In den meisten Fällen wird die internationale Marktforschung in einem Unternehmen zentral gesteuert, d. h. benötigte Daten der Sekundärmarktforschung und Wettbewerbsanalyse werden an einer Stelle zusammengetragen und Primärstudien von der Unternehmenszentrale aus koordiniert. Dies hat vor allem die folgenden Vorteile (Doole/Lowe 2001, S. 23 ff.):

- Die zentrale Durchführung von Marktforschungsstudien sichert die Vergleichbarkeit der Länderergebnisse durch ein identisches Studiendesign.
- Es kommen nur die vorab festgelegten, einheitlichen Markt-, Produkt- und Zielgruppendefinitionen zur Anwendung.
- Kommunikations- und Informationsprozesse werden durch eine zentrale Anlaufstelle wesentlich vereinfacht. Dies führt zu erhöhter Transparenz des gesamten Studienablaufs.
- Der Informations- und Know-how-Transfer zu den Tochtergesellschaften wird erhöht und verbessert somit die Akzeptanz des gesamten Projektes. Das »Not Invented Here« (NIH)-Syndrom wird vermieden.

- Nicht zuletzt führt die zentrale Vorgehensweise zu signifikanten Zeitgewinnen sowie zu Budgetersparnissen für die Tochtergesellschaften, da zentral in Auftrag gegebene Studien i. d. R. auch zentral bezahlt werden.

Ein Unternehmen nimmt i. d. R. bei der Durchführung von internationalen Marktforschungsstudien die Dienste von internationalen Marktforschungsagenturen in Anspruch. Größere Agenturen, von denen drei in Abbildung 2 beispielhaft dargestellt sind, verfügen meist über eigene Niederlassungen in den meisten Ländern der Erde.

	1.5 Mrd. US\$ Umsatz, 21.000 Mitarbeiter, 100 Länder. <small>Quelle: acnielsen.com, Jahr 2001.</small>
	1.1 Mrd. US\$ Umsatz, 5000 Mitarbeiter, 100 Länder. <small>Quelle: ims-health.com, Jahr 2001.</small>
	893 Mio. US\$ Umsatz, 9000 Mitarbeiter, 50 Länder. <small>Quelle: tnsinfratest.com, Jahr 2001.</small>

Abb. 2: Internationale Marktforschungsagenturen

4 Hauptbereiche internationaler Marktforschung

Wie auch im nationalen Bereich stellen Sekundär- und Primärmarktforschung sowie die Wettbewerbsanalyse das Fundament jeder Marktforschungsabteilung dar. Allerdings gibt es in den Aufgaben der einzelnen Bereiche einige Unterschiede, die nachfolgend beschreiben werden (Broda 2005, S. 101 ff.).

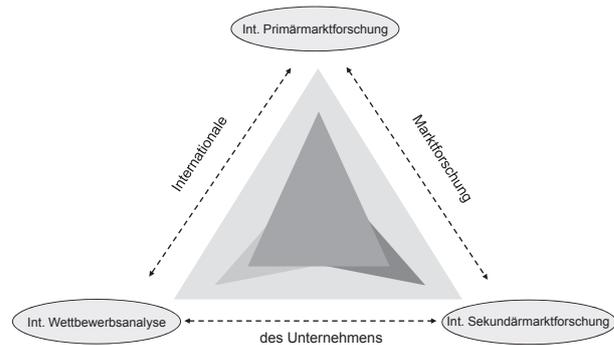


Abb. 3: Die drei Hauptbereiche internationaler Marktforschung

4.1 Sekundärmarktforschung

Internationale Sekundärforschung interpretiert bereits vorhandene Daten und stellt deren internationale Vergleichbarkeit her. Im Hinblick auf Quellen für Sekundärdaten sind im internationalen Marketing zwei Kategorien zu unterscheiden (Kotler/Bliemel 2001, S. 381 ff. Rogge 1999, S. 79 ff.):

- **Nationale Quellen:** Statistische Ämter des Landes, Verbände, wissenschaftliche Institutionen, Nationale Verzeichnisse (z. B. »Rote Listen«).

- **Internationale Quellen:** Amtliche Statistiken der Worldbank, United Nations Population Fund, International Monetary Fund (IMF).

Eine weitere zentrale Aufgabe internationaler Sekundärmarktforschung ist die konzernweite Harmonisierung und Durchsetzung von Datenstandards und Marktdefinitionen. Bei der Verwendung von Sekundärdaten im internationalen Bereich können spezifische Probleme auftreten. Dabei sind insbesondere zu erwähnen (Homburg/Krohmer 2003, S. 923; Peter/Donnelly Jr. 2002, S. 47 f.):

- **Genauigkeit der Daten:** Bezüglich der Qualität von vorhandenem sekundärstatistischen Material gibt es zwischen den einzelnen Ländern große Unterschiede.
- **Länderübergreifende Vergleichbarkeit der Daten:** Oftmals lassen sich Sekundärdaten aus verschiedenen Ländern schwer miteinander vergleichen, da sie unterschiedlich gegliedert sind und auf verschiedenen Erhebungsinstrumenten basieren.

4.2 Primärmarktforschung

Einen Überblick über die Vielzahl möglicher internationaler Studien liefert Abbildung 4. Im internationalen Bereich wird, allein schon aus praktischen Gründen, am häufigsten die Befragung als »klassische Erhebungsmethode« eingesetzt. Auch hier sind identische Erhebungsmethoden (z. B. Face-to-Face), über alle an der Studie beteiligten Länder das wichtigste Kriterium (Doole/Lowe 2001, S. 278 f.).

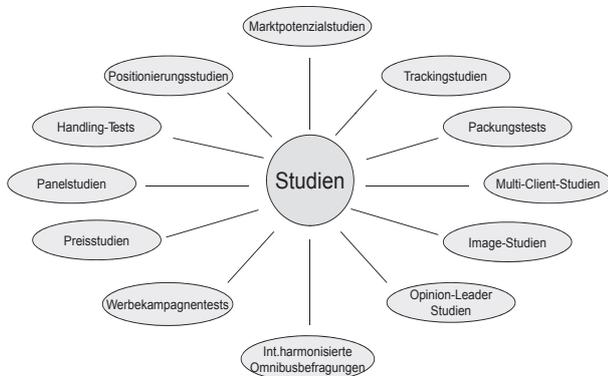


Abb. 4: Internationale Primärmarktforschungsstudien

Analysiert man hier die schriftliche, telefonische und die Face-to-Face Befragung, so ergeben sich für den internationalen Einsatz folgende Vor- und Nachteile (Berekoven et al. 2004, S. 94 ff.; Lüttgens 1998, S. 59 f.; Böhler 2004, S. 64 f.):

4.2.1 Schriftliche Befragung

Die niedrigen Durchführungskosten sind gerade im internationalen Bereich von Vorteil, da hier die Möglichkeit zur Einbeziehung auch geographisch weit gestreuter Befragter besteht. Auch wirkt sich die Vermeidung von länderspezifischen Interviewereinflüssen positiv aus. Als echter Nachteil hingegen muss die unterschiedlich hohe Akzeptanz von schriftlichen Befragungen in den einzelnen Ländern gesehen werden, die zu sehr unter-

schiedlichen Rücklaufquoten führen kann. Auch sind Verzögerungen im internationalen Postversand entsprechend einzukalkulieren.

4.2.2 Telefonbefragung

Internationale Telefonbefragungen lassen sich zentral, d. h. aus dem Heimatland, schnell und sicher durchführen. Man ist zeitlich sehr flexibel und kann mit sehr geringen Abbrecherquoten rechnen. Leider steht dem ein relativ hoher Koordinationsaufwand gegenüber, insbesondere wenn eine »kalte« Anwahl nicht möglich ist, also vorab Terminvereinbarungen mit dem Respondent getroffen werden müssen. Die Problematik unterschiedlicher Zeitzonen, teilweise unzureichender Telefondichte und oftmals schlechter Netzqualität sollte nicht unterschätzt werden.

4.2.3 Face-to-Face-Interview

Da bei Face-to-Face-Interviews i. d. R. lokale Interviewer eingesetzt werden, ist die Wahrscheinlichkeit kulturbedingter Missverständnisse eher gering. Leider mangelt es oft an geschulten Interviewern vor Ort und die ohnehin hohen Kosten schlagen im internationalen Bereich besonders zu Buche (Training der Interviewer, Reisekosten, Koordination).

4.3 Wettbewerbsanalyse (Business Intelligence)

Unter internationaler Wettbewerbsanalyse versteht man die strukturierte, systematische und dauerhafte Beobachtung von Konkurrenzunternehmen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in der Marketingplanung. Dabei stellt das Auffinden potenzieller Übernahme-, Lizenz- oder Kooperationskandidaten einen wesentlichen Beitrag dar. Es werden Firmenprofile (SWOT-Analysen, Patentsituation, Produktportfolio, Pipeline-Situation) erstellt und im Sinne der nachhaltigen Sicherung von Erfolgspotenzialen ein »Competitive Monitoring« aufgebaut (Keegan/Green 2000, S. 124 ff.).

5 Durchführung einer internationalen Marktforschungsstudie

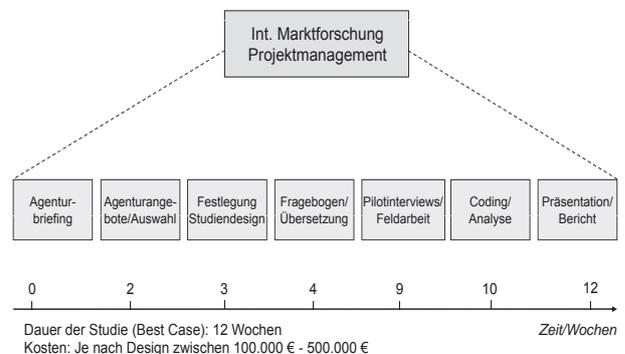


Abb. 5: Projektablauf einer internationalen Marktforschungsstudie

Im Hinblick auf die Sicherstellung einer hohen Qualität internationaler Marktforschungsstudien sind bei deren Durchführung die nachfolgenden Punkte unbedingt zu

beachten (Homburg/Krohmer 2003 S. 922 f.; Backhaus et al. 1998, S. 114 ff.; Cateora/Graham 2001, S. 82 ff.):

- In die Konzeption eines internationalen Marktforschungsprojektes sollten von vornherein Personen mit Verständnis für die verschiedenen Landeskulturen mit einbezogen werden.
- Bei der Verwendung standardisierter Fragebögen in mehreren Ländern empfiehlt es sich, den Fragebogen von einer zweisprachigen Person kontrollieren zu lassen und mit der englischen Masterversion abzugleichen.
- Sorgfältige Pretests, möglichst in mehreren der beteiligten Länder, sind im internationalen Marketing noch wichtiger als bei rein nationaler Marktforschung.
- Es ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Datenerhebungsmethoden (z. B. Face-to-Face-Befragung vs. Telefoninterview) nicht in allen Ländern die gleiche Akzeptanz bei den Befragten aufweisen.
- Es ist bei der Planung einer internationalen Mehrländerstudie immer ausreichend Zeit und Budget bereitzustellen. Als »rule of thumb« sollten ein Zeitrahmen von zwölf Wochen und Kosten ab 100.000 Euro eingeplant werden.

6 Zukunftstrends in der internationalen Marktforschung

Vor allem aus Kostengründen zeichnen sich drei wesentliche Trends ab. Zum ersten wird die Online-Marktforschung (Internetmarktforschung) sehr starke Zuwachsraten verzeichnen, da sie die Gestaltungsmöglichkeiten des Face-to-Face-Interviews mit den Kostenvorteilen der Telefonumfrage kombiniert. Zweitens wird es eine Bewegung weg von der reinen Institutsmarktforschung hin zur »Universitätsmarktforschung« über Partnerhochschulen im internationalen Umfeld geben und drittens wird sich die Gefahr des kompletten Outsourcings der internationalen Marktforschung an Agenturen erhöhen. Lediglich die Koordination wird in der Marketingabteilung der jeweiligen Firmen verbleiben. Dennoch wird auch in Zeiten enger Budgets die »klassische« internationale Marktforschung eine Zukunft haben.

Literatur

- Backhaus, K./Büschel, J./Voeth, M., Internationales Marketing, 2. Aufl., Stuttgart 1988
- Berekoven, L./Eckert, W./Ellenrieder, P., Marktforschung, 10. Aufl., Wiesbaden 2004
- Böhler, H., Marktforschung, 3. Aufl., Stuttgart, 2004
- Broda, S., Marketing-Praxis, 2. Aufl., Wiesbaden 2005
- Cateora, P. R./Graham, J. L., International Marketing, 11th Edition, New York 2001
- Doole, I./Lowe, R., International Marketing Strategy, 3rd Edition, 2001, Massachusetts 2001
- Homburg, C./Krohmer, H., Marketingmanagement, 1. Aufl., Wiesbaden 2003
- Keegan, W. J./Green, M. C., Global Marketing, 2nd Edition, New York 2000
- Knapp, F. D./Wachter, B., Internationale Marktforschung – Lediglich eine Frage der Segmentierung?, in: Planung & Analyse, 6/1998
- Kotler, P./Bliemel, F., Marketing Management, 10. Aufl., Stuttgart 2001
- Lüttgens, M. R., Marketing Forschung, 1. Aufl., Bern 1998
- Peter, J. P./Donnelly Jr., J. H., A Preface to Marketing Management, 9th Edition, Illinois 2002
- Rogge, H.-J., Sekundärerhebung (Informationsquellen), in: Pepels, W., Moderne Marktforschung, Neuwied 1999

Autor

Prof. Dr. Stephan Broda
Technische Fachhochschule Wildau
Tel. +49 3375 508-869
stephan.broda@tfh-wildau.de

Erstellung eines Geschäftsmodells zur Ausrüstung von Taxi Berlin mit einem digitalen Bündelfunksystem

Bernd Eylert, Patrik Groh, Eike Kräft, Thomas Weidner

Kurzfassung

Taxi Berlin hatte im Jahr 2005 eine Ausschreibung herausgebracht mit dem Ziel, ihr analoges Bündelfunksystem in ein digitales umzuwandeln. Daran beteiligen wollte sich auch die Firma adKor GmbH, ein KMU (kleine und mittlere Unternehmen) aus Wildau. Es bat die TFH Wildau um Unterstützung. Aufgabe der Hochschule war nun, ein komplettes Geschäftsmodell für diesen Fall zu entwickeln. Gleichzeitig sollte es so allgemein formuliert und gerechnet sein, dass man es für ähnliche Ausschreibungen in anderen Bundesländern wieder verwenden kann. Wettbewerbssituation des Unternehmens, Markt und Technologie wurden analysiert, ein Marketingkonzept entwickelt und verschiedene Szenarien beschrieben und gerechnet. Abschließend wurden Handlungsempfehlungen gegeben. Obwohl das Konzept in Berlin nicht zum Tragen kam, war es später erfolgreich bei der Bewerbung von adkor zum Erwerb der Bündelfunksysteme in Hamburg und Hannover und hat so auch seinen Praxistest bestanden.

Abstract

In 2005, Taxi Berlin offered a call for tenders to switch their trunking system from analogue to digital. A small and medium enterprise (SME) in Wildau, adKor GmbH, wanted to participate in the contest and asked the local university for support. The task was to write a business model and calculate a business case for Taxi Berlin, but keep it open and write it generally so that the client could use it for other tenders for switching from analogue to digital trunking systems in other parts of Germany as well. Competition, market and technology were analysed, a marketing concept developed and different scenarios described and calculated. Finally, a recommended course of action was given. Although the business model was not successful in Berlin, it succeeded in Hamburg and Hannover.

1 Einleitung

Teil der Lehrveranstaltung »Mobile Commerce« im Masterstudiengang Telematik ist die Durchführung eines Projekts, in dem die Studierenden das Gelernte praktisch erproben sollen. Um dem Anspruch an Masterstudenten gerecht zu werden, soll es sich möglichst um ein reales Thema handeln. In diesem Rahmen ergab sich Ende 2005 ein kleiner Forschungsauftrag bei der Wildauer adKor GmbH zum Thema »Erstellung eines Geschäftsmodells zur Ausrüstung von Taxi Berlin mit neuem digitalem Bündelfunk«, mit dem sich die Firma kurzfristig an der Ausschreibung von Taxi Berlin bewerben wollte. Das entwickelte Modell sollte aber allgemeingültig aufgesetzt werden, damit sich das Unternehmen auch an anderen Stellen mit diesem Geschäftsmodell um den Erwerb digitaler Bündelfunknetze bewerben kann. Das Modell wurde aus Wettbewerbsgründen mit realistischen, aber synthetischen Kennzahlen und Preisangaben für die Erstellung der Finanzierungsszenarien durchgeführt.

2 Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit ist die Erstellung eines Geschäftsmodells für die Ausrüstung von Taxi Berlin mit einem digitalen Bündelfunksystem. Dies geschieht im Auftrag der Firma adKor GmbH, die gegenüber Taxi Berlin als Auftragnehmer auftritt.

Laut Vorgabe von adKor sollen mehrere Szenarien erstellt und gerechnet werden. Diese beinhalten i. W. verschiedene Möglichkeiten der Vertragsmodalitäten zwischen adKor und Taxi Berlin im Bereich der Nutzung der aufzubauenden Netzinfrastruktur und der auszustattenden Funkzentrale sowie der Wieder-/Weiterverwendbarkeit einschl. Verkauf der existierenden Technik.

Dazu soll das Modell unter den Gesichtspunkten »Unternehmen und ihre Leistungsfähigkeit«, »Technologie«, »Märkte und Marketing« sowie »Finanzierung/ Investition« betrachtet werden. Ein weiteres Ziel dieser Maßgaben ist die Abstrahierung des individuellen Geschäftsmodells zwischen adKor und Taxi Berlin, um aus diesen Betrachtungen einen Mehrwert für den Auftraggeber zu generieren, damit er mit diesem Geschäftsmodell auch in anderen Städten und Regionen in den Wettbewerb um die Errichtung digitaler Bündelfunksysteme für öffentliche Auftraggeber eingreifen kann.

3 Unternehmen

Dieses Kapitel beschreibt die Firmen näher, für die die Erstellung des Geschäftsmodells relevant sein soll, und zeigt auf, welche unterschiedlichen Ansprüche die beiden Unternehmen an den Inhalt des Geschäftsmodells stellen.

3.1 Taxi Berlin

Die Firma Taxi Berlin ist in Berlin ein Anbieter von Taxifunk und betreibt ein eigenes computergestütztes Vermittlungssystem, über das die Taxen ihre Fahraufträge erhalten. Durch den digitalen Datenfunk können auch GPS-Empfänger in die Taxis eingebaut werden, die dann ihre Positionsdaten an die Zentrale übermitteln. So kann auf einem digitalen Stadtplan die Position der Fahrzeuge angezeigt werden. Nach den Vorstellungen von Taxi Berlin sollen in die Fahrzeuge, wenn nicht schon geschehen, Bildschirme eingebaut werden, auf denen die Fahrer die Informationen des nächsten Fahrauftrags angezeigt bekommen. Durch die jeweils aktuelle Positionsbestimmung der Fahrzeuge soll die Disponierung in der Zentrale effizienter gestaltet werden.

Die Anforderung seitens Taxi Berlin an die Lösung ist eindeutig: Für möglichst wenig Geld soll das neue System inklusive einer neuen Zentrale eingeführt werden. Zu den Zahlungsmodalitäten gab es keine Vorgaben. Das wird Bestandteil der Szenarien sein, die im Rahmen des Projektes erstellen werden.

3.2 adKor GmbH

Die Firma adKor beschäftigt sich mit Planung, Beratung und Service im Bereich Telekommunikation. Dazu zählen Wireless LAN, Mobilfunk und Festnetz. Dabei geht es um die Akquisition, Planung und Aufbau von Antennensystemen und Infrastruktur für deren Betrieb. Obwohl das Unternehmen selbst sehr jung ist, haben seine Mitarbeiter langjährige Erfahrung auf den angesprochenen Gebieten. Taxi Berlin trat an adKor heran, um ein Geschäftsmodell für die Umstellung und den Betrieb von digitalem Bündelfunk zu entwickeln. adKors Strategie besteht darin, sich mit einem flexiblen Geschäftsmodell und mehreren Szenarien zu bewerben, in der Hoffnung, dass eines der beschriebenen und gerechneten Szenarien bei Taxi Berlin auf Zustimmung stößt.

4 Technologie

Dieses Kapitel stellt die eingesetzte Technik des Projektes vor. Es soll einen Überblick geben, warum gerade diese Technologie gewählt wurde, woraus die Infrastruktur besteht und wie sie sich zusammensetzt. Es soll auch eine Übersicht über die benötigte Hardware geben. Auf dieser Grundlage findet die Finanzierungsplanung für das Geschäftsmodell statt.

4.1 Bündelfunk

Beim Taxifunk handelt es sich um ein Bündelfunksystem. Bündelfunk erlaubt die Übertragung von Daten und Sprache in geschlossenen Benutzergruppen. Dabei werden mehrere Kanäle zusammengefasst und dynamisch zugewiesen, so dass eine höhere Verfügbarkeit erreicht wird. Im analogen Bündelfunk wird dabei ein Frequenzbereich zwischen 410 und 430 MHz genutzt. Der Uplink erfolgt im Bereich zwischen 410 und 420 MHz und der Downlink findet im Bereich zwischen 420 und 430 MHz statt. Die Datenübertragung erfolgt dabei mit nur 1,2 kbit/s.

Im Fall von Taxifunk Berlin werden die Fahrzieldaten in Datenform auf ein grafisches Display im Fahrzeug übertragen. Meldungen der Fahrer kommen nach wie vor via Sprache ins System. Im analogen Bündelfunk können die Daten auf drei Arten übertragen werden:

- Im Organisationskanal als SDM (Short Data Message), 184 Bit oder EDM (Extended Data Message) mit maximal 100 Zeichen.
- Statusmeldungen von 5 Bit Länge (32 mögliche Meldungen).
- Datenübertragung im Sprachkanal mit Modem oder Akustikkoppler.

Wie überall findet auch auf dem Gebiet des Bündelfunks ein Generationswechsel statt – vom analogen hin zum digitalen Bündelfunk.

Es gibt dabei zwei mögliche Technologien: TETRA (TErrestrial TRunked RADio) und TETRAPOL. Die beiden Technologien sind direkt zueinander inkompatibel. Sie können jedoch über Bridges verbunden werden. Abgesehen von der Technologie liegt der Hauptunterschied vor allem in den Zielmärkten. TETRAPOL wird in Frankreich bei Polizei und Gendamerie, in Deutschland oft für Funknetze im Bereich von Flughäfen eingesetzt. TETRA hingegen wird vor allem im öffentlichen Bündelfunk angewandt. Die beiden Technologien ergänzen sich also eher, als dass sie in Konkurrenz zueinander stehen.

In unserem Projekt hat sich die Firma Taxi Berlin für das TETRA-System entschieden. Das hat zur Folge, dass in alle Taxis neue Funkgeräte eingebaut werden müssen. Dies stellt einen hohen Kostenfaktor für die Projektplanung und -finanzierung dar.

4.2 TETRA

Die Technik, die für die Realisierung eines digitalen Bündelfunksystems genutzt werden soll, ist TETRA. Es handelt sich um einen ETSI-konformen Mobilkommunikationsstandard (Quelle: www.etsi.org). Vorteile gegenüber dem analogen Bündelfunk bestehen in der Möglichkeit der Verschlüsselung, so dass geschlossene Nutzergruppen auch wirklich unter sich bleiben, und der Möglichkeit, ein »Full Duplex« Funkgespräch zu führen, das heißt zwei Teilnehmer sprechen gleichzeitig miteinander und verstehen sich auch. Der analoge Bündelfunk verfügt nur über Halb-Duplex Möglichkeiten. Pro TETRA Kanal steht eine Nutzübertragungskapazität von 7,2 kbit/s zur Verfügung. Das erscheint nicht viel, allerdings kann die Kapazität durch die Bündelung von

Kanälen auf 28,8 kbit/s gesteigert werden. Um auch für künftige Anwendungen mit gesteigerten Datenraten gerüstet zu sein, sorgt TEDS (TETRA Enhanced Data Service) für eine Übertragungsrate von bis zu 400 kBit/s. So werden in Zukunft auch Videoübertragungen möglich sein. TETRA arbeitet mit einem Zeitmultiplexsystem mit vier unabhängigen Kanälen pro Träger. Der Trägerabstand beträgt 25 kHz, was gegenüber dem analogen Bündelfunk eine bessere Frequenzausnutzung bedeutet. Für das Gegensprechen wird bei TETRA das Time Division Duplex-Verfahren angewandt. Als Frequenzbereiche für die zivile Nutzung kommen grundsätzlich die Bereiche 285-290 MHz, 395-399,9 MHz, 410-430 MHz, 450-470 MHz, 870-876 MHz und 915-921 MHz in Frage, wobei der 410-430 MHz-Bereich Priorität hat.

Taxi Berlin wird in erster Linie die Datenübertragung für die Zuteilung von Fahraufträgen an die Fahrer nutzen. Diese haben in den Taxis Datendisplays, auf denen das Ziel mit anderen Angaben wie Name, Fahrziel, Behinderung usw. angegeben wird. Der Sprechfunk kann für die Kommunikation unter den Fahrern genutzt werden. Um die Disponierung der Fahrer zu erleichtern, sollen künftig in die Fahrzeuge GPS-Empfänger eingebaut werden. Diese übermitteln die Positionsdaten an die Zentrale, von wo das nächstgelegene Fahrzeug zum Kunden geschickt wird. Sollte TEDS eingeführt und kompatibel zu den installierten Funkgeräten sein, können auch im Notfall per eingebauter Videokameras Bildsequenzen übertragen werden. Es ist ebenfalls an den Anschluss des Taxi TETRA Funks an das Internet zu denken. So könnten elektronische Zahlungen sofort durchgeführt werden.

4.3 Netzplan (Beispiel)

Um ein digitales Funknetz mit einer Abdeckung für Berlin und das nahe Umland zu gewährleisten, sind umfangreiche Installationen im Raum Berlin zu tätigen. Dazu zählen die Installation und Einrichtung der Zentrale, aber vor allem das Aufstellen von ca. 4 bis 6 Basisstationen sowie deren Verbindung untereinander und mit der Zentrale mittels Richtfunkverbindung und Standleitungen. Dabei müssen nicht alle Basisstationen (BS) mit der Zentrale verbunden werden. Es reicht, wenn die Hälfte der BS mit der Zentrale direkt über Standleitungen verbunden ist, die anderen BS werden dann über Richtfunklink ins Netz eingebunden. Auf der anderen Seite steigt mit jeder direkt mit der Zentrale verbundenen BS die Ausfallsicherheit. So ist letztlich zwischen der Kosteneinsparung bei den Verbindungen und der Ausfallsicherheit des Netzes abzuwägen.

Die Standorte für die BS werden voraussichtlich der Müggelturm, die Pyramide, der Fernsehturm, der Schäferberg und ein 300 m hoher Mast in Hennigsdorf sein. Das waren also 5 Funkzellen. Die Standorte ergeben für Berlin und das nahe Umland eine ausreichende Funknetzabdeckung sowie Reserven, sollte eine Station innerorts ausfallen.

Die Anzahl und Platzierung der BS wurde beispielhaft von adKor vorgeben, Projekt und Vorplanungen näher erläutert.

4.4 Komponenten

Hier folgt eine Aufstellung der für die Netzinfrastruktur benötigten technischen Komponenten. Der Einfachheit halber werden die Komponenten für die BS einmalig behandelt, dazu kommen die Komponenten für den Richtfunk und die Verbindung mit der Taxifunkzentrale.

4.4.1 Funkstandorte

Zu einer Basisstation gehören mindestens eine Sendeantenne, in unserem Fall ein 120°-Strahler, die zugehörige Steuerungstechnik sowie die Verbindung zur Zentrale in Form einer Richtfunkstrecke (2 MBit) und/oder einer 2 bzw. 4 MBit-Standleitung.

Zu einem Richtfunklink gehören immer zwei Antennen samt zugehöriger Steuertechnik. Für die Richtfunkantennen kommen Antennendurchmesser von 60 und 120 cm in Betracht. Je weiter die Stationen voneinander entfernt sind, desto größer muss der Antennendurchmesser sein, um die gewünschte Datenrate von 2 MBit zu gewährleisten. Die Komponenten umfassen für einen Richtfunklink eine Outdoor-Unit mit Radio, Sender/Empfänger sowie Antenne. Dazu kommt eine Indoor-Unit, die die 2 MBit-Schnittstelle umfasst.

Die Sendemasten, die sich in der Stadt befinden, benötigen pro Mast drei 120°-Antennen, um eine Abdeckung von 360° zu erreichen. Außerorts reichen zwei 120°-Strahler, um die Lücke zwischen Stadt und Umland zu schließen. Ein weiterer Grund für die begrenzte Ausleuchtung sind die Grenzen des von der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellten Funkbereichs. Ab einer bestimmten geografischen Grenze darf der Empfang einen bestimmten dB-Betrag nicht überschreiten. So werden Überschneidungen mit anderen Funkbereichen vermieden.

Für die Verbindung zwischen der Zentrale und den Funkmasten kommen grundsätzlich zwei Verbindungsarten in Frage: die sternförmige und die vermaschte Topologie. Bei der sternförmigen Topologie wird eine Verbindung zwischen Fernsehturm und Taxizentrale hergestellt und vom Fernsehturm aus werden die anderen Funkmasten angeschlossen. Die andere, teurere Möglichkeit besteht in der Vermaschung der Strecken. Das bedeutet, dass alle Stationen untereinander mit jeder anderen verbunden sind. Das erhöht einerseits die Ausfallsicherheit, andererseits aber auch die Infrastruktur- und laufenden Kosten.

Um einen Mix aus Ausfallsicherheit in Verbindung mit möglichst geringen Kosten zu erstellen, haben wir uns für eine Kombination entschieden: In der Stadt werden die Sendeanlagen vermascht, außerorts werden die Anlagen sternförmig an den Fernsehturm angebunden. So ist für die Stadt eine hohe Ausfallsicherheit gewährleistet und die Kosten für die Anbindung der Sendeanlagen außerorts halten sich in Grenzen. Die Vermaschung betrifft die Standorte Fernsehturm, Pyramide und Müggelturm, die Sternanbindung die Standorte Schäferberg und Hennigsdorf.

Zur Errichtung der eigentlichen Funkanlage kommen pro Standort die zusätzlichen Infrastrukturbau-

maßnahmen hinzu. Dazu zählen die Erdung des Masts, die Technikschränke, Licht, Sicherungen, Manschetten, Kabel, Leitern usw.

4.4.2 Funkzentrale

Die Zentrale ist mit einer Telekommunikationsanlage an das öffentliche Telefonnetz angeschlossen. Hinzu kommt eine Internetverbindung für elektronische Zahlungsvorgänge. Diese wird aus einer 4 MBit-Standleitung bestehen.

Die Funkanlage ist mit dem Masterswitch entweder über eine Standleitung verbunden, wenn der Switch weiter entfernt ist, oder direkt, wenn er sich im gleichen Gebäude befindet.

Zur Zentrale gehören auch die PCs an den Arbeitsplätzen der Mitarbeiter. Die Zentrale muss allerdings nur modernisiert und nicht neu gebaut werden. Das senkt die anfallenden Kosten erheblich. Uns ist nicht bekannt, ob die im Moment genutzte Software für die Disponierung der Fahrzeuge unabhängig vom verwendeten Funksystem ist oder ebenfalls ersetzt werden muss.

5 Markt

5.1 Marktpotenzial

Die Anwendungsgebiete und -möglichkeiten für digitale Bündelfunknetze in Deutschland sind sehr vielfältig und verbreitet. Speziell für das bearbeitete Projekt, die Ausrüstung einer Taxizentrale in Berlin, kann das erstellte Konzept ohne größere Umstände auch an andere Taxiunternehmen in ganz Deutschland vertrieben werden. Dabei würde jeweils lediglich eine Änderung der Netzinfrastruktur anfallen. So ist z. B. immer eine an die geografischen Gegebenheiten angepasste Funknetzplanung durchzuführen oder bei geringerer Zahl der zu versorgenden Fahrzeuge eine Reduzierung der zu betreibenden Kanäle zu berücksichtigen.

Bisher wird deutschlandweit von Taxiunternehmen fast ausschließlich analoger Bündelfunk oder vereinzelt auch noch Betriebsfunk zur Verständigung genutzt. In Berlin z. B. ist ein Konkurrent von Taxi Berlin zu nennen: »City-Funk GmbH Berlin« (derzeit ca. 300 Taxen). Diese setzen seit 1997 im Bereich des Datenfunks fünf eigene Betriebsfunkkanäle zur Netzabdeckung des Berliner Raums ein.

Eine Auf- bzw. Umrüstung auf digitalen Bündelfunk mit TETRA wäre in vielerlei Hinsicht sinnvoll. Einerseits können mittels dieser Technologie die analogen Störungen und Überlastungen des alten Netzes behoben, andererseits durch größere Datenübertragungsraten zusätzliche Dienste eingebunden werden. So wären Applikationen, wie z. B. Videostreams von Sicherheitskameras im Inneren der Fahrzeuge, denkbar (bei den zunehmenden Übergriffen auf Taxifahrer sicherlich eine sinnvolle Präventivmaßnahme). Neben der Übertragung von GPS-Daten oder auch FCD (Floating Car Data) könnten auch Daten zum Infotainment des Passagiers zur Verfügung gestellt werden (ähnlich den Monitoren in U-Bahnen

oder einer Internetverbindung), um die Attraktivität des Taxiunternehmens zu steigern.

Die Einführung von TETRA wird auch durch die aktuelle wirtschaftliche Lage der Anbieter analoger Bündelfunknetze begünstigt. So musste im vergangenen November das ohnehin schon angeschlagene Kölner Mobilfunkunternehmen »Dolphin Telecom GmbH« endgültig Insolvenz anmelden und damit seine Marktführerschaft von ca. 95 % aufgeben. Laut Eigenangaben ist Dolphin mit über 8.000 Kunden und 75.000 betriebenen Geräten der größte Anbieter im analogen Bündelfunk. Kunden sind unter anderem Thyssen, Krupp, Daimler, Flughäfen, Stadtreinigungen, Rettungsdienste und Speditionen. Auch Taxi- und Mietwagenfirmen nehmen die Dienste von Dolphin in Anspruch. Derzeit laufen intensive Gespräche, um lukrative Teilnetze auszugliedern, zu verkaufen oder anderweitig weiter zu betreiben. Laut Auskunft der Dolphin-Geschäftsführung gibt es allein für die Region Berlin-Brandenburg fünf Interessenten.

Neben dem Geschäft für Taxizentralen ist das diskutierte Konzept auch für Anwendungsgebiete ähnlicher Aufgaben- und Anforderungsstruktur anwendbar. Hierzu zählen in erster Linie alle BOS-Dienste (Feuerwehr, Rettungsdienste, Polizei etc.), darüber hinaus aber auch private Anbieter von Krankentransporten, regionale Speditionen, Busunternehmen und Eigentümer mit großen Firmengrundstücken (z. B. Funkversorgung für das Braunkohlekraftwerk »Schwarze Pumpe« in Sachsen). Die grundsätzliche Lösung und Umsetzung bleibt in der Regel nahezu gleich: Aufbau einer passenden Netzstruktur, Aufbau einer Leitzentrale, Versorgung mit passenden Endgeräten, Schulung der Mitarbeiter und ggf. Wartung/Betrieb des Systems bzw. bestimmter Systemteile. Aufwendigere Anpassungen fallen normalerweise nur bei der Indoor-Vernetzung größerer Gebäude (Fabriken etc.) an.

Um die Nutzung eines bestehenden TETRA-Netzes kostengünstiger für den Nutzer zu gestalten, kommt die Mitnutzung durch einen anderen Kunden in Frage. So wird der Betrieb für beide Nutzer günstiger, da sich die laufenden Kosten für die Netznutzung aufteilen lassen. Dieses Beispiel ließe sich z. B. für die Ausrüstung von Taxi Berlin nutzen. Kommt ein weiteres Taxiunternehmen/Spedition/Krankentransportunternehmen hinzu, ließen sich die Kosten je nach Nutzungsanteil aufteilen.

5.2 Wettbewerber

Neben adKor gibt es mehrere Mitbewerber, die ebenfalls TETRA-Lösungen anbieten. Im Folgenden sollen einige dieser Unternehmen kurz vorgestellt werden:

5.3.1 Motorola

Motorola ist ein international führendes Fortune-100-Kommunikationsunternehmen, das mit Seamless Mobility-Produkten und -Lösungen nahtlose Mobilität über Breitband, eingebettete Systeme und drahtlose Netzwerke hinweg ermöglicht. In Deutschland ist das Unternehmen durch die Motorola GmbH präsent. Zu ihr zählen die Bereiche Mobiltelefone (Personal Devices),

Mobilfunkausrüstung (Networks), Regierungs- und Geschäftskunden (Government and Enterprise) sowie Breitband (Connected Home). Die Gesellschaft erzielte 2004 mit über 2.500 Mitarbeitern einen Umsatz von rund 4,3 Milliarden Euro. Der Hauptsitz der Motorola GmbH ist in Taunusstein. Weitere Niederlassungen befinden sich in Berlin, Flensburg und München.

Motorola trug wesentlich zur Entwicklung des TETRA-Standards bei. Es war von Anfang an in den Gremien des ETSI (Europäisches Institut für Telekommunikation und Standardisierung) vertreten und zählt zu den Gründungsmitgliedern des TETRA Memorandum of Understanding, einer Vereinigung von Mobilfunkherstellern und Anwendern, die sich der Einführung des TETRA-Standards verpflichtet haben.

Motorola kann weltweit auf über 200 TETRA-Aufträge in mehr als 50 Ländern verweisen (Stand November 2005). Es stellt Betreiberkonzepte, Infrastruktur und Endgeräte zur Verfügung. Im November 2000 gewann Motorola die Ausschreibung für das Pilotprojekt Aachen (das erste deutsche TETRA-Test-Projekt im Realbetrieb). Das Pilotprojekt wurde im Jahre 2003 so erfolgreich abgeschlossen, dass es auch weiterhin in Betrieb ist. Zusammen mit T-Systems hat sich Motorola um den Ausbau/Umbau eines deutschlandweiten TETRA-Netzes beworben.

5.3.2 Frequentis

Frequentis ist ein österreichisches Unternehmen, welches Kommunikations- und Informationssysteme für sicherheitskritische Bereiche entwickelt. Die Kernkompetenz des Unternehmens liegt im Bereich der Sprachmittlungssysteme für die Flugsicherung (Weltmarktführer mit einem Marktanteil von 30%). Weitere Geschäftsbereiche liegen in der Anwendung von Command & Control-Systemen (Rettung, Polizei, Feuerwehr, Schifffahrt), im TETRA-Mobilfunk sowie bei Eisenbahnen und im öffentlichen Verkehr.

Das Unternehmen beschäftigt weltweit 587 Mitarbeiter (Stand 2004). Im Jahr 2004 wurde ein Umsatz von 92,9 Millionen Euro erwirtschaftet.

Auch Frequentis ist Mitglied im TETRA Memorandum of Understanding und betreibt mit der 3T Communications AG eine auf TETRA spezialisierte Tochterfirma. Das Frequentis Konsortium konnte seit 2002 mehr als 100 TETRA-Lösungen weltweit vertreiben und kooperiert dabei auch mit Motorola, indem es deren Verkaufskanäle nutzt.

5.3.3 ATS Elektronik GmbH

ATS ist ein kleines, mittelständiges Unternehmen, welches Hardware, Systemlösungen und Dienstleistungen im Kommunikations- und Sicherheitsbereich anbietet. Das Unternehmen beschäftigt ca. 20 Mitarbeiter und hat seinen Firmensitz in Hannover. ATS ist ein autorisierter Vertriebs- und Servicepartner der Motorola GmbH – Geschäftsbereich Funk (Betriebs- und Bündelfunkendgeräte, Ersatzteil und Reparaturservice, Funk-Systemlösungen).

ATS bietet neben herkömmlicher GSM- und analoger Bündelfunktechnologie auch TETRA an. Dabei greift die

Firma hauptsächlich auf Entwicklungen und Know-how der Kooperationspartner Motorola und T-Mobile zurück. Über bisherige TETRA-Projekte lassen sich nur wenige Aussagen finden.

ATS ist ein Unternehmen, das sich in Größe und Struktur mit adKor vergleichen lässt, aber durch seine Kooperation mit Motorola und T-Mobile zusätzliche Vorteile bezüglich Erwerb und Nutzung von Technologien und Vertriebskanälen besitzt.

5.3.4 Wettbewerbervergleich

Die größten Konkurrenten von adKor sind Motorola und Frequentis. Durch ihre internationale, langjährige Erfahrung in einer Vielzahl von Projekten und durch die Entwicklung von eigenen Systemlösungen besitzen diese Firmen einen strategischen und finanziellen Vorteil gegenüber adKor.

Um diese Vorteile der Konkurrenten wettzumachen, kann sich adKor am Markt mit der Preiskomponente für Systemlösungen sowie seinen Serviceleistungen und ggf. mit einem Standortvorteil hervorheben.

6 Marketing

6.1 Ziele

Wie unter Punkt 5 beschrieben, besteht für adKor das größte Marktpotenzial in der flächendeckenden, deutschlandweiten Abdeckung der Taxiunternehmen mit digitalem Bündelfunk. Ziel des Marketings ist es folglich, diese Unternehmen von den Vorteilen der TETRA-Technologie gegenüber den bisher verwendeten Kommunikationstechnologien zu überzeugen und darüber eine möglichst große Marktabdeckung zu erreichen. Neben dem Aufbau der Netze besteht ein weiteres Ziel in nachhaltigen Gewinneinnahmen durch den Abschluss von Betriebs- und Wartungsverträgen für die Netze und/oder die Zentralen.

6.2 Preispositionierung

Der Preis für die angebotene Systemlösung ist die wichtigste Herausstellung von adKor gegenüber seinen Mitbewerbern.

Als Basis für die Preiskalkulation dient die Angabe der bisherigen Kosten, die bei Taxi Berlin pro Fahrer pro Monat in Höhe von 130 Euro anfallen. Ziel der neuen Technik soll eine Kosteneinsparung für die Fahrer sein. Kalkuliert wurden daher monatliche Kosten von ca. 70 Euro. Die einmaligen Einbaukosten für ein neues Funkgerät betragen pro Fahrzeug inkl. Montage ca. 950 Euro (Details unter Punkt 7.3).

Die Preisgestaltung richtet sich stark nach den laufenden Kosten der Netzinfrastruktur. In ländlichen bzw. dünn besiedelten Gebieten sind die Kosten pro Fahrer, bezogen auf die Infrastruktur, aus diesem Grund höher als in der Stadt. Für die nötige Funkversorgung ist mehr bzw. aufwendigere Technik notwendig. Diese höheren Kosten müssen auf weniger Fahrer aufgeteilt werden. So

entsteht ein finanzieller Mehraufwand bzw. eine längere Amortisationszeit für die Anlage.

6.3 Vertrieb und Werbung

Da der Vertrieb praktisch nur Business-to-Business erfolgt, kommt eine herkömmliche breit angelegte Marketingstrategie (z. B. Fernseh-/Radiowerbung, Plakate, etc.) nicht in Frage. Vielmehr wird der Vertrieb über klassische Akquise (speziell Kaltakquise) realisiert werden, ein insbesondere für B2B-Geschäfte gängiges Marketinginstrument. Die Erfolgsquote für einen Geschäftsabschluss im Rahmen der Kaltakquisition wird in der Literatur zwischen drei und 20 Prozent geschätzt. Diese Quote hängt in erster Linie von Faktoren wie dem Ansehen der Firma, der Qualität des Produktes und erfolgreichen Referenzprojekten und -partnern ab. Eine Steigerung dieser Quote sollte also durch das Gewinnen imageträchtiger Partner (z. B. Kooperation mit Markenherstellern) und prestigeträchtiger Projekte (z. B. die Versorgung aller Taxizentralen/-unternehmen in ganz Berlin) möglich sein. adKor hat auf diesem Gebiet den Vorteil, etliche Referenzen vorweisen zu können (siehe Homepage).

Bei der Kundenakquisition unterscheidet man nach Push-Methoden (aktives Werben) und Pull-Methoden (passives Werben), die beide zum Einsatz kommen sollen. Der Schwerpunkt wird zunächst auf den Push-Methoden liegen, da zunächst die Akzeptanz für den Wechsel von analogem zu digitalem Bündelfunk steigen und das Geschäftsmodell bekannt und populär gemacht werden muss. Ein aktives Herantreten an den Kunden ist dabei unerlässlich.

Inhaltlich soll, mit den Vorteilen von TETRA gegenüber dem analogen Bündelfunk wie oben beschrieben geworben werden. Argumente und Vorteile sind unter anderem:

- Abhörsicherheit: höchste Übertragungssicherheit durch Ende-zu-Ende-Verschlüsselung aller Daten.
- Gruppenkommunikation mit dynamischer Gruppenbildung.
- Einwahlmöglichkeit in andere Kommunikationsnetze wie GSM oder das öffentliche Vermittlungsnetz.
- Direct-mode-Kommunikation zwischen Endgeräten, sogar bei Netzausfall.
- Datenkommunikation bis hin zur IP-Integration.
- Notrufverbindungen mit optionaler Zwangsfreischaltung von Kanälen.
- Einzelverbindung mit Duplex-Möglichkeit.
- Frequenzsparender Einsatz durch Gleichwellen-Technologie.
- Einfache, PC-gestützte Netz- und Gruppenverwaltung.
- Hohe Datenübertragungsraten (Breitband-TETRA (TETRA 2) mit bis zu 400 kBit/sec).
- Gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten.
- Zuverlässiger, ungestörter Zellwechsel ohne Kommunikationsunterbrechung.
- Unterstützung vielfältige Anwendungen mittels offen definierter Schnittstellen.

7 Finanzplanung

7.1 Standortplanung

Um den Raum Berlin flächendeckend mit dem digitalen Bündelfunksystem auszustatten, sind mindestens fünf Standorte notwendig. Wie oben beschrieben, werden die BS-Standorte voraussichtlich Müggelturm, Pyramide, Fernsehturm, Schäferberg und ein 300 m hoher Mast in Hennigsdorf sein.

Für alle Standorte fallen zunächst Installationskosten an. Eine detaillierte Kostenplanung für die einzelnen Standorte wurde durchgeführt. Neben der Standortplanung und -akquise gehören dazu die TETRA-Hardware (Sektorantennen), die untereinander bestehenden Linkverbindungen (Richtfunklink, 2 MBit-Link) sowie die Kosten für Aufbau und Installation (Civil Works). Unter Civil Works haben wir die Kosten für die Bodenplatte, Masten, Kabel, Manschetten, Schaltschränke usw. zusammengefasst. Die Kosten belaufen sich auf 60.000 bis 80.000 Euro pro Standort. Die Gesamtkosten der fünf Standorte belaufen sich auf 355.620 Euro.

Neben den einmaligen Installationskosten sind die laufenden Kosten kalkuliert worden. Um einen Vergleich zwischen allen Werten zu ermöglichen, wurden alle laufenden Kosten auf einen Monat umgelegt. Versicherungen, die monatlich anfallenden Gebühren für die Richtfunkverbindungen und 2 MBit-Standleitungen sowie die Energiekosten sind hier die Hauptaspekte. Für alle fünf Sendeanlagen fallen in unserer Kalkulation monatliche Kosten in Höhe von 10.915 Euro an.

Abschließend wurden die EMV-Untersuchung sowie die Anmeldegebühr für die TETRA-Nutzung kalkuliert. Es ergeben sich folgende Eckdaten für die fünf Standorte, auf denen unsere Investitionsplanung basiert:

- Installationskosten: 358.470 Euro
- Betriebskosten monatlich: 10.915 Euro

7.2 Planung der Leitstelle (Zentrale)

Die Kosten der Leitstelle setzen sich aus den fixen Kosten für die Einrichtung/Renovierung der alten Funkzentrale und den variablen Kosten, die pro Monat anfallen, zusammen.

Wir fassen die fixen Kosten in drei Punkten zusammen:

1. Neueinrichtung der Leitstelle mit Bürotechnik: Dazu zählen die Renovierung der Leitstelle und neue Büromöbel. Dieser Posten beträgt nach unserer Kalkulation 30.000 Euro.
2. Ausstattung der Zentrale mit 10 Arbeitsplätzen: Das umfasst jeweils einen PC und die benötigte Software. Dieser Posten umfasst 20.000 Euro.
3. Einrichtung der 2 MBit-Standleitung bei der T-Com. Diese berechnen wir mit 3.500 Euro.

So summieren sich die einmaligen Installationskosten auf einen Betrag von 53.500 Euro.

Die monatlich anfallenden Kosten umfassen Miete, Strom, Gas, Wasser, Personal- und Telefonkosten und die monatliche Gebühr für die Standleitung. Diese summieren sich nach unserer Annahme auf ca. 49.500 Euro.

Ausgehend von 20 Mitarbeitern und einem Vorgesetzten sieht das Modell wie folgt aus: 20 Mitarbeiter arbeiten in einem Dreischichtsystem, wobei je acht Angestellte in der Früh- und Spätschicht arbeiten und vier in der Nachtschicht. Pro Mitarbeiter wird mit einem Bruttolohn von 2.000 Euro gerechnet. Der Vorgesetzte fließt mit 3.500 Euro in die Planung ein. Summiert ergeben sich Personalkosten von 43.500 Euro. Die einmalige Schulung aller 20 Mitarbeitern kalkulieren wir mit einmalig 5.000 Euro.

7.3 Installationskosten Taxi

Zusätzlich haben wir die Kosten für die Anschaffung neuer Funkgeräte berechnet. Ausgehend von 1.600 angeschlossenen Taxis und Gerätekosten von ca. 800 Euro inkl. Mengenrabatt sowie Einbaukosten in Höhe von ca. 150 Euro pro Fahrzeug summieren sich diese auf insgesamt 1.280.000 Euro. Diese sind von den Taxifahrern anteilig selbst zu tragen. Durch die Einrichtung eines Pools für die Geräte und den Einbau können Mengenrabatte ausgehandelt werden. Die Kosten werden jedoch nicht von adKor oder Taxifunk übernommen bzw. vorgestreckt und gehen daher nicht weiter in die Kalkulation ein.

7.4 Gewinn und Verlust Rechnung

In den ersten drei Monaten fallen lediglich die Installationskosten der Zentrale und der fünf Sendeanlagen an. Zusätzlich werden hier die Abschreibungen und Zinsen zur Kredittilgung berücksichtigt. In den Umsätzen werden die Einnahmen von Taxi Berlin durch die bei ihnen registrierten Taxifahrer berücksichtigt. In Berlin sind derzeit ca. 1.600 Taxis bei Taxi Berlin registriert. Diese zahlen derzeit ca. 130 Euro pro Monat, um die Vermittlung durch Taxi Berlin nutzen zu können. Damit das TETRA-System gut im derzeitigen Markt positioniert werden kann, sollte hier mit einer monatlichen Pauschale von 70 Euro kalkuliert werden. Die Einnahmen würden sich somit auf max. 112.000 Euro (bei 1.600 registrierten Taxis) belaufen. Anhand des kumulierten Betriebsergebnisses wird der maximale Kapitalbedarf berechnet. Dieser beläuft sich für das komplette System (Netzwerk und Zentrale) auf 462.800 Euro.

7.5 Gesamtkalkulation

Der Investitionsbedarf ist unterteilt in die Kosten für die Zentrale und die Netzinfrastruktur. Diese summieren sich auf 416.970 Euro. Die monatlichen Kosten der Anlage gliedern sich in die laufenden Kosten für die 5 Funkstandorte und die Zentrale. Diese summieren sich auf 60.415 Euro monatlich.

8 Geschäftsszenarien

Es wurden drei Szenarien gerechnet.

8.1 Szenario I: Netz in Besitz der Firma adKor

Im ersten Szenario besteht eine grundlegende unternehmerische Trennung zwischen der Zentrale und der eigentlichen Netzinfrastruktur. Die Firma adKor stellt die gesamte TETRA-Netzinfrastruktur sowie die Verbindungen zwischen den Sendeanlagen (2 MBit-Link, RiFu) zur Verfügung. Die Installationskosten belaufen sich auf 355.620 Euro. Dieser Betrag fällt für alle fünf Sendeanlagen, den untereinander bestehenden Links sowie der Anbindung an die Leitstelle an. Taxi Berlin übernimmt parallel die Umrüstung und Anpassung der Leitstelle. In unseren Berechnungen gehen wir von einem Installationszeitraum von drei Monaten aus.

Die Installationskosten in Höhe 355.620 Euro müssen von der Firma adKor durch eine adäquate Finanzierung getragen werden. Danach soll die gesamte Infrastruktur des Netzes über einen Zeitraum von 5 Jahren rückfinanziert werden.

Unsere Finanzplanung enthält eine Marge von 10 Prozent auf die monatlich fällige Rate, damit kommen wir auf eine Gesamtrate von 22.376,20 Euro. Dieser Betrag muss von Taxi Berlin monatlich getragen werden.

Da die Firma adKor im Besitz des Netzes ist, besteht in diesem Szenario die Möglichkeit, dass weitere Teilnehmer das Netz nutzen, denn TETRA bietet die Möglichkeit unterschiedliche Nutzergruppen zu verwalten. Durch diese Maßnahme könnten die anfallenden Netzbetriebskosten auf mehrere Nutzer aufgeteilt werden, so dass die Netznutzung für alle Nutzer preisgünstiger wird. Die Abrechnung würde sich nach der angefallenen Netznutzung richten.

8.2 Szenario II: Komplettverkauf an Taxi Berlin

Das zweite mögliche Szenario ist der komplette Verkauf der Anlage an Taxi Berlin. Dazu zählen neben der Zentrale auch die Netzinfrastruktur und das eigentliche Funknetz. Die Firma adKor bliebe als regelmäßige Einnahme ein Servicevertrag für die Reparatur und Instandhaltung des Netzes.

Dieses Szenario wird von Seiten der Firma adKor nicht angestrebt, da sie an einer langfristigen Geschäftsbeziehung und damit langfristigen Einnahmen interessiert ist. Die Kaufsumme der Anlage liegt bei 458.667 Euro. Das umfasst die Kosten der Anlage von 416.970 Euro und eine Gewinnmarge von 10 Prozent.

8.3 Szenario III: Zentrale und Netz in Besitz von adKor

Das dritte Szenario stellt den Fall dar, dass die komplette Anlage im Besitz von adKor verbleibt und nur an Taxi Berlin vermietet wird. Bei dieser Kalkulation müssen die Infrastruktur- und die laufenden Kosten der Anlage

und Zentrale in Form einer monatlichen Gebühr (Miete) durch Taxi Berlin finanziert werden.

Der Zeitraum für die Refinanzierung wird mit fünf Jahren angenommen. Die Installationskosten für Netz und Zentrale werden auf fünf Jahre à zwölf Monate aufgeteilt. Dadurch ergibt sich der zu entrichtende Beitrag zu den einmaligen Kosten. Die laufenden Kosten für Zinsen, die monatlichen Kosten der fünf Standorte sowie die Kosten der Zentrale (Miete, Strom, Gas, Wasser, Telefon, Standleitung) werden hinzuaddiert. Dazu kommt noch eine geringe Marge für adKor. Das ergibt eine monatliche Mietgebühr für das Funksystem in Höhe von 30.507,03 Euro.

Dieses Szenario wäre ein durchaus akzeptables Geschäft für adKor, obwohl die Firma auch die Kosten für die Instandhaltung der Zentrale übernehmen müsste.

8.4 Schlussfolgerung aus den Szenarien

adKor bevorzugte das erste der drei Geschäftsmodelle. Die Firma wäre nicht für den Betrieb der Zentrale zuständig, sondern könnte sich auf ihr Kerngeschäft, den Mobilfunk, beschränken. Dazu kämen stetige Einnahmen durch die monatliche Netznutzungsgebühr. Sollte sich, wie im Kapitel Marktpotenzial angesprochen, ein weiterer Nutzer für das Netz finden lassen, würden die Kosten für Taxi Berlin sinken und das Modell wäre noch attraktiver.

9 Fazit

Im Laufe dieser Studie wurden die Vorteile des digitalen gegenüber dem analogen Bündelfunk deutlich. Durch die Klassifizierung von einzelnen Nutzergruppen ist es möglich, die gesamte Infrastruktur auch anderen zur Verfügung zu stellen. Derzeit wird in Taxi-Betrieben und anderen Unternehmen (Nahverkehrsbetriebe, Hauskrankenpflege etc.) hauptsächlich der analoge Bündelfunk eingesetzt. Das TETRA-System für Taxi Berlin kann als Referenzsystem für die Anbindung von kleinen und mittleren Unternehmen an das digitale Bündelfunknetz genutzt werden. Damit würde das System selbst zum Marketinginstrument und könnte weitere Firmen dazu bewegen, sich diesem System anzuschließen. Damit könnte sich die Firma adKor GmbH als bundesweiter Anbieter von TETRA-Bündelfunktechnik etablieren und einen hohen Marktanteil sichern.

Das dargestellte Szenario I ist das für adKor langfristig attraktivste Modell. Durch die Vermietung und Wartung der Netzinfrastruktur lassen sich hier langfristig konstante Einnahmen generieren.

Die verwendeten Zahlen waren aus Wettbewerbsgründen synthetische Zahlen. Der Wert der Studienarbeit besteht in erster Linie darin, als Rahmen und Basis für die Erstellung eines realistischen Angebots seitens der Firma adKor an Taxi Berlin und ggf. darüber hinaus in anderen Bündelfunklizenzgebieten zu dienen.

So kam der Auftraggeber zwar nicht bei Taxi Berlin zum Zuge, dafür aber kurze Zeit später in Hamburg mit

demselben von uns generierten Geschäftsmodell zum Erwerb des Bündelfunknetzes Nord sowie in Hannover zum Erwerb des dortigen Bündelfunknetzes.

Danksagung

Die Ausarbeitung ist eine Kurzfassung des Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben: »Erstellung eines Geschäftsmodells zur Ausrüstung von Taxi Berlin mit einem digitalen Bündelfunksystem«, Projekt Nr. 115 112 01, im Auftrag der Firma adKor GmbH, Wildau und wurde im Rahmen des Wettbewerbs »Effiziente Kooperationen zwischen Hochschulen und Unternehmen/Verwaltungen« aus Anlass der Veranstaltungsreihe der TFH Wildau »15 Jahre zuverlässiger und erfolgreicher Partner der Wirtschaft und Verwaltung« am 27. April 2007 mit einer Ehrenurkunde ausgezeichnet. Die Autoren danken der TFH Wildau und der Firma adKor für Auftrag, Durchführungsmöglichkeit und Unterstützung.

Internetquellen

Nachrichtenartikel über die Insolvenz der Dolphin Telecom vom 04.11.2005, www.taxizeitschrift.de

Startseite der europäischen Taximesen, Zugriff 19.01.2006, www.eurotaximesse.de

Firmenhomepage der adKor GmbH, Zugriff 17.01.2006, www.adkor.de

Firmenhomepage der Frequentis AG, Zugriff 24.01.2006, www.frequentis.com

Firmenhomepage der Motorola Inc., Zugriff 24.01.2006, www.motorola.com

Firmenhomepage der ATS Elektronik GmbH-Alarmanlagen, Zugriff 24.01.2006, www.atsonline.de

Firmenhomepage der 3T Communications AG, Zugriff 24.01.2006, www.3t-ag.com

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernd Eylert

Technische Fachhochschule Wildau
Tel. +49 3375 508-120
bernhard.eylert@tfh-wildau.de

Patrik Groh, M. Eng.

Ottomar-Geschke-Straße 79
12555 Berlin

Eike Kräft, M. Eng.

Waldstraße 94
12527 Berlin

Thomas Weidner, M. Eng.

Erwin-Bock-Straße 4
12559 Berlin

Die beiden Seiten der Nachnutzbarkeit

Ein Paradigmenwechsel im IT-Projektgeschäft

Bertil Haack, Jens Kramer

Zusammenfassung

IT-Anwendungen sind der Lebensnerv nahezu jedes Unternehmens. Marktanforderungen haben zur Folge, dass die eingesetzten IT-Systeme ausgetauscht und durch immer bessere Anwendungen ersetzt werden müssen. Während die Unternehmen früher Beratertage zur Implementierung neuer IT-Lösungen eingekauft haben, streben sie jetzt an, sich schlüsselfertige Lösungen implementieren zu lassen. Diese Veränderung im Nachfrageverhalten der Anwenderunternehmen verlockt viele Beratungsunternehmen, Kundenbindung über eigene, proprietäre Lösungen zu erreichen.

Im vorliegenden Papier werden dieses Vorgehen diskutiert. Als Ergebnis wird der Begriff der Nachnutzbarkeit von Projektlösungen eingeführt und ein Vorschlag zur Realisierung offener, nachnutzbarer Projektlösungen entwickelt, die ohne künstliche Abhängigkeiten auskommen und das freie Spiel von Angebot und Nachfrage am IT-Beratungsmarkt ermöglichen.

Zunächst wird der Begriff der Nachnutzbarkeit definiert. Anschließend werden wesentliche Randbedingungen für Nachnutzbarkeit betrachtet und Konsequenzen abgeleitet. Im Kapitel 4 wird ein Weg skizziert, wie eine Projektmanagement-Plattform für nachnutzbare Systemintegrationsprojekte entwickelt werden kann. Dieser wird gemeinsam von der TFH Wildau und der PROMOS consult besprochen. Die Verantwortung liegt dabei in den Händen der Autoren.

Abstract

IT-Applications are the lifeblood of each company. Caused by the requirements of the market the companies have to change their IT-systems regularly and substitute them by new applications. In former times companies bought »manpower« for the implementation of the new solutions but today they want their consultants to install turn-key applications. This change leads to the situation that many consultant companies try to ameliorate their customer relationship in offering own, proprietary solutions.

In the following paper we will discuss this phenomenon. The term of »post-availability« will be introduced and a proposal for the realisation of open, post-available project solutions will be developed. These solutions are characterized by the fact that they don't need any dependencies and that they lead to a »free play« of offer and request in the IT-consultant market.

First we define the term »post-availability«, advantages and disadvantages will be discussed which leads to the contemplation of the main framework requirements (factors of success) of »post-availability« and their consequences. Chapter 4 provide a way how to develop a project-management-platform for »post-available« system integration projects. The realisation of the ideas will be carried out by the University of Applied Sciences Wildau and the PROMOS consult. The responsibility lies in the hands of both authors.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

1.1 Schlüsselfertige Lösungen statt Beratertage

SAP-Einführungsprojekte werden in den nächsten Jahren »wie Pilze aus dem Boden schießen«. Zurückzuführen ist dies darauf, dass

- SAP-Software in Deutschland stark verbreitet ist,
- Mitte 2006 neue Produkte des größten Softwareherstellers Deutschlands erschienen sind,
- viele SAP-Anwenderunternehmen bereits diese neue Produkte gekauft, sie aber noch nicht eingeführt haben. Die entsprechenden Systemintegrationsprojekte werden in den nächsten Jahren realisiert und der Projektstau somit abgebaut.
- die Anwenderunternehmen kontinuierliche Prozessoptimierungen einplanen und damit i. d. R. immer modernere IT-Systeme fordern.

Insbesondere der letzte Aspekt ist verantwortlich für die Tendenz, dass sich immer mehr kleine und mittlere Unternehmen für Standardsoftware interessieren. Diese Standardsoftware wird von so genannten Systemintegratoren eingeführt. Das Geschäft dieser Berater besteht darin, die Software eines Herstellers wie beispielsweise SAP im Rahmen eines Projektes kundenspezifisch zu implementieren.

Die Kundennachfrage nach neuen IT-Lösungen entwickelt sich aus den wirtschaftlichen Anforderungen, denen sich diese Anwenderunternehmen gegenüber sehen. Kosten-/Nutzenanalysen erhöhen den Druck auf die Unternehmen und damit auf die IT-Projekte. IT-Manager müssen schnelle Ergebnisse liefern, Misserfolge von IT-Projekten sind zu vermeiden. Dennoch sind viele IT-Projekte in Deutschland nicht erfolgreich, Budgets werden überschritten, Kostenvorgaben nicht

eingehalten, Ziele verfehlt und Projekte vorzeitig beendet. Die Ursachen sind vielfältig. Sie liegen nach wie vor sehr oft in schlechten Planungen der IT-Manager und in nicht optimalen Methoden.

Der Erfolgsdruck und das Projekten innewohnende Risikopotenzial verbunden mit der daraus resultierenden Notwendigkeit zur Risikominimierung führten zu einem veränderten Nachfrageverhalten. Wurden vor einigen Jahren noch Beraterprofile und Kapazitäten angefragt, z. B. 100 Beratertage eines Logistikexperten, so werden heute schlüsselfertige Lösungen gesucht (Abb. 1). So schreibt z. B. ein Wohnungsunternehmen die Einführung einer neuen IT-Lösung für die Reparaturabwicklung aus. Nach Möglichkeit soll die Lösung auf einer Standardsoftware basieren, die branchenspezifischen Anforderungen erfüllen und bereits bei anderen, vergleichbaren Unternehmen erfolgreich eingeführt worden sein. Der Kunde erhofft sich Sicherheit bzw. eine Reduzierung der Risiken, indem er sich eine Lösung wünscht, die schon irgendwo im Einsatz ist, die er »nachnutzen« kann. Selbstverständlich muss diese Applikation trotzdem an seine spezifischen Bedürfnisse angepasst werden können. Ist »Nachnutzbarkeit« der Schlüssel zum Erfolg?

Software-Produkte werden »beratungsfähig« und setzen Standards. Der Systemintegrator (Berater) implementiert mit der Software eine »kundenspezifische« Lösung.

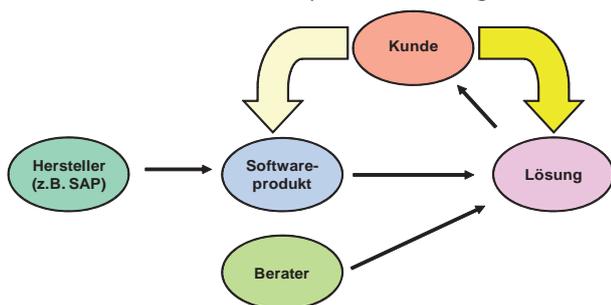


Abb. 1: Die Trendwende im IT-Beratungsgeschäft

1.2 Paradigmenwechsel: Die beiden Seiten der Nachnutzbarkeit

Die skizzierte Veränderung im Nachfrageverhalten der Anwenderunternehmen, d.h. der Wunsch nach Nachnutzbarkeit, verlockt viele Beratungsunternehmen, Kundenbindung über eigene, proprietäre Lösungen zu erreichen, eine Domäne, die bisher nur Software-Herstellern vorbehalten war. Der Berater wird selbst zum Hersteller. Er erfüllt scheinbar den Kundenwunsch nach Nachnutzbarkeit, da die angebotene Lösung als eigenes »Produkt« vertrieben wird.

Ist das die Zukunft der Systemintegratoren? Ist das im Sinne der Kunden? Ist das der richtige Weg von Nachnutzbarkeit? Wir meinen: »Nein«!

- Eine derartige Interpretation von Nachnutzbarkeit ändert nichts Wesentliches an den Projekten. Es ist eine einseitige Sicht auf Nachnutzbarkeit, die die Methoden der Berater ausklammert. Die erforderlichen Einführungsmethoden unterscheiden sich kaum oder gar nicht von den vorherigen. Damit können die Projekte nicht erfolgreicher sein, und das Ziel des Kunden

wird verfehlt. Der Effekt der Nachnutzbarkeit liegt einzig beim Systemintegrator: Durch die proprietäre Lösung wird ein spezifischer Weg der Kundenbindung beschritten. Der Kunde soll möglichst lange und ausschließlich Beratungsleistungen bei genau diesem einen Anbieter dieser Lösung bestellen.

- Darüber hinaus baut der Anbieter der Lösung gezielt Hürden auf, um die Nachnutzbarkeit des Angebotes durch andere Berater und deren Kunden zu verhindern. Durch die Proprietät der Lösung wird vor allem sichergestellt, dass kein anderer Systemintegrator hierzu Beratungs- und Dienstleistungen verkaufen kann. Die Lösung ist nur vermeintlich, aber nicht tatsächlich nachnutzbar. Ein breit angelegtes Know-how dazu, wie das Customizing, die Anwenderschulung und die Anpassentwicklung durchgeführt werden können, ist nicht angestrebt.

Wir sehen den Vorteil von Nachnutzbarkeit statt dessen gerade darin – und plädieren damit für einen Paradigmenwechsel im Beratungsgeschäft, dass man die Nachnutzbarkeit von beiden Seiten aus betrachtet und deren Potenzial auf diesen beiden Seiten hebt: a) aus Sicht des Kunden, der seine Lösung auf der Basis sicherer Branchenstandards implementieren will und gerne eine bereits etablierte Lösung einführt und b) aus Sicht des Systemintegrators, der durch entsprechende Methoden sicherstellt, dass die Projektrealisierung – also im Kern die Projektmethode selbst – durch andere Berater für Folgeprojekte nachnutzbar wird.

- Nachnutzbare, offene Lösungen haben nach unserer Einschätzung wesentlich mehr Potenzial, von den zunehmend selbstbewusster werdenden Anwenderunternehmen als Branchenstandard akzeptiert zu werden, als geschlossene, proprietäre Lösungen, die nur durch einen Anbieter nach seinen Methoden eingeführt und weiterentwickelt werden können und die Kunden auf lange Jahre von diesem Anbieter abhängig machen.
- Auf Nachnutzbarkeit setzende Beratungsunternehmen eröffnen sich einen neuen, modernen Weg, ihre Dienstleistungen zu vermarkten. Indem sie sich den Kundenanforderungen nach Entscheidungsfreiheit und gegen Abhängigkeit durch Proprietät stellen, erwerben sie sich die Chance, sich gegen die bisher etablierten Systemintegratoren zu positionieren, überhaupt oder verstärkt von Anwenderunternehmen angesprochen und beauftragt und dadurch erfolgreich(er) zu werden.

1.3 Ein Weg zur Nachnutzbarkeit von Beratungsleistungen

Nachnutzbarkeit erscheint uns als ein Erfolg versprechendes Konzept. Um es zu erschließen, sind jedoch umfangreiche Arbeiten erforderlich, die über die vorangehenden Überlegungen hinausführen. Nachnutzbarkeit muss erst einmal genau definiert, beschrieben und handhabbar gemacht werden. Wesentliche Aufgaben sind:

- Der Begriff Nachnutzbarkeit muss möglichst präzise festgelegt werden.

- Die Vorteile (Nutzeffekte) und Nachteile der Nachnutzbarkeit für Kunden und Systemintegratoren müssen erörtert werden, um die Tragfähigkeit des Ansatzes zu belegen. Hier kann etwa an mehr Transparenz und Qualität der Lösungen gedacht werden sowie an die mögliche Reduzierung von Projektrisiken und entsprechenden Aufwänden für Eskalationsmaßnahmen (z. B. wirkt sich die ungeplante Ressourcenbindung im Top-Management infolge einer Projekteskalation riskant auf die Perspektive des gesamten Unternehmens aus und sollte vermieden werden).
- Weiterhin müssen Rahmenbedingungen und Wege zur Nachnutzbarkeit geklärt und ausgearbeitet sowie entsprechende Werkzeuge zur Herstellung nachnutzbarer Lösungen, für das Management und die Unterstützung dieses Prozesses bereitgestellt werden. Unter anderem geht es dabei um die Erweiterung des Projekt- und Qualitätsmanagements in Richtung Nachnutzbarkeit und um die Implementierung einer geeigneten Projektmanagement-Plattform.
- Darüber hinaus muss es ein Verfahren geben, die Nachnutzbarkeit einer Lösung auszuweisen: Es reicht nicht, die Nachnutzbarkeit zu behaupten, sondern sie muss geeignet bestätigt werden. Das könnte beispielsweise durch eine Zertifizierung geschehen.
- Zu klären ist ebenso der Umgang mit nachnutzbaren Lösungen. So könnten Bibliotheken mit nachnutzbaren Lösungen aufgebaut werden. Berater und Kunden könnten sich Elemente aus diesen Bibliotheken nach festgelegten Regeln »ausleihen« oder auch neue Lösungen als Bibliothekselemente einstellen.
- Schließlich muss ein Weg gesucht und beschrieben werden, um alle Maßnahmen zur Nachnutzbarkeit im Praxisbetrieb zu evaluieren und nach Bedarf zu optimieren.

1.4 Ziel und Aufbau der vorliegenden Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die ersten Schritte des beschriebenen Maßnahmenpaketes zu erledigen sowie einen Ausblick auf die geplante Realisierung ausgewählter offener Punkte zu geben.

Dazu wird zunächst der Begriff der Nachnutzbarkeit definiert, und es werden Vor- und Nachteile von Nachnutzbarkeit erörtert (Kapitel 2). Anschließend werden wesentliche Randbedingungen (Erfolgsfaktoren) für Nachnutzbarkeit betrachtet und Konsequenzen für erfolgreiche Nachnutzbarkeit abgeleitet (Kapitel 3). Diese Überlegungen verweisen u. a. auf die Themenkomplexe Projekt- und Qualitätsmanagement sowie auf die Notwendigkeit, hierfür geeignete Werkzeuge bereit zu stellen. Entsprechend wird im Kapitel 4 ein Weg skizziert, wie eine Projektmanagement-Plattform für nachnutzbare Systemintegrationsprojekte entwickelt werden kann. Dieser wird gemeinsam von der TFH Wildau und der PROMOS consult, einem in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft führenden SAP-Systemintegrator, besprochen. Die Verantwortung liegt dabei in den Händen der Autoren. Fazit und Ausblick beschließen das vorliegende Papier (Kapitel 5).

2 Grundüberlegungen zur »Nachnutzbarkeit«

2.1 Von der Idee zur Begriffsfestlegung

Im Bereich der Softwareentwicklung sind der Begriff und das Konzept der »Wiederverwendung« seit vielen Jahren bekannt und etabliert (Stichwort: Objektorientierung). Ziele der Wiederverwendung sind u. a. die Einsparung von Entwicklungskosten und -zeiten sowie die Verbesserung der Softwarequalität. Sie konnten grundsätzlich erreicht werden. Letztlich wirft Wiederverwendung von Software aber auch Fragen auf, die ohne diese Konzeption nicht oder in anderem Sinne von Bedeutung waren. Beispielsweise seien zwei derartige Aspekte angesprochen:

- Wie kann eine Trennung von der Funktion des Softwarebausteins und der Anwendungsdomäne, in der der Baustein eingesetzt wird, erreicht werden? (Die Softwarekomponente muss so neutral wie nur irgend möglich gestaltet sein, damit sie in verschiedenen Anwendungsfeldern – etwa bei Banken und Versicherungen – zum Einsatz kommen kann.)
- Wie müssen Softwarebausteine beschrieben sein, damit sie mehr als einmal und dann jeweils ohne große Verständnisprobleme eingesetzt werden können? (Softwareentwickler neigen durchaus dazu, eine Komponente lieber selber zu entwickeln, als sich via Dokumentation in die Funktionsweise eines vorhandenen Softwarebausteins einzuarbeiten und diesen dann in ihrem System einzusetzen. Daneben ist bekannt, dass Softwareentwickler eher ungern Dokumentationsaufgaben übernehmen, so dass vorhandene Softwarebeschreibungen oft von geringer Qualität sind.)

Der Ansatz »Objektorientierung« liefert grundsätzliche Antworten auf diese Fragen. Weitergehende Überlegungen finden sich u. a. im Zusammenhang mit den so genannten Entwurfsmustern. Diese »Design Patterns« beschreiben beispielsweise Lösungen zur Erzeugung von oder zur Kommunikation zwischen Softwareobjekten, ohne dabei Bezug auf die jeweiligen Anwendungsdomäne zu nehmen. Dabei ist vorgesehen, dass die Dokumentation eines Entwurfsmusters ausreichende Informationen über das Problem, das das Muster behandelt, die vorgeschlagene Lösung und deren Einsatzmöglichkeiten bereitstellt.

Werden Design Patterns in dieser Weise dokumentiert, wird ein weiterer Vorteil von Objektorientierung deutlich: Die Entwurfsmuster und die derart gestalteten Softwarebausteine sind nicht nur unabhängig von der Domäne, in der die Software zum Einsatz kommt. Sie sind auch in erheblichem Maße unabhängig vom jeweiligen Softwareentwickler. Anders ausgedrückt: Der Entwickler teilt seine Ideen anderen mit. Das Muster kann jetzt auch von anderen Fachleuten verstanden und eingesetzt werden. Der ursprüngliche Entwickler gibt damit sein geistiges Eigentum und seine dadurch bedingte (vermeintliche) Vormachtstellung auf. Er muss nicht mehr gefragt werden, um mit seiner Lösung arbeiten zu können. Die Vorteile sind offensichtlich: Jetzt ist »echte« Wiederverwendung möglich. Der Softwareentwickler kann im Urlaub sein, ein anderes Projekt bearbeiten oder

das Unternehmen gewechselt haben – seine Lösung ist unabhängig davon nutzbar.

Gibt es derartige Möglichkeiten der Wiederverwendung von Software-Komponenten – allgemein: von Produkten – auch im Bereich von Dienstleistungen? Gibt es zum Beispiel die Wiederverwendung einer erfolgreichen SAP R/3-Einführung bei einem anderen Kunden? Können Projekte wieder verwendet werden?

Grundsätzlich muss diese Frage mit »nein« beantwortet werden: Eine Dienstleistung besitzt anders als ein Produkt einen »flüchtigen« Charakter. Sie existiert genau nur in dem Moment, in dem sie erbracht wird, nicht vorher und nicht nachher. Übrig bleibt das Ergebnis der Dienstleistung wie etwa die lauffähige IT-Anwendung oder die gemeinsam mit einem Berater entwickelte IT-Strategie.

Der Erfolg der Dienstleistung wird in der Regel an ihrem Resultat gemessen (entspricht es den Vorstellungen des Kunden?) sowie an der Art und Weise, in der die Dienstleistung vollzogen wurde (ist der Kunde mit dem Vorgehen des Projektteams einverstanden, kommt er mit dem Berater menschlich klar, ...?).

Erfolgreiche Dienstleistungen wecken ebenso wie gute Produkte den Wunsch anderer Kunden, auch in deren Genuss zu kommen. Besteht jedoch beim Produkt die Möglichkeit, sich dieses einfach zu kaufen, also quasi ein Duplikat, eine weitere »Instanz«, eines existierenden Produktes zu erwerben, wird es bei der Dienstleistung ungleich schwerer. Um den Erfolg der Dienstleistung sicherzustellen, sieht sich ein potenzieller Kunde heute in großem Maße darauf angewiesen, denselben Berater oder dasselbe Projektteam einzusetzen. Zumindest sind viele Kunden in dem Glauben (oft vom Dienstleister suggeriert – vgl. Kapitel 1), dass sie nur mit einem bestimmten Berater das richtige Resultat erzielen können, dass nur die mit ihm entwickelte Strategie richtig ist oder dass SAP nur dann zum richtigen Zeitpunkt lauffähig ist, wenn es von einem Team seiner Unternehmung eingeführt wurde.

Mag diese Überlegung grundsätzlich fraglich sein, hat sie zumindest an einer Stelle auf jeden Fall ihr Ende: Wie eingangs erwähnt stehen zurzeit derart viele SAP-Projekte zur Realisierung an, dass die erforderlichen Arbeiten gar nicht durch wenige Personen oder Unternehmen geleistet werden können (das gilt z. B. für die Wohnungswirtschaft).

Hier setzt die beschriebene Nachnutzbarkeit als Mittel zur Lösung und zur Beseitigung des Projektstaus ein: Die Dienstleistung wird so realisiert, dass sie in einem anderen Zusammenhang ebenfalls erfolgreich wiederholt werden kann. Dazu ist es notwendig, dass einerseits das Ergebnis der Dienstleistung sauber festgelegt und dokumentiert wird – es ist damit klar, welches Resultat die Dienstleistung geliefert hat und in jedem anderen Fall auch liefern muss. Andererseits ist es erforderlich, dass der Dienstleistung der flüchtige Charakter genommen wird. Dazu müssen alle wesentlichen Arbeitsschritte, Vorgehensweisen, Hilfsmittel, Tipps und Tricks etc., die zur Erbringung der Dienstleistung benötigt werden, in einer nachvollziehbaren Weise dokumentiert werden.

Eine nachnutzbare Dienstleistung besteht demnach aus der eigentlichen Dienstleistung und einer geeigneten Dokumentation des Resultates, der Arbeitsschritte, Vorgehensweisen usw.

Diese Definition und die vorangehenden Überlegungen zeigen, dass Nachnutzbarkeit einer Dienstleistung nicht ohne Weiteres gegeben ist. Die Dienstleistung muss beispielsweise angemessen – d. h. im Sinne einer späteren Nachnutzung – dokumentiert werden, das Projektmanagement muss diese Dokumentationsaufgaben berücksichtigen und die Resultate müssen einer geeigneten Qualitätssicherung unterzogen werden. Lohnt sich dieser Aufwand? Wir meinen: Ja. Zur Begründung betrachten wir noch einmal die Vor- und (vermeintlichen) Nachteile von Nachnutzbarkeit.

2.2 Noch einmal: Vor- und Nachteile von Nachnutzbarkeit

Eigentlich sollte jedes Projekt ordentlich dokumentiert werden, aber die Erfahrung zeigt, dass hier oft eine erhebliche Lücke zwischen Wunsch und Wirklichkeit klafft. Entsprechend ist zu vermuten, dass Nachnutzbarkeit einen gewissen erhöhten Projektaufwand bedeutet, um unter anderem den mit ihr verbundenen Dokumentationsanforderungen Rechnung zu tragen. Mit einer einwandfreien Dokumentation wird allerdings sofort die Flüchtigkeit einer Dienstleistung verhindert. Welche weiteren Vor- und Nachteile von Nachnutzbarkeit sind denkbar?

Schauen wir zunächst in Richtung der Kunden: Entsprechend der obigen Argumentation ist zu vermuten, dass durch die gezielte Realisierung der Nachnutzbarkeit wahrscheinlich deutlich mehr Kunden als bisher in einer überschaubaren Zeit von guten Dienstleistungen profitieren können – der Projektstau kann auf hohem Qualitätsniveau abgebaut werden. Darüber hinaus sind die Kunden nicht mehr in dem Maße, wie es bisher oft der Fall ist, auf einen bestimmten Berater oder eine Unternehmung angewiesen. Die Kunden gewinnen mehr Möglichkeiten in der Wahl ihres Dienstleisters. Es ist eine »neue Offenheit« zu verzeichnen, die von den Kunden sicher positiv bewertet wird. Nachnutzbare Dienstleistungen sind beraterunabhängig. Sie können im Idealfall von allen mit der Nachnutzbarkeit vertrauten Beratern bzw. Unternehmen mit der gleichen Qualität realisiert werden. Nachteile aus Sicht der Kunden sind nicht zu erkennen.

Betrachten wir nun die Systemintegratoren: Die Vorteile für die Kunden können auf den ersten Blick zugleich sicher als Nachteile für die Dienstleister ausgelegt werden. Zum einen stellen nachnutzbare Dienstleistungen erhebliche Anforderungen an ihren »Erst-Erbringer« – insbesondere hinsichtlich der notwendigen Dokumentation der Dienstleistung. Zum anderen sind nachnutzbare Dienstleistungen beraterunabhängig. Damit kann sich ein Berater nicht mehr sicher sein, dass er einen Kunden langfristig an sich binden kann. Kunden und Dienstleister bewegen sich frei am Markt. Ein Kunde kann sich die gewünschte Beratungslösung suchen und

dazu einen Dienstleister auswählen, der erfahren und erfolgreich in der Realisierung offener Beratungslösungen ist. Das ist nun auch genau der Vorteil für Systemintegratoren, die auf Nachnutzbarkeit setzen und sich auf das offene Spiel der Kräfte einlassen. Diese Berater können genau mit ihrer Expertise hinsichtlich nachnutzbarer Lösungen werben und darüber Aufträge gewinnen, die sie sonst eventuell nicht bekommen hätten. Sie können damit unternehmerisches Wachstum durch verstärkte Gewinnung von Neukunden erreichen – ohne die Kundenbindung zu vernachlässigen: Folgeaufträge kommen jetzt freiwillig aufgrund erfolgreicher Projekte und einer entsprechenden Kundenzufriedenheit zustande und werden nicht erzwungen wegen bestehender Abhängigkeiten von proprietären Lösungen.

Durch Nachnutzbarkeit wird aber nicht nur der Beratermarkt neu geordnet: Auf der Seite der Berater entsteht Nachnutzbarkeit durch eine entsprechende Methode, die sicherstellt, dass die Lösung auch durch andere Berater/Systemintegratoren eingeführt, also das Projekt als solches »nachgenutzt« werden kann. Auf der Seite des Kunden wird eine Lösung nachgenutzt, die bereits als Musterlösung vorhanden ist. Die Kombination aus beidem verspricht größten Kundennutzen, denn sie stellt sicher, dass

- die insgesamt ähnlichen Anforderungen der Kunden einer Branche wie etwa der Wohnungswirtschaft zu einer großen, gemeinsamen, branchenspezifischen »Lösungsbibliothek« und
- das insgesamt gleiche Arbeiten der Berater nach gleichen Methoden zu einer großen, gemeinsamen »Methodenbibliothek« führen.

Lösungs- und Methodenbibliothek liefern und repräsentieren damit einen offenen Branchenstandard – mit allen Vorteilen für Kunden und Dienstleister.

Sicher ist damit kein leichter Weg vorgezeichnet, und es kann erhebliche Probleme in Richtung Nachnutzbarkeit geben. Daher ist es insbesondere erforderlich, sich genauer mit den Bedingungen von Nachnutzbarkeit zu befassen und Maßnahmen zu deren Realisierung ins Auge zu fassen.

3 Voraussetzungen von Nachnutzbarkeit und deren Realisierung

3.1 Projektgeschehen

Bereits eingangs wurde angedeutet, dass die Nachnutzbarkeit von Projektlösungen nicht ohne Weiteres gegeben ist. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist das »passende« Projektgeschehen, d. h. es müssen die richtigen Aktivitäten zur richtigen Zeit am richtigen Ort mit den richtigen Methoden und Werkzeugen durchgeführt werden und die richtigen Ergebnisse liefern.

3.2 Dokumentation

Das gesamte Projektgeschehen muss in geeigneter Weise dokumentiert werden, d.h. die für das Projektergebnis

und die Nachnutzung des Projektes wesentlichen Aspekte müssen angemessen aufgezeichnet werden.

3.3 Motivation

Nachnutzbarkeit zu erreichen bedeutet für viele IT-Mitarbeiter und -Führungskräfte, dass bestehende Arbeitsweisen geändert werden müssen. Speziell wird auf die Mitarbeiter ein erhöhter Dokumentationsaufwand zukommen, zu dem sie bereit sein müssen und der von den Führungskräften eingefordert werden muss. (Ein in der Praxis häufig gehörter Satz von Mitarbeitern sagt: »Wenn das und das dokumentiert werden muss, ist nicht genug Zeit mehr für die eigentliche Projektarbeit vorhanden.« Die Reaktion der Führungskräfte ist leider zu oft, dass die Dokumentationsanforderungen dann reduziert oder sogar ganz zurückgestellt werden.) – In diesem Sinne bedeutet »angemessene« Dokumentation, dass nicht zu viel und nicht zu wenig dokumentiert wird.

3.4 Qualifikation

Neben der Motivation der Mitarbeiter und Führungskräfte muss auch deren Qualifikation die Nachnutzbarkeit unterstützen. D. h., die Mitarbeiter und Führungskräfte müssen mit dem Konzept der »Nachnutzbarkeit« vertraut sein, sie müssen die daraus resultierenden Arbeitsanforderungen kennen und die Fähigkeit, das Wissen und die Erfahrung besitzen, diese Anforderungen in der Praxis zu erfüllen.

3.5 Bereitschaft zur Offenheit

Schließlich ist mindestens noch die unternehmerische Bereitschaft erforderlich, Projekte zur Nachnutzung freizugeben. Dieser Entschluss erfordert eine gehörige Portion Mut, eingefahrene Gleise zu verlassen. Wir sind jedoch der Überzeugung, dass ein gut vorbereiteter Wandel zu einem im hier verstandenen Sinne offenen Unternehmen von Erfolg gekrönt sein kann.

4 Lösungsansätze

4.1 Vorgehensmodell

Das richtige Projektgeschehen erfordert ein auf Nachnutzbarkeit der Projektergebnisse ausgerichtetes Vorgehensmodell. Dieses beschreibt wie jedes andere Vorgehensmodell, wer im Rahmen des Projektes welche Tätigkeiten zu welchen Zeitpunkten mit welchen Werkzeugen und nach welchen Methoden zu erbringen hat sowie welche Resultate dabei herauskommen sollen.

Dabei müssen alle im Projekt relevanten Aktivitäten berücksichtigt werden, d. h. neben der eigentlichen Leistungserbringung (Wertschöpfung) kommt es auch auf die Führungsaufgaben (Projekt- und Qualitätsmanagement) und die Supporttätigkeiten (Bereitstellung von Schulungs- und Testumgebungen usw.) an.

Hier wird das Augenmerk zusätzlich auf den Aspekt der Nachnutzbarkeit gelegt. Das gesuchte Nachnutzbarkeit unterstützende Vorgehensmodell kann damit durch Modifikation eines oder mehrerer vorhandener Vorgehensmodelle entwickelt werden. Von diesem Aspekt wird in der detaillierten Betrachtung der Führungsaufgabe Projektmanagement im Kapitel 4 Gebrauch gemacht.

4.2 Projektergebnisse und Ergebnismuster

Innerhalb des Vorgehensmodells müssen alle für das Projekt relevanten Ergebnisse benannt werden. Die Nachnutzbarkeit hat zur Folge, dass dabei nicht nur die fachlichen Ergebnisse, wie etwa Leistungsbeschreibungen und Software-Architekturen, zu betrachten sind, sondern dass auch alle für den Projektverlauf bedeutsamen Dokumente, wie z. B. Sitzungsprotokolle und Zeitpläne, zu berücksichtigen sind.

Für alle Projektergebnisse muss es wohl definierte Muster (Vorlagen) und nach Bedarf auch zugehörige Ausfüllanleitungen geben.

Die Resultate müssen nach vorgegebenen Regeln an vorgegebenen Stellen abgespeichert oder archiviert werden.

4.3 Mitarbeiterbeteiligung

Im Hinblick auf die erforderliche Motivation der Mitarbeiter kommt es nicht darauf an, große »Motivationsshows« zu realisieren. Viel mehr sollte der Ansatz der Nachnutzbarkeit so angelegt sein, dass die Mitarbeiter die daraus für sie erwachsenden Vorteile, wie z. B. den leichteren Rückgriff auf Erfahrungen von Kollegen oder die verbesserte Position des eigenen Unternehmens am Markt, erkennen können. Ein probates Mittel könnte in der Einbeziehung ausgewählter Mitarbeiter bei der Entwicklung des Vorgehensmodells bestehen, Erfolge mit Nachnutzbarkeit könnten belohnt werden usw.

4.4 Schulungskooperation

Die Fähigkeit, in nachnutzbaren Projekten zu arbeiten bzw. diese zu führen, muss geeignet ausgebildet werden. Hierfür sind entsprechende Schulungsprogramme zu entwickeln. Diese können in Kooperation von Fachhochschule und Systemintegrator realisiert werden (vgl. Kapitel 5).

4.5 Change Management

Ausgangspunkt zur Entwicklung der unternehmerischen Bereitschaft zur Offenheit kann eine Analyse des Marktes sein. Sie wird dem jeweiligen Beratungsunternehmen zeigen, welche Chancen und Risiken es mit und ohne Nachnutzbarkeit seiner Projektlösungen hat. Für den Fall, dass die Chancen überwiegen und mit einem zusätzlichen Blick auf die eigenen Stärken und Schwächen auch Möglichkeiten gesehen werden, sich zu einem die Nachnutzung propagierenden und diese erfolgreich umsetzenden Unternehmen zu entwickeln, kann dies

schrittweise im Rahmen eines Change Management-Projektes erfolgen. Das Projekt muss wie jedes andere auch gut vorbereitet und konsequent durchgeführt werden.

5 Nachnutzbarkeit und Projektmanagement

Wie dargestellt muss das Vorgehensmodell für nachnutzbare Projekte insbesondere Regelungen zum Aufgabenkomplex »Projektmanagement« umfassen. Da Nachnutzbarkeit als Erweiterung bisheriger Projekte betrachtet werden kann, liegt es nahe, etablierte Projektmanagementverfahren zu untersuchen und daraus das Projektmanagement für nachnutzbare Projekte abzuleiten.

Unter Federführung der Autoren ist geplant, das Projektmanagementverfahren der PROMOS consult zum Ausgangspunkt zu nehmen und dieses zu modifizieren. Folgende Arbeitsschritte sind vorgesehen:

- Analyse und Bewertung bestehender Projektmanagementverfahren bei PROMOS consult. Ableitung einer Handlungsempfehlung zur Professionalisierung.
- Ermittlung spezifischer Verfahren zum Aspekt Nachnutzbarkeit offener Projektlösungen.
- Spezifikation der Umsetzungswerkzeuge (Tools) für ein IT-gestütztes Projektmanagementverfahren.
- Realisierung der Umsetzungswerkzeuge.
- Praxisbericht und Analyse des Kundennutzens.
- Generalisierung und gegebenenfalls Überführung der Tools in ein Projektmanagement-Portal.

Der Projektstart ist für Ende August 2007 vorgesehen. Nach der dann erforderlichen Projektplanung können Aussagen zur Realisierung und zum voraussichtlichen Projektende getroffen werden. Dieses wird sicher in der ersten Jahreshälfte 2008 liegen. Spätestens dann können und sollen weitere Schritte im Sinne der Erledigung des eingangs skizzierten Arbeitspaketes zur Realisierung der Nachnutzbarkeit von Projektlösungen in Angriff genommen werden (vgl. Kapitel 1 sowie Kapitel 5).

6 Fazit und Ausblick

Das Konzept nachnutzbarer Dienstleistungen verfolgt den Ansatz, die gerade bei IT-Systemintegratoren weit verbreitete und von deren Kunden mehr oder weniger zwangsläufig übernommene Sicht, eine bestimmte Dienstleistung kann nur von einem bestimmten Dienstleister erbracht werden, aufzubrechen.

Damit wird ein Paradigmenwechsel in der IT-Beratungsbranche eingeleitet, der weg von proprietären Lösungen und Kundenbindung durch Abhängigkeit hin zu offenen Dienstleistungen und Kundenbindung auf Basis von Kundenzufriedenheit und Freiwilligkeit führt.

Die vorliegenden Überlegungen zeigen, dass Nachnutzbarkeit nur durch konsequentes Vorgehen erreicht werden kann. Es muss auch und gerade Bequemlichkeiten überwinden, die oft in Projekten zu verzeichnen sind. Die Ausführungen zeigen auch, dass erst wenige

Teilschritte in Richtung Nachnutzbarkeit realisiert sind. Weitere Anstrengungen sind erforderlich, um das eingangs dargestellte Maßnahmenpaket abzarbeiten und dem Konzept zum wünschenswerten Durchbruch zu verhelfen.

Ein Teil dieser Aktivitäten wurde hier skizziert. Es ist geplant, sie gemeinschaftlich im Rahmen einer Kooperation zwischen der TFH Wildau und der PROMOS consult zu realisieren. Dabei sollen die Stärken der Beteiligten zum gegenseitigen Vorteil eingebracht werden. Die vorhandenen Forschungsmöglichkeiten sowie das praktische Wissen und die Erfahrungen der Partner werden kombiniert, um den Weg zur Nachnutzbarkeit von Projektergebnissen weiter auszuarbeiten und insbesondere entsprechende Projektmanagementwerkzeuge zu entwickeln. Diese Ansätze werden gemeinsam im Unternehmensalltag implementiert, wobei ein gegenseitiges Geben und Nehmen von Informationen, Wissen und Erfahrungen zu erwarten ist.

Insbesondere ist vorgesehen, ausgewählte Vorlesungen zu den Grundlagen des Managements, zum Projektmanagement und zur Anwendung von SAP geeignet anzureichern. Die Ausbildung der Studierenden wird damit um moderne, zukunftssträchtige Inhalte ergänzt. Umgekehrt müssen auch die Mitarbeiter von IT-Systemintegratoren, wie PROMOS consult, in den Methoden und Werkzeugen der Nachnutzbarkeit unterwiesen werden. Dies soll ebenfalls in den genannten Lehrveranstaltungen geschehen und zieht den Transfer von Know-how und Erfahrungen aus der Praxis in die Fachhochschule nach sich.

Ziel dieser Maßnahmen wird es vor allem auch sein, den Aspekt der Nachnutzbarkeit durch die Ausarbeitung von Projektmanagementmethoden fest in IT-Projekten zu verankern und somit die Ergebnisqualität der IT-Projekte wesentlich zu verbessern.

Die Ergebnisse der Kooperation sollten am Kundennutzen messbar und dann auf andere Unternehmen – Kunden und Systemintegratoren – übertragbar sein. Das bis dahin erzielte Wissens- und Erfahrungspotenzial der Projektbeteiligten kann dann beispielsweise in ein Verfahren zur Zertifizierung nachnutzbarer Beratungslösungen durch die TFH Wildau münden.

Literatur

- Frölich, R./Schütte, R., Wissensbasiertes Projektmanagement großer DV-Vorhaben, KI 1988 (2) 3, S. 64-68
- Gamma, E./Helm, R./Johnson, R./Vlissidis, J., Entwurfsmuster – Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software, Addison-Wesley, 2004 (7. Auflage)
- Gehle, M., Internationales Wissensmanagement – Zur Steigerung der Flexibilität und Schlagkraft wissensintensiver Unternehmen, DUV 2006
- Kreitel, W.A., Unternehmenswissen als Ressource – Wissensbasiertes Projektmanagement erfolgreich einführen und nutzen, Gabler 2008

Oestereich, B. (Hrsg.)/Hruschka, P./Josuttis, N./Kocher, H./Krasemann, H./Reinhold, M., Erfolgreich mit Objektorientierung – Vorgehensmodelle und Managementpraktiken für die objektorientierte Softwareentwicklung, Oldenbourg 2001 (2. Auflage)

Internetquellen

- ERP: Der langsame Rückzug von SAP R/3
http://www.computerwoche.de/knowledge_center/enterprise_resource_planning/523671/?ILC-RSSFEED&feed=523671%20rssnews (31.08.2007)
- PAC: Deutscher ERP-Markt im Umbruch
http://www.computerwoche.de/produkte_technik/software/593920/?ILC-RSSFEED&feed=593920%20rssnews (05.06.2007)
- Die Methode macht den Unterschied
<http://www.computerwoche.de/heftarchiv/2007/22/1219247/index.html> (06.06.2007)
- Sieben große Barrieren in ERP-Projekten
<http://www.computerwoche.de/heftarchiv/2007/22/1219225/index.html> (06.06.2007)
- ERP-Projekte: Viele Gründe für ein Scheitern
<http://www.computerwoche.de/index.cfm?pid=334&pk=592539> (10.05.2007)
- Jedes vierte IT-Projekt geht schief
<http://www.computerwoche.de/nachrichten/595610/?ILC-RSSFEED&feed=595610%20rssnews> (04.07.2007)
- Deutsche IT-Manager planen schlecht
http://www.computerwoche.de/it_strategien/it_management/571685/index.html (02.02.2006)

Autoren

Dipl.-Ing. Jens Kramer
Geschäftsführer
PROMOS consult GmbH
Rungestraße 19
10179 Berlin
Tel. +49 30 2431170
jens.kramer@promos-consult.de
www.openpromos.com

Prof. Dr. Bertil Haack
Dekan
Technische Fachhochschule Wildau
FB Wirtschaft, Verwaltung und Recht
Tel. +49 3375 508-914
bertil.haack@tfh-wildau.de
www.goals-strategies.com/haack

Erzeugung von Cordierit-Keramiksäumen über die Zwischenstufe hochgefüllter Polyurethan-Schaumstoffe

Michael Herzog, Rainer Wegner

Zusammenfassung

Der Beitrag berichtet von der Entwicklung von leichten keramischen Massen mit speziellen Schaumstrukturen. Hierzu wurden geeignete Ausgangsstoffe ermittelt sowie ein Verfahren entwickelt, das seine Leistungsfähigkeit mit Keramikformkörpern demonstriert hat.

Die Arbeiten beinhalten im Kern die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens der Herstellung keramischer Schaumstoffe mittels PUR-Systemen auf der Basis von Recyclatpolyolen, wobei die keramischen Pulver (u. a. aufbereitete Schlacken und Cordierit-Keramik aus dem Recycling von Abgas-Katalysatoren) in niedrigviskose Polyole eingebracht und anschließend mit Isocyanaten zu anorganisch-organischen Verbund-schaumstoffen geschäumt wurden. Die organischen Bestandteile wurden anschließend ausgebrannt und zuletzt die Keramik gesintert. An den erhaltenen Formkörpern wurden mechanische Kennwerte bestimmt, die Strukturen mikroskopisch charakterisiert und Gebrauchswerteigenschaften erfasst.

Die entwickelten keramischen Schaumstoffe können als in der Kälte formbeständige Körper für entsprechend belastete Bauteile herangezogen werden und eignen sich zudem als Trägermaterialien für Katalysatoren oder für Aufgaben im Bereich der Filtration.

Abstract

In this paper we report on the development of light ceramic foams of special structures. To this end, suitable raw materials and processing parameters were established to demonstrate the properties and performance of the products.

The investigation incorporates the development of a new process to produce foamed ceramics by means of PUR systems based on recycling polyols. Thus, the ceramic powders (amongst others processed slag and cordierite originating from the recycling of car catalysts) were mixed with low viscosity polyols and foamed by the reaction with isocyanates forming structured inorganic-organic composites. In the following step, the organic component was burned out and the ceramic materials simultaneously sintered. Mechanical properties of the resulting ceramic bodies were determined, structures were investigated by microscopy, and properties for technical use received. The ceramic foams produced are useful to serve as dimensionally stable bodies for low temperature use for special parts in cryogenics, as a substrate for biocatalysts, as precious metal free catalysts in Diesel engine exhaust, or for tasks in the field of filtration.

1 Einleitung

Schaumstoffe genießen als zelluläre Festkörper aus Polymeren, Metallen oder Keramiken seit geraumer Zeit ein erhöhtes Interesse in den Werkstoffwissenschaften [1]. Sie bieten gegenüber massiven Materialien neben Gewichtsvorteilen ein interessantes, prinzipiell mit den mikroskopischen räumlichen Strukturen variierbares Eigenschaftsspektrum [2].

Keramikschaumstoffe werden heute auf vielen Gebieten eingesetzt, z. B. als Hochtemperaturisolationen [3], als Trägermaterial in der Biotechnologie [4], als Membranen zur Gas- oder Flüssigkeitstrennung bzw. -reinigung oder als Träger für Katalysatoren in der chemischen Industrie.

Die Herstellung kann nach verschiedenen Technologien erfolgen:

- Aufschäumen von keramischen Massen durch Gase oder Dämpfe und Brennen der keramischen Massen nach klassischen Brennverfahren [5],

- Tränken von vorgebildeten Schaumstoffen mit Aufschlammungen keramischer Massen und Verdampfen des Schaumerüsts [6],
- Mischen von keramischen Massen und organischem Material (Stärke, Holzmehl, Kunststoffe) zu einem Formkörper und Verdampfen des organischen Materials,
- Verschäumung von keramischen Pulvern mit organischen Reaktionssystemen (z. B. zur Erzeugung von Polyurethanen) zu hoch feststoffbeladenen polymeren Schaumstoffen, die oxidiert und gesintert werden [7]. Mittels weiterer Nachbehandlungen, z. B. Ausfüllen hohler Stege durch Tauchung primärer Schaumkeramiken in flüssigem Silizium wurden gezielt weitere Eigenschaftsverbesserungen verfolgt [8].

Wesentlich aufwändiger sind anspruchsvolle Laborverfahren wie die Pyrolyse von geschäumten Siloxanen, die mit Si/SiC bzw. SiO₂ (Quarz) gefüllt sind [9].

Schaumkeramiken wurden als Basismaterial für MMC (Metall-Matrix-Composits) untersucht [10], um

anschließend mit flüssigen Metallen ausgegossen zu werden und im erstarrten Zustand eine Keramikverstärkung für Metalle zu bieten. Hierdurch wurde auf eine erhöhte Abriebfestigkeit von Metallen, Festigkeitserhöhung von Leichtmetallen oder den verbesserten Wärmetransport in mikroelektronischen Substraten gezielt [11].

Die Problematik der Fügechnik [12] und der Kräfteinleitung in metallische Schäume [13] sowie die Bearbeitbarkeit mit spanabhebenden Verfahren [14] wurde in fertigungstechnologisch orientierten Untersuchungen zur Anwendung in komplexen Bauteilen behandelt.

Eine weitere Erhöhung der Porosität auf bis zu 95 % (und damit zugänglichen Leichtbauwerkstoffen auf Eisenbasis mit Dichten bis hinab zu $0,2 \text{ g/cm}^3$) gelingt mit metallischen Hohlkugelstrukturen, die nach einem erprobten Verfahren von Polystyrolkugeln abgeformt und gesintert werden können [15].

2 Aufgabenstellung

Die Herstellung von geschäumten Keramikformkörpern kann über die Zwischenstufe geschäumter Polyurethan-Systeme (PUR) erfolgen, die keramischen Pulver als Sintermaterial enthalten. Dies beruht auf der Annahme, dass PUR-Systeme mit bis zu 600 % ihrer Masse mit anorganischen Stoffen beladen werden können und dabei schäumbar bleiben. Die Polyurethane bzw. deren Schäume weisen einerseits ein weit einstellbares Eigenschaftsspektrum auf, andererseits dienen sie lediglich der Strukturierung des Schaumkörpers und werden anschließend ausgebrannt – sie sind letztlich nicht mehr im Produkt enthalten. Der Einsatz von PUR-Systemen auf der Basis von Recyclingpolyolen ist besonders interessant, da relativ preiswerte Polyole genutzt werden können. Folglich bestand ein Aspekt der Aufgabe in der Entwicklung und Rezeptierung der erforderlichen Polyurethan-Systeme, in der die Polyol-Komponente (A-Komponente) des Polyurethansystems angepasst werden musste.

Die als Hochleistungsmaterial einzustufenden Schaumkeramiken können nach diesem Verfahren mittels direkter Schäumung hergestellt werden (Abb. 1b), wobei die als Zwischenstufe entstehenden organisch-anorganischen Schaumstoffe mittels spezieller Temperaturprogramme in Brennöfen ausgebrannt und zu keramischen Schaumstoffen gesintert werden. Als anorganische Füllstoffe kommen in erster Linie keramische Pulver in Frage, deren Sinterfähigkeit bei Temperaturen um 1100°C einsetzt indem an sie den Oberflächen der Pulverkörner verschmolzen werden.

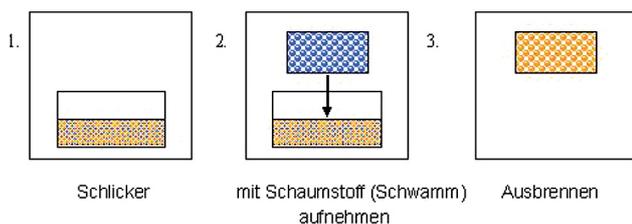


Abb. 1a: Erzeugung fester Schaumstoffe durch Abformung einer Schaumstruktur

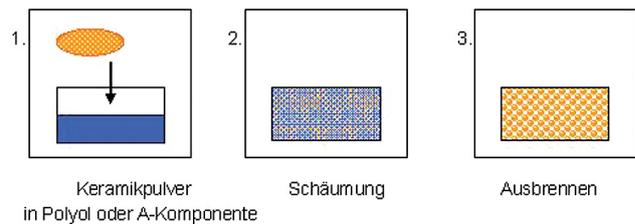


Abb. 1b: Verfahren zur Erzeugung keramischer Schaumstoffe mittels direkter Schäumung

Offenzellige Schaumkeramiken geringer Wärmeleitfähigkeit eignen sich auch als Trägermaterial für Katalysatoren, wobei durch die Verwendung von aufgemahlene harten Schlacken und Recyclatkeramik eine hohe Festigkeit in die Schaumkörper gebracht werden kann.

Die meisten der in Automobilen eingesetzten Katalysatoren besitzen keramische Wabenkörper als Trägerkörper für die eigentlich katalytisch aktiven Substanzen. Diese Trägerkörper werden zurückgewonnen, indem der Konverter (umgangssprachlich wird zumeist das gesamte Bauteil als Katalysator bezeichnet) mit einer hydraulischen Schere aufgeschnitten, und der Monolithbruch herausgenommen wird. Bei dem Monolith handelt es sich um hochwertige Keramik auf der Basis von Cordierit ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$). Diese wurde bei der Herstellung der Katalysatoren mit einer Suspension (Slurry) aus Aluminiumoxid, seltenen Erden (in Oxidform), Übergangsmetallen und den katalytisch aktiven Elementen Platin, Palladium und Rhodium beschichtet. Diese Beschichtung macht ca. 10 % der Gesamtmasse des beschichteten Trägers aus, die Edelmetalle alleine sind in Konzentrationen von ca. 2000 mg/kg (ppm) enthalten.

Zur Rückgewinnung der Edelmetalle wird dieser Keramikbruch an Scheideanstalten gegeben. Der gegenwärtige Stand der Technik ist, dass das edelmetallhaltige Material dort mit einem Sammlermetall (Cu, Fe) und einigen Zuschlagstoffen verschmolzen wird. Dabei entsteht eine Legierung des Sammlermetalls mit den Edelmetallen und eine keramische Schlacke, die gegenwärtig noch deponiert wird. Alternativverfahren gehen davon aus, die Edelmetalle mittels Säuren aus der Keramik herauszulösen (hydrometallurgische Verarbeitung). Mit der Umsetzung der zurückbleibenden gebrochenen Cordieritkeramik, die nach Aufbereitung wieder zu keramischen Material gebrannt werden können, setzen die Untersuchungen an.

3 Ergebnisse

Ausgehend von vielfältigen Erfahrungen in der Darstellung von metallischen Schäumen durch das Tränken eines Weichschaums mit einem metallpulverhaltigen Schlicker zur Erzeugung von Grünkörpern (siehe Abb. 1a) und anschließendem Verdampfen der polymeren Matrix wurde diese Methode auf keramische Pulver auf Basis von cordieritbasierten Katalysatorträgermaterialien übertragen. Wenngleich beide Verfahren (siehe Abb. 1) durch Brennen eines Grünkörpers zu Schaumkeramiken gelangen, so ist ersichtlich, dass die ggf. eigenschaftsbestimmende Morphologie der erhaltenen Produkte verschieden ist.

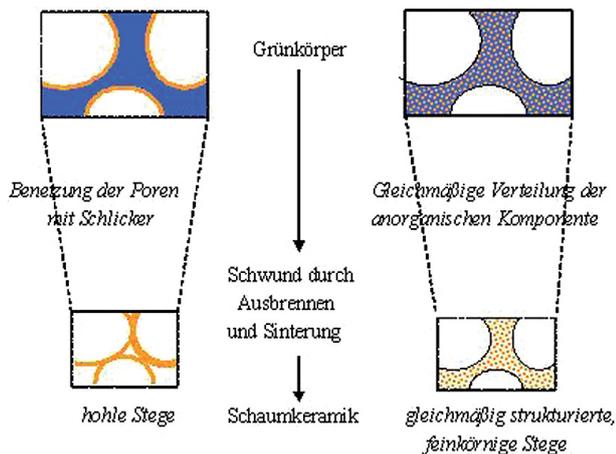


Abb. 2: Abhängigkeit der Mikrostruktur der Schaumkeramik vom Herstellungsprozess

Somit ist nachvollziehbar, dass über die Beherrschung der technologischen Schritte die Materialeigenschaften gezielt eingestellt werden können. Von geschlossenzelligen Schaumkeramiken ist bei gleicher Dichte eine höhere Festigkeit, aber verringerte Gasdurchlässigkeit gegenüber offenzelligen Schaumstoffen zu erwarten gewesen. Die Wärmeleitfähigkeit wird maßgeblich durch die Stegdicke und Körnigkeit bzw. Morphologie bestimmt, während für die Isolierwirkung, d. h. den mit der Gasdurchlässigkeit erfassten konvektiven Wärmetransport, auch die Zellstruktur (Vakuum oder luftgefüllt, Reflexion von Wärmestrahlung) maßgeblich ist.

Die folgende Tabelle enthält Rezepturbeispiele für PUR-Schaumstoffe, deren Beladung mit keramischen Pulvern erfolgreich durchgeführt wurde. Die auf diesem Wege hergestellten Hartschaumstoffe eignen sich als Matrix zur Einbettung keramischer Pulver. Ihre Zelligkeit kann zu Schaumkeramiken mit einer analogen Makrostruktur gebrannt werden.

	Substanz, Mengenangaben in Gramm	PUR- Recyclat	PET- Recyclat P-185	PET- Recyclat LF027
A- Kompo- nente	Polyol	172,5	153,7	25
	Dimethyletanolamin	0,5	0,6	
	Dimethylcyclohexylamin		0,3	
	Polycat NP-40	0,3	0,2	0,1
	Tegostab 8433			0,05
	Tegostab-B	0,4	0,5	
	Wasser	4,5	4,5	1
B- Kompo- nente	Lupranat M 20 A NCO-Gehalt 31,8 %	202,5	200,0	30
	Rührzeit [s]	10	10	
	Startzeit [s]	16	18	
	Steigzeit [s]	68	72	
	Abbindezeit [s]	90	94	

Neben der zu beachtenden Stöchiometrie der Hauptbestandteile stehen mit dem Katalysatorsystem, dem Treibmittel und dem Schaumstabilisator drei variable Parameter zur Steuerung der PUR-Schaumbildung zur Verfügung.

Die Auslegung der Brennprogramme basiert auf den thermischen Analysen (DSC) der mit Feststoffen beladenen PUR-Schaumstoffe. Hierdurch lassen sich die Temperaturbereiche, in denen die Umsetzungen erfolgen recht genau bestimmen und entsprechende Zeitintervalle für den Brennprozess definieren.

Mit dem Brennprogramm wird zuerst die Ausgasung der organischen Matrix gesteuert. Hierbei wird mit moderaten Aufheizgeschwindigkeiten einer Zerstörung der Schaumstruktur durch entweichende Gase begegnet. Mit den zwischenzeitlichen Haltephasen (ohne Temperaturanstieg) wird in den mittels der thermischen Analysen als Phasen besonders starken Stoffumsatzes ermittelten Temperaturbereichen eine schonende Umsetzung gewährleistet.

Für größere Formkörper sind gegebenenfalls längere Brenndauern bzw. langsamere Aufheizgeschwindigkeiten erforderlich. Eine ausreichende Brenndauer bei Sinter Temperatur und eine kontrollierte Abkühlung tragen zur Vermeidung innerer Spannungen bei.

Die Schmelztemperatur der Schlacken aus dem pyrometallurgischen Refining-Prozess von KFZ-Abgaskatalysatoren wurde iterativ zu ca. 1150° C ermittelt, d. h. sie ist deutlich gegenüber der Schmelztemperatur von Cordierit (1475° C) verringert und liegt noch beträchtlich unter dem angewandten Temperaturbereich (1250 - 1400° C) für die Sinterung des Cordierit.

Die optische Charakterisierung erfolgte anhand von lichtmikroskopischen und elektronenmikroskopischen Aufnahmen. Die lichtmikroskopischen Aufnahmen dienten vor allem der Charakterisierung der Zelldichte, einem für eine Nutzung als Katalysatorträger maßgeblichen technischen Parameter. Mit den elektronenmikroskopischen Aufnahmen gelingt es, die Porosität im Festkörper selber zu erfassen.

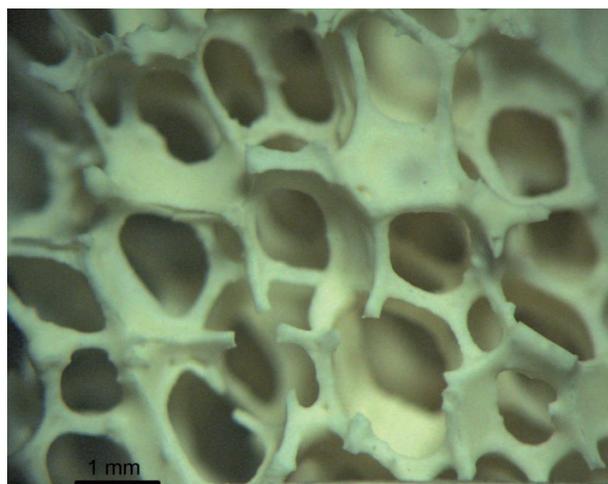


Abb. 3: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Schaumkeramik, deutlich sichtbar sind die hohlen Stege, die durch das Abdampfen der PUR-Matrix entstanden sind.

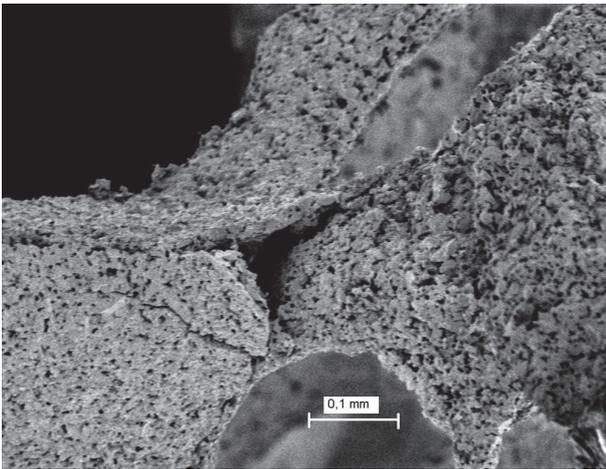


Abb. 4: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Schaumkeramik an einer Bruchfläche, die Körnung und Porosität sind gut erkennbar.

Es wurden die Druckverluste von Schaumkeramiken unterschiedlicher Porosität und Materialstärke in Abhängigkeit von der Durchströmungsmenge ermittelt. (Abb. 5) Als Vergleichsgröße wurde ein typischer Cordieritkeramik-Katalysatorträger mit Wabenstruktur und einer Zellenzahl von 400 cps (cells per square inch) gemessen.

Folgende Druckverluste wurden für die hergestellten Keramikschäume beobachtet:

10 ppi-Schaum ca. 0,025 mbar/cm

20 ppi-Schaum ca. 0,05 mbar/cm

30 ppi-Schaum ca. 0,1 mbar/cm

Im Vergleich dazu liegt der Druckverlust für die Keramikwabenstruktur (400 cps) bei ca. 0,09 mbar/cm.

Die Werte zeigen, dass bis zu einer Porosität von 30 ppi das Keramikschaummaterial für den Einsatz als Katalysatorträger wegen seiner guten Durchströmbarkeit geeignet ist.

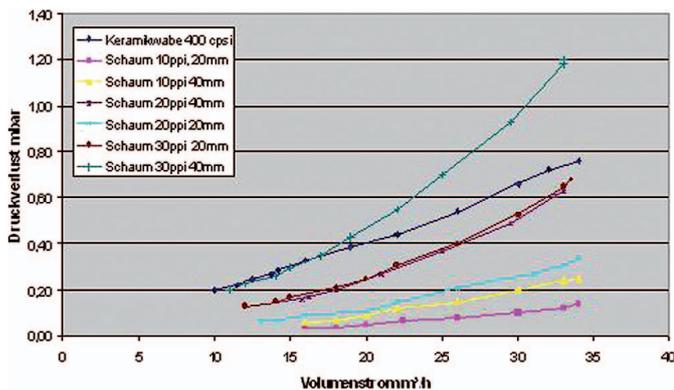


Abb. 5: Druckverlust-Vergleich Keramikwabe mit Schaumstruktur

Die Strömung durch eine Schaumstruktur führt aufgrund ihrer Geometrie zu einem wesentlich intensiveren Kontakt der Gasmoleküle mit der Oberfläche als bei der Durchströmung eines Kanals, wie er bei der Wabenstruktur vorliegt, d. h. die katalytische Aktivität wird durch den häufigeren Kontakt der Gasmoleküle mit dem Katalysatormaterial wesentlich erhöht.

Danksagung

Der Dank gilt dem Bundesministerium für Forschung und Technologie für die Unterstützung der Untersuchungen unter dem Förderkennzeichen 03 I 0209 B im Rahmen von Innoregio FIRM (01.10.04 – 30.06.06) und dem Kooperationspartner ReMetall Drochow GmbH für die anwendungsorientierten Beiträge im Verbundvorhaben.

Im Rahmen des Wettbewerbs »Effiziente Kooperationen zwischen Hochschulen und Unternehmen/Verwaltungen« aus Anlass der Veranstaltungsreihe der TFH Wildau »15 Jahre zuverlässiger und erfolgreicher Partner der Wirtschaft und Verwaltung« erreichte das Projekt »Entwicklung von geschäumten Keramikformkörpern unter Verwendung von Recyclingpolyolen« am 27. April 2007 den zweiten Platz.

Referenzen

- [1] Scheffler, M./Colombo, P., Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, Wiley-VCH, Weinheim 2005
- [2] Gibson, L.J./Ashby, M. F., Cellular Solids: Structure and Properties, Cambridge University Press 1997
- [3] Svinka, V./Mörtel, H./Krebs, S., DE 101 34 524
- [4] Hing, K./Bonfield, W., EP 1 117 626
- [5] Händle, F., DE 196 13 783
- [6] Adler, J./Teichgräber, M./Standke, G./Jaunich, H./Stöver, H./Stötzel, R., EP 0 907 621
- [7] Behrendt, G. et al., DE 199 63 554
- [8] Fraunhofer IKTS Dresden; Adler, J. /Teichgräber, M./Standke, G., DE 196 21 638
- [9] Zeschky, J. et al., Zeitschrift für Metallkunde, 93 [8], 812 (2002)
- [10] Degischer, H. P. in: Metallische Verbundwerkstoffe, K.U. Kainer (Hrsg.), DGM Informationsgesellschaft, Oberursel 1994
- [11] Zeschky, J./Neubauer, J./Lo, J./Scheffler, M./Kummer, B./Greil, P., in: H.P. Degischer (Hrsg.): Verbundwerkstoffe, Wiley-VCH 2003
- [12] Bach, F. W./Balzer, H./Kruzhanov, V./Zeitz, V., ZMW 2001
- [13] Banhart, J./Baumeister, J./Weber, M., Sonderausgabe von ATZ und MTZ, Werkstoffe im Automobilbau 97/98
- [14] Denkena, B./Friemuth, T./Boehnke, D., Proceedings of Materials Week 2002, 436
- [15] Stephani, G., Superleichte metallische Hohlkugelstrukturen in: Tagungsband WING-Konferenz 2003, 172 ff. PTJ 2003

Literatur

- Adler, J./Teichgräber, M./Standke, G./Jaunich, H./Stöver, H./Stötzel, R., EP 0 907 621
- Adler, J./Teichgräber, M./Standke, G., DE 196 21 638
- Bach, F. W./Balzer, H./Kruzhanov, V./Zeitze, V., ZMW 2001
- Banhart, J./Baumeister, J./Weber, M., Sonderausgabe von ATZ und MTZ, Werkstoffe im Automobilbau 97/98
- Behrendt, G. et al., DE 199 63 554
- Degischer, H. P., in: K. U. Kainer (Hrsg.), Metallische Verbundwerkstoffe, DGM Informationsgesellschaft, Oberursel 1994
- Denkena, B./Friemuth, T./Boehnke, D., Proceedings of Materials Week 2002
- Gibson, L. J./Ashby, M. F., Cellular Solids: Structure and Properties, Cambridge University Press 1997
- Händle, F., DE 196 13 783
- Hing, K./Bonfield, W., EP 1 117 626
- Scheffler, M./Colombo, P., Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications; Wiley-VCH, Weinheim 2005
- Stephani, G., Superleichte metallische Hohlkugelstrukturen in: Tagungsband WING-Konferenz 2003, PTJ 2003
- Svinka, V./Mörtel, H./Krebs, S., DE 101 34 524
- Zeschky, J. et al. in: Zeitschrift für Metallkunde, 93 [8], 812 2002
- Zeschky, J./Neubauer, J./Lo, J./Scheffler, M./Kummer, B./Greil, P. in: H. P. Degischer (Hrsg.), Verbundwerkstoffe, Wiley-VCH 2003

Autoren

Dr. rer. nat. Michael Herzog
Technische Fachhochschule Wildau
FB Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Tel. +49 3375 508-332
michael.herzog@tfh-wildau.de

Dr. rer. nat. Rainer Wegner
ReMetall Drochow GmbH
Hauptstr. 2a
01994 Drochow
Tel. +49 35754 749-27
rwegner@ecom-parts.com

Cyanobakterienkultivierung zur Extraktion toxischer Metabolite

Michél Hellmann, Judith Offermann, Franz Wildenauer

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes »CyToTest« soll, in Kooperation mit der Firma BioTeZ Berlin-Buch GmbH, ein System entwickelt werden, mit dem direkt am Gewässer auf einfache Art und Weise die Cyanobakterientoxinkonzentration ermittelt werden kann. Dazu ist es nötig Cyanobakterien zu kultivieren und die Toxine zu isolieren. Beides wird gebraucht, um einerseits das Messsystem entwickeln zu können und andererseits an der TFH Wildau ein Verfahren zu entwickeln, mit dem die Cyanobakterien direkt am Gewässer aufgeschlossen und die Toxine extrahiert werden können. Im Rahmen dessen wurden sechs Gattungen Cyanobakterien kultiviert und ein Verfahren etabliert, um die Biomasse kalkulieren zu können. Weiterhin wurde mit der Kalibration der HPLC mit Toxinen begonnen, um die Extrakte später prüfen zu können.

Abstract

Within the project (in cooperation with BioTeZ Berlin-Buch GmbH) »CyToTest« a system shall be developed which allows to detect the concentration of cyanotoxins directly at the waterbody in a simple way. Therefore it is necessary to cultivate cyanobacteria and to isolate their toxins. This is essential for developing the measuring system and a procedure for digest the cyanobacteria and for extract the toxins directly at the waterbody. Therefore six species of cyanobacteria were cultivated and a method was developed for calculating the biomass. Furthermore the calibration of the HPLC with the toxins was begun for checking the extracts.

1 Einleitung

Mit der am 15.02.2006 veröffentlichten EU-Badegewässerrichtlinie wird sich der Aufwand zur Überwachung der Gewässer deutlich erhöhen. Die neue Richtlinie schreibt vor, dass alle potentiellen Badegewässer als solche deklariert werden müssen. Die Richtlinie gilt für jeden Bereich eines Badegewässers.

Neu aufgenommen wurde ein Artikel zur Gefährdung durch Cyanobakterien: »Deutet das Profil des Badegewässers auf ein Potenzial für eine Massenvermehrung von Cyanobakterien hin, so wird eine geeignete Überwachung durchgeführt, damit Gefahren für die Gesundheit rechtzeitig erkannt werden können.«

Für jedes Gewässer muss ein Badegewässerprofil angelegt und ständig aktualisiert werden. In diesem ist u. a. eine Bewertung der Gefahr der Massenvermehrung von Cyanobakterien vorzunehmen. Pro Badesaison muss jedes Badegewässer mindestens viermal getestet werden. Für jeden Datensatz werden mindestens 16 Proben genommen. Der Zeitraum zwischen den Probennahmen darf einen Monat auf keinen Fall überschreiten. Die Analyse der entnommenen Probe sollte laut Richtlinie so schnell wie möglich erfolgen. Die Richtlinie gilt für den gesamten EU-Raum mit seinen einigen hunderttausend Seen und mit seinen tausenden Küstenkilometern.

In der Richtlinie wurde auch eine ständige Anpassung an den Fortschritt, vor allem der Technik zur Analyse der Wasserqualität, beschlossen.

Cyanobakterien (Blaualgen) unterscheiden sich von anderen Bakterien in ihrer Fähigkeit zur oxygenen Photosynthese. Diese findet in den Thylakoidmembranen in nahezu äquivalenter Weise wie in eukaryontischen Zellen statt. Neben Chlorophyll-a nutzen Cyanobakterien den Komplex Phycobilisom, in welchem die Phycobiline Phycocyanin und Phycoerythrin enthalten sind, zur Photosynthese. Diese Substanzen sind neben dem Chlorophyll für die Färbung der Zellen verantwortlich. Da die Zusammensetzung der Pigmente stark variiert, erscheinen Cyanobakterien blau, mitunter aber auch grün, rötlich oder schwarz.

Evolutionsbiologisch betrachtet sind Cyanobakterien die Vorläufer aller photosynthetisch aktiven Zellen. Vor etwa 3 Mrd. Jahren waren sie die ersten biologischen Sauerstoffproduzenten der Erde. Im Zuge ihrer Phylogenese besetzten sie nahezu alle ökologischen Nischen. Sie kommen in Gewässern, Böden, Wüsten, arktischen Regionen sowie in heißen Quellen vor. Unter entsprechenden Umweltbedingungen, wie eutrophem Gewässer, erhöhten Phosphat-, Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen, bilden viele Arten enorme Massenansammlungen.

Viele Arten produzieren verschiedenste Sekundärmetabolite mit biologischer Aktivität. Die meisten dieser Substanzen sind Zellbestandteile und werden nur nach dem Zelltod freigesetzt. Oft sind sie toxisch und ursächlich für tödliche Vergiftungen bei Zuchtvieh, Wildtieren

und sogar Menschen. Typische Symptome wie Hautreizungen, Bindehautentzündungen und Ohrenschmerzen treten sowohl nach oraler Aufnahme als auch nach dermatologischem Kontakt mit Cyanotoxinen belastetem Wasser auf. Darüber hinaus wurden Gastroenteritiden, Atemwegserkrankungen, Atemlähmung, allergische Reaktionen und Leberveränderungen festgestellt.

Die orale Aufnahme hat aus medizinischer Sicht die größte Bedeutung, weswegen vor allem Kleinkinder an Badestellen gefährdet sind. Je nach Konzentration der Cyanobakterien kann die letale Dosis für den Menschen bei wenigen ml Wasser liegen.

Die wichtigste Klasse der Cyanotoxine sind die Microcystine. Sie werden nur nach dem Tod der Produzenten in das Wasser abgegeben. Zu den wichtigsten Produzenten zählen die Arten *Microcystis aeruginosa* (Abb 1 a) und vor allem *Planktothrix agardhii* (Abb 1 b). Diese kommen vor allem im Süßwasser-Seen oder -Flüssen vor.

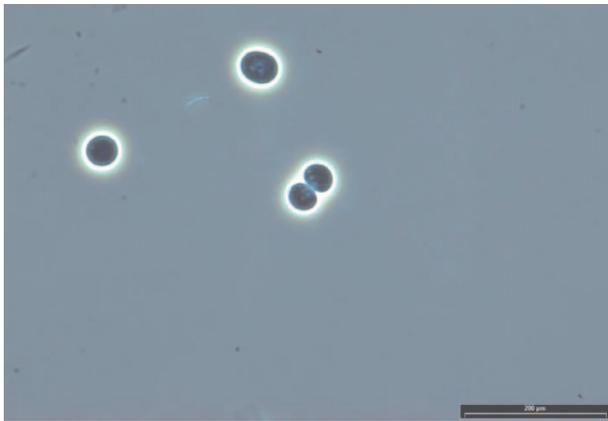


Abb. 1 a: *Microcystis aeruginosa*

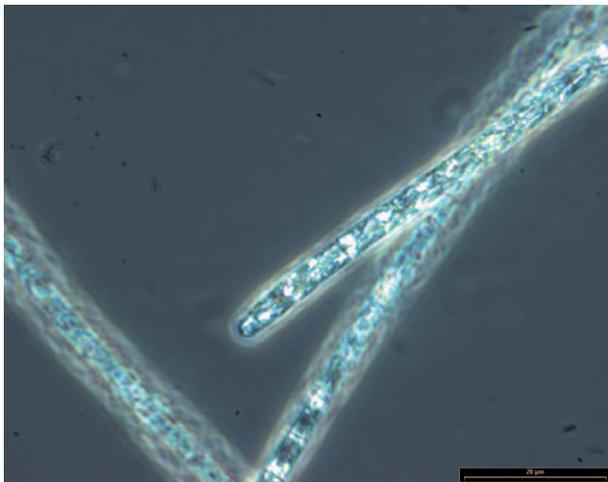


Abb. 1 b: *Planktothrix agardhii*

Microcystine sind zyklische Heptapeptide mit einem Molekulargewicht von 900 - 1100 g/mol. Fünf Aminosäuren dieser Peptidgruppe sind konstant und kommen nicht in Proteinen vor. Die zwei weiteren sind variabel und in Proteinen anzutreffen (Abb. 2). Der konservative Teil der Microcystine wird von den Aminosäuren D-Ala, D-Glu, D-erythro- β -Methyl-Asp, N-Methyl-dehydro-Ala und Adda (3-Amino-9-methoxy-2,6,8-trimethyl-10-phenyl-4,6-decadien-carbonsäure) gebildet. Der variable Teil

besteht aus 2 L-Aminosäuren. Es ist bekannt, dass die Microcystine nicht auf der DNA kodiert sind sondern verschiedene Enzymkomplexe deren Synthese katalysieren.

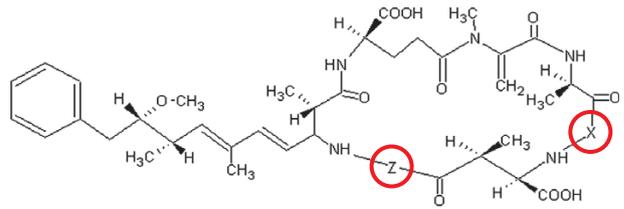


Abb. 2: Microcystine. Die variablen Bereiche sind mit »X« und »Z« gekennzeichnet.

Von den Microcystinen sind etwa 70 Varianten bekannt. Die toxikologisch bedeutendsten sind Microcystin-LR, -RR, und -LA. Sie bewirken akute Leberschädigungen (Erhöhung der Leberenzymkonzentration, Einblutungen, Nekrosen). Vergiftungen mit diesen Toxinen verursachen außerdem Schwäche, Lethargie, Bewegungsstörungen, Erbrechen und schließlich Kreislaufversagen.

Die Toxine werden über den Gallensäure-Carrier in die Zellen eingeschleust. Microcystine hemmen die Aktivität der Proteinphosphatasen 1 und 2A, welche die Zellteilung mitregulieren, durch irreversible, kovalente Bindung. Daher sind sie auch Tumorpromotoren.

Das Cyanotoxin Nodularin (Abb. 3) ist ein karzinogenes Pentapeptid mit einer molaren Masse von 824 g/mol. Die Eigenschaften von Nodularin und Microcystin sind beinahe identisch. Demzufolge sind auch die akuten und subakuten Symptome äquivalent. Nodularin wird von der Gattung *Nodularia harveyana* (Abb. 4) produziert.

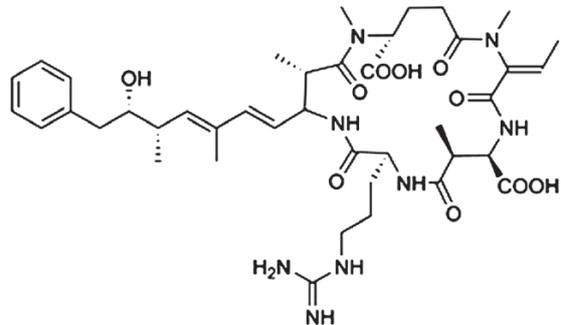


Abb. 3: Das Hepatotoxin Nodularin ist mit den Microcystinen strukturverwandt. Auch hier ist die charakteristische Aminosäure Adda vertreten.

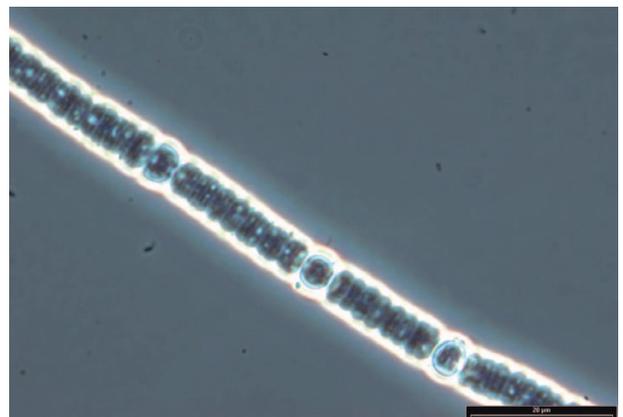


Abb. 4: *Nodularia harveyana*

Das Gift Cylindrospermopsin (Abb. 5) wird u. a. von der Gattung *Cylindrospermopsis raciborskii* (Abb. 6) gebildet. In den letzten Jahren sind vermehrt Massenerkrankungen im Plattensee, in der Donau sowie in Brandenburgischen Gewässern beobachtet worden. Chemisch betrachtet ist Cylindrospermopsin ein tricyclisches Alkaloid, bestehend aus einem tricyclischen Guanidinrest kombiniert mit Hydroxymethyluracil (Abb. 5). Das Molekulargewicht beträgt 416 g/mol.

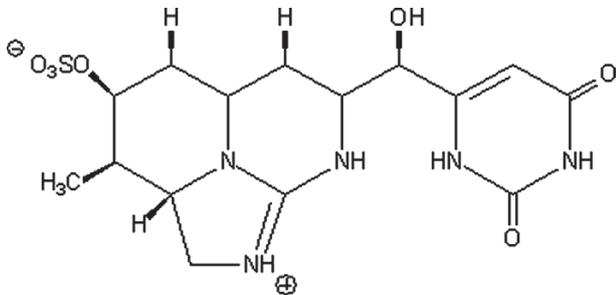


Abb. 5: *Cylindrospermopsin*

Die toxische Wirkung beruht auf der Hemmung der Eiweißsynthese. Dies ist besonders gefährlich, da die Hemmung kumulative Wirkungen zur Folge hat. Zu diesen zählen Hepatoenteritis, Hepatitis-ähnliche Symptome wie Unwohlsein, Anorexie, Erbrechen, Lebervergrößerung, Kopfschmerzen und Unterleibsschmerzen. Des Weiteren wurden Nierenversagen und blutige Diarrhö verzeichnet. Durch das Nierenversagen und den gastrointestinalen Ausfluss kam es in einigen Fällen zu starkem Elektrolytverlust, was Lethargie verursachte.



Abb. 6: *Cylindrospermopsis raciborskii*

Derzeitige Bestimmung der Cyanobakterientoxine

Zunächst wird nur eine visuelle Inspektion des Gewässers vorgenommen. Treten Schlieren und Anschwemmungen auf und beträgt die Sichttiefe weniger als 1 m, wird mikroskopisch auf Cyanobakterien geprüft.

Werden gefährliche Mengen von Cyanobakterien mikroskopisch bestätigt, wird anhand der Quantifizierung des Chlorophyll-a-Gehaltes das Biomassevolumen kalkuliert. Bei einer Konzentration $>40 \mu\text{g/l}$ kann mit einer ähnlich hohen Konzentration Microcystin gerechnet werden.

Die Quantifizierung der Cyanotoxine erfolgt mit chemischen Analyseverfahren. Biochemische Nachweis-

methoden sind nur für wenige Toxine verfügbar. Für die Extraktion der Toxine können verschiedene polare Lösemittel eingesetzt werden, 60 - 80 % wässriges Methanol gilt aber als ideal, da es hydrophile und hydrophobe Toxine extrahiert.

Ein geeignetes Aufreinigungsverfahren ist die Festphasenextraktion mit reversed-phase C18-Materialien. Aber auch Gel- und Ionenaustauscherchromatographie sowie Immunoaffinitätsverfahren sind akzeptable Methoden.

Zur eigentlichen Toxindetektion haben sich der immunologische Nachweis (ELISA – Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) sowie die chromatographische Trennung mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography), mit anschließender UV-Detektion der Moleküle, etabliert.

Die Vorteile des immunologischen Nachweises sind seine einfache und relativ schnelle Durchführbarkeit sowie seine hohe Sensitivität von etwa 50 ng/l. Nachteilig ist, dass nicht zwischen den Strukturvarianten der Microcystine unterschieden werden kann und Kreuzreaktionen auftreten können. Notwendig für die ELISA-Detektion ist der Einsatz spezifischer Antikörper. Diese werden vorwiegend über Immunisierungen von Tieren gewonnen. Allerdings sind solch kleine Moleküle wie die Toxine nur schwach oder nicht immunogen. Zudem stellt die Toxizität der Microcystine ein nicht zu vernachlässigendes Problem auch bei der Antikörper-Gewinnung dar. Im Rahmen der praktischen Durchführung werden die Zellen durch mehrmaliges Einfrieren und Auftauen aufgeschlossen, so dass die Toxine freigesetzt werden.

Mit Hilfe der HPLC lassen sich die Strukturvarianten der Microcystine unterscheiden. Allerdings ist dabei zwingend der Einsatz von Referenzsubstanzen erforderlich. Von den etwa 70 Microcystin-Strukturvarianten sind nur sehr wenige als Referenz erhältlich. Somit ist eine genaue Einschätzung der Toxizität der Probe noch nicht möglich, da diese innerhalb der Gifte variiert. Am häufigsten wird die Trennung über reversed-phase C18-Säulen mit einem Gradienten, bestehend aus Wasser und Acetonitril, durchgeführt. Vorbereitend werden die Zellen aufgeschlossen und mehrfach mit wässrigem Methanol extrahiert. Nach zentrifugaler Klärung der Extrakte erfolgt die HPLC-Detektion.

Der Nachteil der bisher angewandten Verfahren ist der Zeitfaktor. Sowohl die immunologische als auch die chromatographische Detektion der Cyanobakterientoxine sind derzeit nur im Labor von entsprechendem Fachpersonal durchführbar. Bei beiden Verfahren liegen die Ergebnisse erst zwei Tage nach den Probenahmen vor. Des Weiteren stellt der Kostenfaktor in Zeiten der allgemeinen Haushaltlimitierungen ein nicht zu vernachlässigendes Problem dar. In Folge dieser Einschränkungen der Verfahren kann die neue Badegewässerrichtlinie nur unzureichend bzw. mit sehr hohem Kostenaufwand umgesetzt werden.

Ziel der an der Technischen Fachhochschule Wildau in Kooperation der Firma BioTeZ Berlin-Buch GmbH durchgeführten Forschungsarbeit ist es daher, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem direkt am Gewässer auf

Cyanobakterientoxine geprüft werden kann. Das System soll einfach und z. B. von einem Wassertechniker angewendet werden können. Die Analysenzeit soll sich im Bereich von 60 min befinden. Mit dem System sollen die Microcystine LA, RR, YR, LR, Cylindrospermopsin und Nodularin bestimmt werden. Dies leistet kein gegenwärtig verfügbares Messsystem.

2 Methoden

Um dieses anspruchsvolle Ziel zu erreichen, werden an der Technischen Fachhochschule Wildau sechs Gattungen Cyanobakterien kultiviert (Tab. 1). Diese sind *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis spec.*, *Nodularia harveyana*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Anabaena spec.*, *Planktothrix agardhii*. Aus diesen Spezies sollen dann die entsprechenden Cyanotoxine extrahiert werden, um den Assay zu entwickeln.

Für die Spezies, die von der SAG (Stammsammlung für Algenkulturen Göttingen) bezogen wurden, wurden verschiedene Medien angesetzt. Die Zusammensetzungen sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Spezies	Produzierende Toxine	Medium
<i>Planktothrix agardhii</i>	Microcystin-LA, -YR, -RR	ES-Medium
<i>Microcystis spec.</i>	Microcystine	ES-Medium
<i>Anabaena spec.</i>	Microcystine	½ SWES-Medium
<i>Nodularia harveyana</i>	Nodularin	½ SWES-Medium
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Microcystine	Z-Medium
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Cylindrospermopsin	WC-Medium

Tab. 1: Übersicht der kultivierten Spezies, der Toxine und der Medien

Zusammensetzung des ES-Mediums (Erddokat und Salze):

Stamm-lösungen	Spurenelement-Stammlösungen	Spurenelement-lösung	gebrauchsfertiges Medium
10g/l KNO ₃	1g/l ZnSO ₄	1 ml ZnSO ₄ -Stammlösung	20 ml KNO ₃ -Stammlösung
1g/l K ₂ HPO ₄	0,76g/l MnSO ₄	2 ml MnSO ₄ -Stammlösung	20 ml K ₂ HPO ₄ -Stammlösung
1g/l MgSO ₄	2g/l H ₃ BO ₃	5 ml H ₃ BO ₃ -Stammlösung	20 ml MgSO ₄ -Stammlösung
	0,2g/l Co(NO ₃) ₂	5 ml Co(NO ₃) ₂ -Stammlösung	30 ml Bodenextrakt
	0,2g/l Na ₂ MoO ₄	5 ml Na ₂ MoO ₄ -Stammlösung	5 ml Spurenelement-lösung
	0,005g/l CuSO ₄	1 ml CuSO ₄ -Stammlösung	905 ml ddH ₂ O
		0,8 g Na ₂ EDTA	
		0,7 g FeSO ₄	
		-mit ddH ₂ O auffüllen auf 1 l	

Tab. 2: Zusammensetzung des ES-Mediums (nach SAG)

Der Bodenextrakt für das Medium wurde nach folgender Rezeptur hergestellt:

2 l Erdboden über ein grobes Sieb (1 cm Maschenweite) sieben, anschließend feiner sieben (2 - 4 mm Maschenweite). Den gesiebten Boden in eine 5 l-Flasche geben, 3 l ddH₂O zugeben, kräftig schütteln und die Suspension innerhalb von 24 h zwei mal für je 1 h bei 121°C autoklavieren. Die Suspension 10 h sedimentieren lassen. Den Überstand abdekantieren und über ein grobes Filter (Schleicher & Schüll 597) filtrieren. Die Lösung dann bei 121°C 20 min autoklavieren.

Zusammensetzung des ½ SWES-Mediums

(½ Seawater, Erddokat und Salze):

Die Zusammensetzung dieses Mediums ist der des ES-Mediums nahezu identisch. Der Unterschied besteht darin, dass bei diesem Medium zusätzlich 1,59% (w/w) Meersalz hinzugefügt wurden.

Zusammensetzung des Z-Mediums:

Zunächst wurde eine Fe-EDTA-Lösung angesetzt. Dazu wurde 0,135 g FeCl₃ in 5 ml 0,1 M HCl und 0,186 g Na₂EDTA in 5 ml ddH₂O gelöst. Beide Lösungen wurden vereint und auf 500 ml aufgefüllt.

Stammlösungen für Spurenelementlösung	Spurenelementlösung	gebrauchsfertiges Medium
3,3 mg/ml Na ₂ WO ₄	1 ml Na ₂ WO ₄ -Stamm	0,467 g/l NaNO ₃
8,8 mg/ml (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	1 ml (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ -Stamm	0,035 g/l CaHPO ₄
11,9 mg/ml KBr	1 ml KBr-Stamm	0,031 g/l K ₂ HPO ₄
8,3 mg/ml KJ	1 ml KJ-Stamm	0,025 g/l MgSO ₄
28,7 mg/ml ZnSO ₄	1 ml ZnSO ₄ -Stamm	0,021 g/l Na ₂ CO ₃
15,4 mg/ml Cd(NO ₃) ₂	1 ml Cd(NO ₃) ₂ -Stamm	10 ml Fe-EDTA-Lösung
14,6 mg/ml Co(NO ₃) ₂	1 ml Co(NO ₃) ₂ -Stamm	0,080 ml Spurenelementlösung
12,5 mg/ml CuSO ₄	1 ml CuSO ₄ -Stamm	mit ddH ₂ O auf 1 l auffüllen
19,8 mg/ml NiSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄	1 ml NiSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄ -Stamm	
3,7 mg/ml Cr(NO ₃) ₃	1 ml Cr(NO ₃) ₃ -Stamm	
2 mg/ml VOSO ₄	1 ml VOSO ₄ -Stamm	
47,4 mg/ml Al ₂ (SO ₄) ₃ K ₂ SO ₄	1 ml Al ₂ (SO ₄) ₃ K ₂ SO ₄ -Stamm	
	3,1 g/l H ₃ BO ₃ -Stamm	
	1,69 g/l MnSO ₄ -Stamm	

Tab. 3: Zusammensetzung des Z-Mediums (nach SAG)

Zusammensetzung des WC-Mediums

Stamm-lösungen	Spurenelementlösung	Vitaminlösung	gebrauchsfertiges Medium
27,9 g/l CaCl ₂	4,36 g/l Na ₂ EDTA	0,1 g/l Thiamin-HCl	0,115 g TES
37 g/l MgSO ₄	3,15 g/l FeCl ₃	0,0005 g/l Biotin	1 ml CaCl ₂ - Stammlösung
12,6 g/l NaHCO ₃	0,01 g/l CuSO ₄		1 ml MgSO ₄ - Stammlösung
8,75 g/l K ₂ HPO ₄	0,022 g/l ZnSO ₄		1 ml NaHCO ₃ - Stammlösung
85 g/l NaNO ₃	0,01 g/l CoCl		1 ml K ₂ HPO ₄ - Stammlösung
21,2 g/l	0,15 g/l MnCl ₂		1 ml NaNO ₃ - Stammlösung
	0,006 g/l Na ₂ MoO ₄		1 ml Na ₂ SiO ₃ - Stammlösung
	1 g/l H ₃ BO ₃		1 ml Spurenelementlösung
			1 ml Vitaminlösung
			mit ddH ₂ O auf 1 l auffüllen

Tab. 4: Zusammensetzung des WC-Mediums (nach SAG)

Die Zellen wurden in den von der SAG vorgeschlagenen Medien kultiviert (Tab. 1). Zunächst wurden die Stämme in Zellkulturröhrchen kultiviert. Für jede Kultur wurden 4 Röhrchen angesetzt. In diese wurden je 15 ml Medium steril eingefüllt und dazu 900 µl Zellsuspension gegeben. Das Animpfverhältnis betrug 1:17. Die Röhrchen wurden am Fenster und vor Leuchtstoffröhren untergebracht. Die Lampen emittieren das gesamte visuelle Lichtspektrum und sind hervorragend geeignet, um die Photosynthese der Zellen anzuregen. Das Lichtregime der Leuchtstoffröhren beträgt 12h/12h. Zwei mal täglich wurden die Röhrchen durchmischt. Die Kultivierung wird so lang durchgeführt, bis die Zellen die stationäre Phase erreichen.

Anschließend wurden die Kulturen in 200 ml Erlenmeyerkolben überimpft, um die Biomasse zu erhöhen. Dazu wurde 100 ml Medium in sterile Erlenmeyerkolben gegeben. Dazu wurde 8 ml Zellsuspension pipettiert. Das Animpfverhältnis betrug 1:12,5. Die Kolben wurden auf einem Schüttler vor den Leuchtstoffröhren positioniert. Das Lichtregime betrug 12h/12h. Der Schüttler wurde auf 100 rpm eingestellt.

Zur Kultivierung der Zellen im größeren Maßstab wurde 1,5 l des jeweiligen Mediums in 2 l Schottflaschen gefüllt. Diese Flaschen wurden mit Laborverschraubungen versehen. Über diese wurde eine Probenahmestelle, eine Zuluftstelle und eine Abluftstelle montiert. Die Probenahmestelle wurde mit einer Schlauchklemme dicht verschlossen. Die Zuluft und Abluft wurden mit Sterilfiltern zur sterilen Begasung versehen. Die Flaschen wurden mit 100 ml Zellsuspension angeimpft, das Animpfverhältnis betrug damit 1:15. Dies erfolgte steril. Zur Kultivierung wurden die Flaschen an eine Gasversorgungsanlage angeschlossen. Die Flaschen wurden mit Hilfe dieser mit Luft und CO₂ (Air Liquide, CO₂ 4.5) begast. Dabei wurden die Kulturen durchmischt (Abb. 7).

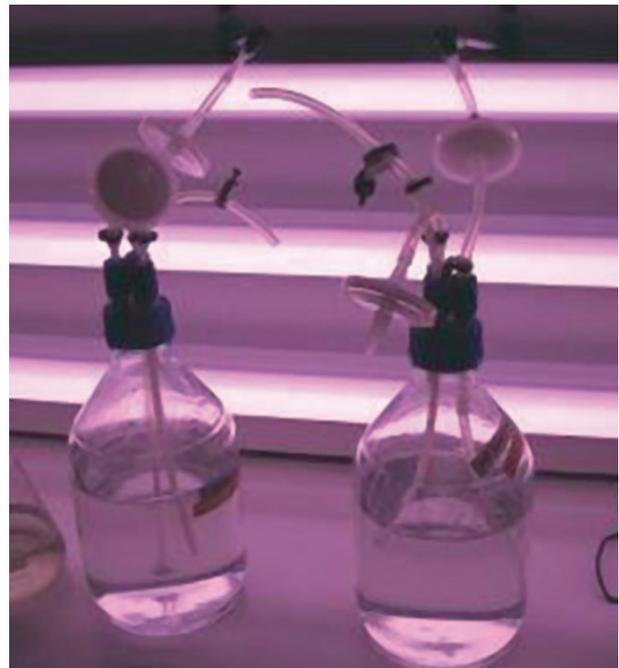


Abb. 7: Kultivierung der Zellen in 1,5 l Flaschen mit Luft- und CO₂-Begasung

Die Medien enthalten keine Zucker. Als Kohlenstoffquelle nutzen die Zellen Karbonate und das CO₂ aus der Luft bzw. aus der Begasung. Dies kommt den natürlichen Bedingungen sehr nahe. Daneben wirkt das Medium limitierend und verringert das Risiko einer Kontamination durch Bakterien, die auf Zucker als Energiequelle angewiesen sind. Zur effizienteren Kultivierung wurden die 1,5 l Schottflaschen neben Luft auch mit CO₂ begast, um den Kohlenstoffgehalt im Medium zu erhöhen.

Zur Bestimmung der Zellzahl wurden verschiedene Verfahren getestet. Das einfache Zellszählen in einer Neubauer-Zählkammer erwies sich als unmöglich, da die Cyanobakterien zu stabilen Kolonien agglutinieren, die auch durch Behandlung im Ultraschallbad nicht aufgelöst werden können. Auch die einfache Trübungsmessung bei einer Wellenlänge von 600 nm erwies sich als ungeeignet. Der Grund hierfür liegt ebenso in der Agglutination der Zellen, die bewirkt, dass keine homogene Suspension vorliegt und somit die Messergebnisse verfälscht werden.

Aufgrund des Ausscheidens einfacher Verfahren wurde zur Kalkulation der Biomasse der Chlorophyll-a-Gehalt der Zellen bestimmt. Hierzu werden 20 ml Zellsuspension entnommen und vakuumfiltriert. Das Filter und die darauf befindlichen Zellen wurden in Zentrifugationsröhrchen gegeben und es erfolgte eine 36-stündige Extraktion der löslichen Stoffe bei 20° C im Dunkeln mit Aceton. Danach wurden das Filter entnommen und die Röhrchen bei 3000 rpm für 15 Minuten zentrifugiert. Danach wurde die Chlorophyllmenge photometrisch bei 665 und 750 nm bestimmt. Die Messungen wurden so ausgeführt, dass es möglich war, sowohl die Menge Chlorophyll sowie die Menge Phäophytin zu bestimmen. An diesen Daten kann man erkennen, in welchem Stadium sich die Kultur befindet, da mit der Zeit der Anteil an Chlorophyll sinkt und der Anteil an Phäophytin steigt.

Nach dem Erreichen der stationären Phase der Zellen in den 1,5 l Flaschen sollen diese abgeerntet und aus ihnen die Toxine extrahiert werden. Im finalen Schritt dieses Aufreinigungsprozesses wird eine Bestimmung der Extrakte mittels HPLC vorgenommen. Dies ist nötig, um zu erfahren, ob und welche Toxine sich tatsächlich in den Extrakten befinden. Dazu ist es nötig, eine Kalibrierung durchzuführen. In Zuge dieser wurden und werden kommerzielle Cyanotoxine über die HPLC gegeben und detektiert. Die Trennung erfolgt in einer C18-Säule mit einer Durchflussrate von 0,5 ml/min und einer Säulentemperatur von 25° C. Während der Trennung wird ein Lösemittel-Gradient mit dem in Tab. 5 gezeigten Gradienten gefahren.

Zeit (min)	% Acetonitril	% Wasser
0	50	50
0 Bis 20	70	30
20 Bis 25	100	0
25 Bis 30	100	0
30 Bis 45	50	50
45 Bis 50 (Ende)	50	50

Tab. 5: Lösemittel-Gradient der HPLC

Die Detektion der Toxine erfolgte über UV-Messung bei 238 nm.

3 Ergebnisse

Die Messung des Chlorophyll- und des Phäophytin-Wertes ergab, dass die Zellen im Erlenmeyerkolben besser bzw. schneller wachsen. Besonders die Gattungen *Nodularia harveyana*, *Planktothrix agardhii* und *Cylindrospermopsis raciborskii*, aber auch *Anabaena spec.* zeigen diesen Effekt (Abb. 8). Die weiteren zwei Gattungen zeigen keine signifikanten Differenzen zwischen den Kultivierungen im Erlenmeyerkolben und in den 1,5 l-Flaschen.

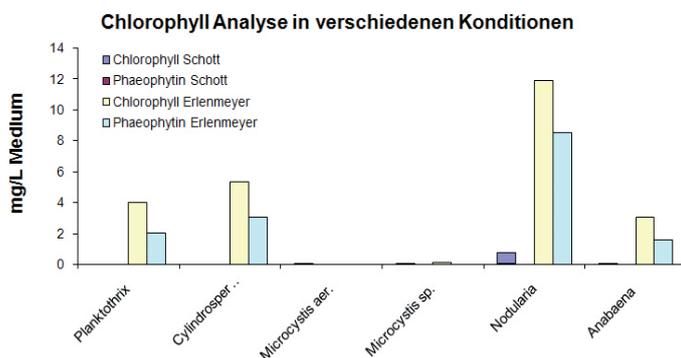


Abb. 8: Chlorophyll- und Phäophytin-Analyse der 6 kultivierten Spezies.

Eine generelle Aussage über die Potenz zur Kultivierung in den 1,5 l-Flaschen kann aber noch nicht getroffen werden, da sich die Experimente noch im Anfangsstadium befinden. In den Erlenmeyerkolben wurde wesentlich weniger Medium als in den Flaschen angesetzt. Demzufolge ist die Beleuchtungsintensität hier

wesentlich höher als in den Flaschen. Daneben spielt der Gasaustausch eine nicht zu vernachlässigende Rolle. In den Kolben steht, gemessen am Volumen, eine sehr viel höhere Fläche für den Gasaustausch zu Verfügung. Womöglich ist die Begasung in den Flaschen zu ineffektiv, so dass das Gas nicht oder nur unzureichend in Lösung geht und deswegen nur die relativ kleine Grenzfläche zwischen Medium und Kopfraum zum Gasaustausch zur Verfügung steht. Diese Parameter könnten bewirken, dass die Zellen in den Flaschen sehr viel langsamer wachsen. Aus Zeitgründen konnte aber noch keine Langzeit-Kultivierung in den Schottflaschen vorgenommen werden, um die postulierten Vermutungen verifizieren zu können.

Das Ergebnis der HPLC-Messung zeigt einen eindeutigen Peak, der dem injizierten Microcystin-LR zugeordnet werden kann (Abb. 9).

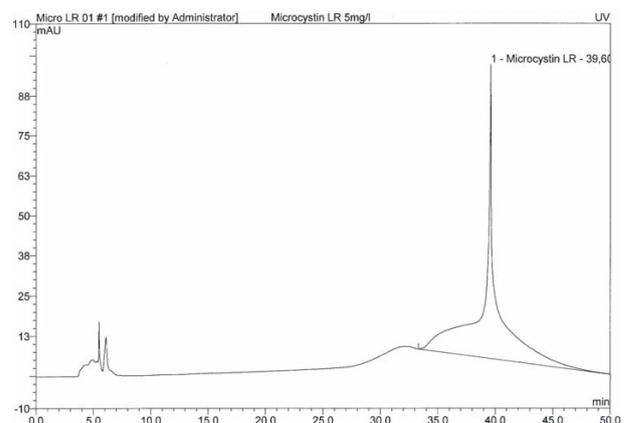


Abb. 9: HPLC-Messung von Microcystin-LR

Das Chromatogramm zeigt bei 39,6 min einen sehr hohen Peak, der eindeutig dem Microcystin-LR zugeordnet werden kann. Die Peaks im Bereich von 5 min können dem Methanol zugeordnet werden, da der Microcystin-LR-Standard in Methanol gelöst wurde.

Eine solche Kalibrierung wird für alle zu bestimmenden Cyanotoxine durchgeführt werden. Mit Hilfe dieser kann dann genau ermittelt werden, welche Toxine sich in den Extrakten befinden. Anhand der Peakfläche kann weiterführend auch ausgerechnet werden, in welcher Konzentration das jeweilige Toxin vorliegt.

4 Ausblick

Im weiteren Verlauf des Projektes werden die Zellen weiter so kultiviert, dass möglichst viel Biomasse gewonnen werden kann. Dies wird vermutlich in den 1,5 l Flaschen geschehen. Folgend werden die Biomasse geerntet und die Toxine extrahiert. Die Extrakte werden mit der HPLC vermessen, um zu evaluieren, welche Toxine von den Zellen produziert worden sind.

Sobald diese Methoden stehen, wird nach einer Möglichkeit gesucht, die Zellen einfach aufzuschließen, um eine Vor-Ort-Toxin-Extraktionsmethode etablieren zu können.

Literatur

- Chorus, I./Bartram, J., Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management, WHO 1999
- DGL – Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V., Tagungsbericht 1995
- Hee-Mock, O. H. et al., Microcystin Production by *Microcystis aeruginosa* in a Phosphorus-Limited Chemostat, Applied and environmental Microbiology, 66, 176-179, 2000
- Lawton, L. A., Extraction and High-performance Liquid-Chromatographic Method for the Determination of Microcystins in Raw and Treated Waters, Analyst, 119, 1525-1530, 1994
- Pearl, H. W. et al., Adaptation to High-Intensity, Low-Wavelength Light among Surface Blooms of the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*; Applied and environmental Microbiology; 49, 1046-1052, 1985
- Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG, Artikel 8
- Stanier, R. Y. et al., Purification and Properties of Unicellular Blue-Green Algae (Order Chroococcales), Bacteriological reviews, 35, 171-205, 1971
- Watanabe, M./Oishi S., Effects of Environmental Factors on Toxicity of a Cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*) under Culture Conditions, Applied and environmental Microbiology, 49, 1342-1344, 1985

Autoren

Michél Hellmann, M. Sc.

Technische Fachhochschule Wildau
Biosystemtechnik/Bioinformatik
Tel. +49 3375 508-260
michel.hellmann@tfh-wildau.de

Judith Offermann, Ing.

Instituto Politécnico de Bragança
Portugal

Prof. Dr. rer. nat. Franz X. Wildenauer

Technische Fachhochschule Wildau
Biosystemtechnik/Bioinformatik
Tel. +49 3375 508-148
franz-xaver.wildenauer@tfh-wildau.de

Entwicklung eines impedimetrischen Biosensors für den Nachweis von Antigliadin Autoantikörpern

Thomas Balkenhohl, Falco Beutler, Daniel Schäfer, Fred Lisdat

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Biosensor für den Nachweis von Antikörpern gegen Gliadin entwickelt. Gliadine sind Bestandteile der Getreideglutene und verantwortlich für die Manifestation der Zöliakie (Gluten-Unverträglichkeit). Der Biosensor basiert auf der Immobilisierung von Gliadin auf Goldelektroden, die zuvor mit Polystyrenesulfonsäure beschichtet worden waren. Die erfolgreiche Immobilisierung wurde mit Hilfe der Quarzmikrowaage dokumentiert. Die Antigen-Antikörper-Bindung konnte durch die Inkubation mit einem Peroxidase-markierten Zweitantikörper und der enzymatischen Oxidation von 3-Amino-9-Ethylcarbazol (AEC) verstärkt werden. Die Zunahme in der Elektrodenisolierung durch die Bindungs- und Ablagerungsreaktion konnte durch elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) in Anwesenheit des Hexacyanoferrat-Redoxsystems gemessen werden. Die Spektren wurden mit Hilfe eines Randles-Ersatzschaltbildes ausgewertet. Hierbei konnte eine Zunahme im Ladungstransferwiderstand festgestellt werden, die proportional zur Antigliadin-Antikörperkonzentration, im Bereich von 10^{-8} M bis 10^{-6} M, war. Mit Hilfe dieses Sensors wurden schließlich humane Seren hinsichtlich ihrer Konzentration an Gliadinantikörpern, sowohl für Immunglobuline vom Typ IgG als auch IgA, untersucht.

Abstract

In this study an immunosensor was developed for the analysis of anti-gliadin antibodies. These antibodies can serve as an early diagnostic marker for celiac disease. The sensor is based on polystyrenesulfonic acid modified gold electrodes on which gliadin was immobilized. The anti-gliadin antibody recognition was amplified by a second binding step with a peroxidase-labeled antibody and subsequent peroxidase-catalyzed oxidation of 3-amino-9-ethylcarbazole (AEC) resulting in a precipitate formation on the electrode. The change of the electrode surface properties was followed by impedance spectroscopy in the presence of ferri-/ferrocyanide. By evaluating the impedance spectra the charge transfer resistance was found to be a suitable sensor parameter. A calibration curve for the detection of anti-gliadin antibodies was established for antibody concentrations between 10^{-8} M and 10^{-6} M and the sensor was also applied for the analysis of serum samples.

1 Einführung

Die Autoimmunerkrankung Zöliakie wird durch den Verzehr von Gluten ausgelöst. Gluten ist wichtiger Bestandteil von Getreide, wie Weizen, Gerste und Roggen, und ermöglicht erst die Verwendung dieser Getreidesorten zum Brotbacken. Bei Personen, die an einer Zöliakie leiden, führt der Verzehr von glutenhaltigen Nahrungsmitteln zu einer allergischen Reaktion im Dünndarm. Für die Auslösung dieser Reaktion sind hauptsächlich Gliadine verantwortlich. Gliadine sind schwerlösliche Proteine, mit Molekulargewichten zwischen 30 kDa und 70 kDa [1]. Es kommt zu einer Immunreaktion, in deren Verlauf Antikörper gegen Gliadine, aber auch gegen körpereigene Proteine wie Gewebstransglutaminase gebildet werden. Die Bildung dieser beiden Antikörper führt schließlich zu einer schweren Schädigung des Dünndarms, welche die Nahrungsverwertung im Verdauungstrakt erheblich beeinträchtigt.

Die hohe Spezifität der Antikörper-Antigen Interaktion bildet auch die Basis für einen frühen Nachweis dieser Krankheit. Diagnostische Tests untersuchen hierbei das Serum des Patienten auf die Anwesenheit von Autoantikörpern gegen Gliadin und Gewebstransglutaminase.

Für eine ganze Reihe von klinischen und nichtklinischen Anwendungen steht die Entwicklung solcher immunologischer Testverfahren im Fokus der aktuellen Forschung [2-5]. Immunsensoren werden bereits in der klinischen Diagnostik [6], dem Umweltmonitoring [7-8] und der Lebensmittelanalytik [9] eingesetzt. Für die Entwicklung von tragbaren diagnostischen Analysegeräten, die vor Ort eingesetzt werden können, bietet hierbei die elektrochemische Auslese der Testverfahren eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen optischen Techniken [10-12]. Hierbei werden die Targetmoleküle (Antigene oder Antikörper) auf Elektrodenoberflächen immobilisiert [13]. Dies kann durch einfache Absorption [14], durch Knüpfung von kovalenten Bindungen

[15] oder durch Einschluss in Polymere [16] geschehen. Wie in herkömmlichen Immunoassays, so wird auch hier das durch den Analyten ausgelöste Signal durch einen zweiten Enzym-markierten Antikörper verstärkt. Die Quantifizierung des Produkts der enzymatischen Reaktion kann schließlich durch amperometrische oder potentiometrische Messungen erfolgen [17-18].

Unter den vielfältigen zur Verfügung stehenden elektrochemischen Messtechniken ist die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) eine effektive Methode, um Volumen- wie auch Grenzflächeneigenschaften zu analysieren. Insbesondere können damit Veränderungen an Elektrodenoberflächen detektiert werden. Hierdurch kann auch ein besseres Verständnis der physikalisch-chemischen Prozesse, welche an Veränderungen von Oberflächenbeschichtungen beteiligt sind, erlangt werden. Die Impedanzspektroskopie ist eine sehr sensitive Methode, bei der man den komplexen Wechselstromwiderstand eines Systems bestimmt, indem man den Wechselstrom in Abhängigkeit einer Wechselspannung bei unterschiedlichen Frequenzen misst [19]. Die EIS findet beispielsweise Anwendung in der Charakterisierung von Membranen auf Sensoroberflächen [20], dem Nachweis von Antigen-Antikörper-Interaktionen [21-22] und der Detektion von Nukleinsäure-Hybridisierungen [23].

Für die Immobilisierung des Targetmoleküls, sei es nun der Antikörper oder das Antigen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ein Beispiel ist die Verwendung von selbstorganisierenden Thiolmonoschichten (SAMs) [24-25]. Im Fall von langkettigen Thiolen kann hier die Antikörper-Antigen Bindung durch die Änderung in der elektrischen Kapazität nachgewiesen werden [25-26]. Im Gegensatz dazu erlaubt die Immobilisierung auf kurz-kettigen SAMs, wie Cystamin oder Mercaptopropionsäure [27-28], einen Nachweis der Bindung durch Widerstandsmessungen. Ein neuer Ansatz für die Immobilisierung von Molekülen nutzt den Ladungsüberschuss von Polyelektrolyten. Hierbei werden die Elektrodenoberflächen mit Hilfe eines Polyelektrolytfilms modifiziert, so dass Biomoleküle durch elektrostatische Bindung an geladene funktionelle Gruppen des Polyelektrolyten an die Elektrodenoberfläche gebunden werden [29-31]. Neben den elektrostatischen Wechselwirkungen tragen hier vermutlich auch Wasserstoffbrückenbindungen und insbesondere hydrophobe Wechselwirkungen zu Interaktionen bei [32-33].

In dieser Arbeit sollte zunächst die Bindungskapazität verschiedener Oberflächenmodifizierungen für Gliadin durch QCM-Analysen untersucht werden. Basierend auf einer geeigneten Elektrodenmodifizierung, wurde dann ein Biosensor für die Detektion und Quantifizierung von Antigliadin-Autoantikörpern entwickelt. Die Auslese des Sensorsignals erfolgte durch elektrochemische Impedanzspektroskopie.

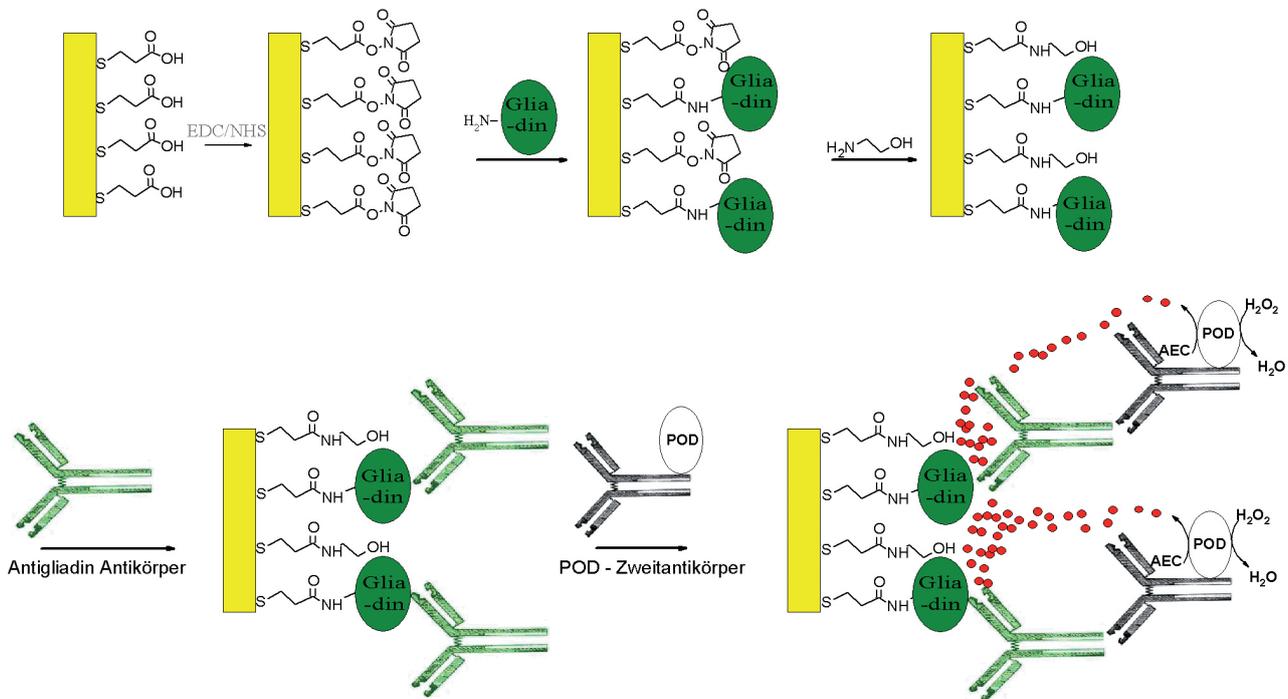
2 Experimenteller Teil

2.1 Materialien

Weizengliadin, Antigliadin-Antikörper aus Kaninchen, Peroxidase-konjugierte Anti-Kaninchen-Antikörper, 3-Amino-9-Ethylcarbazol (AEC), Chromogen Kit, Poly-anilinsulfonsäure, Polystyrensulfonsäure, 3-Mercaptopropionsäure, Propanthiol, Ethanthiol, 2-Mercaptoethanol, N-(3-Dimethylaminopropyl)-N'-Ethyl-Carbodiimid (EDC), N-Hydroxysuccinimid (NHS), Rinderserumalbumin (BSA), Borsäure, Trichloressigsäure, Dinatriumhydrogenphosphat und Natriumdihydrogenphosphat wurden von Sigma-Aldrich (Taufkirchen) bezogen. Peroxidase-konjugierte Antikörper gegen humane Immunglobuline vom Typ IgG und IgA wurden von Seramun Diagnostica GmbH (Wolzig) zur Verfügung gestellt. 2-Morpholinoethansulfonsäure (MES) und 4-(2-Hydroxyethyl)-1-Piperazin-1-Ethansulfonsäure (HEPES) wurden bei AppliChem (Darmstadt); Eisessig, Ethanol, Kaliumhydroxid und Tween20 wurden von Roth (Karlsruhe) bezogen. Quarzkristalle (7.995 MHz) mit einer aktiven Flächen von 0.205cm^2 stammen von der Firma ICM in Oklahoma City (USA). Golddrahtelektroden kamen von Goodfellow (Bad Nauheim).

2.2 Puffer und Lösungen

Boratpuffer wurde durch Einstellung des pH-Wertes einer Borsäurelösung mit Hilfe von KOH hergestellt. Die Einstellung des pH-Wertes der Phosphatpuffer erfolgte durch Mischen von äquimolaren Lösungen aus Hydrogenphosphat und Dihydrogenphosphat bis der gewünschte pH-Wert erreicht war. Puffer 1:50 mM Borat, pH 5.5 wurde für die Präparation des Gliadins genutzt. Puffer 2:5 mM Phosphat, pH 7.0 wurde für die QCM-Analysen und die Aufnahme von Impedanzspektren gebraucht. Puffer 3: 10 mM Phosphat, 137 mM Natriumchlorid, 0,05% (v/v) Tween20, pH 7.0 fand Verwendung in den verschiedenen Inkubationsschritten des Immunoassays. Für die Präparation des Gliadins kamen zwei verschiedene Methoden zur Anwendung: Methode A: 50 mg Gliadin wurde in einer Lösung bestehend aus 500 μl Essigsäure und 500 μl Ethanol, gelöst und anschließend mit Puffer 1 auf 2,5 ml aufgefüllt. Diese Lösung wurde dann mit Hilfe einer Sephadex PD-10 Säule (Amersham Biosciences) filtriert. Für die Equilibrierung und Eluierung der Säule wurde Puffer 1 verwendet. Die Bestimmung der Proteinkonzentration des Eluates erfolgte nach Bradford. Diese Prozedur der Gliadinpräparation wurde für die QCM-Analysen und den Aufbau von Immunsensoren auf Polyelektrolyt-modifizierten Elektrodenoberflächen verwendet. Methode B: 3 g Gliadin wurde über Nacht und leichtem Schütteln in einer Lösung bestehend aus 40% 50 mM MES pH 4,5 und 60% Ethanol (v/v), gelöst. Nach einer anschließenden Zentrifugation (8000 g, 15 min) wurde das Pellet verworfen und der Überstand mit Trichloressigsäure (Endkonzentration: 10% (w/v)) versetzt. Die Fällung der Proteine erfolgte über 2 h bei 4° C. Die gefällten Proteine wurde durch eine Zentrifugation (8000 g, 15 min)



Schema 1: Schematische Darstellung der Gliadin-Immobilisierung und der Testprozedur einer mit einem SAM aus 3-Mercaptopropionsäure modifizierten Goldelektrode. Nach Aktivierung der Carboxylgruppen durch EDC/NHS erfolgt eine Kopplung der Proteine über ihre Aminogruppen. Noch vorhandene aktivierte Carboxylgruppen werden durch Zugabe von Aminoethanol geblockt. Eine Signalverstärkung der Antigen-Antikörper-Bindung wird durch einen POD-markierten Zweitantikörper ermöglicht. Hierbei katalysiert die Peroxidase die Oxidation von AEC, was zu einem Präzipitat auf der Elektrodenoberfläche führt.

präzipitiert und in einer Mischung aus 40 % HEPES pH 7.0 und 60 % Ethanol (v/v) gelöst. Der Lösungsprozess dauerte 10 h und wurde durch leichtes Schütteln unterstützt. Nach der Entfernung von ungelösten Bestandteilen durch einen kurzen Zentrifugationsschritt (8000 g, 3 min) wurde die Proteinkonzentration des Überstandes (Gliadin) nach Bradford [35] bestimmt. Diese Gliadin-Präparation wurde für den Aufbau von Immunsensoren auf 3-Mercaptopropionsäure-modifizierten Elektrodenoberflächen verwendet.

2.3 Messungen mit der Quarzmikrowaage

QCM Messungen wurden an einem CHI 400 (IJ Cambria Scientific Ltd, UK) durchgeführt. Für die Messungen im Durchfluss wurde eine selbstgebaute Durchflusszelle mit einem Volumen von ca. 30 μl verwendet (Abb. 1). Vor der Oberflächenmodifizierung der goldbeschichteten Schwingquarze wurde diese für 10 min mit Piranha-Lösung (konz. Schwefelsäure, 30% H_2O_2 ; 3:1) gereinigt, mit destilliertem Wasser abgespült und anschließend in Batchzellen montiert. Die Goldoberflächen der Schwingquarze wurden hier durch die Inkubation mit verschiedenen Thiolen bzw. Polyelektrolyten für 12 h modifiziert. Die verwendeten Lösungen sind in Tab. 1 zusammengefasst. Schwingquarze, nach der SAM-Modifizierung, wurden vor der QCM-Analyse mit einer EDC/NHS-haltigen Lösung inkubiert (je 100 mM, 30 min), um die Carboxylgruppen der 3-MA zu aktivieren. Anschließend wurden diese mit Wasser abgespült, aus der Batchzelle genommen und in die Flusszelle eingebaut. Die QCM-Messungen wurden im Durchfluss bei einer Flussrate von 50 $\mu\text{l}/\text{min}$ durchgeführt. Hierbei wurden

zunächst die Schwingquarze mit Puffer 2 gespült, bis eine stabile Basislinie erreicht wurde, um anschließend den Puffer durch eine Gliadinlösung (0,31 mg/ml in Puffer 1) zu ersetzen. Nachdem 500 μl der Gliadinlösung über die Schwingquarzoberfläche geflossen waren, wurde wieder zu Puffer 2 gewechselt.

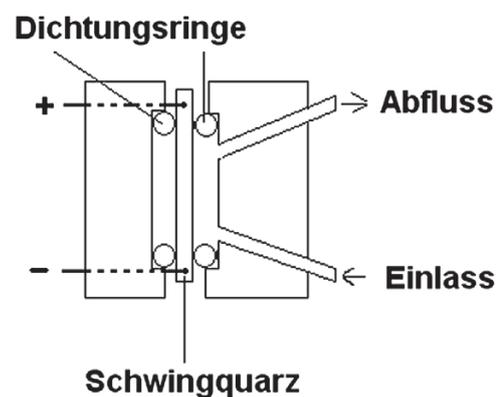
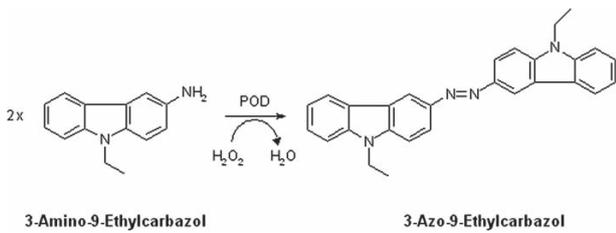


Abb. 1: Schematische Darstellung der QCM Fließzelle.

2.4 Oberflächenmodifizierung der Goldelektroden und Durchführung des Immunoassays

Um eine geeignete Oberflächenmodifizierung der Elektroden für die Immobilisierung von Gliadin herzustellen, wurden zwei verschiedene Ansätze verfolgt:

- 1) (Schema 1) Die Goldelektrode wurde für 12 h mit einer 10-prozentigen Mercaptopropionsäurelösung (in destilliertem Wasser) inkubiert, um eine homogene SAM zu erhalten. Nach einem kurzen Wasch-



Schema 2: Peroxidase katalysierte Oxidation von 3-Amino-9-Ethylcarbazol (AEC) zu 3-Azo-9-Ethylcarbazol. Das Oxidationsprodukt fällt auf der Elektrodenoberfläche aus und führt so zu einer Isolierung der Elektrode.

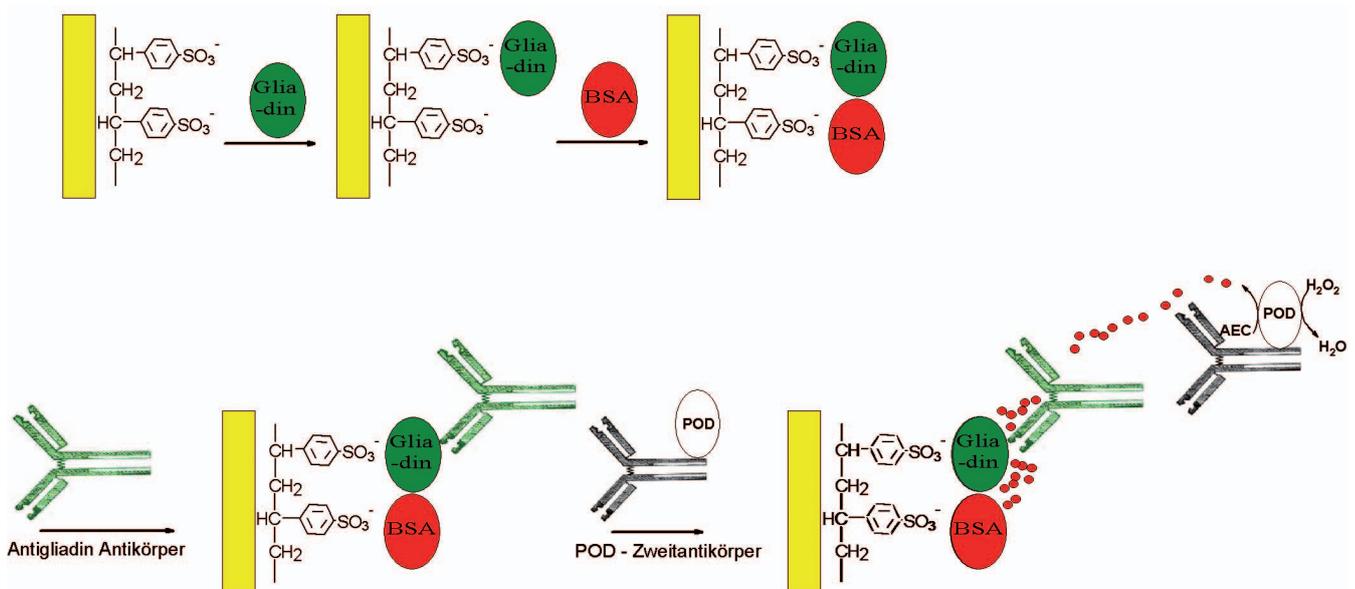
schrift wurden die Carboxylgruppen, wie unter 2.3 beschrieben, durch EDC/NHS aktiviert, die Aktivierungslösung entfernt und die Elektrode schließlich für 4 h mit einer Gliadinlösung (0,29 mg/ml) inkubiert. Anschließend erfolgte ein Blockierungsschritt, bei dem verbliebene aktivierte Carboxylgruppen mit Hilfe von Aminoethanol (10% in destilliertem Wasser; 1 h) abgesättigt wurden. Die so hergestellten Biosensoren konnten für den Nachweis von Gliadinantikörpern verwendet werden. Hierzu wurden diese mit humanen Seren oder mit Verdünnungen einer Standardlösung eines käuflichen Gliadinantikörpers (aus Kaninchen) für 1,5 h inkubiert. Nach Waschen der Elektroden in Puffer 3 folgte eine weitere Inkubation mit einem POD-konjugierten Zweit-Antikörper gegen Kaninchen-Immunglobuline (Standardantikörper) oder gegen humane Immunglobuline (Seren) für 1 h. Die Konzentration des POD-Konjugats betrug $1.2 \cdot 10^{-7}$ M (in Puffer 3). Nach einem letzten Waschschrift in Puffer 3 wurden die Biosensoren in einer AEC-Lösung unter leichtem Schütteln für 10 min inkubiert. Hierbei wird AEC durch die Peroxidase zu 3-Azo-9-Ethylcarbazol oxidiert, dies fällt auf der Elek-

trodenoberfläche aus (Schema 2). Nach 10 min wurde die AEC-Oxidation durch Umsetzen der Biosensoren in destilliertem Wasser gestoppt und diese schließlich durch EIS analysiert.

- Die zweite Variante der Modifizierung von Goldelektroden ist in Schema 3 dargestellt: Hier wurden die Elektroden über Nacht mit einer 1 mg/ml PSS-Lösung versetzt, anschließend mit destilliertem Wasser gewaschen und in Gliadinlösung für 12 h inkubiert. Es kam zu elektrostatischen Bindungen zwischen positiv geladenen Gruppen des Gliadins und dem negativ geladenen Polyelektrolyten. Nach Entfernung der Gliadinlösung erfolgte ein Blockierungsschritt mit Rinderserumalbumin (2 mg/ml in Puffer 3; 1 h). Anschließend wurden humane Seren oder Verdünnungen des Standard-Antigliadinantikörpers analysiert. Die Detektion der Antikörper wurde wie oben beschrieben durchgeführt.

2.5 Elektrochemische Impedanzspektroskopie

Die Impedanzmessungen wurden mit Hilfe eines IM6e (Zahner, Kronach) in einer konventionellen Drei-Elektroden-Anordnung durchgeführt. Als Referenzelektrode diente eine Ag/AgCl/1 M KCl-Elektrode (Biometra, Göttingen). Das Volumen der Messzelle betrug 1 ml. Die Impedanzmessungen wurden in Puffer 2 bei einem Potenzial von 0 V durchgeführt. Messungen mit $2,5 \text{ mM } [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ und $2,5 \text{ mM } [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ erfolgten bei einem Potential von 0,2 V. Der Frequenzbereich reichte von 500 mHz bis 50 kHz. Die Amplitude des Wechselspannungspotenzials betrug 10 mV. Die gemessenen Impedanzwerte wurden mit Hilfe der Thales-Software (Zahner) anhand eines passenden Schaltbildes ausgewertet.



Schema 3: Schematische Darstellung der Gliadin-Immobilisierung, Testprozedur und Signalverstärkung einer PSS-modifizierten Goldelektrode. Die Bindung der Proteine erfolgt über elektrostatische Wechselwirkungen mit dem negativ geladenen Polyelektrolyten. Anschließend werden restliche Bindungsstellen mit Rinderserumalbumin (BSA) abgesättigt. Eine Signalverstärkung der Antikörper-Antigen-Bindung erfolgte wie in Schema 1 beschrieben.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Analyse verschiedener Oberflächenmodifizierungen hinsichtlich ihrer Bindungskapazität für Gliadin mit Hilfe der QCM

Um verschiedene Oberflächenmodifizierungen hinsichtlich ihrer Bindungskapazität für Gliadin zu untersuchen, ist die Quarzmikrowaage eine geeignete Methode. Für die in Tab. 1 aufgeführten SAMs und Polyelektrolyten wurde die Bindungskapazität ermittelt. In Abb. 2 sind die Frequenzänderungen der Schwingquarze mit den einzelnen Oberflächenmodifizierungen nach Applikation der Gliadin-Lösung dargestellt. Es wird deutlich, dass drei verschiedene Oberflächenmodifizierungen in der Lage waren, Gliadin zu binden. Am effektivsten war der Polyelektrolyt PSS. Hier konnte eine Verringerung der Frequenz von $\Delta f = 95$ Hz gemessen werden. Der Polyelektrolyt PASA zeigte eine geringere Kapazität für Gliadin (Frequenzabnahme $\Delta f = 45$ Hz), was möglicherweise an der geringeren Ladungsdichte des Polyelektrolyten lag. Eine Oberflächenmodifizierung mit SAMs aus 3-Mercaptopropionsäure zeigte ebenfalls eine deutliche Bindung von Gliadin. Die Frequenzabnahme des Schwingquarzes betrug $\Delta f = 71$ Hz. Im Gegensatz dazu ergaben SAM-Oberflächen aus Mischungen verschiedener Thiole keine signifikante Bindung.

Variation	3-MA	PSH	ESH	PSS	PASA
a	10 %				
b	10 %	10 %			
c	10 %		10 %		
d				1 mg/ml	
e					1 mg/ml

Tab. 1: Verschiedene Lösungen für die Modifizierung der Goldoberfläche von Schwingquarzen, um anschließend darauf Gliadin zu binden. Alle Lösungen wurden mit destilliertem Wasser hergestellt, Prozentangaben beziehen sich auf das Volumen. Abkürzungen: 3-MA (3-Mercaptopropionsäure), PSH (Propanthiol), ESH (Ethanthiol), PSS (Polystyrensulfonsäure), PASA (Polyanilinsulfonsäure).

Nimmt man für Gliadin ein mittleres Molekulargewicht von 50 kDa an, so kann mit Hilfe der Sauerbrey-Gleichung [36] für die PSS-Schicht eine Oberflächenbelegung von ca. 13 pmol/cm^2 berechnet werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Sauerbrey-Gleichung keine Gültigkeit für flüssige bzw. hydratisierte Verbindungen, wie gelöste Proteine, besitzt, so dass dieser Wert nur als Anhaltspunkt dienen kann. Trotz dieser Einschränkung hinsichtlich der quantitativen Werte ist die QCM aber eine geeignete Methode, um die verschiedenen Oberflächenmodifikationen in Bezug auf ihre relative Bindungskapazität vergleichend zu untersuchen [37–38].

3.2 Nachweis von Antigliadin-Antikörpern durch Impedanzspektroskopie

Nach der Immobilisierung der Gliadine auf Goldstabelektroden und anschließender Blockierung wurden diese als Biosensoren für den Nachweis und die Quantifizierung der Antikörper eingesetzt. Die Antikörper-Anti-

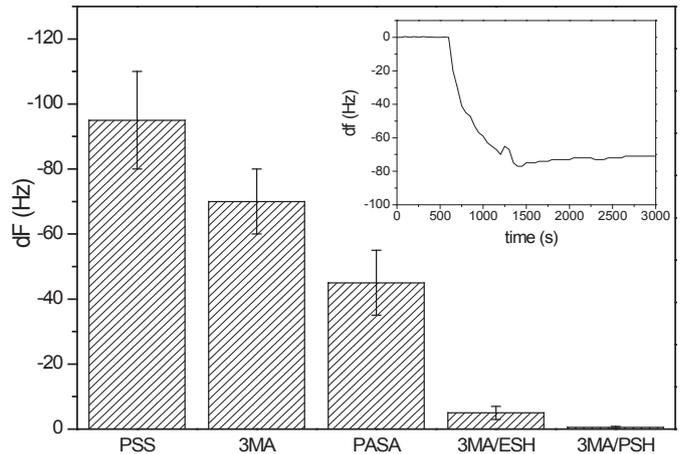


Abb 2: QCM-Analysen der Bindungskapazität für Gliadin an verschiedenen modifizierten Goldoberflächen. Die Messungen wurden in einer selbstgebauten Fließzelle mit einem Volumen von ca. $30 \mu\text{l}$ durchgeführt (Abb. 1). Nachdem der in die Zelle eingebaute Schwingquarz mit Puffer 2 bis zur Einstellung einer Basislinie gespült worden war (Flussrate: $50 \mu\text{l/min}$), wurde der Puffer durch eine Gliadinlösung (0.31 mg/ml) ersetzt. Nach der Applikation von ca. $500 \mu\text{l}$ der Gliadinlösung bei einer Flussrate von $50 \mu\text{l/min}$ wurde wieder zu Puffer 2 gewechselt. Jeder Wert repräsentiert den Durchschnitt von zwei analysierten Schwingquarzen mit der gleichen Oberflächenmodifizierung. Beispielhaft zeigt das Inset die QCM-Kurve eines 3-MA-modifizierten Schwingquarzes.

gen-Bindung und die Peroxidase-katalysierte Oxidation von AEC resultiert in einer Änderung des isolierenden Charakters der Oberflächenmodifizierung der Elektrode. Diese Änderung kann durch EIS quantifiziert werden. Nach den einzelnen Inkubationsschritten wurden Impedanzspektren in Anwesenheit des Redoxsystems $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ aufgenommen. Abb. 3 zeigt diese Spektren für einen Biosensor auf PSS-Basis. Diese weisen für

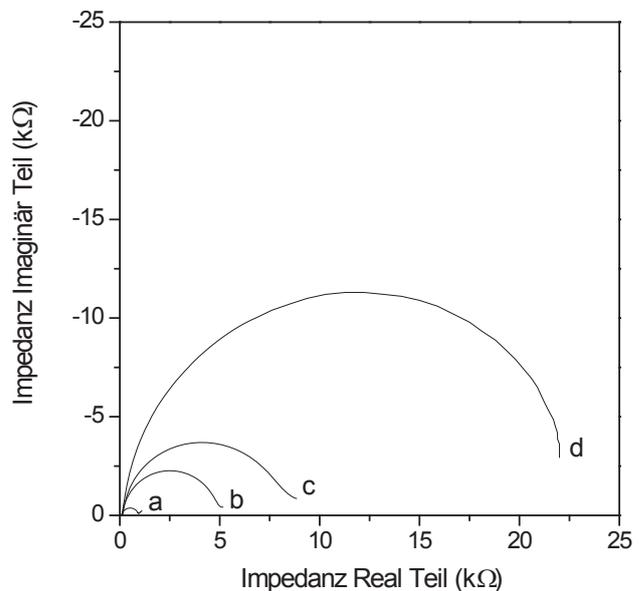


Abb. 3: Nyquist-Darstellung der Impedanzspektren nach den verschiedenen Inkubationsschritten der Testprozedur. Die Messkurven wurden in Puffer 2 in Anwesenheit von $2.5 \text{ mM } [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ und $2.5 \text{ mM } [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ innerhalb eines Frequenzbereichs von 0.5 Hz bis 50 kHz aufgenommen: (a) PSS modifizierte Elektrode nach Gliadin-Bindung und BSA-Blockierung, (b) Biosensor nach der Inkubation mit Antigliadin-Antikörpern, (c) Biosensor nach der Inkubation mit dem POD-markierten Zweitantikörper, (d) Biosensor nach Oxidation von AEC durch die Peroxidase.

R/C-Parallelschaltkreise typische Halbkreise auf, welche den Elektronentransferprozess des Hexacyanoferrats an der Elektrodenoberfläche widerspiegeln. Hierbei sind der Elektronentransferwiderstand (R_{ct}) und die Doppelschichtkapazität (C_{dl}) die Elemente, welche die Gestalt der Halbkreise bestimmen. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Inkubation des Biosensors mit dem Antigliadin-Antikörper zu einer Widerstandszunahme führt. Die Bindung des POD-markierten Zweitantikörpers bringt eine weitere, wenn auch kleine Erhöhung. Eine sehr große Widerstandszunahme konnte dagegen nach der POD-katalysierten Oxidation von AEC und Niederschlagsbildung beobachtet werden. Biosensoren auf Basis eines SAMs aus 3-Mercaptopropionsäure zeigten ebenfalls eine Zunahme der Impedanz im Verlauf des Assays (nicht gezeigt). Im Vergleich zum PSS-Biosensor war die Widerstandszunahme jedoch etwas geringer. Um die Impedanzanalyse der Biosensoren zu vereinfachen, wurde auch versucht, Messungen in Abwesenheit eines redoxaktiven Stoffes durchzuführen (nur im Phosphatpuffer). Beispielhaft dafür sind die Impedanzspektren eines Biosensors nach den verschiedenen Inkubationsschritten in Abb. 4 dargestellt. Im Vergleich zu den Messungen mit Redoxmediator resultieren aus der Analyse der Elektroden wesentlich höheren Impedanzwerte. Diese waren ebenfalls nach der AEC-Oxidation am höchsten (Linie c), jedoch war die relative Zunahme im Verlauf des Assays wesentlich geringer. In diesen Experimenten musste auch festgestellt werden, dass eine Zunahme der Impedanz in Kontrollexperimenten (Biosensoren, die nur mit dem POD-markierten Zweitantikörper und nicht mit dem Antigliadin-Antikörper behandelt worden waren) zu messen war. Aus diesen Gründen wurde bei weiteren Impedanzanalysen in Gegenwart des Hexacyanoferrat-Redoxsystems gemessen. Dieses Messschema sorgte für stabile und reproduzierbare Ergebnisse mit maximaler Signaländerung.

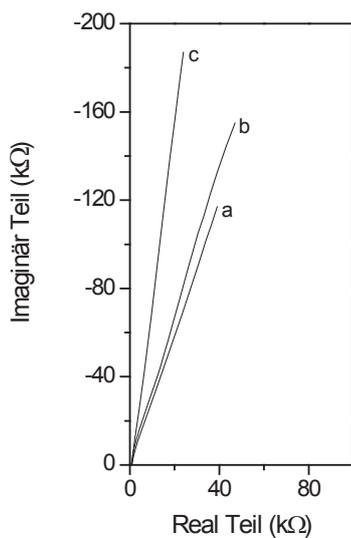


Abb. 4: Impedanzspektren eines auf 3-MA-Basis hergestellten Biosensors nach Messung in reinem Phosphatpuffer ohne Zugabe eines Redoxmediators: (a) 3-MA-modifizierte Elektrode nach Gliadin-Bindung und Aminoethanol-Blockierung, (b) Biosensor nach Inkubation mit dem POD-markierten Zweitantikörper, (c) Biosensor nach Oxidation von AEC durch die Peroxidase.

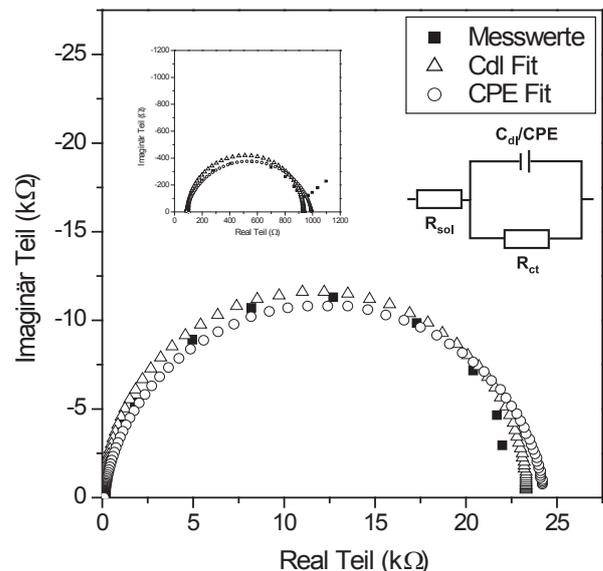


Abb. 5: Aufgenommene Impedanzspektren (■) und anhand eines Randles-Ersatzschaltbildes gefittete Kurven eines PSS-basierten Biosensors nach der BSA-Blockierung (Inset) und nach AEC-Präzipitation. (Δ) Werte anhand des Fits des Ersatzschaltbildes mit Doppelschichtkapazität (C_{dl}), (○) Werte anhand des Fits des Ersatzschaltbildes mit konstantem Phasenelement (CPE). Die Fit-Ergebnisse der Schaltbildelemente des Biosensors nach der BSA-Blockierung waren folgende: Ersatzschaltbild mit C_{dl} -Element; $R_{sol} = 95 \Omega$, $R_{ct} = 840 \Omega$, $C_{dl} = 1.31 \mu F$ und Ersatzschaltbild mit CPE-Element; $R_{sol} = 88 \Omega$, $R_{ct} = 908 \Omega$, $CPE = 1.19 \mu F$, $\alpha = 0.88$. Fit-Ergebnisse der Schaltbildelemente des Biosensors nach Präzipitation: Ersatzschaltbild mit C_{dl} -Element; $R_{sol} = 10 \Omega$, $R_{ct} = 23.25 k\Omega$, $C_{dl} = 1.31 \mu F$; Ersatzschaltbild mit CPE-Element; $R_{sol} = 103 \Omega$, $R_{ct} = 24.21 k\Omega$, $CPE = 1.08 \mu F$, $\alpha = 0.93$.

3.3 Auswertung der Impedanzspektren anhand eines Ersatzschaltbildes

Impedanzspektren werden mit Hilfe von Ersatzschaltbildern quantitativ ausgewertet. Ein einfaches und sehr häufig verwendetes Modell ist der Randles-Schaltkreis [39]. Dieser setzt sich aus den Elementen für den Lösungsmittelwiderstand (R_{sol}), der Doppelschichtkapazität (C_{dl}) und dem Ladungstransferwiderstand (R_{ct}) zusammen (Abb. 5). Mit Hilfe des Randles Ersatzschaltbildes wurden das Spektrum des unbenutzten Biosensors (Inset in Abb. 5) und des Biosensors nach absolviertem Assay (Abb. 5) analysiert. Alternativ zur Doppelschichtkapazität wurde in den Randles-Schaltkreis ein konstantes Phasenelement (CPE) integriert. Abb. 5 macht deutlich, dass beide Verfahren eine zuverlässige Kurvenapproximation des Spektrums zulassen und ähnliche Werte für den Ladungstransferwiderstand berechnen. Für den unbenutzten Biosensor ergibt das Randles-Ersatzschaltbild mit Doppelschichtkapazität einen R_{ct} -Wert von 840Ω während mit CPE 908Ω berechnet werden. Nach der Assay-Prozedur wurden $23,2 k\Omega$ für das R_{ct} -Element im Ersatzschaltbild mit C_{dl} -Element und $24,2 k\Omega$ für R_{ct} im Ersatzschaltbild mit dem CPE-Element errechnet. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die kapazitiven Werte in beiden Ersatzschaltbildern (C_{dl} : $1.31 \mu F$ / CPE: $1.19 \mu F$ (unbenutzter Biosensor) und C_{dl} : $1.31 \mu F$ / CPE: $1.08 \mu F$ (Biosensor nach dem Assay)) sich nur wenig unterscheiden. Dies wird auch durch den α -Faktor des CPE-Elements deutlich, der einen Wert nahe 1 besitzt

(0.88 für den unbenutzten Biosensor und 0.93 für den Biosensor nach Assay-Prozedur) und somit für das CPE-Element eine nur geringfügige Abweichung gegenüber einer reinen Kapazität aufzeigt. Es wird also deutlich, dass die Verwendung eines CPE-Elements im Randles-Ersatzschaltbild keine signifikante Verbesserung bietet. Daher wurde für die weitere Auswertung der Impedanzspektren ein Ersatzschaltbild mit C_{dl} -Element verwendet. Bei dem Vergleich der Werte für die einzelnen Elemente vor dem Assay und danach konnte festgestellt werden, dass die kapazitiven Änderungen des Biosensors durch die Assay-Prozedur nur gering sind (1 - 5%) und der Lösungsmittelwiderstand (wie erwartet) nicht durch die Antigen-Antikörper-Bindung beeinflusst wird. Es konnte aber eine drastische Zunahme im Ladungstransferwiderstand festgestellt werden, so dass der Wert für das R_{ct} -Element als Sensorparameter genutzt werden konnte. Die Auswertung der Impedanzspektren eines Biosensors auf Basis einer SAM mit 3-Mercaptopropionsäure zeigte ein sehr ähnliches Ergebnis und bestätigte, dass eine zuverlässige Auswertung der Spektren anhand eines Randles-Ersatzschaltbildes mit einem C_{dl} -Element möglich ist.

3.4 Kalibrierung des Biosensors

Die Verwendung von Goldelektroden als Biosensoren für die Analytik von Antikörpern sollte durch die Etablierung einer Kalibrationskurve und durch die Analyse verschiedener humaner Seren gezeigt werden. Aufgrund der einfachen und schnellen Präparation wurden hierzu Biosensoren auf Basis von PSS-modifizierten Goldelektroden verwendet. Eine Konzentrationsabhängigkeit des Sensorsignals von der Antikörperkonzentration konnte durch die Inkubation der Sensoren in Lösungen mit verschiedenen Konzentrationen an Antigliadin-Antikörpern demonstriert werden. Abb. 6 zeigt eine Kalibrationskurve, in der die R_{ct} -Werte nach POD-Reaktion gegen den Logarithmus der Antikörperkonzentration aufgetragen wurden. Es wird deutlich, dass bei Antikörperkonzentrationen im Bereich von 0,008 μM bis 1,5 μM eine Zunahme im Ladungstransferwiderstand festgestellt werden kann. Eine sigmoidale Kurvenapproximation nach Gleichung 1 [40] resultierte in einer halbmaximalen Sättigung des Sensorsignals bei 0.613 μM . Die Kalibrationskurve weist eine Korrelation mit den Messwerten von $r^2 = 0.96$ auf. Das Detektionslimit des Biosensors kann mit ca. 100 nM angegeben werden.

$$y = A2 + \frac{A1 - A2}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^p} \quad (1)$$

$A2$ = maximaler R_{ct} -Wert (1.64×10^6 Ohm)

$A1$ = minimaler R_{ct} -Wert (0.25×10^6 Ohm)

x = Konzentration an Antigliadin Antikörpern in der Probe (M)

x_0 = Halbsättigung des Biosensors mit Antikörpern (0.613 μM)

y = Sensorparameter (R_{ct} -Wert) der Probe (Ohm)

p = Exponent (1.19)

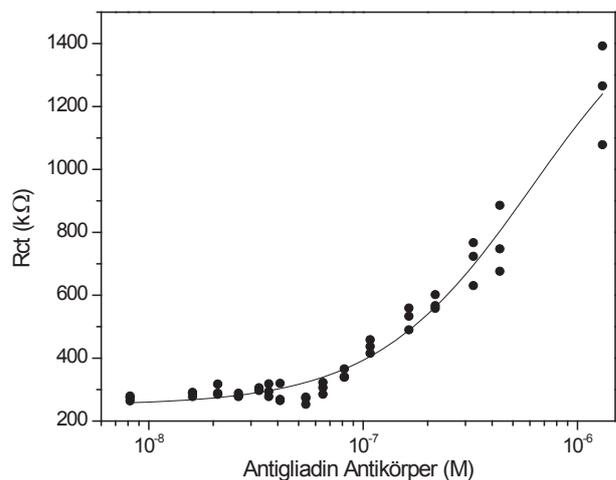


Abb. 6: Kalibrationskurve für Antigliadin-Antikörper: Auftragung des Ladungstransferwiderstandes nach der AEC-Präzipitation gegen den Logarithmus der Antikörperkonzentration (IgG). Jeder Datenpunkt entspricht dem Mittelwert der Messwerte von drei Biosensoren.

Schließlich wurden fünf verschiedene humane Seren, die hinsichtlich ihrer Antigliadin-Antikörper-Konzentration durch ELISA-Experimente eindeutig charakterisiert worden waren (Seramun Diagnostica GmbH, Wolzig), mit Hilfe des Biosensors analysiert. Von den fünf untersuchten Seren waren zwei positiv auf Zöliakie (P1 und P2) und drei Seren negativ (N1 bis N3). Um zuverlässige diagnostische Ergebnisse zu bekommen, wurden diese Seren sowohl auf Antigliadin-Antikörper vom Immunglobulin Typ G als auch Typ A untersucht. Dies wird möglich durch die Verwendung unterschiedlicher POD-markierter Antikörper; einerseits gegen humane IgGs und andererseits gegen IgAs. Obwohl die Analytik von IgG-Molekülen einfacher und sensitiver ist, reicht eine alleinige Bestimmung von IgG-Antigliadin-Antikörpern nicht aus, da diese auch in anderen, ähnlichen Autoimmunerkrankungen vorkommen und daher ein positiver Befund nicht zwingend für Zöliakie wäre. Antikörper vom Typ IgA sind wesentlich spezifischer für die Zöliakie, jedoch besitzen ca. 2% der Zöliakie-Patienten einen angeborenen IgA-Mangel, der zu falsch negativen Befunden führen würde. Für eine sichere Diagnostik der Zöliakie ist daher die kombinierte Analytik von IgG- und IgA-Antigliadin-Antikörpern erforderlich. Hierdurch erlangt man eine Sensitivität von 96% bis 100% bei einer Spezifität von 96% bis 97% [41]. Um einen weiteren Vergleich zu den Sensor-Ergebnissen zu bekommen, wurden die Seren auch mit einem kommerziellen Testsystem (IMTEC-Gastro-LIA, Imtec, Berlin) analysiert.

Vor der EIS-Analyse wurden die verschiedenen Seren analog zu den ELISA-Experimenten verdünnt, um R_{ct} -Werte zu erhalten, die innerhalb des linearen Teils der Kalibrationskurve liegen. Wie zu erwarten war, resultierte die Analyse der Seren in höheren IgG Konzentrationen und niedrigeren IgA-Konzentrationen an Antigliadin-Antikörpern. Beide Typen von Immunglobulinen besitzen aber mikromolare Konzentrationen (Tab. 2). Die physiologische Konzentration dieser Antikörper im gesunden Menschen liegt bei ca. 90 μM für IgG- und bei ca. 22 μM für IgA-Antigliadin-Antikörper [42]. Aus der

Tabelle wird also deutlich, dass die IgG-Werte für die Seren N2 und N3 nur ca. 50% der Literaturangabe betragen, während N1 mit 210 μM einen vielfach höheren Wert besitzt. Die Konzentrationen für den IgA-Antigliadin-Antikörper in den Seren N1 und N3 ist wiederum dreifach höher als in der Literatur angegeben. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die Kalibration nur als eine Annäherung betrachtet werden kann, da keine kommerziellen IgA-Antigliadin-Antikörper verfügbar waren. Für die Konzentrationsbestimmung musste also auf die IgG-Kalibrationskurve zurückgegriffen werden. Trotz ähnlicher Molekulargewichte der Immunglobuline vom Typ IgG und IgA kommt es im Fall der IgA-Moleküle zur Aggregatbildungen, was die Bestimmung des R_{ct} -Wertes stark beeinflussen kann [43]. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass für eine genaue Konzentrationsbestimmung der Autoantikörper Kalibrationskurven mit humanen Antigliadin-Antikörpern hätten etabliert werden müssen. Gereinigte humane Antigliadin-Antikörper-Lösungen mit Konzentrationsangaben sind jedoch bisher weder für den IgG- noch den IgA-Typ erhältlich.

Serum	Verdünnung	Antikörper Typ	R_{ct} (MOhm)	Antikörper Konz. (μM)	Seramun ELISA	Imtec-Gastro-LIA
P1	1:400	IgG	1.38	+ (840)	+	+
	1:200	IgA	1.00	+ (140)	+	+
P2	1:200	IgG	1.36	+ (380)	+	-
	1:200	IgA	0.73	- (70)	-	-
N1	1:100	IgG	1.38	- (210)	-	-
	1:200	IgA	0.67	- (60)	-	-
N2	1:200	IgG	0.56	- (40)	-	-
	1:200	IgA	0.76	- (80)	-	-
N3	1:200	IgG	0.55	- (41)	-	-
	1:200	IgA	0.70	- (66)	-	-

Tab 2: Ladungstransferwiderstände (R_{ct} -Werte) und Antigliadin Antikörperkonzentrationen, die mit dem Biosensor für die verschiedenen Seren bestimmt werden konnten. Zum Vergleich sind auch die Ergebnisse der Analysen mit dem ELISA- und dem IMTEC-Test gezeigt.

Auch wenn gesicherte Antikörperkonzentrationen für die einzelnen Seren hier nicht angegeben werden können, kann doch mit diesem Biosensor eindeutig zwischen positiven und negativen Seren unterschieden werden. Das negative Serum N1 besitzt zwar im Vergleich zu N2 und N3 einen erhöhten IgG-Wert, trotzdem liegt dieser Wert noch unter den Werten für P1 und P2. In ELISA-Experimenten wurde dieses Serum zwar eindeutig als negativ bewertet, doch hängt dies stark davon ab, bei welcher Signalstärke der cut-off zwischen positiv und negativ gesetzt wird. Der erhöhte IgG-Level (210 μM) kann auch von unterschiedlichen Verdünnungsfaktoren herühren. Die Verdünnung von komplexen Mischungen, wie humanen Seren, ist aufgrund von Ausdünnungseffekten störender Substanzen nicht nur für den Biosensor, sondern auch in ELISA-Analysen ein kritischer Punkt. Betrachtet man die Konzentrationen der Antigliadin-Antikörper vom IgA-Typ, so fällt auf, dass nur das Serum P1 eine signifikante Erhöhung aufweist, wogegen die Konzentrationen in P2, N1, N2 und N3 sehr ähnlich sind. Dies stimmt mit den ELISA-Ergebnissen überein.

Hier wird das Serum P2 als negativ hinsichtlich der IgA-Antikörper eingestuft. Ein Grund hierfür könnte der schon erwähnte physiologische IgA-Mangel sein, der zu falsch negativen Ergebnissen führen kann.

Die Analyse der Seren mit einem kommerziell erhältlichen Test (IMTEC) zeigte für P1 einen positiven Befund hinsichtlich der IgG- als auch der IgA-Antikörper, wogegen P2 fälschlicherweise als negativ eingestuft wurde. Negativ-Seren wurden richtigerweise auch als negativ erkannt. Im Vergleich zum entwickelten Biosensor und dem ELISA erlaubt der IMTEC-Test nur eine Ja-/Nein-Antwort und gibt keine Konzentrationsangaben. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der entwickelte Biosensor eine zuverlässige Analytik für die Konzentrationsbestimmung von Antigliadin-Antikörpern in humanen Seren bietet.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Biosensor für die Analytik von Antigliadin-Antikörpern im humanen Serum entwickelt. Der Biosensor basiert auf Goldelektroden, die mit dem Polyelektrolyten PSS oder mit 3-Mercaptopropionsäure modifiziert worden waren, um darauf das Antigen Gliadin zu koppeln. Im Anschluss an die Inkubation des Biosensors mit der Probe wurde zur Verstärkung des Antikörper-Antigen-Signals ein zweiter Inkubationsschritt mit einem POD-markierten Antikörper und anschließender POD-katalysierter Oxidation von AEC durchgeführt. Der Zuwachs der Schichtdicke auf der Elektrodenoberfläche im Verlauf des Sandwich-Assays führte zu einer Zunahme in der Impedanz der Elektrode. Diese Zunahme wurde durch EIS in Anwesenheit von Ferri-/Ferrocyanide gemessen. Hierbei konnte der Ladungstransferwiderstand (R_{ct}) als Sensorparameter identifiziert werden. Es wurde eine Kalibrationskurve für Antigliadin-Antikörper etabliert, in dem eine Korrelation zwischen R_{ct} Werten und verschiedenen Antikörperkonzentrationen aufgestellt wurde. Mit Hilfe dieser Eichkurve konnte die Konzentration von Antigliadin-Antikörpern in verschiedenen humanen Seren bestimmt werden.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Projekt 03I1315C) gefördert. Die Autoren bedanken sich bei der Seramun Diagnostica GmbH für die freundliche und intensive Kooperation im Rahmen des Projektes.

Referenzen

- [1] Weiss, W./Vogelmeier, C./A. Görg, *Electrophoresis* 1993, 14, 805
- [2] Navratilova, I./Skaldal, P., *Bioelectrochemistry* 2004, 62, 11
- [3] Cooreman, P./Thoelen, R./Manca, J./van de Ven, M./Vermeeren, V./Michiels, I./Ameloot, M./Wagner, P., *Biosensors and Bioelectronics* 2005, 20, 2151
- [4] Tang, D./Yuan, R./Chai, Y./Fu, Y./Dai, J./Liu, Y./Zhong, X., *Biosensors and Bioelectronics* 2005, 21, 539
- [5] Zhang, L./Yuan, R./Huang, X./Chai, Y./Tang, D./Cao, S., *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, 381, 1036
- [6] Ding, Y./Wang, H./Shen, G./Ruqin, Y., *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, 382, 1491-1499
- [7] Gonzáles-Martinez, M. A./Puchades, R./Maquieira, A., *Trends Anal. Chem.* 1999, 18, 204
- [8] van Emon, J. M./Lopez-Avila, V., *Anal. Chem.* 1992, 64, 79a
- [9] Märtlbauer, E./Usleber, E./Schneider, E./Dietrich, R., *Analyst* 1994, 119, 2543
- [10] Warsinke, A./Benkert, A./Scheller, F. W., *Fr. J. Anal. Chem.* 2000, 366, 622
- [11] Skladal, P., *Electroanalysis* 1997, 9, 737
- [12] Cousino, M. A./Heinemann, W. R./Halsall, H. B., *Ann. Chim.* 1997, 87, 93
- [13] Fernández-Sánchez, C./González-García, M. B./Costa-García, A., *Biosens. Bioelectron.* 2000, 14, 917
- [14] Schreiber, A./Feldbrugge, R./Key, G./Glatz, J. F. C./Spencer, F., *Biosens. Bioelectron.* 1997, 12, 1131
- [15] Niwi, O./Xu, Y./Halsall, H. B./Heineman, W. R., *Anal. Chem.* 1993, 65, 1559
- [16] Sadik, O. A./van Emon, J. M., *Biosens. Bioelectron.* 1996, 11, i
- [17] Wang, M./Wang, L./Wang, G./Ji, X./Bai, Y./Li, T./Gong, S./Li, J., *Biosensors and Bioelectronics* 2004, 19, 575
- [18] Łoś, M./Łoś, J. M./Blohm, L./Spiller, E./Grunwald, T./Albers, J./Hintsche, R./Wegrzyn, G., *Lett Appl Microbiol* 2005, 40, 479
- [19] Rubinstein, I., *Physical Electrochemistry* 1995, Marcel Dekker Inc. New York, 243
- [20] Knoll, W./Frank, C. W./Heibel, C./Naumann, R./Offenhäusser, A./Rühe, J./Schmidt, E. K./Shen, W. W./Sinner, A., *Reviews in Molecular Biotechnology* 2000, 74, 137
- [21] Darain, F./Park, D./Park, J./Shim, Y., *Biosensors and Bioelectronics* 2004, 19, 1245
- [22] Wang, J./Pamidi, P. V., *Anal. Chem.* 1998, 70, 1171
- [23] Lee, H. Y./Park, J. W., T. Kawai, *Electroanalysis* 2004, 16, 1999
- [24] Ouerghi, O./Touhami, A./Jaffrezic-Renault, N./Martel, C./Ben Ouada, H./Cosnier, S., *Bioelectrochemistry* 2002, 56, 131
- [25] Mirsky, V. M./Riepl, M./Wolfbeis, O. S., *Biosensors & Bioelectronics* 1997, 12, 977
- [26] Riepl, M./Mirsky, V. M./Novotny, I./Tvarozek, V./Rehacek, V./Wolfbeis, O. S., *Anal. Chim. Acta* 1999, 392, 77
- [27] Willner, I./Katz, E., *Electroanalysis* 2003, 15, 913
- [28] Campuzano, S./Galvez, R./Pedrero, M./Manuel de Villana, F. J./Pingarron, J. M., *Anal Bioanal Chem.* 2003, 377, 600
- [29] Etienne, O./Picart, C./Taddei, C./Haikel, Y./Dimarcq, J. L./Schaaf, P./Voegel, J. C./Ogier, J. A./Egles, C., *Agents and Chemotherapy* 2004, Okt., 3662
- [30] Beissenhertz, M. K./Scheller, F. W./Lisdat, F., *Anal. Chem.* 2004, 76, 4665
- [31] Ladam, G./Schaaf, P./Cuisinier, F. J. G./Dechner, G./Voegel, J.-C., *Langmuir* 2001, 17(3), 878
- [32] Caruso, F./Furlong, D. N./Ariga, K./Ichinose, I./Kunitake, T., *Langmuir*, 1998, 14 (16), 4549
- [33] Gergely, C./Bahi, S./Szalontai, B./Flores, H./Schaaf, P./Voegel, J.-C./Cuisinier, F. J. G., *Langmuir*, 2004, 20 (13), 5575
- [34] Muratsugu, M./Ohta, F./Miya, Y./Hosokawa, T./Kurosawa, S., N. Kamo, H. Ikeda, *Anal. Chem.* 1993, 65, 2933
- [35] Bradford, M., *Anal. Biochem.*, 1976, 72, 248
- [36] Sauerbrey, G., *Z. Phys.* 1959, 155, 206
- [37] Cavic, B. A./Thompson, M., *Analyst*, 1998, 123, 2191
- [38] Lyle, E.-L./Hayward, L., M. Thomson, *Analyst*, 2002, 127, 1596
- [39] Parsons, R./*Electroanal. J., Chem.* 1998, 452, 1
- [40] Hock, B./Nießner, R., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, DFG research report 1995
- [41] Semrad, C. E., *Celiac Disease and Gluten Sensitivity* 2000 (www.gflinks.com)
- [42] Janeway, C. A./Trevers, P./Walport, M., *Shlomchik Immunologie*, 5. Auflage 2002, Spektrum Verlag GmbH, Heidelberg
- [43] Lottspeich, F., *Bioanalytik*, Spektrum Verlag, 1998, 70

Literatur

- Beissenhertz, M. K./Scheller, F. W./Lisdat, F., *Anal. Chem.* 2004, 76, 4665
- Bradford, M., *Anal. Biochem.*, 1976, 72, 248
- Campuzano, S./Galvez, R./Pedrero, M./Manuel de Villana, F. J./Pingarron, J. M., *Anal Bioanal Chem.* 2003, 377, 600
- Caruso, F./Furlong, D. N./Ariga, K./Ichinose, I./Kunitake, T., *Langmuir*, 1998, 14 (16), 4549
- Cavic, B. A./Thompson, M., *Analyst*, 1998, 123, 2191
- Cooreman, P./Thoelen, R./Manca, J./van de Ven, M./Vermeeren, V./Michiels, I./Ameloot, M./Wagner, P., *Biosensors and Bioelectronics* 2005, 20, 2151
- Cousino, M. A./Heinemann, W. R./Halsall, H. B., *Ann. Chim.* 1997, 87, 93

- Darain, F./Park, D./Park, J./Shim, Y., *Biosensors and Bioelectronics* 2004, 19, 1245
- Ding, Y./Wang, H./Shen, G./Ruqin, Y., *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, 382, 1491-1499
- van Emon, J. M./Lopez-Avila, V., *Anal. Chem.* 1992, 64, 79a
- Etienne, O./Picart, C./Taddei, C./Haikel, Y./Dimarcq, J. L./Schaaf, P./Voegel, J. C./Ogier, J. A./Egles, C., *Agents and Chemotherapy* 2004, Okt., 3662
- Fernández-Sánchez, C./González-García, M. B./Costa-García, A., *Biosens. Bioelectron.* 2000, 14, 917
- Gergely, C./Bahi, S./Szalontai, B./Flores, H./Schaaf, P./Voegel, J.-C./Cuisinier, F. J. G., *Langmuir*, 2004, 20 (13), 5575
- González-Martinez, M. A./Puchades, R./Maquieira, A., *Trends Anal. Chem.* 1999, 18, 204
- Hock, B./Nießner, R., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, DFG research report 1995
- Janeway, C. A./Trevers, P./Walport, M./Shlomchik, M., *Immunologie*, 5. Auflage 2002, Spektrum Verlag GmbH, Heidelberg
- Knoll, W./Frank, C. W./Heibel, C./Naumann, R./Offenhäuser, A./Rühe, J./Schmidt, E. K./Shen, W. W./Sinner, A., *Reviews in Molecular Biotechnology* 2000, 74, 137
- Ladam, G./Schaaf, P./Cuisinier, F. J. G./Dechner, G./Voegel, J.-C., *Langmuir* 2001, 17(3), 878
- Lee, H. Y./Park, J. W./Kawai, T., *Electroanalysis* 2004, 16, 1999
- Łoś, M./Łoś, J. M./Blohm, L./Spiller, E./Grunwald, T./Albers, J./Hintsche, R./Wegrzyn, G., *Lett Appl Microbiol* 2005, 40, 479
- Lottspeich, F., *Bioanalytik*, Spektrum Verlag, 1998, 70
- Lyle, E.-L./Hayward, L./Thomson, M., *Analyst*, 2002, 127, 1596
- Märtlbauer, E./Usleber, E./Schneider, E., *Dietrich, R., Analyst* 1994, 119, 2543
- Mirsky, V. M./Riepl, M., *Wolfbeis, O. S., Biosensors & Bioelectronics* 1997, 12, 977
- Muratsugu, M./Ohta, F./Miya, Y./Hosokawa, T./Kurosawa, S./Kamo, N./Ikeda, H., *Anal. Chem.* 1993, 65, 2933
- Navratilova, I., *Skaldal, P., Bioelectrochemistry* 2004, 62, 11
- Niwi, O./Xu, Y./Halsall, H. B./Heineman, W. R., *Anal. Chem.* 1993, 65, 1559
- Ouerghi, O./Touhami, A./Jaffrezic-Renault, N./Martelet, C./Ben Ouada, H./Cosnier, S., *Bioelectrochemistry* 2002, 56, 131
- Parsons, R., *J. Electroanal. Chem.* 1998, 452, 1
- Riepl, M./Mirsky, V. M./Novotny, I., *Tvarozek, V./Rehacek, V./Wolfbeis, O. S., Anal. Chim. Acta* 1999, 392, 77
- Rubinstein, I., *Physical Electrochemistry* 1995, Marcel Dekker Inc. New York, 243
- Sadik, O. A./van Emon, J. M., *Biosens. Bioelectron.* 1996, 11, i
- Sauerbrey, G., *Z. Phys.* 1959, 155, 206
- Schreiber, A./Feldbrugge, R./Key, G./Glatz, J. F. C./Spencer, F., *Biosens. Bioelectron.* 1997, 12, 1131
- Semrad, C. E., *Celiac Disease and Gluten Sensitivity* 2000, (www.gflinks.com)
- Skladal, P., *Electroanalysis* 1997, 9, 737
- Tang, D./Yuan, R./Chai, Y./Fu, Y./Dai, J./Liu, Y./Zhong, X., *Biosensors and Bioelectronics* 2005, 21, 539
- Wang, J./Pamidi, P. V., *Anal. Chem.* 1998, 70, 1171
- Wang, M./Wang, L./Wang, G./Ji, X./Bai, Y./Li, T./Gong, S./Li, J., *Biosensors and Bioelectronics* 2004, 19, 575
- Warsinke, A./Benkert, A./Scheller, F. W., *Fr. J. Anal. Chem.* 2000, 366, 622
- Weiss, W./Vogelmeier, C./Görg, A., *Electrophoresis* 1993, 14, 805
- Willner, I., *Katz, E., Electroanalysis* 2003, 15, 913
- Zhang, L./Yuan, R./Huang, X./Chai, Y./Tang, D./Cao, S., *Anal. Bioanal. Chem.* 2005, 381, 1036

Autoren

Thomas Balkenhohl

Falco Beutler

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schäfer

Prof. Dr. Fred Lisdat

Technische Fachhochschule Wildau
 Biosystemtechnik
 Tel. +49 3375 508-134
 fred.lisdat@tfh-wildau.de

The Promotion of Intermodal Transport in Central Europe Through the Design and Realisation of eLogistics Services

Bertram Meimbresse, Gerhard Schilk, Herbert Sonntag

Zusammenfassung

Die Effizienz des Gütertransports ist ein bedeutender Kernpunkt für die Realisierung von Transportströmen zwischen Herstellern und Kunden. Gegenwärtig wird vorzugsweise der Straßengüterverkehr in ganz Europa eingesetzt, was zu enormen negativen Effekten für die Umwelt und die Einwohner führt. Deswegen müssen neue Methoden und Ansätze für einen nachhaltigen Oberflächentransport berücksichtigt werden, wie sie kontinuierlich von der Politik gefordert und zunehmend durch Unternehmen im europäischen Transportsektor akzeptiert werden.

Der intermodale Güterverkehr hat ein entscheidendes Potenzial für eine größere Nachhaltigkeit der Transportprozesse, aber erfordert auch ein größeres Verständnis für die komplexen Zusammenhänge der Prozesse und des Transport-Managements verglichen mit dem monomodalen Verkehr. Die Beherrschung der komplexen und verschiedenen intermodalen Prozesse und Schnittstellen ist der kritischste Faktor bei der Nutzung des intermodalen Verkehrs. Informations- und Kommunikations-Technologien (IKT/ICT), wie IT-Lösungen für strategische Aspekte der Planung von intermodalen Transporten und Promotion der Verkehrsart, können interessierte Transport- und Logistik-Akteure sowie Promotion-Center und Bildungseinrichtungen unterstützen.

Der Artikel beschreibt die Anforderungen solcher IT-Lösungen für den intermodalen Güterverkehr unter Berücksichtigung der Komplexität der Transportketten. Der entwickelte »Logistics Chain Generator« wird erläutert und mit anderen IT-Tools verglichen. Abschließend werden Schlussfolgerungen hinsichtlich der weiteren Entwicklung dieses spezifischen IT-Marktsegmentes gezogen.

Abstract

The efficient transport of goods is an important issue for realising cargo flows between industries and customers. Nowadays, primarily road transportation is used across Europe leading to tremendous negative side-effects for the environment and European citizens. Therefore new methods and approaches for sustainable surface transport shall be taken into consideration, as continuously promoted by politics and increasingly accepted by commercial enterprises in the European transport sector.

Intermodal transport holds significant potentials for more sustainable transport processes, but requires also a sophisticated understanding of process design and transport management compared with monomodal transport. The handling of complex and divergent intermodal processes and interfaces is the most critical factor for using intermodal transport. Information and Communication Technologies (ICT), such as IT-solutions for strategic aspects of intermodal transport planning and promotion, can help interested transport and logistics users, promotion agencies and educational organisations.

The article describes the needs for such ICT-solutions regarding intermodal transport operations and addresses the complexity of the concerned issue. The developed »Logistics Chain Generator« is introduced and compared with other planning tools. Finally, conclusions are drawn for the further development of this specific ICT market segment.

1 Efficient Goods Transport – an Important Issue for the European Integration

The European transport and logistics industry holds an important role and accounts for about 7 % of the European GDP and for about 5 % of employment in the European Union (European commission 2006 a). The

importance of this industrial sector can be also characterised by its function for the economic growth and prosperity in the European Union. The growth of goods transport within the EU, at a rate of 2.8 % per year, was broadly in line with the economic growth, which was 2.3 % on average in the period 1995 - 2004 (European commission 2006 b). However, when comparing the single goods transport modes (road, rail, inland naviga-

tion, maritime, and air) a significant unequal allocation and growth can be identified. Reasons for this phenomenon are various, but reflect the current situation of the imbalanced usage of available traffic resources. While road accounts for 44 % of the goods transport market, short sea shipping (SSS) makes up 41 %. In contrast to these two dominant modes, rail holds 8 % and inland waterway transport (IWT) about 4 % (European Commission 2001 a). Together with short sea shipping, rail and inland waterway transport constitute the base for sustainable surface transport modes.

The accession of twelve European countries into the European Union in 2004 and 2007 did affect the citizens, economies and the transport industries in all bordering regions. The increased level of economic activities, including trade and investments, produced higher rates of economic growth, whereas growth rates have been still higher in the new EU-Member states and therefore in the whole EU-area (GDP in EU-25 in 2005: 2.3 %) than in the old EU-Member States (GDP in EU-15 in 2005: 1.5 %) (Eurostat 2006). Simultaneously traffic figures have risen considerably since 2004. But, what more concerns is the circumstance that the balance of transport modes in the new EU member states becomes less reality than in EU-15. Although rail traffic did hold an important role in goods transport in the EU-10/12 this edge did melt continuously since the political changes in Central and South East Europe in 1989. Between 1990 and 1998, road haulage increased by 19.4 % while during the same period, rail haulage decreased by 43.5 % (European commission 2001 b). However, not only the integration of the countries' economies will be a huge challenge for the next future, but also the connection of the traffic systems and transport modes to cover the increased East-West and West-East going cargo flows, which rely on an optimal use of the existing transport system.

Based on the current transport policy of the European Union (White Paper – European transport policy for 2010, European commission 2001 c) adequate measures have to be identified and prepared for implementation. The need for an enhanced integration of transport into a sustainable development is one of the key objectives on tackling future challenges regardless, whether by the enlargement process, by environmental standards or the globalisation. One key issue is the development and promotion of intermodal goods transport.

2 Intermodal Transport – Chances and Weaknesses

Intermodal transport systems use generally different modes of transport, e. g. road, railway, inland waterway. To distinguish the different approaches a set of definitions was made (UN/ECE 2001):

- Multimodal transport: Carriage of goods by two or more modes of transport.
- Intermodal transport: The movement of goods in one and the same loading unit or road vehicle, which uses

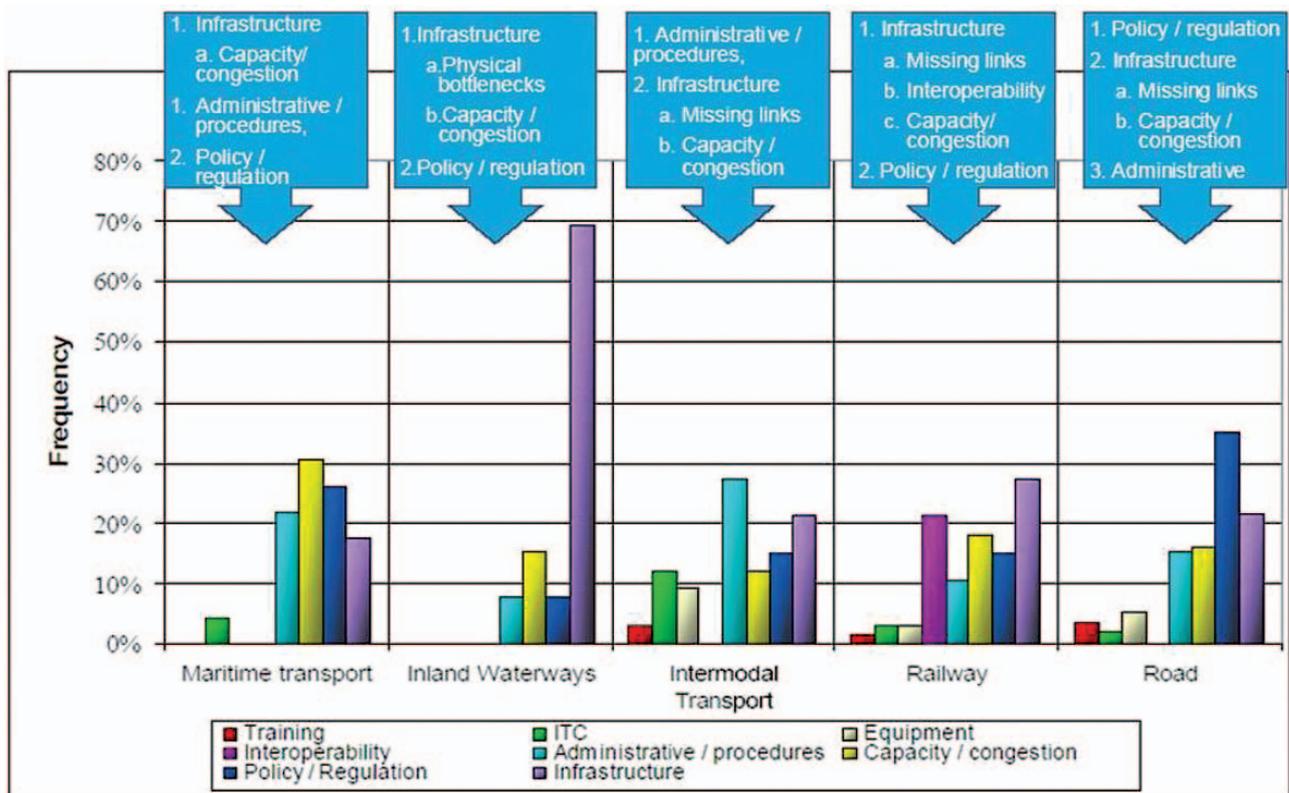
successively two or more modes of transport without handling the goods themselves in changing modes. In the process of intermodal transport normally containers, swap bodies and semi trailers are used. Intermodal transport reached in Europe a market volume of 34.5 billion ton kilometres in 2004. Compared with the complete sum of the inland transport modes road, rail und inland waterway transport the share of intermodal transport on the inland market is rather low (under 2%) (European Union 2006). The advantage of intermodal transport is the more suitable transport modes for the long range than pure road transport. So transport modes rail and inland waterway can show their potential to carry goods producing a considerable lower emission load. Furthermore, as intermodal transport uses loading units only the transshipment of this (mostly) standardised loading units is necessary to shift the goods efficiently from one mode to the other. But the small market share of intermodal transport poses the question what kinds of factors prevent a higher penetration of the market.

A SWOT-analysis (ECO4LOG 2006 a) identified eight weaknesses (W) of the intermodal transport:

- Difficult international co-operations (W1)
- Terminal and operator cooperation (W2)
- Regular, long-term and big volumes required (W3)
- No intermodal-equipment available (W4)
- Old equipment - infrastructure and rolling stock (W5)
- Uneven utilisation of terminals (W6)
- No single face to the customer – 4th Party Logistics concept (W7)
- Underdeveloped information and communication infrastructure (W8)

To overcome the identified weaknesses six areas for action were identified: Policy, Assets, Business to Business (B2B) Marketing and Promotion, Operations and Processes, ICT (Information and Communications Technology) Requirements, and Education and Training. The interdependencies between the action fields B2B Marketing and ICT Requirements were selected for a closer analysis because these fields have an immediate effect on a better utilization of existing intermodal services and on a higher efficiency of intermodal transport chain (ECO4LOG 2006 b). The analysis shows that the transport industry has always been characterised by its dynamics and openness for innovations. New technologies have already found their way into the European transport industry, where new ICT-based logistics services (e. g. Tracking and Tracing, transport resource planning) have been designed, developed and implemented (ECO4LOG 2005 a).

But end-to-end freight transport planning and monitoring is still a predominant problem in the today's European intermodal transport industry (Price-WaterhouseCoopers 2007). Although appropriate ICT solutions for selected transport chains exist, there is no comprehensive and competitive approach available for intermodal tracking and tracing (T&T) or intermodal transport planning considering the different actors along the transport chain. Summarizing the situation, the



Graphics 1: Stakeholders point of view regarding bottlenecks by transport mode, Source: (PriceWaterhouseCoopers 2007)

European logistics stakeholders identified ICT for intermodal transport as a larger bottleneck than in other fields of transport (see next figure). The stakeholders ranked 5 actions dealing with ICT/intermodal transport and 4 actions dealing with promotion and simplification of multimodal chains among the top 30 actions to improve the European logistics sector sustainable.

Other studies identified the main reasons for problems using ICT in the intermodal transport efficiently. Intermodal transport covers significant more process actors and process interfaces compared to monomodal transport (e.g. door-to-door truck transport). Only if the complete intermodal transport chain is organized by one company, continuous ICT solutions across different transport modes can be found (tradav/ProgTrans 2004).

Some comprehensive (IT) solutions, capable of tracking intermodal transport, however, are available, but mostly in big transport and logistics enterprises so that these represent more or less in-house/company solutions, which are designed for a dedicated transport chain only. Other transport operators have so far developed and demonstrated new solutions in the framework of research projects. Though, none has reached the way into the intermodal market. So the European Commission states, »many [IT-Projects], [...] have never got beyond the drawing-board or prototype stage« (European Commission 2006 d). Therefore, there is no adequate commercial approach and technical solution on the European transport market available capable of easing intermodal transport planning, providing promotion and simplification of the creation of intermodal chains

or tracking and tracing intermodal flows en route.

The interoperability of IT- and communication systems, planning processes, controlling and safety/security procedures as well as technical equipment is a major prerequisite for the efficient design of intermodal transport chains. Important fields of action with respect to improved co-ordination of information flows in intermodal transport chains were identified as follows (ECO4LOG 2005 b):

- Coordination of common data structures for intermodal handling interfaces between the individual intermodal IT systems
- IT platforms for logistics chain management
- Broker systems for intermodal transport
- Integrated management systems for transshipment terminals
- Terminal information platforms

The transshipment terminals have been identified as one of the most important chain links in the intermodal transport chain (ECO4LOG 2005 c, European Commission 2006 c) because they are the given change nodes (constraints) in the intermodal network. This is true both for the physical goods flows and the connected information flows. Therefore, the following recommendations for better IT integration of terminals including both strategic and operational aspects were given (see next table). The recommendation »Web-based tools for intermodal transport planning and execution« is at least strongly recommended for all types of transshipment terminals. This recommendation is also very close to the identified action fields B2B Marketing/Promotion and ICT Requirements.

Type of Terminal / Necessity	Small inland terminal (small storage capacities and intermodality, small resources)	Logistics centre (relevant storage capacities, truck/train intermodality, average resources)	Intermodal Hinterland hub (extended storage capacities and intermodality, large resources panel)	Seaport (extended storage capacities and intermodality, very large resources panel)
Nice to have	Resource management systems at terminal	Mobile Applications and smart telematics		
	Mobile Applications and smart telematics			
	Support for administrative tasks and commercial settlements			
Strongly recommended	Web-based tools for intermodal transport planning and execution	Resource management systems at terminal		
		Web-based tools for intermodal transport planning and execution		
		Support for administrative tasks and commercial settlements		
Necessary			Resource management systems at terminal	Resource management systems at terminal
			Web-based tools for intermodal transport planning and execution	Web-based tools for intermodal transport planning and execution
			Mobile Applications and smart telematics	Mobile Applications and smart telematics
			Support for administrative tasks and commercial settlements	Support for administrative tasks and commercial settlements

Table 1: IT needs according to the type of terminal

3 Introduction of ECO4LOG's »Logistic Chain Generator«

The ECO4LOG project aims at improving the interregional co-operation within the field of intermodal goods transport along the axis Germany-Austria-Adria and is part-financed by the European INTERREG programme (see www.eco4log.de). In order to cover the predicted strong increases in goods flows expected in this area, ECO4LOG seeks to strengthen the intermodality by creating new co-operation approaches and information structures. The ECO4LOG area includes DE, PL, AT, HU, SK and SI. Following the analyses carried out regarding weaknesses of intermodal transport – especially underdeveloped ICT – and needs of actors an ICT tool was designed and developed to support the different actors along the intermodal transport chain. The software tool shall provide an information structure and decision support system for users and providers of intermodal transport chains and support the promotion of transshipment terminals as important nodes in the complete transport chain combining physical and information flows. Based on an analysis of current management practices and an outlook on upcoming requirements in this market (ECO4LOG 2005 a), the tool shall complement the shipping and information systems currently used.

Users and planners of intermodal transport services shall be supported by the tool in their strategic planning process by reliable information about intermodal transport facilities in the ECO4LOG area as networks, terminals and providers (ECO4LOG 2005 d). The tool shall enable them to choose between alternative transport routes and modes based on decision criteria such as availability of transport/transshipment possibilities and

needed additional services, transport time and costs. Contrarily, logistics service providers shall be able to analyze the user's demand regarding transport services and destinations. By that they can improve as well the efficiency as the service quality of intermodal transport chains. So, the tool has the function of an e-Logistics marketplace where the user's demand meets the provider's offer. Finally, the tool shall serve also as a general promotion platform for intermodal transport. The tool contains additional information that is not bound to individual routes or network sections such general traffic conditions and other helpful statements and contacts. In the project's implementation phase the information system covers the regions Germany, BenLux countries, Poland, Czech, Slovakia, Austria, Hungary and Slovenia, but also with links to important North Sea and Adriatic harbours. The central application of the tool is the »Logistics Chain Generator«.

The »Logistics Chain Generator« has the following functions:

- Basic Function: GIS (Geographical Information System) based generation and display of intermodal transport routes on the basis of underlayed networks (road, rail, inland waterway, transshipment terminals) and according to defined criteria and transport requirements (e.g. dangerous goods or 45" containers)
- Alternative Routes Function: Parallel providing and valuing of route-alternatives by criteria: distance, time, costs and energy consumption
- Via-Point Function: Possibility to define 1 or 2 obligatory via-points for the generated transport route in order to prefer specific transport corridors or transshipment terminals

	Rail	Inland waterway	Terminals	Logistics Service Provider
Technical features	Gauge Electrification Allowed speed (max.) Average speed freight	Waterway class Average speed	Handled transport units Handled specific goods (dangerous, cooled, etc.) Transshipment equipment	Kind of handled transport units Kind of handled specific goods
Capacity features	No. of tracks Clearance Capacity (4 levels)	No. of locks Multilayer of containers	No. of transport units/day Max. weight handling Storage capacity	
Information features			Opening hours Contacts	Opening hours Contacts Transport modes

Table 2: Basic data for the infrastructure and provider database

- Information Function: For each part of the generated transport chains information (contacts, service portfolio) will be presented about suitable logistics service providers (e.g. special provider for inland navigation) and transshipment terminals
- Analysis Function: The provider/administrator of the tool can summarise the generated transport chains (anonymized) over a defined time to get information about the demand on intermodal transport.

The complete tool was programmed with SOAP, Web Services, XML and GIS libraries.

The physical network of rail and inland waterway consists of ca. 6,000 network sections rail (only freight sections) and 400 for inland navigation. Network section delimiters are junctions, crossings, transshipment terminals, and changing points of network characteristics (e.g. kind of electrification or number of tracks). For the road network a filtered part of the NAVTEC net (research support license) is used. 210 intermodal terminals and

harbours with intermodal capabilities are included. Over 350 intermodal service provider and companies built the data base for the information function. Necessary data were collected from public sources (e.g. research reports, associations, infrastructure providers, own questionnaires). The following table shows the main features of the infrastructure and provider database.

The main administrator of the tool, the Wildau University of Applied Sciences – Research Group Transport Logistics, monitors closely in its day-to-day business major changes in the rail, inland navigation and terminal network as well as in the structure of the provider market. So, the actuality of the data is ensured regarding the requirements for a strategic planning tool and a promotion tool. The main administrator placed an agreement with most of the project partners to update the necessary information from their region each half year, also after the end of the project. In return the contracting project partners can use the tool without restrictions. Since the

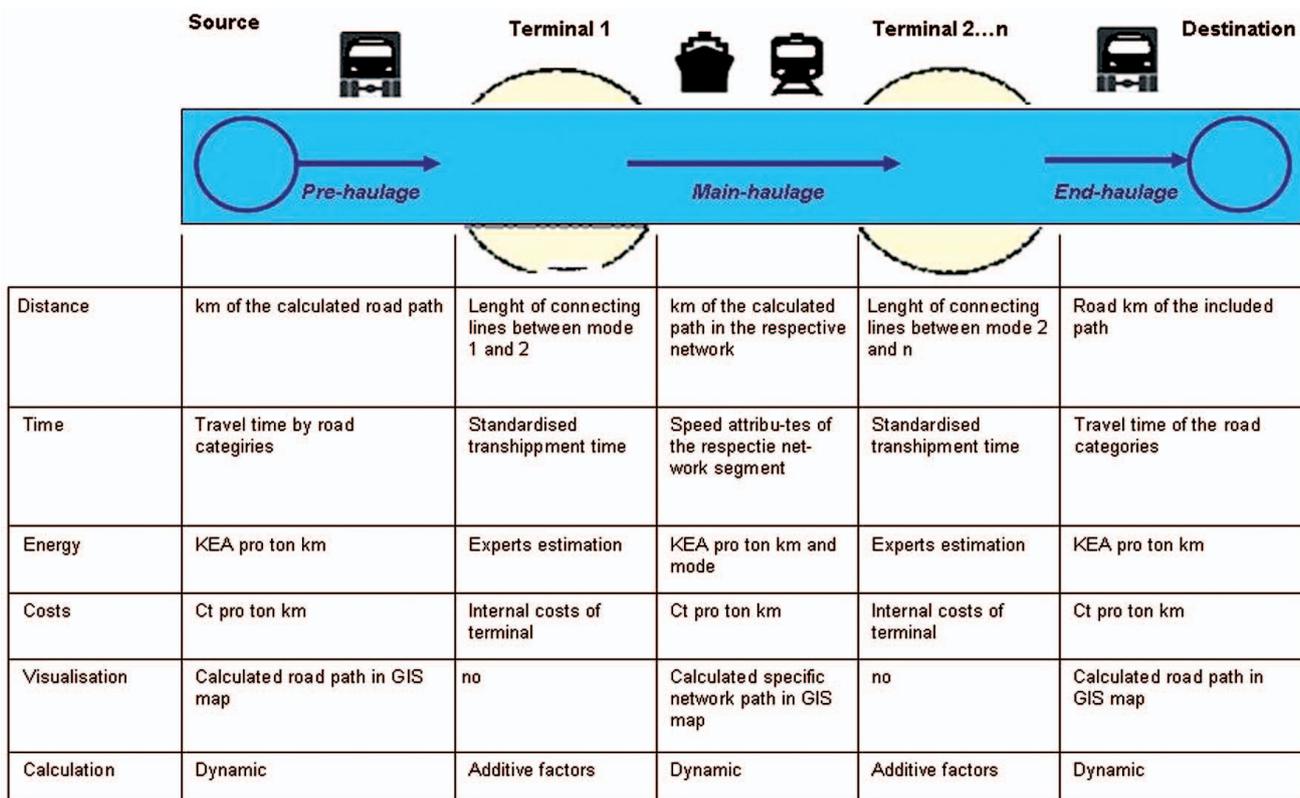


Table 3: Basic data for the Logistics Chain Generator

KEA = Cumulate Energy Consumption, Source: PROBAS database of the German Federal Environment Agency

road network is based on the always latest version of the NAVTEC net time and effort to hold the complete data up-to-date is manageable.

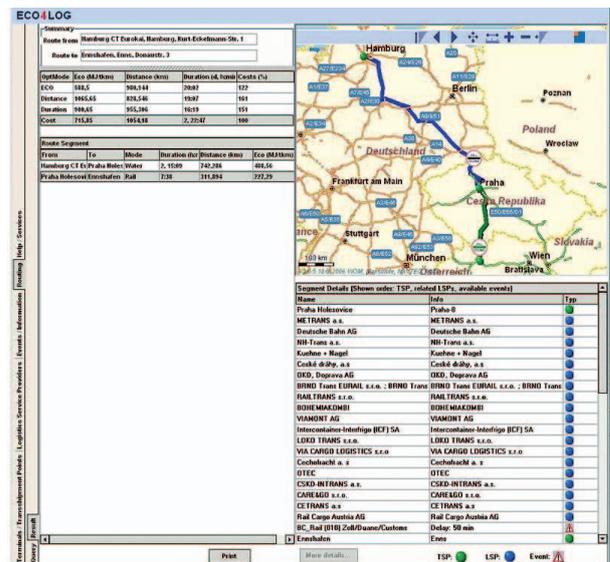
For the calculation of alternative intermodal routes an iteration free search tree method has been implemented. The algorithm of Dijkstra to calculate the shortest way in the network has been modified in order to consider more than one attribute per network segment (Dijkstra 1959). Transshipment terminals were defined as an additional layer (network with nodes and connecting lines) to connect the different transport networks road, rail and inland waterway transport. The connecting lines represent the transshipment processes. Through this manipulation the routing algorithm can be extended on the attributes of nodes in a network. To calculate the transshipment process the user is able to define specific values or to use default values. The graphic »Table 3« depicts the main input values for the generation of alternative intermodal transport chains:

Following this concept the transshipment of certain loading units or goods can be allowed or restricted in each of the terminals reflecting the real situation. Regarding the source and destination points of the transport chain the user can simply select terminals or define the points via an address search in the tool. The table 4 depicts an example of alternative intermodal routes (source/destination: terminal Hamburg Eurokai DE/Enns shafen AT) Results by optimisation criteria:

Routing criteria (Minimum)	Mega-Joule/tkm	Distance [km]	Time [d; h]	Costs [%]	Transport Mode
Energy consumption	588	980	0; 20	122	Rail direct
Distance	1065	829	0; 19	161	Road direct
Time	417	606	0; 09	151	<i>Rail from Hamburg to Nuremberg (DE)</i>
	484	349	0; 07		<i>Road from Nuremberg to Enns</i>
	901	955	0; 16		Rail-Road
Costs	489	742	2; 15	100	<i>Inland waterway from Hamburg to Praha (CZ)</i>
	227	312	0; 08		<i>Rail from Praha to Enns</i>
	716	1054	2; 023		Inland waterway-Rail

Table 4: Example for the results of the Logistics Chain Generator (Italic = parts of the transport chain)

The graphic below depicts the variant »cost minimised routing«. The details given in the lower left table reflect the calculated figures for each part of the intermodal transport chain (rail activated; grey entry). The table under the map contains information about the physical providers of the relevant part like start terminal, suitable service providers for intermodal rail transport in this region, delays on border, end terminal (here rail transport from Praha to Enns). With click on a specific point of the list a context menu provides additional information e.g. contacts, portfolio. Naturally, the terminal and provider information can be viewed separately using the tabs on the left frame.



Graphics 2: Example for the results of the Logistics Chain Generator

To calibrate the Logistics Chain Generator known schedules of intermodal transport companies and expert consultations have been used. Over 35 schedules have been analysed. In the framework of ECO4LOG the Logistics Chain Generator was used by partners to develop ideas for new intermodal liner services and to assess their impacts regarding time, costs and energy consumption. It has been used also for the consultancy of shippers to demonstrate possibilities for shifting transport flows towards rail and inland navigation. A substantial part of the users apply the generator for the training of logisticians. The IT tool is currently used by more than 100 intermodal market actors, consultancies and educational organisations across Central Europe.

The aim of the IT tool development was to cover the information gap concerning existing intermodal transport structures as well as intermodal service providers in Central Europe. Furthermore, the tool represents a strategic planning approach for the interregional cooperation. In the follow up project INTERIM (see www.interim-online.eu) possible options to enhance the tool are under discussion and development:

- Routing under consideration of transport quantities to use the economics of scale of rail and inland waterway transport better.
- Geographical enhancement: Western Europe, Scandinavia
- Additional transport mode Short Sea Shipping/Motorways of the Sea
- Consideration of time tables of existing intermodal offers to give the users backbones for the construction of an intermodal transport chain
- Scenario ability to evaluate the effects of changes in the transport networks and the transshipment terminal structure (e. g. Trans European Transport Networks – TEN-T)
- Accessibility and connectivity analyses for and between regions

4 Comparison for Strategic Intermodal Planning Tools

Intermodal transport is characterised by a higher degree of complexity compared with direct road transport. The reasons therefore are various, but the circumstances that more process actors are involved causing significant more processes and interfaces are the most obvious ones. This especially becomes true, when intermodal transport has to compete with door-to-door truck transport operations, where only one dedicated means of transport is being used for one distinctive process scope and geographical region. Thus, on planning and carrying out intermodal transport first more means of transport will be needed for providing both pre- (truck), main- (rail, inland waterway) and end-haulage (truck), which will result in more interfaces, here transshipment terminals, where (un-)loading actions are managed. Besides these main criteria on evaluating ICT-based intermodal transport planning tools, all other relevant criteria need to be considered, which are used for the validation of supply chain management software as well. This covers the (I) architecture and databases, (II) services and systems and (III) stakeholders and users.

Similar to door-to-door road transport chains, intermodal transport chains need to be planned, before they can be managed and monitored. The higher number of involved market actors and therefore complexity of the processes and interfaces are again the main difference and obstacle, why neither intermodal planning tools nor intermodal tracking and tracing solutions are offered in the European transport market. Therefore, it becomes more obvious that intermodal transport is more difficult both to plan, realise as well as to steer than monomodal transport. By far less ICT-support is nowadays available

for planning activities, whereas both resource planning (e.g. yard planning) and brokerage services (e.g. transport brokerage) have found their way into the transport market since the increased penetration of Internet and eBusiness. This means that merely the transport planning and transport monitoring working areas are characterised by a significant lack of ICT-support. While adequate applications are already available for monomodal transport (e.g. map&guide), meaning mostly for road transport, there has been only a handful comparable ICT-based tools available corresponding to intermodal transport planning needs until now. To compare them the following methodology has been used.

On analysing existing transport planning tools and approaches an adequate methodology is needed enabling further investigations of their individual strengths and weaknesses and benchmarks. Similar to other IT-solutions, IT-based intermodal planning tools comprise an input, throughput and output area.

- **Input:** Most tools describe their objectives and therefore focussed target group here. Also, the main functions and applications can be seen at this stage, whereas the most important application is the route planning function. Additionally, some tools, like the ECO4LOG tool, offer further applications like transport operator databases, databases covering contact details from terminals and ports, databases on long-term bottlenecks of the traffic infrastructures, databases on administrative contacts and legal documents needed for intermodal transport. The geographical focus is a very important criterion, which physically restricts the operational geographical working area of the dedicated tool. Here, selected tools cover Western European territories (PC-Navigo River Information Service, BintraS, PTV intermodal guide), while others

	Input	Throughput	Output																																													
ECO4LOG	<table border="1"> <tr><td>Objectives of the tool</td></tr> <tr><td>Main function</td></tr> <tr><td>Route planning</td></tr> <tr><td>Transport database</td></tr> <tr><td>Inputs and parameters</td></tr> <tr><td>Transport modes</td></tr> <tr><td>Types of cargo</td></tr> <tr><td>Transport times and costs</td></tr> <tr><td>Geographical focus</td></tr> <tr><td>Western Europe</td></tr> <tr><td>Central and Eastern Europe</td></tr> <tr><td>Covered transport modes</td></tr> <tr><td>Road transport</td></tr> <tr><td>Rail transport</td></tr> <tr><td>Inland Waterway Transport</td></tr> <tr><td>Short Sea Shipping</td></tr> <tr><td>Covered cargo types</td></tr> <tr><td>Intermodal (= container)</td></tr> <tr><td>Multimodal transport</td></tr> <tr><td>Bulk cargo</td></tr> </table>	Objectives of the tool	Main function	Route planning	Transport database	Inputs and parameters	Transport modes	Types of cargo	Transport times and costs	Geographical focus	Western Europe	Central and Eastern Europe	Covered transport modes	Road transport	Rail transport	Inland Waterway Transport	Short Sea Shipping	Covered cargo types	Intermodal (= container)	Multimodal transport	Bulk cargo	<table border="1"> <tr><td>Installation and set up</td></tr> <tr><td>Technologie</td></tr> <tr><td>Internet</td></tr> <tr><td>CD-Rom</td></tr> <tr><td>Database</td></tr> <tr><td>Quantity of data</td></tr> <tr><td>Quality of data</td></tr> <tr><td>Update of data</td></tr> <tr><td>Usability of the tool</td></tr> <tr><td>Usability and learning</td></tr> <tr><td>Support</td></tr> <tr><td>User levels</td></tr> <tr><td>Used digital map systems</td></tr> <tr><td>Standards (GIS)</td></tr> <tr><td>State of the art</td></tr> </table>	Installation and set up	Technologie	Internet	CD-Rom	Database	Quantity of data	Quality of data	Update of data	Usability of the tool	Usability and learning	Support	User levels	Used digital map systems	Standards (GIS)	State of the art	<table border="1"> <tr><td>Outputs / Parameters</td></tr> <tr><td>Transport route and modes</td></tr> <tr><td>Transport times</td></tr> <tr><td>Transport costs</td></tr> <tr><td>Transport bottlenecks</td></tr> <tr><td>Potential for modal shift</td></tr> <tr><td>Users and beneficiaries</td></tr> <tr><td>Businesses</td></tr> <tr><td>Administrations</td></tr> <tr><td>Education and Training</td></tr> </table>	Outputs / Parameters	Transport route and modes	Transport times	Transport costs	Transport bottlenecks	Potential for modal shift	Users and beneficiaries	Businesses	Administrations	Education and Training
Objectives of the tool																																																
Main function																																																
Route planning																																																
Transport database																																																
Inputs and parameters																																																
Transport modes																																																
Types of cargo																																																
Transport times and costs																																																
Geographical focus																																																
Western Europe																																																
Central and Eastern Europe																																																
Covered transport modes																																																
Road transport																																																
Rail transport																																																
Inland Waterway Transport																																																
Short Sea Shipping																																																
Covered cargo types																																																
Intermodal (= container)																																																
Multimodal transport																																																
Bulk cargo																																																
Installation and set up																																																
Technologie																																																
Internet																																																
CD-Rom																																																
Database																																																
Quantity of data																																																
Quality of data																																																
Update of data																																																
Usability of the tool																																																
Usability and learning																																																
Support																																																
User levels																																																
Used digital map systems																																																
Standards (GIS)																																																
State of the art																																																
Outputs / Parameters																																																
Transport route and modes																																																
Transport times																																																
Transport costs																																																
Transport bottlenecks																																																
Potential for modal shift																																																
Users and beneficiaries																																																
Businesses																																																
Administrations																																																
Education and Training																																																
ptv intermodal guide																																																
PC-Navigo Rier Information Services																																																
ETNA																																																
BintraS																																																
DISMOD																																																
And others																																																

Table 5: Check of ICT-based transport planning tools for generating intermodal transport chains

cover Eastern European regions (ECO4LOG, ETNA). Also the covered modes of transport in the respective planning tool determine a key criterion for users. There are both intermodal tools (ECO4LOG, PTV intermodal guide, ETNA) available as well as tools that address merely one specific mode of transport like Inland Waterway Transport (PC-Navigo River Information Service, BintraS), whereas these are geographical restricted to Western European waterway corridors (e. g. river Rhine). Besides, also the criterion types of commodities is important for commercial users, as this determines, whether all types of cargoes can be planned or specific ones only, like containers only.

- **Throughput:** An ease and fast access to the application is the precondition for users' acceptance. Not all of the planning tools make use of the Internet technology and its possibilities to access customers and users directly. A very important issue hereby is the database architecture and concept of the individual application. This includes also the criteria of the quantity (traffic infrastructures, transshipment nodes, transport carriers and many more) and quality (including regular up-dates) of the data and information stored. Last, the used digital map system, normally based on GIS-standards, is a key issue, which visualises the transport planning results in forms of graphs and tables.
- **Output:** All planning tools provide information on the addressed transport modes and regions, when making use of the route planning functions. Almost all, except BintraS, provide its users information about the transport time and duration. But, only few offer transport costs (internal and external costs) as well. Regarding the focussed user group it can be said that there exist mainly three types of stakeholders, which

might hold interest in transport planning tools. First, the commercial enterprises located in the transport and logistics industry (e. g. shippers, transport carriers, logistics service providers, terminal and port operators etc.). Second, public administrations (e. g. EC, Ministries, promotion agencies, spatial planning organisations etc.) and third, education and training organisations (e.g. universities, logistics schools,...).

Current available approaches (ECO4LOG [<http://www.eco4log.de/>], ptv intermodal guide [<http://www.ptv.de/>], BINTRAS [<http://www.bintras.de/>], PC-Navigo River Information Services [<http://www.noordersoft.nl/indexde.html>], ETNA [<http://www.alsodanube.at/>], DISMOD [<http://www.iml.fraunhofer.de/302.html>]) addressing intermodal transport planning have been predominantly developed within research projects, mostly co-financed by European programmes. In this manner the ECO4LOG project has been carried out under the INTERREG programme, the ptv intermodal guide, ETNA and partly PC-Navigo under the 5th Framework Programme (FP5-GROWTH). However, until now, only few of them are available for commercial usage like PC-Navigo and BINTRAS, which offer primarily transport planning support for Inland Waterway Transport (IWT) operators rather than for comprehensive intermodal transport chains. All other transport planning tools are still under development are not offered to the European transport market. But with respect to the permanent needed promotion of intermodal transport among market actors, administrations and logistics training organisations it should be questioned whether a public accessible tool is of more importance than a commercial one. The table below shows a qualitative comparison between the tools and gives possible users an impression about the capabilities.

	ECO4LOG	ptv intermodal guide	PC-Navigo	BINTRAS	ETNA	DISMOD
Transport modes	rail, road, inland navigation	rail, road, inland navigation	inland navigation	inland navigation	rail, road, inland navigation	rail, road, inland navigation (only separate routing per mode)
Geographical coverage	Central Europe: DE, Benelux, PL, SK, CZ, HU, SI, AT	complete Europe	complete Europe	Germany, Benelux, links to neighbouring countries	complete Europe	complete Europe (road)
GIS application	yes	yes	yes	no	no	yes
Transport provider considered	yes	no	no	yes, if located in harbours	yes	no
Target group	logistic providers, transport chain planners	logistic providers, shippers	inland navigation operators	inland navigation operators	shippers, logistic providers	shippers
Optimisation criteria	costs, distance, time, energy consumption	costs, distance, time,	costs (machine hours), distance, time, tourist aspects	distance	distance, time	costs
Availability via Internet	yes	no (sales product)	no (sales product)	yes	no	yes
Potential for modal shift	yes	yes	only towards inland navigation	only towards inland navigation	yes	only by comparison of different routings
Advantage	combination of intermodal routing results and transport providers	comprehensive cost functions	detailed nautical information	quick overview of inland navigation possibilities	quick overview of existing offers	comprehensive cost functions
Disadvantage	geo. coverage is too small for European wide applications		monomodal	monomodal	only relations with existing intermodal services/offers	no real consideration of intermodality

Table 6: Comparison of ICT-based intermodal transport planning tools

5 Conclusions

Intermodal transport, which is characterised by different transport modes (e. g. road, rail, inland waterway, short sea shipping), numerous business enterprises (e. g. shippers, transport carriers, logistics service providers, terminal/port operators etc.), divergent processes (e. g. transport planning, monitoring) and activities (e.g. transport booking, management of fleet), is a significant more complex transport system than road transport, where trucks are offering direct door-to-door transport. As every transport, also the complex intermodal transport chains have to be planned, managed and monitored. Therefore, it is expected that suitable ICT-systems are in the European transport market available supporting the transport operators. Until now (2007), there are no dominant ICT-systems and services available, neither for easing intermodal transport planning nor for intermodal transport monitoring or promotion.

The current problem is the non-existence of adequate end-to-end freight transport planning and monitoring tools. The preparatory study for an impact assessment on a EU Freight Logistics Action Plan (PriceWaterhouseCoopers 2007) confirms this existing bottleneck in the fields of intermodal transport planning and intermodal transport monitoring and elaborate potential actions, which shall tackle this prevailing hindrance by promoting the harmonisation of information systems for traffic and infrastructure management.

In the future, also the intermodal transport sector will have suitable ICT-based systems and applications easing day-to-day working activities in the fields of transport planning and transport monitoring. Same as intermodal transport monitoring, also intermodal transport planning lacks in existing services and ICT-tools helping to constitute a comprehensive transport chain comprising numerous processes and interfaces. Probably the main reason why intermodal transport systems are not in place, are the missing links among the different transport modes and all involved business enterprises and organisations.

Therefore, interfaces between the transport modes are most critical variable, whereas both physical and electronic interfaces have to be improved in order to enable seamless cargo and information flows across all modes. Intermodal Tracking and Tracing (T&T) solutions are best practice examples for increasing the transparency and the degree of steering of intermodal transport chains en route. Intermodal transport planning systems and ICT-applications are good examples for easing the generation of transport chains, which can directly contribute an increased usage and promotion of sustainable surface transport modes (rail, inland waterway, short sea shipping) rely on multi- and/or intermodal system approaches.

The presented Logistics Chain Generator was designed to cover the most critical aspects of a needed ICT-application for planning and promoting intermodal transport chains. Such ICT tools can support and promote the better use of the environmentally friendly transport modes inland waterway and rail on a European

stage. Especially, public presence, easy accessibility via Internet, consideration of all transport modes, links to service providers and European wide geographical coverage are preconditions for their efficiency.

References

- Dijkstra, Edsger W. (1959), A note on two problems in connexion with graphs *Nummerische Mathematik* 1, pp. 269-271
- ECO4LOG (2005 a) Report 2.4, Analyses of best practice - intermodal chain management services www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, p. 39 ff.
- ECO4LOG (2005 b) Report 3.1, User requirements, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, p. 32
- ECO4LOG (2005 c) Report 2.3, Analyses of shipping systems of transport chain operators and service portfolio of intermodal transshipment providers, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, pp. 33, 76
- ECO4LOG (2005 d) Report 3.1, Short specification for the tools under development, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, p. 4 ff.
- ECO4LOG (2006 a), Report 4.3.2, Recommendations and Action Plan, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, p. 9 ff.
- ECO4LOG (2006 b), Report 4.1/4.2, Task 3 IT-integration of terminals, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007, p. 40 ff.
- EIRAC (2005) European Intermodal Research Advisory Council, Strategic Intermodal Research Agenda 2020 (SIRA), p. 26
- European Commission (2006 a), Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Keep Europe moving – Sustainable mobility for our continent Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper, COM(2006) 314 final, Brussels, 22.06.2006, p. 3
- European Commission (2006 b), *ibid.* p. 7
- European Commission (2006 b), Intermodal freight terminals – in search of efficiency to support intermodality growth, Brussels, May 2006, p. 4 ff.
- European Commission (2001 a), White Paper, European transport policy for 2010: time to decide, Luxembourg, 2001, ISBN 92-894-0341-1, p. 14
- European Commission (2001 b), *ibid.* p. 16
- European Commission (2001 c), *ibid.* p. 5
- European Commission (2001 d), *ibid.* p. 43
- Eurostat (2006), EC economic data pocketbook 3rd quarter 2006, ISSN 1026-0846, Catalogue no. KS-CZ-06-003-EN-N , pages 9-10, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (accessed 06.03.2007)
- PriceWaterhouseCoopers (2007), Preparatory study for an impact assessment on a EU freight logistics action plan, Freight logistics action plan's consultation phase: stakeholders' demand for policy measures, DG TREN, April 2007

tradav/ProgTrans (2004), Telematikeinsatz für die Hinterlandanbindung der deutschen Ostseehäfen (Use of telematics for the hinterland connectivity of the German Baltic Sea ports), Study for the German Ministry of Transport, Basel/Lübeck, p. 70 ff.

UN/ECE (2001), Terminology on combined transport, Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC), United Nations, New York and Geneva

European Union (2006), Energy and transport in Figures 2006, Directorate-General for Energy and Transport in co-operation with Eurostat

PriceWaterhouseCoopers (2007), Preparatory study for an impact assessment on a EU freight logistics action plan, Freight logistics action plan's consultation phase: stakeholders' demand for policy measures, DG TREN, April 2007

tradav/ProgTrans (2004), Telematikeinsatz für die Hinterlandanbindung der deutschen Ostseehäfen (Use of telematics for the hinterland connectivity of the German Baltic Sea ports), Study for the German Ministry of Transport, Basel/Lübeck

UN/ECE (2001), Terminology on combined transport, Prepared by the UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC), United Nations, New York and Geneva

Literature

Dijkstra, Edsger W. (1959), A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik* 1

ECO4LOG (2005 a) Report 2.4, Analyses of best practice - intermodal chain management services, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

ECO4LOG (2005 b) Report 3.1, User requirements, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

ECO4LOG (2005 c) Report 2.3, Analyses of shipping systems of transport chain operators and service portfolio of intermodal transshipment providers, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

ECO4LOG (2005 d) Report 3.1, Short specification for the tools under development, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

ECO4LOG (2006 a), Report 4.3.2, Recommendations and Action Plan, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

ECO4LOG (2006 b), Report 4.1/4.2, Task 3, IT-integration of terminals, www.eco4log.de, download area, accessed 08.03.2007

EIRAC (2005) European Intermodal Research Advisory Council, Strategic Intermodal Research Agenda 2020 (SIRA)

European Commission (2001), White Paper, European transport policy for 2010: time to decide, Luxembourg, 2001, ISBN 92-894-0341-1

European Commission (2006 a), Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Keep Europe moving – Sustainable mobility for our continent Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper, COM(2006) 314 final, Brussels, 22.06.2006

European Commission (2006 b), Intermodal freight terminals – in search of efficiency to support intermodality growth, Brussels, May 2006

European Union (2006), Energy and transport in Figures 2006, Directorate-General for Energy and Transport in co-operation with Eurostat

Eurostat (2006), EC economic data pocketbook 3rd quarter 2006, ISSN 1026-0846, Catalogue no. KS-CZ-06-003-EN-N, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (accessed 06.03.2007)

Authors

Dipl.-Ing. Bertram Meimbresse

Technische Fachhochschule Wildau
FB Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Verkehrslogistik
Tel. +49 3375 508-355
bertram.meimbresse@tfh-wildau.de

Dr. Gerhard Schilk

via donau
Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH
Donau-City-Straße 1, A-1220 Vienna
Tel. +43 50 4321 1621
gerhard.schilk@via-donau.org

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag

Technische Fachhochschule Wildau
FB Ingenieurwesen/Wirtschaftingenieurwesen
Verkehrslogistik
Tel. +49 3375 508-924
herbert.sonntag@tfh-wildau.de

Entwicklung eines koaxialen Faltenbalgzylinders zur Übertragung von linearen Bewegungen ins Hochvakuum

Karin Siemroth

Zusammenfassung

In Zusammenarbeit zwischen der Technischen Fachhochschule Wildau und der Fa. Arc Precision GmbH Wildau wurde eine neue technische Lösung – der so genannte Koaxiale Faltenbalgzylinder – entwickelt, mit dem Linearbewegungen in Bereiche mit Hochvakuum übertragen werden können. Die Idee wurde zum Patent angemeldet, konstruiert, erprobt und fand Verwendung in einer Plasmaquelle der Fa. Arc Precision. Gegenüber bekannten Serienlösungen zeichnet sich der Koaxiale Faltenbalgzylinder durch kompakte und Platz sparende Bauweise, leichte Ansteuerbarkeit, Leckfreiheit, schnelle Bewegungen, gute axiale Führungsgenauigkeit, große übertragbare Kräfte sowie letztlich auch durch Kosteneinsparungen aus. Am Beispiel der Entwicklung des Koaxialen Faltenbalgzylinders werden allgemeine Methoden beim Lösen von Entwicklungsaufgaben in enger Verbindung mit der Lehre dargestellt.

Abstract

In cooperation between the University of Applied Sciences Wildau and the company Arc Precision GmbH Wildau a new solution – named as »coaxial bellows cylinder« – to bring linear movements into a vacuum chamber was found. The new solution was patented, designed, tested and finally used in a plasma source of the Arc Precision company. In comparison to well-known series products, the coaxial bellows cylinder is much more compact, easy to control, fast, is free of leakages, good axial guide precision and large forces can be transferred – and last but not least, is a cost saving solution. Common methods of engineering design process in close contact to the teaching are exemplified using the development of the coaxial bellows cylinder.

1 Einleitung

Die Reife technischer Produkte ist im hohen Maße davon abhängig, in welchen Stückzahlen diese zum Einsatz gelangen. Es muss deshalb nicht verwundern, wenn einerseits am Markt technisch und technologisch ausgefeilte Produkte sehr preiswert verfügbar sind, andererseits sich für die unterschiedlichsten Anwendungen jenseits von Großserien immer wieder aufwendige und wenig optimierte Konstruktionen offenbar recht stabil etabliert haben.

Vakuumanwendungen waren lange Zeit einem kleinen Anwenderklientel vorbehalten, das aus dem Forschungsbereich oder dem Hightechbereich stammt. Da hier ganz besonderer Wert auf hohe Qualität gelegt wird, werden in der Regel auch die für üblich und normal gehaltenen Preise bezahlt.

So werden z. B. für die Übertragung linearer Bewegungen ins Hochvakuum teilweise sehr aufwendige und kostenintensive Konzepte angewendet, die sich zwar bei genauerer Analyse alles andere als technisch ausgefeilt erweisen, aber dennoch ausgezeichnet am Markt behaupten können. Es lohnte sich, für diese Hochvakuumbauteile methodisch nach neuen Konzepten zu suchen. So entstand die Idee des Koaxialen Faltenbalgzylinders, der inzwischen gebaut, erfolgreich getestet und als Patent angemeldet wurde.

2 Aufgabenstellung

Für eine industrielle Vakuumbeschichtungsanlage zur Herstellung von superharten Kohlenstoffschichten ist für die kontinuierliche Arbeit der Anlage ein automatisches Nachladen von Graphittargets in den Arbeitsbereich eines Plasmaverdampfers zu gewährleisten, ohne den Beschichtungsprozess zu stören oder anzuhalten. Dafür wurde ein automatischer Targetwechsler entwickelt, in dem zwei Stempel linear zu bewegen sind, die folgenden Anforderungen gerecht werden müssen:

- Hub ca. 40 mm mit definierten Endlagen
- lichte Weite für Stempel > 60 mm
- Verfahrzeit < 1 s
- Takt ca. 10 min
- Übertragung leckfrei ins Hochvakuum
- Stromstärke > 2 kA
- elektrische Isolierung gegenüber dem Gehäuse
- Wasserkühlung
- Anpresskraft von ca. 700 N halten
- axiale Führungsgenauigkeit < 0,5 mm
- Der verfügbare Bauraum ist extrem begrenzt.

3 Kataloglösungen

In den einschlägigen Katalogen für Vakuumanwendungen finden sich verschiedene Lösungen, um Linearbewegungen im Vakuum zu realisieren.



Abb. 1: Lineardurchführung mit Motor bis NW 40 nach [3]

Abb. 1 zeigt eine Lineardurchführung, bei der zunächst eine Drehbewegung initiiert, ins Vakuum übertragen und dort in eine Längsbewegung gewandelt wird. Solche Lineardurchführungen sind nur bis zu Nennweiten von 40 mm verfügbar. Für die aktuelle Aufgabe ist diese Variante aus folgenden Gründen unbrauchbar:

- Die vorhandenen Strom- und Kühlwasserleitungen können nicht integriert werden.
- Der Durchmesser des Stempels ist zu groß, damit muss der gesamte Hub innerhalb der Vakuumkammer als Platzbedarf bereitgestellt werden.
- Die erforderliche Anpresskraft wird nicht erreicht.
- Die Bewegung ist zu langsam.



Abb. 2: Präzisions UHV-Lineardurchführung nach [3]

Bei der Lineardurchführung nach Abb. 2 erzeugt ein Motor ein Drehmoment. Dieses wird mit einer Getriebestufe übersetzt und mittels Spindel und Spindelmutter

in eine Längskraft gewandelt. So kann die erforderliche Kraft aufgebracht werden, die für die Bewegung gegen den atmosphärischen Druck benötigt wird. Die lineare Führung übernehmen zwei Säulen, die in der Ebene der Spindel angeordnet sind. Die Kräfte werden über Kragträger geleitet, die auf Grund der Präzisionsanforderungen sehr verformungsstabil ausgebildet sind. Ein geschweißter Faltenbalg kann sich im Rahmen seines ausgelegten Hubes reversibel verformen und gleichzeitig die Vakuumkammer gegen den Außenbereich leckfrei abdichten.

Diese Lineardurchführung bietet zwar die Anschlussmöglichkeit für Strom und Wasser, ist für den konkreten Fall aber nicht einsetzbar, da die Verfahrgeschwindigkeit viel zu gering ist und der notwendige Bauraum nicht zur Verfügung steht.

4 Methodik der Lösungsfindung

Für die methodische Entwicklung neuer Lösungskonzepte für innovative Produkte bietet die VDI-Richtlinie 2221 folgenden Ansatz [1]. Nach Klärung der Aufgabe ist zunächst die Funktionsstruktur zu analysieren. Für die unterschiedlichen Einzelfunktionen wird nach neuen Teilkonzepten gesucht und diese in einem morphologischen Kasten neu verknüpft (siehe Tab. 1). In einem weiteren Schritt können weitere Einzelfunktionen definiert werden, die dann neu kombiniert eine veränderte Funktionsstruktur aufweisen. Aus der so entstandenen Lösungsvielfalt können nun geeignete Lösungen ausgewählt werden.

Teilfunktion	Lösungsvarianten				
	von Hand	elektrisch	pneumatisch	hydraulisch	
Bewegungshub	Zylinder	Spindel	Zahnstange	Linearmotor	Piezoelement
Steuerung	def. Endlage	Sensor	verstellbarer Anschlag		
Aufnahme für Stromleitungen/Wasserkühlung	integriert in Flansch	separat, flexible Verbindungen			
axiale Führung	exzentrische Säulenführung	zentrische Säulenführung	Schwalbenschwanzführung	koaxiale Führung	
Zentrierung	hohe Führungsgenauigkeit	geringe Bauteilverformungen	selbstzentriert		
leckfreie Abdichtung	Schiebedurchführung	alle Bauteile im Vakuum	Faltenbalg	magnetische Kraftübertragung	Schutzgas mit großen Molekülen
Anpressdruck für den Stempel	unmittelbar vom Antrieb	mittelbar vom Antrieb	mittels Atmosphärendruck		
Verbindung zur Vakuumkammer	Normflansch	Spezialflansch	Schweißverbindung		
Platz für eingefahrenen Stempel	verbleibt in der Vakuumkammer	lichte Weite in der Durchführung			

Tab. 1: Morphologischer Kasten

Neben einer Vielzahl möglicher Kombinationen für die Übertragung von linearen Bewegungen ins Vakuum sind hier nur zwei herausgehoben. Die grau untersetzte Kombination stellt die in Vakuumkatalogen verfügbare Lineardurchführung nach Abb. 2 dar. Stark eingerahmt ergibt sich der Koaxiale Faltenbalgzylinder.

Nachdem für die gestellte Aufgabe mit dem Koaxialen Faltenbalgzylinder bereits eine geeignete Lösung entwickelt war, erschien die Aufgabe so interessant und vielschichtig, dass sie den Studenten des Studienganges Maschinenbau im 4. Semester noch einmal als Semesteraufgabe im Lehrgebiet Produktentwicklung gestellt wurde. Bei dieser allerdings etwas vereinfachten Aufgabenstellung sollte die vorhandene Lineardurchführung nach Abb. 2 konstruktiv verbessert werden. Eine Reihe der in Tab. 1 aufgezeigten kreativen Lösungsvorschläge für die Erfüllung der Teilfunktionen und die Neugestaltung der Funktionsstruktur entstanden in den Übungen der Seminargruppe M/05. Es zeigte sich, dass auch auf den ersten Blick ausgefallene Ideen die Diskussion voranbringen und damit hilfreich sein können, denn zu frühes Abwerten von Ideen hemmt den kreativen Prozess.

5 Der Koaxiale Faltenbalgzylinder

Eine mögliche Lösung für die Übertragung der linearen Bewegung ins Vakuum nach Tab. 1 ist der Koaxiale Faltenbalgzylinder. Diese Konstruktion entstand bei der Entwicklung einer Wechslereinrichtung für die Firma Arc Precision GmbH Wildau und erfüllt die gestellten Anforderungen vollumfänglich.

Der Grundgedanke dieser Konstruktion ist es, die Kraft des atmosphärischen Luftdrucks auszunutzen, die bereits Otto von Guericke bei seinen Versuchen mit den Magdeburger Halbkugeln faszinierte. So wird ein Deckel vom Durchmesser d durch den Atmosphärendruck p_A mit der Kraft F gegen eine Vakuumkammer gedrückt, in der ein Unterdruck p_V herrscht:

$$F = (p_A - p_V) \pi d^2 / 4$$

$p_A = 10^5 \text{ Pa, 1 bar}$
 (atmosphärischer Druck)
 $p_V = 10^{-4} \text{ Pa}$
 (Druck im Hochvakuum)

Diese Kraft wird genutzt, die Bauteile in Richtung des Vakuums zu bewegen und in der Vakuumkammer mit einer definierten Haltekraft zu spannen. Zum Lösen wird eine Gegenkraft gleicher Größe benötigt. Diese Kraft wird in einem Zylinder erzeugt, der außen koaxial um den Faltenbalg angeordnet und damit optimal Platz sparend ist. Abb. 1 zeigt die konstruktive Umsetzung dieser Idee.

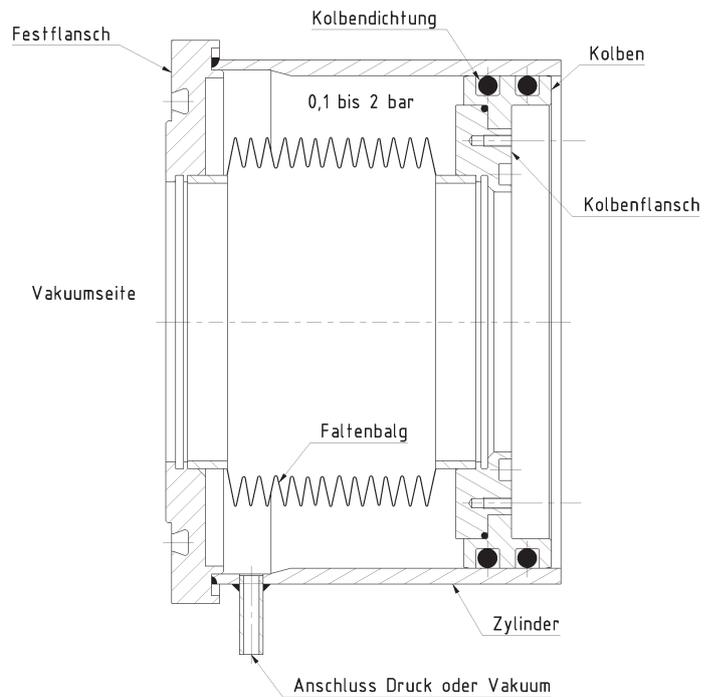


Abb. 3: Koaxialer Faltenbalgzylinder

Im Folgenden wird die Funktion im Detail erläutert.

- Der Koaxiale Faltenbalgzylinder wird mit dem Festflansch an die Vakuumkammer angeflanscht.
- In den Kolbenflansch wird im konkreten Anwendungsfall der Stempel oder wahlweise ein beliebiger Flansch eingesetzt.
- Zwischen Festflansch und Kolbenflansch ist ein metallischer Faltenbalg eingeschweißt, der in Längsrichtung sehr flexibel ist, dem Druckunterschied aber gut standhalten kann. Solche Bälge sind Standard in der Vakuumtechnik.
- Mit dem Kolbenflansch verbunden ist der Kolben mit den Kolbendichtungen.
- Die Kolbendichtungen gleiten an der Innenwand des Zylinders und dichten den Druckraum so gut gegen Druckverluste bzw. Leckverluste ab, dass selbst ein Unterdruck von ca. 0,1 bar über längere Zeit gehalten wird.
- Der Kolben bewegt sich im Zylinder in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen, die über eine Anschlussleitung an Druckluft oder Vakuum verändert werden.
- Im einfachen Fall bewegt sich der Kolbenflansch nur durch die Erzeugung von Vakuum in der Kammer nach links und spannt mit der einfachen Kraft, die der Luftdruck über den Durchmesser des Faltenbalges aufbaut.
- Zusätzlich kann der Druckraum im Zylinder mit Vorvakuum beaufschlagt werden. Dadurch wird die Spannkraft etwa doppelt so groß.
- Erhält der Druckraum im Zylinder einen Überdruck bis etwa 2 bar, so bewegt sich der Kolbenflansch nach rechts.
- Die Endlagen der Bewegung sind durch Anschläge einstellbar.

Der Koaxiale Faltenbalgzylinder hat entscheidende Vorteile gegenüber der Lineareinheit nach Abb. 2:

- Sehr kompakte und platz sparende Leichtbaukonstruktion.
- Schnelle Bewegung möglich.
- Die Ansteuerung erfolgt über ein Ventil, welches zwischen Druck und Vorvakuum umschaltet.
- Der Kolben im Zylinder gewährleistet eine gute axiale Führungsgenauigkeit für den Stempel.
- Große Kräfte übertragbar, hohe Spannkraft realisierbar.
- Trotz Einzelanfertigung ergeben sich bereits Kosteneinsparungen gegenüber der Serienlösung.

Ein erster Prototyp wurde im Dezember 2006 angefertigt. Hier zeigten sich neben der grundsätzlichen Machbarkeit aber auch deutliche Schwächen. Der Kolben ließ sich zu schwer bewegen und eine Demontagemöglichkeit fehlte. Die überarbeitete Variante erhielt einen geteilten Kolben mit angepassten Werkstoffpaarungen und optimierten Passungen. Weiterhin wurden die Abmessungen noch einmal verringert. Diese Koaxialen Faltenbälge wurde in der Firma Arc Precision inzwischen ausgiebig getestet und erfüllen ihre Aufgaben hervorragend. Über die Zukunftagentur Brainshell wurde der Koaxiale Faltenbalgzylinder inzwischen als Europäische Patentanmeldung eingereicht [2].

6 Ausblick

Die konstruktive Weiterentwicklung des Koaxialen Faltenbalgzylinders zu einer Baureihe mit verschiedenen Nennweiten und Hüben sowie verschiedenen Normflanschanschlüssen wird der nächste Schritt zur Serienreife und industriellen Vermarktung sein. Diese Aufgabe wird die Technische Fachhochschule zusammen mit einem Industriepartner aus der Vakuumbranche bearbeiten, der auch die spätere Vermarktung realisieren kann. Im Fall der Patenterteilung und industriellen Vermarktung werden für die TFH Wildau Lizenzeinnahmen erwartet.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt der Firma Arc Precision GmbH Wildau, die nicht nur die anspruchsvolle Aufgabe stellte, sondern auch die materiellen Mittel zum Bau und Test von Funktionsmustern bereitstellte und mit wertvollen Hinweisen zum Gelingen der Aufgabe beitrug.

Referenzen

- [1] Pahl, Beitz, Konstruktionslehre, Springer Verlag Heidelberg 2005
- [2] Patentanmeldung P5I90EP00, eingereicht am 04.07.2007
- [3] VAb: UHV Katalog 2004/2005, 25337 Elmshorn

Literatur

Pahl, Beitz, Konstruktionslehre, Springer Verlag Heidelberg 2005

Patentanmeldung P5I90EP00, eingereicht am 04.07.2007

VAb: UHV Katalog 2004/2005, 25337 Elmshorn

Autorin

Prof. Dipl.-Ing. Karin Siemroth

Technische Fachhochschule Wildau

FB Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Labor für Konstruktionstechnik

Tel. +49 3375 508-231

karin.siemroth@tfh-wildau.de

Datenerfassung und Visualisierung von Vitalparametern und Primärsignalen auf dem Computer und auf mobilen Endgeräten

Ralf Vandenhouten, Thomas Behrens, Miriam Selz

Zusammenfassung

In Kliniken besteht der Bedarf nach einer lückenlosen Aufzeichnung der Vitalparameter (z. B. Herzfrequenz, Blutdruck) und Primärsignale (z. B. EKG). Besonders in der Notfallmedizin ist eine ständige Patientenüberwachung lebensnotwendig. Zudem dienen die erfassten Daten der aktuellen Patienten-Dokumentation, aber auch zur Analyse im Bereich der Forschung und für Studien. Für diesen Zweck wurde das Telematik-System »Multi-Patientenmonitoring« entwickelt. Dieses System dient der Datenerfassung, Signalvisualisierung und Echtzeitübertragung von Vitalparametern an beliebig viele PCs und mobile Geräte des Krankenhausnetzwerkes.

Motiviert durch das Universitätsklinikum Tübingen wurde das Projekt von der Wildauer Firma ixellence initiiert und in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit medizinischen Einrichtungen, dem Fachgebiet Telematik an der TFH Wildau und der Philips Medizin-Systeme GmbH realisiert.

Abstract

Hospitals need a complete recording of vital parameters (e.g. heart frequency, blood pressure) and primary signals (e.g. ECG). Especially in intensive care units the permanent monitoring and the recording of the current status of the patient is vital. Furthermore, these data are useful for the patient documentation and in fields of research and studies. For this purpose a multi-monitoring system was developed. This system provides the data acquisition, signal visualization and real time transmission of vital parameters to PCs and mobile devices in the hospital network. With this system it is possible to get a fast overview of the current patient status and its history. Furthermore physicians can monitor the patients mobile and in real time.

The project was developed in co-operation with medical research facilities, the Chair of Telematics at the University of Applied Sciences in Wildau, and with the companies Philips Medical Systems and ixellence.

1 Überblick und Funktionsweise

In Kliniken besteht der Bedarf nach einer lückenlosen Aufzeichnung der Vitalparameter (z. B. Herzfrequenz, Blutdruck) und Primärsignale (z. B. EKG). In Verbindung mit einer entsprechend visualisierten Darstellung unter Einbeziehung der Historie soll diese einen schnellen Überblick zur Beurteilung des aktuellen Patientenstatus liefern. Nach einer Aufzeichnung der Daten über einen längeren Zeitraum sollen außerdem retrospektiv einzelne Ereignisse genauer analysiert oder langzeitarchiviert werden können.

Das hier vorgestellte plattformunabhängige Telematik-System für das Patientenmonitoring ist darauf ausgerichtet, diese Anforderungen zu erfüllen. Es liest Daten von Überwachungsmonitoren aus, wertet diese aus, visualisiert und archiviert sie. Insbesondere ist es mit dem ergänzenden Monitoring-System nun möglich, hochauflösende Vitalparameter-trends darzustellen und zurückliegende Abschnitte von Primärsignalen zu inspizieren. Die ausgelesenen Daten werden dem Anwender ortsunabhängig und zu jedem Zeitpunkt über das lokale Netzwerk sowie im Falle mobiler Einheiten über WLAN

zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe einer entsprechend visualisierten Darstellung wird ein schneller Überblick über den aktuellen Status des Patienten, über Trends oder historische Werte geliefert.

Bei der Datenvisualisierung kann, neben einer Trenddarstellung der Vitalparameter, zu jedem beliebigen Zeitpunkt mittels einer Zoomfunktion auf die Primärsignale zurückgegriffen werden. Für die historische Sicht werden die anzuzeigenden Daten aus der zentralen Datenbank geladen. Damit die Primärsignale kontinuierlich aktualisiert angezeigt werden können (Echtzeitübertragung), werden die aktuellen Daten nicht zeitverzögert aus der zentralen Datenbank geladen, sondern direkt vom zentralen Datenerfassungsmodul geholt. Die Applikation für mobile Endgeräte (wie PDAs) ermöglicht zudem die Ausgabe akustischer Alarme.

Der Arzt ist mit diesem System in der Lage, seine Patienten umfassend zu überwachen. Er kann von jedem Ort im Krankenhaus den Zustand des Patienten einsehen. Besonders auf Intensivstationen und im Bereich der Altenpflege kommt das mobile Patientenmonitoring-System sinnvoll zum Einsatz. Bei der Betreuung der extrem pflegeintensiven Patienten ist ein agiler und flexibler Per-

sonaleinsatz unerlässlich. Die mobile Überwachung mit dem PDA kann diese Arbeit erheblich unterstützen. Des Weiteren lassen sich durch Aufzeichnung der Daten über einen längeren Zeitraum nachträglich einzelne Ereignisse genauer analysieren. Diese Daten werden zum einen für die aktuelle Patienten-Dokumentation, zum anderen aber auch vermehrt im Bereich der Forschung genutzt.

2 Aufgabe

Die Aufgabe bestand darin, Patientendaten hochauflösend und in Echtzeit direkt auf dem PC zu visualisieren und zu speichern. Um ein Multi-Patientenmonitoring und die Fernvisualisierung zu ermöglichen, sollte das lokale Netzwerk (LAN und WLAN) genutzt werden. Zudem sollte aber auch eine direkte Verbindung zu den Überwachungsgeräten aufgebaut werden können [12].

Mit der Entwicklung einer mobilen Komponente sollte der aktuelle Status eines Patienten auch auf einem PDA beobachtet werden können.

Speziell im intensivmedizinischen Bereich, zur Führung einer Narkose und zur Überwachung von Intensivpatienten, ist es neben der Anzeige der aktuell gemessenen Primärsignale und Vitalparameter notwendig, auch Verläufe von Vitalparametern, sog. Trends, zu beurteilen [13, 14]. Moderne Überwachungsmonitore erlauben die Kontrolle der wichtigsten Vitalparameter in unmittelbarer Nähe des Patientenbetts, sind aber in ihren Darstellungsmöglichkeiten begrenzt. Zudem stellen sie reine Überwachungsgeräte dar und speichern Patientendaten nur über maximal 48 Stunden und in geringer Abtastrate [1]. Besteht eine Vernetzung der Monitore, inklusive einer zentralen Überwachungsanlage, sind Aufzeichnungen bis zu 96 Stunden möglich. Zur Erfüllung der Beweispflicht bei unvorhergesehenen Ereignissen ist aber auch dies u. U. nicht ausreichend. Hier ist es erforderlich, hochauflösende Daten über längere Zeiträume zur Weiterverarbeitung abspeichern zu können und in Einzelfällen die in diesem Zusammenhang angefallenen Informationen zu analysieren oder auszudrucken.

Es besteht die Möglichkeit, Daten aus der Überwachungsanlage über eine HL7-Schnittstelle (Health Level 7) auszulesen. HL7 ist ein internationaler Standard für den Datenaustausch im Gesundheitswesen [2], unterstützt aber nur die Übertragung von Signalen mit niedriger zeitlicher Auflösung und überträgt diese nur alle zehn Sekunden. Eine Archivierung hochauflösender Daten und ein Review sind somit nicht möglich [3, 4].

Zusammengefasst waren folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Erfassung, Speicherung und Visualisierung von Vitalparametern und Primärsignalen
- Plattformunabhängigkeit
- Client/Server-Architektur
- Zentrale/dezentrale Datenerfassung
- Zentrale Speicherung der erfassten Daten
- Unabhängige Client-Anwendung zur Visualisierung und Auswertung der Daten
- Datenschutz: Zugriffsverwaltung benutzerorientiert

3 Architektur und System

Für die Vernetzung der Komponenten wurde ein WWW- und WAP-basiertes Telematik-System zur Unterstützung der Fernüberwachung und -steuerung von vernetzten Geräten zugrunde gelegt, das im Rahmen eines Forschungsprojektes im Fachbereich Telematik der TFH Wildau entwickelt worden war [8].

Um sowohl eine Einzelplatzlösung als auch eine Mehrplatzlösung mit verteilter Last zu erreichen, war es wichtig, dass die drei Ebenen der Datenverarbeitung (Datenerfassung, -speicherung und -visualisierung) strikt voneinander getrennt sind.

Hierdurch lässt sich flexibel sowohl ein Einzelplatzsystem, bei dem alle drei Komponenten auf einem Rechner laufen, als auch ein verteiltes Mehrplatzsystem (Abb. 1) aufbauen, bei dem neben mehreren Client-Instanzen des Anwenderprogramms auch eine flexible Anzahl von Patientenmonitoren eingebunden werden kann. Die einzelnen Komponenten müssen sich kooperativ mit anderen Anwendungen auf dem jeweiligen Rechner die lokalen Ressourcen teilen. Dies gilt auch für die Netzwerkbelastung.

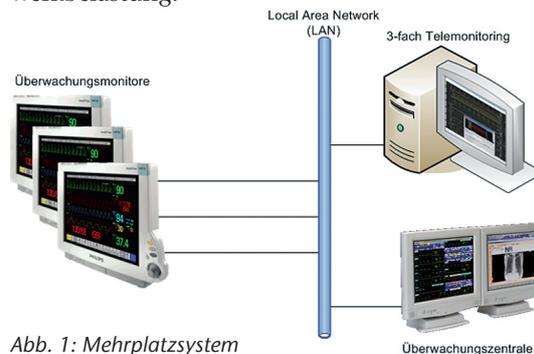


Abb. 1: Mehrplatzsystem

Zunächst wurde eine Software-Architektur für das System konzipiert, die aus einem Schichtenmodell mit fünf Schichten besteht (Abb. 2). [6, 10] Ziel dabei war, flexibel unterschiedlichste Endgeräte einbinden zu können. Zu den Geräten gehören solche, die eine Verbindung zu einem Computer haben und deren Daten ausgewertet und/oder aus der Ferne visualisiert werden sollen, im vorliegenden Fall Patientenmonitore.

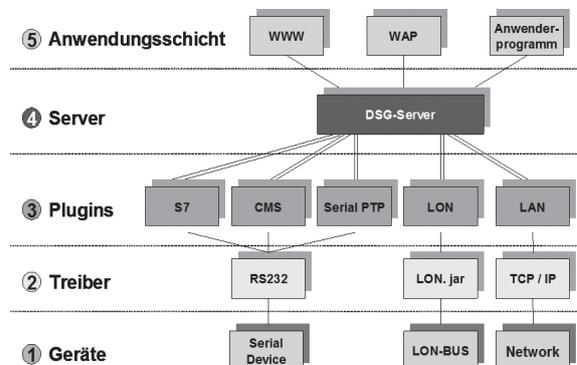


Abb. 2: Schichtenmodell des Systems

Die Treiber sind für die Anbindung der Geräte an die Software über eine Hardwareschnittstelle verantwortlich, zum Beispiel über RS232 (serielle Schnittstelle) oder TCP/IP.

Um Daten aus den Geräten zu lesen, werden (in der Regel proprietäre) Protokolle verwendet. Diese Protokolle sind für verschiedene Geräte unterschiedlich und sowohl vom Hersteller als auch von der Art und der Menge der gelieferten Daten abhängig. Die Plug-Ins kommunizieren mit den Geräten über deren Protokolle und konvertieren die Daten in allgemeine Datenstrukturen, die der Server verarbeiten kann. Für die unterschiedlichen Geräte werden demzufolge verschiedene Plug-Ins benötigt. Die Plug-In-Schicht macht die spezifischen Eigenheiten einzelner Geräte für den Server transparent.

Der Server ist das Kernstück des Systems. Dieser verwaltet die Daten der Geräte und stellt die Benutzerschnittstellen bereit, über die die Daten geschrieben und gelesen werden können.

In der Anwendungsschicht werden die Daten visualisiert. Das kann das Darstellen von Messdaten, Zeitreihen oder mehrdimensionalen Messdaten sein.

4 Datenerfassung und Speicherung

Die unabhängige Datenerfassung unterstützt folgende Szenarien:

1. zentrale Datenerfassung von einem oder mehreren Überwachungsgeräten mit lokaler Datenspeicherung (Abb. 4)
2. dezentrale Datenerfassung von einem bzw. mehreren Überwachungsgeräten mit zentraler Datenspeicherung. (Abb. 3)

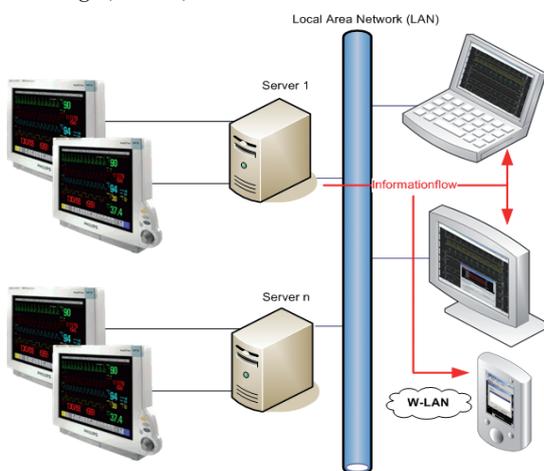


Abb. 3: Netzwerklösung mit lokaler Speicherung

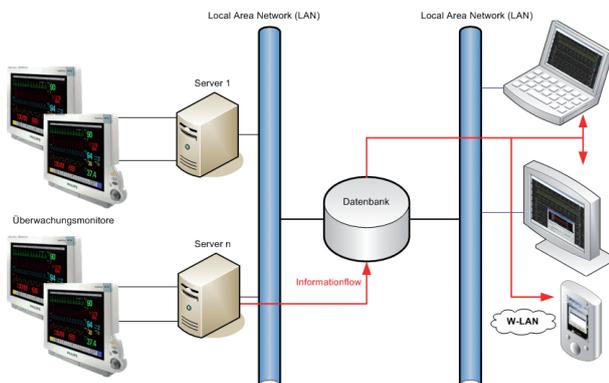


Abb. 4: Zentrale Datenbankspeicherung

Die Daten stellt der Überwachungsmonitor z. B. über seine serielle Schnittstelle (RS232) zur Verfügung. Die Daten sind vom Typ »numeric« (Daten mit niedriger zeitlicher Auflösung, die am Patientenmonitor numerisch angezeigt werden) oder »wave« (Daten mit hoher Abtastrate, die als Kurven visualisiert werden), die Übertragungsrate beträgt 115200 bps. Da die Abtastintervalle der hochauflösenden wave-Signale im Millisekundenbereich liegen, ist die Anzahl der synchron erfassbaren Signale vom Monitor bzw. dessen Schnittstelle her begrenzt. So können maximal 12 wave-Signale (z. B. EKG oder Blutdruck), und alle numerischen Signale (wie z. B. Puls oder CO₂-Konzentration im Blut) zur selben Zeit erfasst werden.

Die Signale haben die folgenden Abtastraten:

- ein normales EKG-Signal (wave): 2 ms
- ein zusammengesetztes EKG-Signal (wave): 4 ms
- ein nicht-EKG wave-Signal, wie Blutdruck: 8 ms oder 16 ms

- ein numerisches Signal (numeric): 1 s

Beim Speichern der Signale ergeben sich daraus die folgenden Datenmengen nach einer Stunde:

- ein normales EKG-Signal: ca. 7,5 MB
- ein zusammengesetztes EKG-Signal: ca. 4 MB
- ein nicht-EKG Wave-Signal: ca. 2,25 MB (8 ms), ca. 1,35 MB (16 ms)
- ein Numeric-Signal: ca. 125 KB

Die Erfassung und Archivierung der Signale mit hoher Abtastrate (wave) in ihrer höchstmöglichen Auflösung sind für die Anwender von großer Bedeutung, insbesondere für Analysezwecke und für die Beweispflicht. Für die Entwicklung des Systems stellten diese Datenmengen für die Performance (Übertragungsgeschwindigkeit, Datenverarbeitung und -speicherung) eine große Herausforderung dar, insbesondere im Hinblick auf das Datenbanksystem (Kapitel 5.2.1).

5 Anwenderprogramm

5.1 Datenvisualisierung

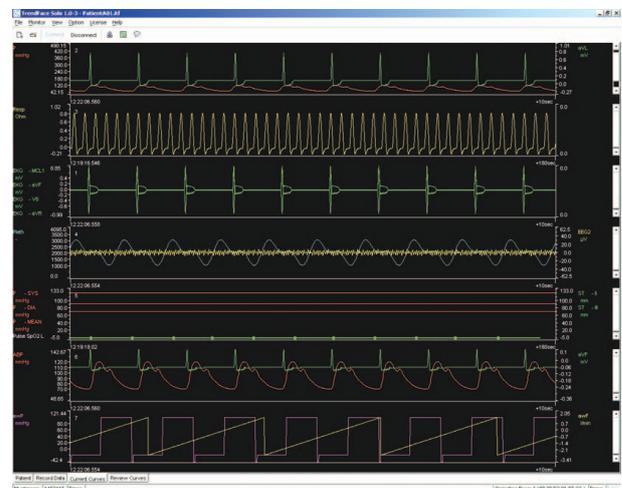


Abb. 5: Screenshot des Anwenderprogramms auf dem PC, Visualisierung der Echtzeitdaten

Bei der Datenvisualisierung kann neben einer Trenddarstellung der Vitalparameter (Abb. 5) zu jedem beliebigen Zeitpunkt auch auf die Primärsignale zurückgegriffen werden. Die anzuzeigenden Daten, aktuelle oder historische, können aus der zentralen Datenbank oder direkt vom lokalen Datenerfassungsmodul geladen werden. Das Anwenderprogramm zeigt beim Start automatisch die Daten für einen bestimmten Patienten bzw. ein Bett an. Da die Patientenmonitore »Citrix-fähig« sind, d. h. entfernte Applikations- und Terminalserver-Anwendungen starten und nutzen können, bestand zudem die Forderung, das Telemonitoring-Programm an diese Funktionalität anzupassen. Deshalb ist ein flexibler Aufbau des vernetzten Systems realisiert worden, bei dem die webfähige Anwendung auch direkt vom Patientenmonitor gestartet werden kann. Die Daten können von hier aus erfasst und in der zentralen Datenbank (Abb. 4) archiviert werden.

5.2 Funktionen

Die Art der Signaldarstellung ist vielfältig konfigurierbar. Beim nächsten Programmstart werden die letzten Einstellungen automatisch wiederhergestellt. Für einen Wechsel zwischen verschiedenen Betriebsmodi können komplette Einstellungsprofile gespeichert werden. Wenn die Erfassung an das lokale Netzwerk angeschlossen wird, gibt die Anwendung die Möglichkeit, Patientendaten gleichzeitig an mehreren Rechnern auszuwerten. Man sieht an einem Rechner alle an das lokale Netzwerk angeschlossenen Patientenmonitore.

5.2.1 Funktionsumfang der Einzelplatzlösung

Die wichtigsten Funktionen der Einzelplatzlösung sind:

- Aufzeichnen der Vitalparameter und Primärsignale
- Darstellung des aktuellen Status des Patienten
- periodische Abfrage der zu liefernden Daten
- retrospektive Sicht auf lokal archivierte Daten
- Exportieren der Daten in das universelle CSV-Format
- Trend-Aufzeichnung über einen längeren Zeitraum und Analyse mit Datenanalysetools

5.2.2 Funktionsumfang der Netzwerklösung

Zur Einzelplatzlösung kommen bei der Netzwerklösung folgende Funktionen hinzu:

- Sicht auf die zurückliegenden Patientendaten
- Multi-Monitoring – ein Patient/Bett zu mehreren PCs oder Monitoren (Citrix-fähige Anwendung)
- Verbindung mehrerer PCs über das lokale Netzwerk
- Patientendaten können gleichzeitig an mehreren Rechnern ausgewertet werden
- Sicht auf die aktuellen Daten auch auf dem PDA (Abb. 6)
- einfache Migration zur Datenbankversion

5.2.3 Funktionsumfang der Datenbanklösung

Um die Daten zu archivieren, wurden zwei Möglichkeiten geschaffen, zum einen eine dateibasierte Datenbank und zum anderen eine relationale SQL-Datenbank. Beide Möglichkeiten haben Vor- und Nachteile. Die dateibasierte Datenhaltung ist genau auf die Anforderungen und

Daten der Telemonitoring-Applikation zugeschnitten. So können die Daten effektiv und performant geschrieben und gelesen werden. Zudem ist der Speicherplatzbedarf darauf optimiert. Die Werte der Kurven werden nicht jeweils mit Zeitstempel gespeichert, sondern blockweise, so dass nur ein Zeitstempel und die Zeitabstände zwischen den einzelnen Werten in einem Block vorhanden sind.

Da dieses System aber proprietär und somit schlecht oder umständlich von externen Anwendungen auszuwerten ist, können die Daten alternativ auch in einer relationalen SQL-Datenbank gespeichert werden. Die relationalen SQL-Datenbanken können nicht 100-prozentig auf das Telemonitoring-System zugeschnitten werden, so sind gegenüber der dateibasierten Datenbank ein höherer Speicherplatzbedarf und Prozessorleistungsbedarf erforderlich. Die Daten können aber von externen Systemen mit dem veröffentlichten ER-Modell gelesen und ausgewertet werden. Weiterhin bieten SQL-Datenbanken Transaktionssicherheit und Backupmechanismen, die eine größere Robustheit des Systems gewährleisten.

Um die Performance der SQL-Datenbank zu verbessern, wurden während der Entwicklung einige Performance-tests mit unterschiedlichen ER-Modellen und SQL-Datenbanken durchgeführt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Werte der Wave-Kurven auch, wie bei der dateibasierten Datenbank, blockweise gespeichert werden müssen. Dafür werden in der Datenbank BLOB-Datentypen verwendet. Die einzelnen Werte werden binär und sequentiell in einem Datensatz (Zeitstempel, Anzahl Werte, Zeitintervall zwischen den Werten) gespeichert. Gegenüber der Verwendung eines »normalen« Datentyps, wie z. B. »float«, sind die Performance ca. zehnmal langsamer und der Speicherplatzbedarf um einiges höher, da zu jedem Wert der Zeitstempel und mindestens die Referenz zu dem Patienten gespeichert bzw. gelesen werden muss.

6 PDA-Software

Um Signale auch auf mobilen Geräten bereitstellen zu können, wurde eine prototypische Java-Applikation für PDAs mit entsprechender drahtloser Anbindung an das System entwickelt (Abb. 6). Im Gegensatz zum stationären Telemonitoring, bei dem die Langzeitarchivierung eine wichtige Rolle spielt, stand bei der mobilen Anwendung die aktuelle Überwachung der Patienten im Vordergrund, die besonders im intensivmedizinischen Bereich von Bedeutung ist.

Das mobile System ist über das interne lokale Funknetz (WLAN, Standard IEEE 802.11b) mit dem Server verbunden. Mit Hilfe des Servers werden die Verbindung zur hausinternen Infrastruktur (über LAN) hergestellt und die erfassten Daten übertragen, um auf dem PDA visualisiert werden zu können. Der Zugriff vom PDA auf die Daten des Servers erfolgt über RMI (Remote Method Invocation).

Von großer Bedeutung für die Anwender war eine handhabbare und benutzerorientierte Anwendung und Darstellung auf dem PDA. Deshalb wurden in enger Zu-



Abb. 6: Bild der mobilen Lösung

sammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Tübingen nur ausgewählte Funktionen in die mobile Anwendung übernommen. Dem mobilen Anwender stehen die Daten und Signale der an den Monitoren angeschlossenen Patienten über WLAN zur Verfügung. Die Patienten werden anhand des Monitornamens ausgewählt (li. Screenshot Abb. 7). Anschließend können die gewünschten Signale aus einer Liste ausgewählt werden. Der dritte Screenshot der Abb. 7 zeigt die Visualisierung der ausgewählten Signale.

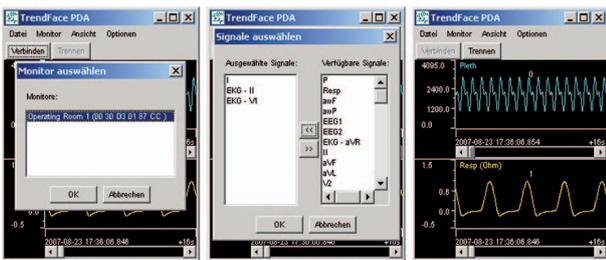


Abb. 7: Screenshots der mobilen Lösung

Eine Besonderheit der mobilen Anwendung ist die akustische Ereignismeldung. Das Programm holt sich auch die Alarmer der Monitore (= wichtige Ereignisse) vom Server. Entsprechend akustisch hinterlegt, werden diese Ereignisse und ihre mögliche Ursache angezeigt. Tritt ein Monitor-Ereignis ein, werden die ursächlichen Signale in der Datenbank bis zur Bestätigung des Alarms direkt am Patientenmonitor gespeichert. Dies hilft dem Arzt, Ereignisse im Review genauer zu analysieren.

7 Kooperation, Technologietransfer und Weiterentwicklung

Der Weg zur Softwarelösung war durch eine enge Abstimmung zwischen der TFH Wildau und den Partnern ixellence, Philips Medizin-Systeme und der Uniklinik Tübingen geprägt. Nur so konnte sichergestellt werden, dass ein System entwickelt wurde, das den Anforderungen der Kliniken gerecht wurde und sich in der Praxis bewährt.

Der Studiengang Telematik der TFH Wildau und ixellence kooperieren schon seit einiger Zeit in verschiedenen Forschungsprojekten. Aus der erfolgreichen Zusammenarbeit entwickelte sich auch dieses nationale

Drittmittelprojekt. Hierbei entwickelte das Fachgebiet Telematik das mobile System und unterstützte ixellence bei der Entwicklung einer geeigneten Architektur und der Datenbank.

Der Studiengang Telematik beschäftigt sich mit der Entwicklung von Telematiksystemen, darunter mobile Systeme und Anwendungen für den Businessbereich, auch mit handelsüblichen Funktelefonen. Zudem besteht Expertise mit verschiedenen Verfahren in der Bildverarbeitung und Datenanalyse [5] [9]. In diesem Bereich hat sich eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen regionalen und nationalen Unternehmen und dem Fachgebiet Telematik der TFH Wildau etabliert.

Die TFH Wildau ist seit 2004 als Aussteller innovativer Systeme auf dem Technologie-Tag in Teltow vertreten. Dort wurde das Patientenmonitoring-System im März 2007 vorgestellt.

ixellence ist schon seit einigen Jahren offizieller Praxispartner des Telematik-Studienganges und bietet Studierenden die Möglichkeit, theoretisch Erlerntes praxisnah umzusetzen. Während der Praxisabschnitte konnten vier Studenten mit Entwicklungsaufgaben aus diesem Projekt betraut werden.

Die Durchführung dieses Projektes und die daraus entstandene enge Beziehung zwischen den beteiligten Partnern sind ein Beispiel für die erfolgreiche Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. 2005 begann das Gesamtprojekt und wird von ixellence in Zusammenarbeit mit dem Studiengang Telematik stetig weiterentwickelt. So wird gegenwärtig die Weiterentwicklung durch eine Masterarbeit unterstützt. Darin wird untersucht, welche neuen Software-Technologien das Telemonitoring-System noch flexibler und skalierbarer machen können. Neue Anforderungen, wie die Vernetzung von bis zu 200 Monitoren oder die Anbindung von Monitoren unterschiedlichen Typs, waren Anlass für diese Überlegung.

8 Zusammenfassung

Bei der Entwicklung der Applikationen wurde konsequent auf moderne und leistungsfähige Technologien gesetzt. Das Monitoring-System ist modular und wurde in der plattformunabhängigen Sprache »Java« entwickelt.

Es wurde ein Telematik-System entwickelt, das die Fernüberwachung und -steuerung von vernetzten Geräten unterstützt und die Sicht auf aktuelle sowie historische Patientendaten zulässt, ob vom PC, PDA oder vom Monitor aus, ob über LAN, WLAN oder Internet.

Innerhalb eines Netzwerkes richten lokale PCs Anfragen an den Server. Der Server sendet die Daten über das TCP/IP-Protokoll zum Client. Das System bietet ein Multi-Monitoring über PC, Laptop oder PDA, mit dem der Arzt alle an das lokale Netzwerk angeschlossenen Patientenmonitore sehen und überwachen kann. Zudem können die Patientendaten gleichzeitig an mehreren Rechnern ausgewertet werden. Das medizinische Personal hat damit von jedem Ort im Krankenhaus, oder sogar von außerhalb, mobilen oder stationären Zugriff auf alle Vitaldaten.

Referenzen

- [1] Agilent Technologies Deutschland GmbH, Users Guide Agilent Monitors, Agilent Measurement Server and Agilent Measurement Server Extensions, 2000
 - [2] Approved American National Standard (ANSI), Health Level Seven Inc., HL7 Messaing Standard Version 2.5, 2003
 - [3] Koninklijke Philips Electronics N.V., »IntelliVue« Patient Monitor, Data Export Interface Programming Guide, 2003
 - [4] Philips Medical Systems, HL7 Parameter Data Interface Programmer's Guide, Standard HL7 Version 2.3.1
 - [5] Vandenhouten, R., Analyse instationärer Zeitreihen komplexer Systeme und Anwendungen in der Physiologie (Analysis of instationary time series of complex systems and applications in physiology), Shaker-Verlag 1998
 - [6] Vandenhouten, R., Qualitäts- und Ressourcenmanagementsystem für die Produktion auf der Basis von WWW und WAP, Innovationskatalog 2003, BMWA 2003
 - [7] Vandenhouten, R./Selz, M., Identification and tracking of goods with the mobile phone, IEEE International Conference: International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2007), 2007
 - [8] Vandenhouten, R./Behrens, T., Ein Gatewaysystem für telematikbasiertes Gerätemonitoring, Wissenschaftliche Beiträge der Technischen Fachhochschule Wildau 2004
 - [9] Vandenhouten, R./Behrens, T./Selz, M., Multi-Telemonitoring: Datenerfassung und Aufzeichnung von Vitalparametern und Primärsignalen auf dem PC oder PDA, 2006, Themenspecial Telematik im Gesundheitswesen, Competence Site/BITKOM, 2006
 - [10] Behrens, T., Entwicklung eines Gatewaysystems für WWW- und WAP-basiertes Gerätemonitoring, Diplomarbeit TFH Wildau/Universität Potsdam, 2003
 - [11] Sun Microsystems, The Java API: RMI, <http://java.sun.com/j2se/1.4/docs/api>
 - [12] Bleicher, W., Lastenheft Projekt Trendface, Version 1.3. Universitätsklinikum Tübingen, Medizinische Informationstechnologie, 2006
 - [13] Bleicher, W., Epple, Überlegungen zur Alarmgebung in der Intensivmedizin und in der Narkoseüberwachung, Anästh. Intensivther. Notfallmed. 21 132-136, 1986
 - [14] Bleicher, W. et al, Artifact Processing in a Computerized Intensive Care Unit, Comp. Crit. Care Pulm. Med., Springer. 107-115, 1985
- Bleicher, W. et al. Artifact Processing in a Computerized Intensive Care Unit. Comp. Crit. Care Pulm. Med., Springer. 107-115, 1985
- Bleicher, W., Epple, Überlegungen zur Alarmgebung in der Intensivmedizin und in der Narkoseüberwachung, Anästh. Intensivther. Notfallmed. 21 132-136, 1986
- Bleicher, W., Lastenheft Projekt Trendface, Version 1.3. Universitätsklinikum Tübingen, Medizinische Informationstechnologie, 2006
- Koninklijke Philips Electronics N.V., »IntelliVue« Patient Monitor, Data Export Interface Programming Guide, 2003
- Philips Medical Systems, HL7 Parameter Data Interface Programmer's Guide, Standard HL7 Version 2.3.1
- Sun Microsystems, The Java API: RMI, <http://java.sun.com/j2se/1.4/docs/api>
- Vandenhouten, R./Behrens, T./Selz, M., Multi-Telemonitoring: Datenerfassung und Aufzeichnung von Vitalparametern und Primärsignalen auf dem PC oder PDA, 2006, Themenspecial Telematik im Gesundheitswesen, Competence Site/BITKOM, 2006
- Vandenhouten, R./Behrens, T., Ein Gatewaysystem für telematikbasiertes Gerätemonitoring, Wissenschaftl. Beiträge TFH Wildau, 2004
- Vandenhouten, R., Qualitäts- und Ressourcenmanagementsystem für die Produktion auf der Basis von WWW und WAP, Innovationskatalog 2003, BMWA, 2003
- Vandenhouten, R./Selz, M., Identification and tracking of goods with the mobile phone, IEEE International Conference: International Symposium on Logistics and Industrial Informatics (LINDI 2007), 2007
- Vandenhouten, R., Analyse instationärer Zeitreihen komplexer Systeme und Anwendungen in der Physiologie (Analysis of instationary time series of complex systems and applications in physiology), Shaker-Verlag 1998

Literatur

- Agilent Technologies Deutschland GmbH, Users Guide Agilent Monitors, Agilent Measurement Server and Agilent Measurement Server Extensions, 2000
- Approved American National Standard (ANSI), Health Level Seven Inc., HL7 Messaing Standard Version 2.5, 2003
- Behrens, T., Entwicklung eines Gatewaysystems für WWW- und WAP-basiertes Gerätemonitoring, Diplomarbeit TFH Wildau/Universität Potsdam, 2003

Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten

Technische Fachhochschule Wildau
Fachgebiet Telematik
Tel. +49 3375 508-359
ralf.vandenhouten@tfh-wildau.de

Dipl.-Inform. Thomas Behrens

Miriam Selz, B. Eng.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Technische Fachhochschule Wildau
Fachgebiet Telematik
Tel. +49 3375 508-616
miriam.selz@tfh-wildau.de

Entwicklung eines Geschäftsmodells

Christian Halama, Nico Venske

Zusammenfassung

Durch die Anbindung von diversen Geräten, wie z. B. Mobiltelefonen, PDAs (Personal Digital Assistants), an das Internet und Technologien, wie WAP (Wireless Application Protocol), GPRS (General Packet Radio Service) und in weiterer Folge UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), wird der orts- und zeitunabhängige Zugriff auf Daten und Informationen ermöglicht. Viele Unternehmen wollen an diesen Chancen des M-Commerce partizipieren und tätigen deshalb enorme Investitionen. Wenn diese Investitionen rentabel sein sollen, dann ist eine realistische Betrachtung der Marktsituation, der Geschäftsmodelle und der Erfolgsfaktoren im M-Commerce unumgänglich.

Im Masterstudiengang »Telematik« wurde im Wintersemester 2006/07 das Fach Mobile Commerce unterrichtet. In der Vorlesung wurden von Prof. Dr. Bernd Eylert die zur Entwicklung eines Geschäftsmodells nötigen Schritte und Voraussetzungen behandelt. In der vorliegenden Arbeit wurde das vermittelte Wissen auf ein neuartiges Kameraüberwachungssystem für Wohnungen angewandt. In Zusammenarbeit mit Dr. Reiner Krämer (T-Systems) wurde eine Aufgabenstellung definiert, die zwei Schwerpunkte enthielt. Zum einen sollte eine Marktanalyse durchgeführt werden. Dafür wurden Konkurrenzprodukte und dessen Hersteller untersucht, deren Funktionen analysiert und die Preise ermittelt. Zum anderem sollte ein Businessmodell erstellt werden. Es bezieht sich auf die UMTS-Variante des Überwachungssystems und enthält die Betrachtung der technischen Lösung und die Berechnung des Businessmodells.

Abstract:

The connection of miscellaneous devices like portable phones, PDAs (Personal Digital Assistants) to the internet with technologies like WAP (Wireless Application Protocol), GPRS (General Packet Radio Services) and in further scope UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) makes it possible to access data and information time independent. Many business players want to participate at these new chances of the M-Commerce and therefore they encourage investments. If these investments should be profitable, a realistic contemplation of the market situation, the business models and the success-factors are absolutely necessary in the view of M-Commerce.

In the master study of »telematics« one of the subjects is Mobile Commerce. In the lecture from Prof. Dr. Bernd Eylert the development of a business model with all steps was mediated. In the present work, the mediated knowledge was applied to a new camera supervision system for apartments. In cooperation with Dr. Reiner Krämer (T-Systems) the design, which two main focuses contains, was defined. First a market analysis should be done. Steps were the finding of competition products and its manufacturer, analysing the functions and compare the prices in the market. In the second part, a business model should be produced. Also the UMTS variation of the supervision system, the contemplation of the technical solution and the calculation of the business model were parts of this.

1 Ausgangssituation und Begriffsdefinition

Der Markt für Informationstechnologien ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Durch die globale Vernetzung der wirtschaftlichen Beziehungen und Kommunikationswege ergeben sich für die Beteiligten im Geschäftsleben sowohl große Chancen als auch Risiken. Neben Electronic Commerce ist in letzter Zeit immer öfter der Begriff des Mobile Commerce in diversen Medien wahrzunehmen. Was ist unter diesen Begriffen zu verstehen?

Unter Electronic Commerce (E-Commerce), was frei übersetzt soviel wie »Elektronischer Handel« bedeutet, ist der Austausch von Gütern und Dienstleistungen über Rechnernetze, insbesondere das Internet, zu verstehen.

Ein Synonym dafür ist das Electronic Business (E-Business), was für »Elektronische Geschäfte« steht.

Schwieriger verhält es sich mit dem Begriff Mobile Commerce (M-Commerce), da er in der Literatur und Praxis unterschiedlich abgegrenzt wird. Nach Eylert versteht man unter Mobile Commerce jegliche Art von geschäftlichen Transaktionen, bei der die Transaktionspartner mobile elektronische Kommunikationstechniken, wie z. B. Mobilfunk, Wireless Lan oder Bluetooth, nutzen. Nach Wirtz wird unter dem Begriff Mobile Commerce die Anbahnung sowie die teilweise, respektive vollständige Unterstützung, Abwicklung und Aufrechterhaltung von Leistungsaustauschprozessen mittels elektronischer Netze und mobiler Zugangsgeräte verstanden.

2 Unternehmensprofil T-Systems

T-Systems ist ein international operierender Dienstleister für Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT). Das Unternehmen war bis Herbst 2007 neben T-Online, T-COM und T-Mobile eine der vier Säulen der Deutschen Telekom AG mit Sitz in Frankfurt am Main. Insgesamt beschäftigte T-Systems 2007 in 24 Ländern ca. 52.000 Mitarbeiter. Die Ausrichtung als ICT-Anbieter hat den Hintergrund, dass die Grenze zwischen der Informationstechnik (IT) und der Telekommunikation (TK) langsam verwischt und die Bereiche immer stärker verschmelzen.

Durch das angebotene Leistungsspektrum versteht sich das Unternehmen als »One-Stop-Shop« für die gesamte IT-Wertschöpfungskette ihrer Kunden zu positionieren, die von Telekommunikationsdienstleistungen bis hin zu IT-Services alles beinhaltet. Die Fachkunde des Unternehmens baut auf der Erfahrung, dem Spezialistenwissen und dem Streben nach »Top-Performance« auf.

2.1 Marktauftritt und Leistungsfähigkeit

»Nur starke Marken setzen sich auf dem ICT-Markt durch«. Mit dieser Aussage ist T-Systems Anfang 2005 nach der strategischen Neuausrichtung der Deutschen Telekom AG als Marke des Konzerns neu gestartet. Als großer »Startup« im ICT-Bereich hat sich T-Systems auf der Basis strategischer Überlegungen und fundierter Marktstudien für einen klaren und konsistenten Auftritt mit der Metapher »High-Tech Segeln« entschieden. Auf diese Weise erreicht das Unternehmen kontinuierlich eine hohe Wiedererkennung und einen einzigartigen »Fit« von Bild- und Wertewelt für die Marke T-Systems. Als Geschäftskundenmarke der Deutschen Telekom ist das Unternehmen eng mit der T-Marke verzahnt und differenziert sich über die Zielgruppe und deren Bedürfnisse und Interessen. Ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit von T-Systems ist das Argus-Überwachungssystem. Das System wurde auf Wunsch des Unternehmens durch einen Zulieferer hardwaretechnisch entwickelt und bereitgestellt. Als Gegenleistung bot T-Systems dem Sicherheitsunternehmen einen Vertrag als fester Zulieferer, was besonders für kleine Unternehmen einen großen Erfolg darstellt. So können diese Unternehmen einerseits damit werben, für T-Systems tätig zu sein, und andererseits feste Aufträge einplanen. Die softwareseitige Anbindung des Überwachungssystems entwickelte T-Systems selbst.

2.2 Marktauftritt Argus

Wie bereits angedeutet, wird das Argus-Überwachungssystem von T-Systems nicht direkt an den Endkunden vertrieben. Das Sicherheitssystem wird sich dem privaten Endkunden am Markt über Internet-Service-Provider und andere Sicherheitsunternehmen präsentieren. Das sind die Geschäftspartner der T-Systems. Bei erfolgreicher Umsetzung des Sicherheitssystems steht T-Online

als Vertriebspartner bereits jetzt fest. Weitere Gespräche mit Freenet, 1&1 u. v. m. sind geplant. Die Provider werden versuchen, einen neuen Zusatzdienst zu verkaufen, mit dem sie Neukunden gewinnen können.

Durch den erhöhten Traffic auf ihren Datenleitungen könnten auch Nutzer von Zeit- oder Volumentarifen zum Wechsel auf eine Flatrate überzeugt werden. Für Sicherheitsunternehmen bieten sich neue Möglichkeiten durch den Vertrieb von Low Cost-Sicherheitssystemen, für die sie einen »Rundum-Service« anbieten können. Dieser Service könnte z. B. die Beschaffung des Breitbandanschlusses, die Montage und Einstellung des Gerätes und einen ständigen Kundenservice beinhalten.

3 Wettbewerb

Um das Überwachungssystem Argus im Sicherheitsmarkt richtig positionieren zu können, müssen Konkurrenzprodukte und dessen Hersteller genau analysiert werden. Dazu wurden alle relevanten Überwachungssysteme, welche mit Argus vergleichbar sind, ermittelt und anhand von Funktionen und Parametern einander gegenübergestellt. Von einem Hersteller werden meist mehrere Produkte mit unterschiedlichen Leistungsmerkmalen angeboten. Aus der Vielfalt aller ermittelten Produkte sind die Leistungsfähigsten mittels einer detaillierten Untersuchung weiter zu analysieren.

Der Detailuntersuchung (siehe Tab. 1) ist neben den ausgesuchten Geräten noch eine Kombination aus einer einfachen Kamera und der Überwachungssoftware go1984 hinzugefügt. go1984 ist eine professionelle, für Netzwerkanwendungen konzipierte Überwachungssoftware, mit der es möglich ist, verschiedene Kameras zu verwalten, zu steuern und zu überwachen. Eine Bewegungserkennung und Alarmierung ist ebenfalls integriert und lässt sich komfortabel bedienen. Nachteilig ist bei der Software, dass ein PC im Netzwerk notwendig ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Bereich der Netzwerkanbindungen (W-LAN/ LAN) der Kameras ein breites Spektrum an Endgeräten existiert. Die untersuchten Geräte bieten alle wichtigen Grundvoraussetzungen, um eine Videoüberwachung von Räumen durchzuführen. Sie unterscheiden sich nur in der Qualität (Methodik) der Bewegungserkennung sowie in der Integration von weiteren Sensoren und der Anschlussmöglichkeit externer Sensorik. Durch die Vergabe einer dynamischen DNS kann man aus dem kompletten WWW via Browser auf die Kamera zugreifen. Das ermöglicht einen einfachen und unkomplizierten Zugang zu Livedaten von der Kamera. Der Wettbewerberbereich für Lösungen mittels Kommunikation über Mobilfunk ist sehr übersichtlich. Lediglich die Kamera PT-6 von Nokia erfüllt die gewünschten Anforderungen. Die Kommunikation erfolgt über GPRS und bringt neben E-Mail auch eine Option zur MMS-Benachrichtigung mit. Die Steuerung der Kamera erfolgt per SMS.

Hersteller	Nokia	D-Link	Panasonic	AXIS	Allnet	logiware	Kombintion
Gerät	PT-6	DCS-5300G	BL-C30	212 PTZ	2250	go1984 pro	
Alarmauslösung							
Bewegungssensor	ja	nein	ja	ja	nein	nein	nein
Videovergleich	nein	ja	nein	nein	ja	ja	ja
Thermosensor	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Geräuschpegelerkennung	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein
Externe Eingänge	nein	nein	nein	ja	nein	unterstützt	unterstützt
Signalisierung							
SMS	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
MMS	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
FTP	nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja
E-Mail	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Externe Ausgänge	nein	nein	nein	ja	nein	unterstützt	unterstützt
						zusätzlich: Soundausgabe, Anruf (ISDN), Start ext. Programme	
Kommunikation							
Powerline	nein	nein	nein	nein	nein	k.A.	
GPRS/UMTS	ja	nein	nein	nein	nein	k.A.	
WLAN	nein	ja	ja	nein	ja	k.A.	
Ethernet	nein	ja	ja	ja	ja	k.A.	
Audio							
Mikrofon intern/extern	ja/nein	ja/ja	nein/nein	ja/ja	ja/ja	unterstützt	
Lautsprecher intern/extern	nein/nein	nein/nein	nein/nein	nein/ja	nein/nein	k.A.	
Zusätzl. Features							
Fernbedienung (scharf/unscharf)	per SMS	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Verzögerungszeit Scharfschaltung	sofort	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	programmabhängig	
Keopalivesignal	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Nachtsichtfunktion	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Bewegungssteuerung der Kamera	nein	ja	ja	ja	ja	unterstützt	unterstützt
Webserver auf Kamera integriert	nein	ja	ja	ja	ja	k.A.	ja
Videostreaming	nein	ja	ja	ja	ja	k.A.	ja
Preis	299,99 €	405,90 €	239,90 €	549,00€	179,90 €	349,00 €	528,90 €

Tab. 1: Detailvergleich der Geräte (alle Geräte sind in der kompl. Belegarbeit zu finden), Anm: Preise, Stand November 2006

4 Technische Planung

Immer mehr Haushalte in Deutschland sind von Einbrüchen betroffen. Um sich davor zu schützen bzw. das Sicherheitsgefühl zu erhöhen, benötigen diese Haushalte Überwachungssysteme. Diese sind meist teuer und müssen fest installiert werden, was in einer Mietwohnung zu Problemen führen kann. An dieser Stelle setzt der Grundgedanke des neuen Kamera Überwachungssystems Argus von T-Systems an. Argus soll kostengünstig, flexibel, leicht bedienbar, ohne großen Aufwand zu montieren sein und trotzdem einen hohen Funktionsumfang bieten.

4.1 Systemkonzept

Argus ist ein »Rund um die Uhr«-Überwachungssystem für jegliche Objekte, die überwacht werden sollen. Voraussetzung für die Nutzung sind ein Breitband-Internetanschluss und ein Computer zum Konfigurieren des Systems. Das Endgerät besteht aus einer Digitalkamera mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln, einem integrierten, passiven Infrarotbewegungsmelder, integrierten Infrarot-LEDs für die Nachtsichtfunktion, einer Alarm-

sirene und einer Fernbedienung. Die Verbindung zum Internet kann entweder über ein RJ45-Netzwerkkabel direkt am DSL-Router realisiert werden oder kabellos per WLAN-Funktionalität.

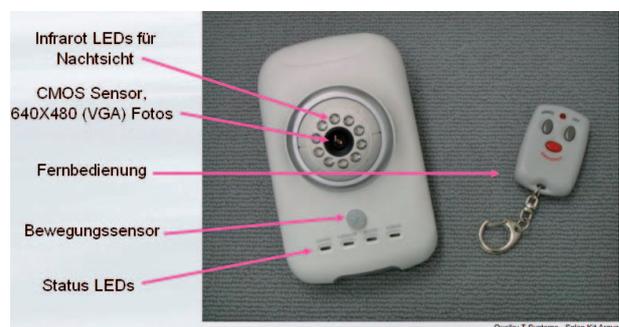


Abb. 1: Argus-Überwachungssystem inkl. Fernbedienung

Das Überwachungssystem stellt nach Anschluss des Routers und der Stromversorgung eine Verbindung zum Eventmanager her, der über eine Schnittstelle zum Secure Home Center von T-Systems verfügt. Nach dem ersten Anmelden des Sicherheitssystems beim Eventmanager sendet es im Minutentakt ein »Statussignal«, um die

Funktionsbereitschaft zu signalisieren. Wird dieses Signal nicht mehr gesendet, ist von einem Alarm auszugehen. Kommt es dazu bzw. schlägt der Bewegungsmelder an, wird vom Eventmanager das Secure Home Center von T-Systems benachrichtigt. Über eine Web-Oberfläche kann die Kamera vom Nutzer konfiguriert werden. Verschiedene Einstellungen, wie Alarmprofile, Benachrichtigungen bei Alarm und WLAN Sicherheitseinstellungen, können vom Nutzer vorgenommen werden. Des Weiteren ist es möglich, die Bilder von vergangenen Alarmen auszuwerten und weiter zu verarbeiten.

Der Nutzer benötigt zum Betreiben des Überwachungssystems einen DSL-Breitbandanschluss. Bilder der Überwachungskamera und Daten des Bewegungsmelders werden an das Alarm Monitoring Center von T-Systems übertragen. Dort ist es dem Nutzer möglich, aktuelle Informationen aus seiner Wohnung abzurufen. Registriert das Alarm Monitoring Center einen Alarm, wird dieser über einen vom Nutzer ausgewählten Kanal an ihn weitergeleitet. Durch die Benachrichtigung entsteht weiterer Traffic auf dem entsprechenden Kanal. Für beide Vertragsparteien entstehen Vorteile. Das bedeutet für den Nutzer des Systems ein höheres Gefühl von Sicherheit bei ständigem Einblick in seine Wohnung. Der Betreiber profitiert am Verkauf der Geräte (ca. 350 Euro/St.), an der monatlichen Grundgebühr von ca. 5 Euro, an der Erzeugung von (Netz-)Verkehr auf den Benachrichtigungskanälen, wie SMS und MMS, und als Anbieter von Breitband-Internetzugängen.

4.2 Systemkonzept UMTS-Variante

Neben dem bereits beschriebenen Argus-System mit Breitband-Internetanschluss (Variante 1) soll an dieser Stelle eine zweite Möglichkeit zur Realisierung aufgezeigt werden. Dabei werden die Daten des Überwachungssystems via UMTS an das Alarm Monitoring Center übertragen. Der Funktionsumfang des Systems wird dadurch nicht beeinflusst oder verändert. Der einzige Unterschied liegt im Übertragungsweg der Daten. Das Überwachungssystem sendet seine Daten via UMTS an den Betreiber. Der Mobilfunkanbieter kann dafür ggf. eine Grundgebühr und das Volumen der Daten berechnen, also ähnlich der Abrechnung eines Breitbandanschlusses eines Festnetzanbieters. Der Nutzer erhält, wie auch bei Variante 1, ein vollwertiges Überwachungssystem. Der große Unterschied liegt darin, dass durch den mobilen Breitbandanschluss jegliche Installationsarbeiten für den Nutzer entfallen, wodurch das Einrichten des Systems leicht zu bewältigen ist. Der Betreiber des Systems profitiert, wie auch bei Variante 1, von dem Verkauf der Geräte und dem erzeugten Verkehr durch die Benachrichtigung bei einem Alarm.

4.3 Kostenanalyse

Nachdem die stärksten Wettbewerber des Argus-Systems ermittelt wurden, soll das Produkt mit der besten Performance im Bereich Mobilfunk (Nokia PT-6) mit dem Argus-UMTS-Überwachungssystem verglichen werden.

Es stellt sich die Frage, ob ein solches System überhaupt rentabel ist. Als Referenz dient das Argus-System mit Breitband-Internetzugang. Betrachtet werden die Betriebskosten und eine definierte Anzahl von ausgelösten Alarmen. Für dieses Rechenbeispiel wird davon ausgegangen, dass pro Monat zehn Benachrichtigungen per MMS an den Nutzer gesendet werden. Dafür hat der Nutzer monatlich Betriebskosten laut Tab. 2 einzuplanen.

	Argus	Argus UMTS	Nokia PT-6
Grundgebühr für das System	4,95 €	4,95 €	keine
Grundgebühr Festnetzanschluss (anteilig)	10,00 €	keine	keine
Breitband-Internetanschluss (anteilig)	10,00 €	keine	keine
Grundgebühr SIM-Karte inkl. 30MB	keine	9,90 €	9,90 €
10x MMS Kosten	1,98 €	1,98 €	keine
Gesamt:	44,75 €	34,65 €	9,90 €

Tabelle 2: Kostenvergleich

Da das Nokia-System nur MMS bzw. kostenfreie E-Mails versenden kann, wird beim Vergleich mit dem Argus-System die MMS-Funktionalität herangezogen. Es ist nicht eindeutig bestimmbar, ob die 30 MB Freivolumen bei der Argus-UMTS-Version ausreichen, da die Daten nicht direkt an den Empfänger, sondern an das Event Center sendet. Festzustellen ist aber, dass die Mobilfunksysteme eindeutig günstiger sind als die Systeme mit einem Festnetzanschluss. Das liegt zum einen an den hohen Kosten für einen Breitbandanschluss (wurde nur anteilig berechnet) und zum anderen an der Einzelabrechnung der gesendeten MMS an den Nutzer. Für die Mobilfunkversionen gibt es von allen großen Mobilfunkanbietern Volumentarife, die mit GPRS oder UMTS genutzt werden können. Der Kostenvergleich zeigt aber auch, dass das System von Nokia im Preiskampf schwer zu schlagen sein wird. Es bietet zum einen den Vorteil, dass keine monatliche Grundgebühr für das System zu zahlen ist, und zum anderen, dass die gesendeten MMS in der Grundgebühr des bezahlten Datenvolumens enthalten sind. Das heißt, bei dem Nokia-System werden nur die tatsächlich entstanden MMS ohne Aufschlag abgerechnet. Beim Argus-System ist dies nicht der Fall. Da die MMS vom Service Center versandt werden, sind diese nicht über die Datenkarte in der Kamera abrechenbar und müssen einzeln bezahlt werden.

5 Geschäftliche Planung und Umsetzung

5.1 Marktanalyse

Durch den Verkauf von Sicherheitssystemen will T-Systems nicht nur am Markt für Sicherheitstechnik Fuß fassen, sondern auch Partnerunternehmen die Chance geben, sich am Markt für Breitband-Internetzugänge

weiter zu profilieren. Neben der Betrachtung dieser beiden Märkte wird als dritter Markt der Mobilfunkmarkt untersucht, um die Chancen für eine Argus UMTS Version zu prüfen.

5.1.1 Sicherheitsmarkt

Der Markt für Sicherheitstechnik erlebt zur Zeit einen Umschwung. Bis vor einigen Jahren wurden nur fest installierte »High-End« Alarmsysteme verkauft. Die Kosten dafür waren enorm hoch und eine Fernüberwachung nur schwer zu realisieren. Mit dem immer größer werdenden Sicherheitsbedürfnis der Menschen entschieden sich die Hersteller von Sicherheitsprodukten für die Entwicklung neuer, kostengünstigerer Lösungen.

Die Erwartungen der Kunden an ein solches System sind: einfache Handhabung, kostengünstige Anschaffung und Betreuung, schnelle Reaktion auf Ereignisse, effektiver Schutz, Möglichkeit der Fernsteuerung und ein vertrauenswürdigen Unternehmen als Ansprechpartner.

Statistiken zeigen, dass die Gefahr, Opfer eines Wohnungseinbruchs zu werden, heute viermal größer ist als vor 30 Jahren. Allein im Jahr 2006 wurden 130.055 Einbrüche in Deutschland erfasst. Durch Befragungen und Marktstudien zeigte sich, dass die Ängste vor einem Verbrechen besonders in Deutschland steigen. 50 Prozent der befragten Haushalte sind über einen möglichen Einbruch besorgt. 33 Prozent davon befürchten einen Einbruch in den nächsten 12 Monaten.

5.1.2 Markt der Breitband-Internetzugänge

Ähnlich dem Sicherheitsmarkt ist auch der Markt für Breitband-Internetzugänge ein stark wachsender Markt. Auch dieser Markt ist vom harten Konkurrenzkampf um potenzielle Kunden gezeichnet, wobei der maßgebliche Entscheidungsgrund für einen Anbieter der Preis ist. Um einen erhöhten Preis rechtfertigen zu können, müssen die Provider Zusatzdienste anbieten bzw. nach Möglichkeiten suchen, um sich von der Konkurrenz abzusetzen. Ein Ende des DSL-Booms ist nach Meinung des BITCOM-Präsidenten Willi Berchtold nicht absehbar. So soll es Ende 2006 bis zu 15 Millionen DSL-Anschlüsse in Deutschland geben, das würde einem Wachstum von ca. 30 Prozent entsprechen.

5.1.3 Mobilfunkmarkt

Auf dem deutschen Mobilfunkmarkt finden zwei Kopf-an-Kopf-Rennen statt. Während die großen Anbieter T-Mobile und Vodafone um die Marktführerschaft kämpfen, liefern sich O₂ und E-Plus ein Rennen um den dritten Platz am Markt. Doch im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Märkten ist der Mobilfunkmarkt relativ gesättigt. Das bedeutet, es gibt immer weniger potentielle Neukunden. Nach Angaben der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post haben in Deutschland über 80 Prozent der Bevölkerung ein Mobiltelefon. Daher geht der Wettbewerb vom Kampf um die Neukunden jetzt in einen harten Verdrängungswettbewerb über. Aus diesem Grund konzentrieren sich die Anbieter zur Zeit vor allem auf zwei Dinge. Sie wollen erstens die Kunden

gewinnen, die noch kein Mobiltelefon haben, aber einen guten Umsatz versprechen, und sie wollen zweitens ihre umsatzstarken Kunden halten. Mit dem Aufkommen von immer schnelleren Übertragungstechniken, wie GPRS, EDGE und UMTS, nimmt auch der Marktanteil für Datendienste stark zu. Bei einem geschätzten Non-Voice-Anteil von 20,7 Prozent im Mobilfunkmarkt fielen davon im Jahr 2006 allein 6,1 Prozent auf Datendienste zurück. Das entspricht fast einer Verdopplung gegenüber dem Vorjahr 2005.

5.2 Berechnung des Geschäftsmodells Argus-UMTS

Für die Berechnung des Geschäftsmodells müssen zuerst einige Annahmen definiert werden, um folgende Aussagen zuordnen zu können. Das Geschäftsmodell wird für T-Systems berechnet. Es wird für eine Zeitspanne von fünf Jahren betrachtet. Die Hardware der Geräte wird komplett bei einem Zulieferer eingekauft. Das heißt, für die Entwicklung der Hardware wird aus der Sicht von T-Systems kein Aufwand getrieben. Es wird lediglich ein fester, vereinbarter Betrag pro Gerät bezahlt. Den Aufwand für die Entwicklung des Service-systems übernimmt T-Systems selbst. Verkauft werden die Überwachungssysteme an Vertriebspartner, wie z. B. T-Online, welcher die Geräte an den privaten Endkunden weiterverkauft.

T-Systems bleibt somit nur Betreiber des Service-systems der Überwachungssysteme und betreibt den thirdlevel support für spezielle Fragen zum System gegenüber dem Endkunden. Alle verwendeten Zahlen in der Berechnung des Geschäftsmodells wurden nach bestem Wissen geschätzt und bauen auf aktuellen Zahlen von T-Systems auf.

5.2.1 Personal

Der erste Ansatz zur Berechnung des Geschäftsmodells ist die Planung der Mitarbeiter in dem Projekt Argus. Für die Zeit der Entwicklung des Service Centers ist ein Personalbedarf von acht Mitarbeitern geplant. Die Entwicklungszeit sollte nach sechs Monaten abgeschlossen sein. Nach dieser Zeit sollte das Service Center in den normalen Betrieb übergehen. Zwei von ehemals drei Entwicklern sollten das Service Center weiter betreuen. Für die Aufgaben des third level supports sollten nun drei statt ehemals ein Mitarbeiter eingesetzt werden, da mit Verkaufsbeginn des Systems mehr Bedarf an Support aufkommt. Daraus resultiert in der Entwicklungszeit eine monatliche Belastung von ca. 39.000 Euro. Im Normalbetrieb fallen durch den größeren Aufwand beim Support monatlich ca. 43.000 Euro an.

5.2.2 Investitionsplan

Im Investitionsplan werden die Kosten festgehalten, die zu Beginn des Projektes Argus-UMTS einmalig getätigt werden müssen. Dabei handelt es sich um Kosten der Betriebs- und Geschäftsausstattung, Marketingkosten, Kosten für das Warenlager und Kosten für die Forschung und Entwicklung. Für die vorwettbewerbliche

Forschungs- und Entwicklungsleistung wurden sechs Monate eingeplant. Die Gesamtinvestitionskosten belaufen sich auf ca. 600.000 Euro.

5.2.3 Herstellungskosten und Verkaufszahlen

Durch den Einkauf der kompletten Hardware des UMTS-Sicherheitssystems bei einem Zulieferer entstehen T-Systems keine direkten Herstellungskosten. In Eigenentwicklung wird allerdings das Service Center erstellt. Diese Kosten werden, wie auch andere betriebsinterne Kosten, in die Herstellungskosten mit einbezogen. So errechnet sich ein Verkaufspreis von 301 Euro je Gerät.

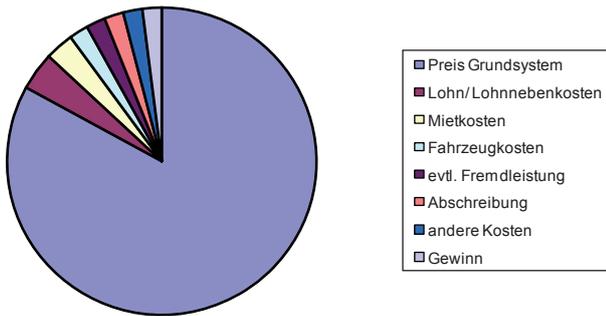


Abb. 2: Kostenzusammensetzung Argus-UMTS

Zusätzlich zum Verkaufspreis eines Sicherheitssystems erhält T-Systems eine monatliche Grundgebühr in Höhe von 4,95 Euro je Gerät für die Betreuung des Service Centers. Die Verkaufszahlen der Geräte können nur geschätzt werden. Da als Anbieter für den Endkunden T-Online in Frage kommt, kann die Schätzung relativ genau durchgeführt werden. Wie bei der Argus-Breitband-Version bringt T-Online Geräte nur in den Handel, wenn sicher ist, dass drei Prozent der Kunden in zwei Jahren damit erreicht werden. Das sind bei 11 Millionen T-Online Kunden 330.000 Geräte. Nimmt man zusätzlich noch an, dass die UMTS Sicherheitssysteme nicht nur von T-Online, sondern von einem weiteren Service Provider vertrieben werden, kann die Zahl noch leicht erhöht werden. Bei unserer Berechnung sind wir nach einer Einführungsphase am Markt von jährlich ca. 250.000 verkauften Systemen ausgegangen.

5.2.4 Gewinn- und Verlustrechnung

Nach Berechnung der definierten Werte kann schon nach dem ersten Jahr ein positives Betriebsergebnis ausgewiesen werden. Ein Zinsaufwand aus Krediten wird nicht einbezogen, da davon ausgegangen wird, dass die Finanzierung aus betriebseigenen Mitteln realisiert wird. Wie bereits angedeutet, beruhen wichtige Werte, wie Verkaufszahlen, Abschreibungen u. v. m., auf Schätzungen, so dass die Gewinn- und Verlustrechnung nur eine grobe Richtung vorgeben kann.

5.2.5 Liquiditätsplanung

Die Liquiditätsplanung ist für ein Unternehmen besonders wichtig, da hier zu erkennen ist, ob die finanziellen Mittel für das zu untersuchende Geschäftsmodell ausreichen. Aus Sicherheitsgründen wird bei der Berechnung davon ausgegangen, dass sich Zahlungseingänge der Kunden nicht sofort einstellen. Das heißt, wird ein Sicherheitssystem verkauft, kann T-Systems erst im darauf folgenden Monat mit dem Geld und der Grundgebühr rechnen. Dieser Fall muss nicht eintreten, ist aber denkbar. Berechnet man die Liquidität mit einem Monat Verzug, also kaufmännisch konservativ, ergibt sich folgende Situation:

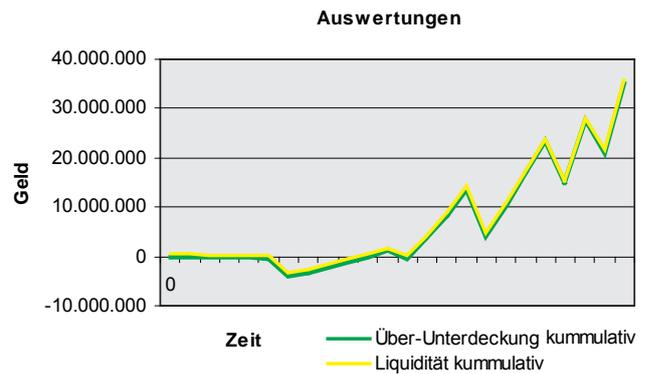


Abb. 4: Liquiditätsplanung Argus-UMTS

Sobald die Entwicklungsphase abgeschlossen ist und die ersten Sicherheitssysteme verkauft werden, rutscht die Liquidität ins Negative ab, da die geplanten Einnahmen erst einen Monat später zur Verfügung stehen. Diese Tendenz muss nicht auftreten, wenn der Kunde sofort zahlt. Tritt allerdings der Fall ein, stehen dem Geschäftsmodell keine finanziellen Mittel (mehr) zur Verfügung. Besteht eine solche Situation, sind dafür entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten. Es könnte weiteres Kapital aus dem Unternehmen benötigt werden oder die Finanzierung müsste überdacht werden. Nach der Pufferung dieser kritischen Phase entwickelt sich die Liquidität hervorragend. Der Break Even Point wird im Monat elf des ersten Geschäftsjahres durchbrochen, was dem fünften Verkaufsmonat entspricht.

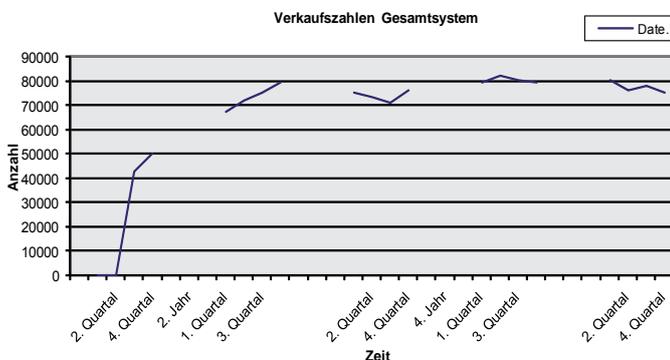


Abb. 3: Verkaufszahlen Argus UMTS über 5 Jahre

6 Fazit

Bei den ersten Rechercharbeiten nach ähnlichen Systemen war es anfangs schwer, geeignete Produkte zu finden. Das lag allerdings nicht daran, dass diese nicht vorhanden waren, sondern der Bekanntheitsgrad einfach fehlte. Genau dieses Problem könnte sich Argus zum Vorteil machen. Die gezielte Werbung als Sicherheitssystem muss das Bedürfnis des Käuferkreises zuerst wecken. Bisher scheint es so, als würden die Menschen nicht wissen, was es auf dem Markt der Low Cost-Sicherheitssysteme bereits gibt.

Bei dem Vergleich von Argus mit anderen Systemen fiel auf, dass jedes System seine Vor- und Nachteile hat. So kann Argus besonders mit einem Keep-alive-Signal und einer Fernbedienung punkten. Sehr nachteilig wirkt sich die monatliche Grundgebühr von 4,95 Euro aus. Für kein anderes auf dem Markt verfügbares System müssen Grundgebühren gezahlt werden. Gute Systeme haben einen Webserver mit dynamischer IP-Adresse integriert und sind dadurch, genau wie das Argus-System, zu erreichen. Das für den Nutzer so wichtige, leichte Installieren des Systems wird von Argus nur bedingt erfüllt. Es müssen Netzwerkeinstellungen vorgenommen werden, mit denen viele Personen voraussichtlich überfordert sind. Weiterhin ist aufgefallen, dass zur Nutzung der WLAN-Funktionalität die kompletten WLAN-Sicherheitsdaten mit Schlüssel auf einer Internetseite bekannt gegeben werden müssen.

In wieweit der Nutzer diese vertraulichen Daten weitergeben möchte, sollte geprüft werden. Ein Vorbild für die Einfachheit der Installation ist das Gerät PT-6 von Nokia. Dieses System kann wirklich »jedermann« montieren. Die Argus-UMTS-Lösung ist eine sehr interessante Alternative. Mit ihr könnte ein leichtes Handhaben realisiert werden (ähnlich PT-6) und der Aufstellort der Kamera wäre flexibler. Die Einrichtung der Kamera auf einem evtl. Netzwerk würde komplett entfallen, was auch die Nutzung eines Computers überflüssig macht. Wie in der Kostenanalyse gezeigt, würden sich auch die Kosten für dieses System besser vermarkten lassen.

Danksagung

Für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit bedanken wir uns vielmals bei Professor Dr. Bernd Eylert. Ohne sein Engagement wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Weiterhin bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit bei Dr. Reiner Krämer von T-Systems für das Thema.

Literatur und Internetquellen

Wirtz, B. W., Electronic Business, Wiesbaden 2001

<http://www.t-systems.de/>

<http://www.haus-und-markt.de/artlist.php4?rubrikid=7>

<http://www.dsitarife.net/>

Autoren

Christian Halama, M. Eng.

Technische Fachhochschule Wildau

Studiengang Telematik

Schillerallee 1/415

15745 Wildau

mail@christianhalama.de

Nico Venske, M. Eng.

Technische Fachhochschule Wildau

Studiengang Telematik

Fichtestr. 4

15711 Königs Wusterhausen

n.venske@gmx.de