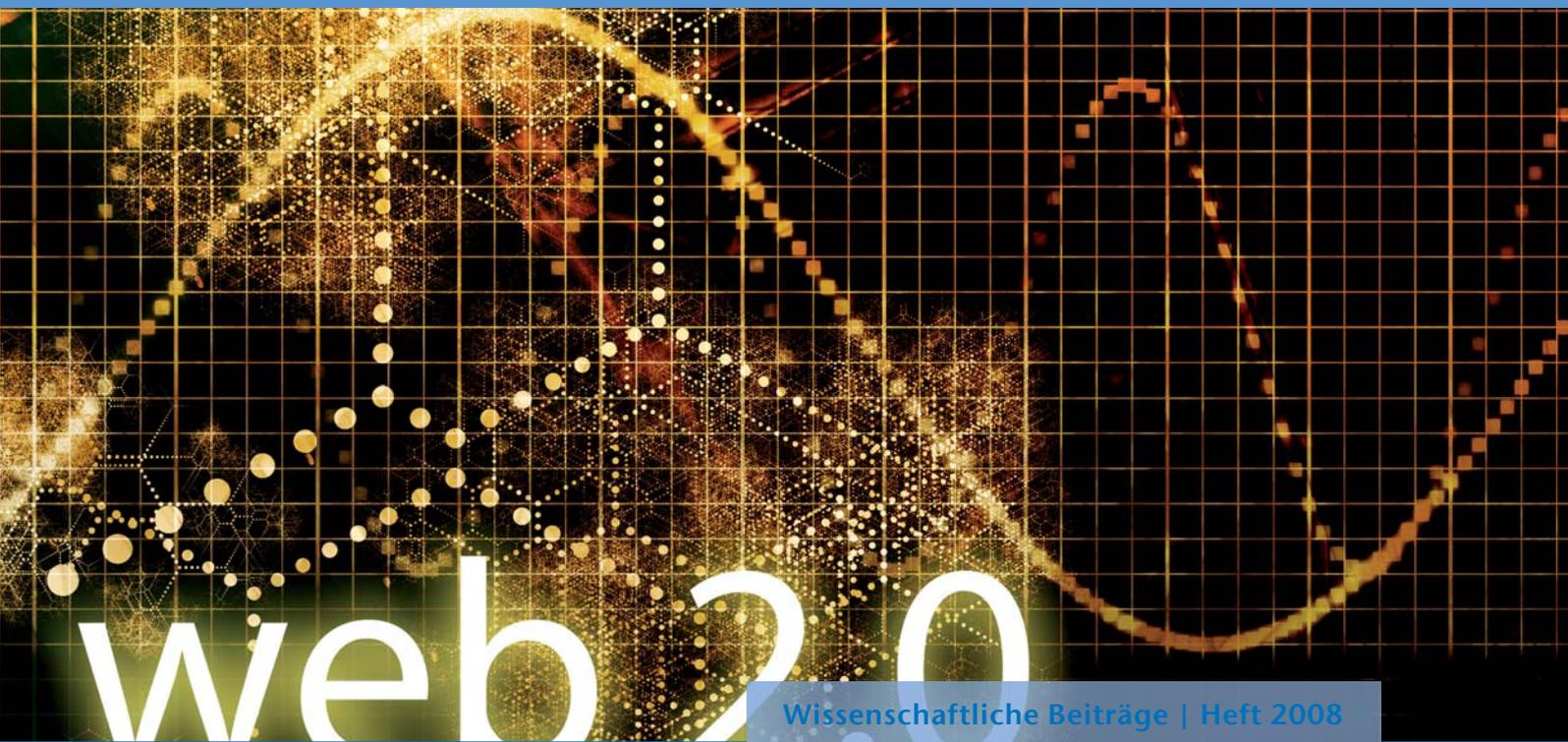


Erkenntnisse. Konzepte. Projekte.



web 2.0

Wissenschaftliche Beiträge | Heft 2008

Aus dem Inhalt: RFID, Mobile Communications, siRNA Screen, Goldchipelektroden, Cryptobiotic Tardigrades, Transportmontagewerk, Beschaffungsprozesse, Gebäudemanagement, Innovationsfinanzierung, Heuristik, demokratisches Internet, SAP R/3, COMBLE, MOPEM

ISSN 0949-8214

**Wissenschaftliche Beiträge
2008**

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

Prof. Dr. phil. Stefan Broda

Prof. Dr. Bernhard Eylert

Prof. Dr. phil. Olga Rösch

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Poeschel

Redaktionsleitung

Markus Vossel

Tel. +49 3375 508-582

markus.vossel@tfh-wildau.de

Korrektorat

Nicola von Amsberg

Gesamtherstellung

Verlag News & Media, Marcus von Amsberg

Perelsplatz 18

12159 Berlin

Tel. +49 30 85962170

Fax +49 30 85962171

verlag@newsmedia.de

ISSN 0949-8214

Nachdruck einzelner Artikel und Beiträge

bei Quellenangabe frei.

Inhalt

- 5** Vorwort

- 7** *Stefan Brunthaler*
IT-Strukturen für die Lebensmittel-Rückverfolgbarkeit mit RFID im Mittelstand der Transportindustrie

- 13** *Bernd Eylert, Martin Eras, Thomas Zeh*
Next Phase of Mobile Communications – LTE: The End of Fixed Broadband?

- 19** *Peggy Reich, Marcus Frohme, Juha Rantala, Matthias Nees*
Implementation of a siRNA Screen for Prostate Tumour Cell Lines Using Living Cell Arrays

- 25** *Sandra M. Bütow, Oliver Pänke, Jan Kafka, Fred Lisdat*
Goldchipelektroden zur elektrochemischen DNA-Detektion

- 35** *Brahim Mali, Markus Grohme, Weronika Welnicz, Thomas Dandekar, Martina Schnölzer, Dirk Reuter, Ralph O Schill and Marcus Frohme*
Genomic Analyses of Cryptobiotic Tardigrades

- 40** *Christian Stegner, Stefanie Wendler, Mario Wöllner, Herbert Sonntag*
Disposition und Steuerung des Wareneingangs in einem Transportermontagewerk

- 50** *Helge Mühlenbruch, Ingo Schneider, Ralf Szymanski*
Möglichkeiten und Grenzen eines zweistufigen Beschaffungsprozesses in der Automobilindustrie

- 56** *Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel*
Gebäudemanagementsoftware auf Basis des OSGi-Standards

- 62** *Lothar Brunsch*
Zu Bewertungsproblemen immaterieller Vermögenswerte als eine Grundlage für die Innovationsfinanzierung von Technologieunternehmen

- 67** *Matthias Forster*
Eine Heuristik für quadratische 0-1-Probleme

- 72 *Maika Büschenfeldt*
Das demokratische Potenzial des Internets
- 80 *Bertil Haack, Georg Fehlauer*
Sicherer IT-Einsatz im kommunalen Bereich SAP R/3
beim LWL-Bau- und Liegenschaftsbetrieb
- 87 *Christian Niemczik, Elke Brenstein, Margit Scholl*
COMBLE: European Community of Integrative
Blended Learning Experts
- 94 *Margit Scholl, Ulrike Tippe*
Das EU-Projekt MOPEM – europaweite Nutzung
elektronischer Lernpfade in der Marketing-Weiter-
bildung

Vorwort

Prof. Dr. László Ungvári



Die angewandte Forschung und Entwicklung hat an der Technischen Fachhochschule Wildau einen hohen Stellenwert. Schon seit einigen Jahren gehören wir bezüglich der eingeworbenen Drittmittel zu den drei führenden Einrichtungen unter den 166 Fachhochschulen der Bundesrepublik Deutschland.

In den Wissenschaftlichen Beiträgen stellen wir seit 1995 verschiedenste Projekte und Forschungsvorhaben vor. Auch die aktuelle Ausgabe bietet einen Einblick in das breite Themenspektrum, das die forschenden Professoren, teilweise gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft, Verwaltung und anderen Forschungseinrichtungen, bearbeiten. An manchen Projekten wirken bereits Studierende mit. Sie waren beteiligt an »Implementation of a siRNA Screen for Prostate Tumour Cell Lines Using Living Cell Arrays« (S. 19), »Genomic Analyses of Cryptobiotic Tardigrades« (S. 35), »Next Phase of Mobile Communications – LTE: The End of Fixed Broadband?« (S. 13) oder »Gebäudemanagementsoftware auf Basis des OSGi-Standards« (S. 56).

2008 fanden auch wieder wissenschaftliche Veranstaltungen an unserer Hochschule statt. Einige seien exemplarisch erwähnen:

Zum Jahresauftakt widmeten sich Ingenieure, Naturwissenschaftler, Philologen, Psychologen und Wirtschaftswissenschaftler dem Thema »Technik und Kultur«. Die Fachtagung wurde organisiert vom Institut für Interkulturelle Kommunikation im Technologie- und Weiterbildungszentrum an der TFH Wildau e. V.

Im März trafen sich hochrangige Fachleute aus Wirtschaft und Forschung zur 1. Duromer-Tagung, veranstaltet vom Kunststoffnetzwerk Berlin-Brandenburg (KuBra e. V.) und der TFH Wildau. Zum Auftrakt dieser neuen Veranstaltungsreihe, die auf die Umsetzung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in die allgemeine ingenieurtechnische Praxis abzielt, diskutierten die Teilnehmer neueste Entwicklungen und aktuelle Herausforderungen bei leistungsfähigen polymeren Materialien.

»Biologie trifft Nanotechnologie« titelte der Workshop, den der Verein BioHyTec im November an der TFH Wildau, aktives Mitglied in diesem Verbund regionaler Bioanalytik-Firmen und Forschungseinrichtungen, veranstaltete. Der Workshop dient als Plattform zur Erörterung aktueller Fragestellungen bei der Nutzung von Strukturen der Nanowelt für die Bioanalytik, z. B. in der klinischen Diagnostik (s. auch S. 25).

Dass Wissenschaftler heutzutage nicht mehr in einem Elfenbeinturm leben, beweisen die viele Veranstaltungen, zu denen die TFH Wildau im Laufe des Jahres Kinder und Jugendliche sowie forschungsinteressierte Bürger jedes Alters einlud. Zur 8. »Langen Nacht der Wissenschaften« im Juni kamen über 500 Besucher auf unseren Campus. Insgesamt nahmen diesmal 66 wissenschaftliche Einrichtungen aus Berlin und Brandenburg teil. Etwa 188.000 Besucher hat die »klügste Nacht des Jahres« in die Hauptstadtregion gelockt.

Was es heißt, an der TFH Wildau praxisorientiert zu forschen, erlebten Gymnasiasten aus Königs Wusterhausen im Rahmen des Brandenburger Zukunftstages 2008 im April, der unter dem Motto »Wissenschaft zum Anfassen« stand. Dabei lernten die Mädchen und Jungen die Studiengänge Physikalische Technik, Telematik und Luftfahrttechnik kennen. Am Tag der offenen Tür Mitte Mai präsentierte die Hochschule dann ihr ganzes Studienangebot. Das GirlsProject im Oktober richtete sich speziell an Schülerinnen der Jahrgangsstufen 10 bis 13. Es ermöglichte ihnen einen umfassenden Einblick in naturwissenschaftliche und technische Studiengänge an den Brandenburger Hochschulen und unterstützt sie so bei ihrer Studien- und Berufswahl. Für 8- bis 12-Jährige gab es in diesem Jahr von September bis Dezember zum vierten Mal die »Kinderuniversität« mit kindgerechten Vorlesungen über ansonsten hochkomplizierte Themen. So versucht die TFH Wildau, den Nachwuchs früh insbesondere für Technik und Naturwissenschaften zu begeistern und vielleicht schon heute die Wissenschaftler von morgen zu entdecken.

IT-Strukturen für die Lebensmittel-Rückverfolgbarkeit mit RFID im Mittelstand der Transportindustrie

Stefan Brunthaler

Zusammenfassung

Rückverfolgbarkeit ist eine durch EU-Richtlinien (z. B. 178/2002) und nationale Gesetze vorgeschriebene Eigenschaft, die Logistikketten (Supply Chains) für Lebensmittel seit Anfang 2005 haben müssen. Dies bedeutet kurz gefasst, dass jedes Produkt in allen seinen Komponenten lückenlos durch die gesamte Logistikkette rückverfolgbar sein muss. Der typische Anwendungsfall (und die Motivation der Politik für diese Gesetzgebung) ist die Aussonderung verdorbener Chargen eines Produktes, bevor die Bevölkerung in großem Maße betroffen ist. Um diese Anwendung tatsächlich in Echtzeit umsetzen zu können, werden informationsverarbeitende Systeme benötigt, die für alle Teilnehmer an der Logistikkette sowie auch für weitere Interessengruppen wie Verbraucherverbände oder öffentliche Einrichtungen einfach, preisgünstig, sicher und mit jeweils individuellen Berechtigungen zugänglich sind. Ein solches System wird in diesem Beitrag vorgeschlagen.

Abstract

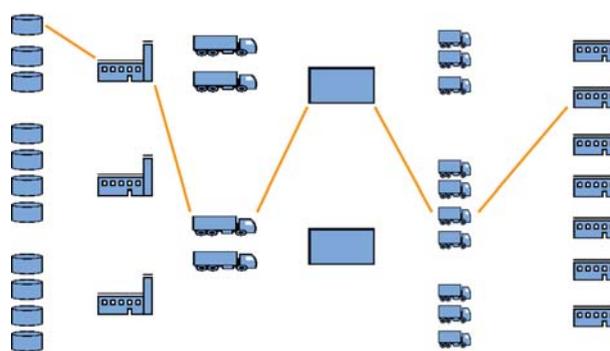
Traceability is a feature for food supply chains which must be implemented and is regulated in EU standards (e. g. 178/200) and national laws. Participants in supply chains must co-operate to fulfill these standards, but small or medium companies often do not have the IT infrastructure to do that on a regular and cost effective basis. This article gives an outline for an open IT system structure (»DOTS«) to help participants in supply chains to communicate with respect to traceability of food products and transport units.

1 Einführung in das Thema

Die Lebensmittellogistik ist durch bestimmte wiederkehrende Merkmale gekennzeichnet. Die Güter sind letztlich für Endverbraucher bestimmt und in der Regel verderblich, Haltbarkeitszeiten liegen zwischen wenigen Tagen und mehreren (z. B. drei) Jahren. Die Umschlaggeschwindigkeit ist demzufolge meist hoch und die Lagerdauer kurz.

Die Logistikkosten (Transport, Lagerung, Handling etc.) müssen gering bleiben, da der Preisdruck erheblich ist, sodass Transport, Lagerung und Distribution häufig an Dienstleister ausgelagert werden, zumal der Transport und die Lagerung bei Frische- und Tiefkühlprodukten nur mit besonders ausgerüsteten Fahrzeugen bzw. in besonders ausgerüsteten Hallen zulässig sind und die Kühlkette nicht unterbrochen werden darf.

Öffentliche Kontrollen müssen laut aktueller Gesetzgebung ermöglicht werden, zukünftig wird der Druck hier vermutlich zunehmen. Eine Lebensmittellogistikkette für Milchprodukte kann z. B. so aussehen:



Lieferkette Food

Abb.: Herbert Sonntag, TFH Wildau

Von links: Rohstoff, Produktion, Transport, Sammel- und Kommissionierlager mit Kommissionierung, Transport, regionales Lager oder Verkaufsstelle.

Wenn in dieser Kette der Ernstfall eintritt, dass ein Produkt verdorben und gesundheitsgefährdend ist, stellt sich folgendes Szenario ein:

1. Der Endverbraucher macht den Händler darauf aufmerksam, dass das gekaufte Produkt (Beispiel sei Joghurt in einem Kunststoffbecher mit Metallfoliendeckel) verdorben ist. Der Händler überprüft mög-

licherweise noch vorhandene Bestände desselben Produktes und erkennt, dass es sich nicht um einen Einzelfall handelt.

2. Der Händler ordnet die verdorbenen Produkte einer Lieferung sowie einer (oder auch mehreren) Produkt-Charge(n) zu.
3. Jetzt muss festgestellt werden, über welche Transporteure und andere Zwischenstationen (Lager, Kommissionierung, Zwischentransporte etc.) die betroffenen Produktchargen zum Händler gekommen sind und welchen Weg zu anderen Händlern eventuell ebenfalls betroffene andere Teil-Chargen genommen haben. Dabei kann sich auch ergeben, dass weitere Produkte und Chargen, z. B. durch Unterbrechung der Kühlkette, Kontaminierung an einem bestimmten Ort oder als Folge mechanischer Einflüsse, betroffen sind.
4. Wenn die vermutete Ursache des Problems sowie der Verbleib aller potentiell betroffenen Produkte vollständig geklärt sind, können Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung (z. B. ein Rückruf) eingeleitet werden.

Typischerweise sind an einer Lebensmittellogistikette mehrere verschiedene Akteure mit unterschiedlichen Organisationsformen, Fähigkeiten und Abwicklungssystemen beteiligt. Die teilweise vorhandenen IT-Systeme sind vorwiegend unternehmensintern, speziell zugeschnitten und aus Sicherheitsgründen nicht zugänglich. Offene Schnittstellen sind die sehr seltene Ausnahme.

Wie man daher sofort erkennt, kann sich Punkt 3 dieses Szenarios als beliebig kompliziert, zeitaufwändig und unscharf erweisen. Beispielsweise könnte der Fall eintreten, dass einer oder mehrere Teilnehmer keine elektronischen Daten haben oder sie nicht öffentlich machen wollen, sodass Recherchen lange dauern.

Ebenso könnte es sein, dass nicht alle gefährdeten Produkte gefunden werden, weil neben dem ursprünglich identifizierten schadhafte Produkt auch noch weitere Produkte anderer Chargen oder sogar Hersteller betroffen sind, die an irgend einem Punkt der Lieferkette mit dem gefundenen Problemprodukt zusammen denselben Konditionen ausgesetzt waren.

Dies führt letztlich dazu, dass zu viele Produkte vom Markt genommen werden, weil eine komplette Charge eines Produktes zurückgerufen wird, obwohl der Defekt erst während des Transportes auftrat und nur Güter genau eines Transportes betrifft.

Im Interesse des Schutzes der Bevölkerung und im Interesse einer wirtschaftlichen Abwicklung sind hier optimierte Systeme erforderlich, die für alle Akteure der Lebensmittellogistik, aber auch Externe wie Verbrau-

cherorganisationen und öffentliche Stellen mit jeweils für die Interessentengruppe individuellen Berechtigungen zugänglich sind.

Ein solches System muss mindestens folgende Kriterien erfüllen, um akzeptiert zu werden. Zunächst muss es sicher sein: Dies betrifft Security und Safety, Zugangskontrollen und auch Umgang mit sensiblen Informationen. Einfacher Zugang, leichte Bedienbarkeit und problemlose Interpretation der Ergebnisse sind ebenfalls wichtige Voraussetzungen. Kommunikationstechnik und Datenformate müssen offen gelegt werden, daneben sollen auch Anschaffung, Betrieb und Nutzung möglichst kostengünstig sein. Leistungsfähigkeit und Echtzeitfähigkeit bezüglich Antwort- und Recherchezeiten, Kapazitäten und der Einbindung in zeitkritische Logistikprozesse müssen gegeben sein.

2 Das Projekt RÜFILOG

In Zusammenarbeit zwischen der TFH Wildau und einem Unternehmen der Transportbranche in Brandenburg (ReiCo Spedition, Zossen/Nunsdorf) war der Autor an der Realisierung des IT-Systems RÜFILOG maßgeblich beteiligt. Die TFH und das Unternehmen ReiCo Spedition erhielten für die Umsetzung dieses Projektes den Technologie-Transfer-Preis 2007 des Landes Brandenburg. Das Projekt wurde von der »Stiftung Industrieforschung« unter Projektnummer 704 gefördert [STIF 2007].

Nach [BRUN 2005] leistet das RÜFILOG-System Folgendes:

Um die Warenströme und die begleitenden Informationen möglichst effizient rückverfolgen zu können, wurde ein Informationssystem entwickelt und eingeführt, welches allen Beteiligten ermöglicht, alle benötigten Informationen für die Rückverfolgbarkeit retrospektiv zu sammeln, zu archivieren und untereinander auszutauschen. Dafür wurde ein internetbasiertes Informationssystem vorgesehen, welches diese ununterbrochene Informationskette dokumentiert. Die Informationen sind dabei elektronisch gespeichert und über einen Standard-PC abrufbar. Mit diesem System wird den Beteiligten ermöglicht, über wenige Handgriffe die komplette Historie eines angelieferten und ausgelieferten Artikels auf Anfrage einer Behörde zu ermitteln. Im Schadensfall soll mit Hilfe solch eines Systems zum einen die Bearbeitung einer behördlichen Anfrage innerhalb kürzester Zeit möglich sein, ohne zusätzliches

Personal einzustellen, und zum anderen der entstehende Schaden für alle Beteiligten so gering wie möglich bleiben. Das RÜFILOG-System erfüllt bereits teilweise die oben genannten Anforderungen.

Funktionen des RÜFILOG-Systems sind insbesondere die Erfassung und Hinterlegung von Stammdaten und Identifikationsdaten der Güter, Speicherung von Mengen, Chargen, und anderen dynamischen Informationen und die Identifikation jeder einzelnen Bewegung eines Gutes durch ein RFID-System. Durch Schnittstellen wurde der Datenaustausch mit anderen Systemen ermöglicht, und per Internet können in Echtzeit Recherchen über den Verbleib von Transporteinheiten und Produkten durchgeführt werden.

Technologische Basis des Systems sind ein webfähiger Datenbank- und Anwendungsserver sowie RFID-Peripherie und mobile Datenerfassungsgeräte. Im Rahmen des F&E-Projektes wurde das RÜFILOG-System zunächst als »proof of concept« implementiert. Dann erfolgte der reale Piloteinsatz in der echten Logistikkette mit mehreren Partnerunternehmen.

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Projekt war jedoch, dass die an der Logistikkette beteiligten Unternehmen entweder aus verständlichen Gründen nicht bereit waren, ihre Unternehmens-IT-Systeme zu öffnen, oder damit wirtschaftlich überfordert gewesen wären, die notwendigen Systeme für alle anderen Beteiligten mit zu betreiben (inklusive der zusätzlich nötigen Geschäftsprozesse).

Daraus entstand die Idee des »Distributed Open Traceability Service« (DOTS) – eines offenen, nicht unternehmensspezifischen Dienstes, wie er im Folgenden beschrieben wird.

3 Detaillierung der Anforderungen

3.1 Sicher

Security und Safety, Zugangskontrolle, Umgang mit sensiblen Informationen

Das System muss sowohl gegen Missbrauch, Manipulation und Sabotage, als auch gegen Ausfälle wegen technischer Probleme oder äußerer Einflüsse geschützt werden. Anwender jeder Art, die z. B. Daten bereitstellen oder Recherchen durchführen, müssen sich authentifizieren. Drittsysteme, die mit diesem System kommunizieren sollen, müssen ebenfalls eindeutig identifizierbar sein. Detaillierte und genau konfigurierbare Zugriffsrechte müssen einfach und sicher verwaltbar sein.

Die teilnehmenden Partner können selbst entscheiden, wie detailliert sie ihre Daten bereitstellen. Damit ist die Brisanz unternehmenskritischer Informationen etwas, aber nicht vollständig entschärft. Es muss also auch sichergestellt sein, dass andere Nutzer (Mitbewerber) nicht an z. B. vertriebsrelevante Daten wie Verkaufszahlen und Versandmengen kommen können.

Um die Verfügbarkeit des Gesamtsystems sicherzustellen, sind Eckdaten zu spezifizieren. Vermutlich ist davon auszugehen, dass das System an 265 Tagen im Jahr 24 Stunden verfügbar sein muss. Auslegungsrelevant ist die maximal tolerierbare Downtime pro Tag/Monat/Jahr.

Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass die Schnittstellen von Drittsystemen (z. B. von Warehouse Managementsystemen oder Flottenmanagementsystemen) robust und sicher arbeiten, sodass keine Fehlbuchungen vorkommen.

3.2 Einfach

Zugang, Bedienbarkeit, Interpretation der Ergebnisse

Im Interesse einer guten Akzeptanz des Systems ist es erforderlich, den Zugang (bei aller Sicherheit) so einfach wie möglich zu gestalten. Dies gilt sowohl für die Programmierung von Schnittstellen für die Anwendungssysteme bei Partnern als auch für die Zugänge und die Benutzung durch Menschen.

Die Bedienung selbst durch Menschen muss den einschlägigen Usability-Richtlinien (ISO 9241-10 und ISO 9241-110) entsprechen, also z. B. barrierefrei sein. Die vom System gelieferten Informationen und Ergebnisse müssen leicht verwertbar sein, sodass auch gelegentliche Benutzer oder Behörden schnell erforderliche Maßnahmen ableiten und veranlassen können.

3.3 Offen

Kommunikationstechnik, Datenformate

Das System muss internetfähig sein und Standarddatenformate verwenden, die möglichst einfach pflegbar sind und keine Zusatzsoftware benötigen. Die Semantik der auszu-tauschenden Werte ist noch zu definieren. Empfehlung: Web Services und SOAP/XML-RPC.

3.4 Kostengünstig

Anschaffung, Betrieb und Nutzung des Systems müssen für die teilnehmenden Unternehmen attraktiv sein. Eine kostenlose Teilnahme ist anzustreben.

3.5 Leistungsfähig

Antwort- und Recherchezeiten, Kapazitäten

Die Bereitstellung von Informationen für das System darf die Geschäftsprozesse der teilnehmenden Partner nicht verlangsamen. Recherchen müssen in einer akzeptablen Zeit bearbeitet werden. Eckdaten sind zu definieren, z. B. eine generelle Maximal-Antwortzeit und nach bestimmten Fällen gestaffelte besondere Antwortzeiten. Die Datenspeicherungskapazität des Systems ist so auszulegen, dass die gesetzlichen Bestimmungen der Rückverfolgbarkeitsverordnungen eingehalten werden können. Erweiterungen müssen möglich sein.

3.6 Echtzeitfähig

Die Einbindung in zeitkritische Logistikprozesse muss ohne Störung und sicher möglich sein. Eine transaktionsfähige Implementierung für die Schnittstellen ist anzustreben (siehe oben unter »Sicher« und »Leistungsfähig«).

4 Bestehende Standards, verfügbare Technologien

EPC Global, z. B. ISO 18000-6C (EPC Gen2): Hier werden die Eigenschaften und Inhalte von RFID-Datenträgern sowie die Schnittstellen zu diesen Datenträgern standardisiert. RFID-Datenträger enthalten unter anderem auch Informationen, die bestimmte Klassen von Gütern identifizieren (auch als Artikelnummern bekannt).

DNS (Domain Name System): In den IETF RFC's 1034 und 1035 [DNS 1987] wird derjenige Dienst beschrieben, der für die Namensauflösung (Umwandlung von Domain- und Rechnernamen in IP-Adressen) im Internet zuständig ist. Dieser Service ist eine weltweit verteilte und hierarchische Datenbank, die von allen Internetprogrammen und -nutzern verwendet wird, um überhaupt mnemonische Domain- oder Rechnernamen nutzen zu können.

Ein wesentlicher Aspekt dieses DNS ist, dass es hochgradig »mission critical« für das Internet ist, von teilweise nicht-kommerziellen NGO's betrieben wird und ein weltweit einheitliches Zugangs- und Updatesystem praktisch für jedermann darstellt. Wenn z. B. die IP-Adresse eines unter einem bestimmten Namen bekannten Rechners (z. B. www.insel.de) geändert wird, so verbreitet sich diese Information automatisch innerhalb von ca. 24 Stunden im gesamten DNS.

ONS (Object Naming Service): Der ebenfalls von EPC Global standardisierte ONS bietet die Möglichkeit, über einen Webservice ähnlich dem DNS eine Objekt-Klassen-Identifikation (vgl. »Artikelnummer«) einzu-reichen und zu dieser Identifikation dann weiterführende Informationen, so genannte »Unified Resource Identifier« (URI) zu erhalten. Dies kann z. B. ein Verweis auf eine Hersteller-Webseite oder einen »EPC Information Server« sein.

Nach den Erkenntnissen des Autors existiert keine allgemein zugängliche Implementierung des ONS. Die einzige verfügbare Spezifikation des ONS hat Versionsnummer 1.0 und stammt vom 04. Oktober 2005 [ONS 2005].

In dieser Spezifikation wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das ONS nicht dafür gedacht ist, Informationen für individuelle Instanzen von Objekten (z. B. Container oder Paletten) zu liefern. Da das ONS die Infrastruktur des oben beschriebenen DNS nutzen soll, erscheint es auch für eine Traceability-Anwendung mit individuellen Objekten ungeeignet, da die Propagation geänderter oder neuer Informationen im DNS bis zu 24 Stunden dauern kann. Ein geeigneter Service für die Rückverfolgbarkeit fehlt also bisher.

5 Lösungsvorschlag: Eine Webanwendung als Plattform für die Transportindustrie

5.1 Allgemeines

Ausgehend von den oben aufgeführten Anforderungen schlägt der Autor vor, einen »Dynamic Open Traceability Service« (DOTS) als Ergänzung des »Object Naming Service« (ONS) zu schaffen. Im Gegensatz zum ONS/DNS handelt es sich bei der Verfolgung und Rückverfolgung von Logistikobjekten um eine dynamische Anwendung, bei der z. B. innerhalb von wenigen Stunden Informationen über ein verladenes Objekt (Palette) einem Sendungsempfänger für die Entladung zur Verfügung stehen müssen. Daher sind voraussichtlich andere Technologien als die beim DNS anzutreffenden erforderlich.

DOTS soll über Webservices – vgl. »Service Oriented Architecture« (SOA) – zugänglich sein. Diese Verfahrensweise hat sich u. a. im Projekt RÜFILOG bewährt. Über Webservices können Applikationen die Daten von individuellen Objekten anlegen, abrufen und ändern. Es erfolgt kein Zugriff auf Unternehmensdaten der Teil-

nehmer am System, sondern die beteiligten Unternehmen und Nutzer liefern über die Webservices Auszüge aus ihren Systemdaten an DOTS. Dort werden diese in einer (dezentral organisierten) Datenbank abgelegt und gezielt so im globalen System propagiert, dass sie für den geplanten Empfänger schnell und effizient abrufbar sind.

5.2 Systemarchitektur

DOTS ist ein hierarchisches, verteiltes System. Es besteht aus drei Ebenen:

1. Verweisservers (»redirect server«), die mit Datenservern kommunizieren,
2. Datenserver, die mit Clients und Verweisservers und untereinander kommunizieren,
3. Clients, die mit Datenservern kommunizieren.

Auf jeder Ebene kann es beliebig viele Systeme geben. Die Verwaltung, Steuerung und Autorisierung erfolgt über die Verweisservers oder ggf. eine Gruppe von Verweisservers mit zusätzlichen Funktionen. Kommunikation findet aus Sicherheits- und Vereinfachungsgründen nur jeweils zwischen benachbarten Ebenen statt, sodass Clients nur mit Datenservern kommunizieren, während auch Verweisservers nur mit Datenservern kommunizieren. besondere Schutzanforderungen bestehen daher nur für die Daten-Server.

Die Verweisservers haben die Aufgabe, Clients indirekt an die für sie relevanten Datenserver zu verweisen, d. h. ihnen über den Datenserver, den der Client angefragt hat mitzuteilen, welcher Datenserver tatsächlich für die Beantwortung seiner Anfrage oder die Annahme seiner Objektinformationen zuständig ist. Dies kann für den Client transparent erfolgen, d. h. er bemerkt nichts davon, dass seine Anfrage von einem anderen Datenserver bedient wird.

Verweisservers haben eher die Charakteristik von Verzeichnisservers: Die Häufigkeit von Anfragen ist wesentlich höher als die Häufigkeit von Änderungen. Die Datenserver dienen dazu, die objektbezogenen Informationen von Clients anzunehmen, zu speichern und für autorisierte Clients wieder zugänglich zu machen. Sie kommunizieren außerdem mit den Verweisservers bezüglich der von ihnen (den Datenservern) verwalteten Objektmenge und deren Gültigkeitsbereichen.

Durch die Verteilung der Daten auf beliebig viele Server wird einerseits das Kapazitätsproblem entschärft und andererseits durch Redundanz die Verfügbarkeit erhöht, vgl. DNS. Clients liefern Objektdaten (z. B. Versandsysteme, Transportsysteme, Warehouse Manage-

ment Systeme), fragen Informationen für bestimmte Objekte ab (z. B. im Wareneingang eines Lagers) und recherchieren nach Objekten und Objektgruppen. Die Implementierung der Clients sowie die Nutzung der ihnen durch die Datenserver angebotenen Webservices sollen möglichst einfach und sicher möglich sein. Dafür sind geeignete Konzepte auszuwählen oder ggf. zu schaffen.

5.3 Schnittstellen (Webservices)

Dies impliziert, dass mindestens folgende Schnittstellen als Webservices benötigt werden:

Nr.	Anfrager	Server	Bedeutung
1	Client (System) (z. B. WE-Platz)	Daten-server	Anfrage nach Daten zu einem eindeutig identifizierten Objekt
2	Datenserver	Verweis-server	Anfrage nach dem zuständigen Datenserver für ein bestimmtes Objekt
3	Client (System) (z. B. WMS)	Daten-server	Auftrag zur Speicherung der Daten zu einem bestimmten Objekt (Neuanlage oder Update)
4	Datenserver	Verweis-server	Meldung der Zuständigkeit für ein bestimmtes Objekt bei Neuanlage
5	Client (Mensch) (z. B. Behörde)	Daten-server	Suchanfrage nach einem oder mehreren Objekten, beschrieben durch Eigenschaften und/oder Wertebereiche
6	Client (jeder Client)	Daten-server	Anmeldung mit Autorisierung
7	Datenserver	Verweis-server	Anmeldung mit Autorisierung
8	Datenserver	Verweis-server	Autorisierungs-Anfrage für Client
9	Datenserver	Daten-server	Replikation: Weiterleitung von Objektdaten zwecks Sicherung durch Redundanz

Weitere Services, z. B. für das Management der Systeme, sind ggf. zu definieren.

6 Fazit und Ausblick

Mit dem hier vorgeschlagenen DOTS-System kann eine Lösung zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitli-

che Schäden durch Lebensmittel geschaffen werden, die wirtschaftlich attraktiv, sicher und hochverfügbar, einfach zu benutzen und offen und flexibel erweiterbar ist. Die Bedeutung der Überwachung von Logistikketten für Lebensmittel wird weltweit zunehmen, sodass dieses System nicht nur in Europa benötigt werden dürfte. Andererseits muss ein Geschäftsmodell gefunden werden, das den Betrieb für die Teilnehmer wirtschaftlich attraktiv macht. Das DNS des Internets kann hierfür Vorbild sein, dieses Modell müsste entsprechend an die Bedürfnisse der Teilnehmer angepasst werden.

Danksagung

Mein Dank gilt meinem Mentor und Kollegen Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag, der mir durch seinen Rat und seine Unterstützung den Zugang zu dieser Thematik sehr erleichtert hat. Ebenso danke ich den anderen Mitarbeitern des RÜFILOG-Projektes, besonders Dipl.-Ing. Marcel Janke für seine unermüdliche Betreuung und unerschütterliche Ruhe.

Literatur

[BRUN 2005]
Lastenheft RÜFILOG, erstellt von Stefan Brunthaler und Marcel Janke (TFH Wildau) im Sommer 2005

[BRUN 2006]
Abschlussbericht zum Projekt RÜFILOG von Herbert Sonntag, Stefan Brunthaler, Marcel Janke, Keith Thorne und Bertram Meimbresse, Wildau 2006

[ONS 2005]
Object Naming Service (ONS) Version 1.0: EPCglobal Ratified Specification, Version of October 4, 2005, siehe Object_Naming_Service_ONS_Standard_Version_1.0.pdf unter <http://www.epcglobalinc.org/standards/>

[DNS 1987]
<http://www.ietf.org/rfc/rfc1034.txt> | <http://www.ietf.org/rfc/rfc1035.txt>, (abgefragt am 20.10.2007)

[STIF 2007]
Webseite der Stiftung Industrieforschung, siehe »Projekte der letzten 5 Jahre« unter <http://www.stiftung-industrieforschung.de>

Autor

Prof. Dr.-Ing. Stefan Brunthaler
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Bereich Telematik
Leiter des Instituts für Angewandte Informationstechnik
in der Logistik (AILog)
Tel. +49 3375 508-278
stefan.brunthaler@tfh-wildau.de

Next Phase of Mobile Communications – LTE: The End of Fixed Broadband?

Bernd Eylert, Martin Eras, Thomas Zeh

Abstract

With the introduction of the Internet in the early 90th years of the last century, broadband demand has increased tremendously. As ISDN was the modern technology at that time, which has had its correspondence in the mobile world in the GSM technology, DSL and its evolution has its correspondence in UMTS/3G and its evolution into HSPA (High Speed Packet Access) and soon in LTE (Long Term Evolution). With the globalisation of our industries business has changed during the last 15 years. Employees are not anymore sitting eight hours a day in an office. They stroll around and need access to the Internet when out of office anytime anywhere. New categories have been born: the mobile worker and the mobile Internet. Does the mobile Internet have an implication on future communication's behaviours of mobile workers?

When mobile workers are already familiar with mobile broadband service access, do they need fixed broadband access in parallel? Would that be economical and productive? Some studies regarding the mobile Internet are already out. Researchers of Wildau University want to have more knowledge on this subject, but even more on the aspect, whether LTE could replace fixed broadband. Therefore, they have undertaken a study in the Berlin area to get a better understanding on different kinds of broadband access and give an answer to the question: LTE and Fixed Broadband – Competition or New Challenge? To put a long debate short, the answer is yes: LTE is a challenge and depending on the finance model it could be a strong competitor to fixed broadband as well.

The Technology

Access & speed

Third Generation Partnership Project (3GPP) technologies will soon see downlink speeds of 42 Mbps with High Speed Packet Access (HSPA) Evolution. LTE is positioned to build on this continued evolution by offering downlink speeds exceeding 100 Mbps in the near future.

Currently, operators offer mobile users download speeds of up to 7.2 Mbps and upload speeds of up to 1.4 Mbps, coming up to 5.8 Mbps, which represents the current phase of HSPA (3GPP Release 6). In 3GPP Release 7, the next phase of the technology evolution available in 2009, end-user data rates will ultimately bring up speeds to 42 Mbps in the downlink (DL) and 12 Mbps in the uplink (UL). But that is not the end of the story: A future release of 3GPP in the years to

	HSPA Evolution					
	W-CDMA		HSPA on DL		HSPA on UL	
3GPP	R99	R5/2002	R6/2005	R7/2007	R8/2008	Future Releases
Peak (DL)	0.384 Mbps	14 Mbps	14 Mbps	28 Mbps	42 Mbps	160 Mbps
Data Rate (UL)	0.064 Mbps	0.384 Mbps	5.8 Mbps	12 Mbps	12 Mbps	40 Mbps
Enhancements			UL: 2ms TTI	DL: 64QAM or 2x2 MIMO UL: 16QAM	DL: 64QAM + 2x2 MIMO UL: 16QAM	Combinations of: Multi-carrier/4x4 MIMO/higher order modulation
Commercial Availability	2001	2005	2006/7	2008/9	2009	future

Fig. 1: Evolution of the 3GPP family of standards [1], [2]

come is a DL of up to 160 Mbps und an UL of about 40 Mbps (fig. 1).

3GPP/LTE is the first technology approved by NGMN Alliance, out of the 3 standards reviewed, LTE, UMB and WiMAX [3]. It is quite worthwhile to have a look at NGMN's website and read the technical documents, because NGMN reflects very much the operators' view and they are looking forward towards 3G & beyond.

3GPP technologies will have an important influence on mobile operators for many years to come representing the future-proof evolution in terms of economy of scale, coming investments and ability to extend present networks over the next decade.

The International Telecommunication Union (ITU) defines »4G« as network technology with throughput of 100 Mbps for wide area/mobile use and 1 Gbps for hotspot coverage to be applied in new spectrum bands with 100 MHz channels. This means, LTE is already on its way to meet the key requirements for 4G Technology. For operators it does mean: smooth migration from today's mobile technology to next generation mobile technology. That also means as mentioned earlier economy of scale and proper secured investments.

Spectra & networks

LTE provides a clear evolution path providing smooth migration of current 3G systems, because it works on the same networks. Regarding the spectrum situation, LTE will work in all 3G spectra as agreed by ITU. The standard at present is specified for data rates of at least 100 Mbps in the downlink and Radio Access Network (RAN) round-trip times (latency) of less than 10 ms.

Latency in this context means the time it takes for a message to travel from an end-user device to the data network and back again. With reduced latency users will enjoy shorter response times for interactive applications such as mobile office and gaming, as well as fast Internet access for audio and video downloads as they already know it from their fixed broadband services. That means, HSPA offers mobile users fixed-line broadband speeds from their notebooks and other 3G devices anytime and anywhere if there is coverage.

But that is only one side of the coin: Another even more important problem is System Architecture Evolution (SAE), which hasn't been solved today and needs strong improvement, an intensive work specified in 3GPP together with the deployment of LTE [2]. This part will cover all technologies mentioned above and is representing the »bottle neck« for backbone network(s).

For the time being we will not follow that route and would like to advice the reader to have a look at other publications, e. g. [1] and [4], for SEA and spectra.

The Markets

People are getting used to having broadband access outside the home or office. They can already browse the Internet or send e-mails using UMTS and enhanced 3G-Technologies like High Speed Packet Access (HSD-PA und HSUPA) on their 3GPP-enabled notebooks and some phones. More and more of them are able to replace their fixed DSL connections with the mentioned new mobile technology. In a growing number of markets, net additions of mobile broadband subscribers already exceed those for fixed broadband as different studies show and will be shortly touched in this document.

The GSM Association estimates that the number of HSPA subscribers of 15 million globally in March 2008 will nearly triple by the end of 2008 and grow to over 700 million by end 2012. Analysts predict the total mobile data traffic is expected to overtake total voice traffic in 2010 and already has in HSPA-enabled networks [1,4]. Some two-thirds out of the estimated 1.8 billion broadband subscriptions in 2012 will be mobile broadband. This is supported by mobile operators' experiences which show the increasing usage of mobile broadband where HSPA is successfully introduced. Here, more and more customers are already changing from traditional DSL as fixed broadband service to the freedom of mobility, to the displeasure of the classical incumbents. This evolution is supported by providers offering enhanced applications working on fixed broadband as well as on mobile, occasionally with some specifications. E. g. community sites, search engines, presence applications and content-sharing sites are few examples and will get significant more valuable to people with mobility. User-generated content is particularly interesting, because it changes traffic patterns to make the uplink much more important.

Following Mike Roberts [5] and Informa Telecoms & Media's recent strategic report on mobile Broadband [6] according to WiMAX Broadband Convergence even WiMAX has a chance to boom competing with EV-DO and its migration to EV-DO Revision A (EV-DO rA) and HSxPA accelerating. In fact Informa's forecasts and the latest figures of the Global Suppliers Association (GSA)

[7] regarding networks and devices show that wireless is on track to overtake fixed line as the dominant broadband platform worldwide. Whether all three competing mobile broadband systems based on the same core technologies of OFDMA and MIMO will survive in the long run may be questioned, but in fact the battle between WiMAX, LTE and UMB has already begun.

This is supported by another new research undertaken by the Yankee Group [8] for the UMTS Forum. Asking customers »I want to be able to get access to the internet, email, IM and other online services wherever I go and on any device« almost 2/3 of them agreed on that statement. The main problems for operators are twofold:

- Operators must look beyond their core services for growth
- Positioning and pricing innovation is critical for any success in this evolving market

The 1st point is very similar to the problems we already had to solve with 3G/UMTS: Killer applications respectively new services need to be identified; the 2nd one is targeting a more crucial aspect: Consumers ask for simplified (and cheaper) prices! Regarding the revenues the potential for operators is 6-7 times higher than the current annual access revenues on mobile internet which may represent 60% of the fixed broadband market globally in the next few years. The key markets are again Asia-Pacific, Europe and the Americas, specifically the BRIC-countries (BRIC: Brazil, Russia, India, China). Operators must have a strong eye on their communications strategy to avoid hype promising mobile broadband speeds! No need to repeat the mistakes already submitted at 3G auctions eight years ago...

Regarding the German market reader's attention should be taken on three studies that will be of interest for this item:

- Accenture, Mobile Web Watch 2008 [9]
- Deutsche Telekom, Deutschland Online 2007 [10]
- ARD/ZDF, Online-Studie 2007 [11]

E. g. the consulting company Accenture has figured out for Germany that only 10 % of those customers having a mobile phone with mobile Internet capacity (GPRS/EDGE/UMTS/HSPA) use the mobile Internet, mostly for low data volumes. The main reason for this deficit is price sensitivity (71 %). Another point of critic is the presentation of mobile content on enhanced mobile phones which is quite often relatively poor and not at all much to customer's enjoyment.

The study

As part of the master degree's programme in 'Telematics' (Telecommunications & Computer Sciences) at Wildau University students should run a specific project on the subject 'Telecommunications & Society' on advice of their lecturer. Students have about four weeks to go to work out the project. One of the items of this year's summer semester agenda was 'LTE and Fixed Broadband - Competition or New Challenge?' The main item next to the theoretical work was to work out an interrogation paper, a questionnaire. With this subject, students must learn how to address the customers successfully without bothering or annoying them or taking too much time from them. On the other hand they should interest the questioned person on the researched subject. So, it is important to get an early understanding of the anticipated hypothesis, how to work out the questionnaire's programme and the format to interpret the results and so on.

Hypothesis

Firstly, to simplify the research the population is separated into two main groups

- Private users and
- Mobile workers

The latter ones represent an important portion of the business users. Starting from the point that customers are on the whole interested in using mobile Internet as outlined in several studies quoted earlier we assume that they will pay a significant price for the product as it is better or equal as for the current fixed broadband service. The price for the mobile Internet service must be transparent and attractive. That is very much related to the results as Yankee Group has discovered in its study for the UMTS Forum recently. We assume that operators will offer "flat-rate" service as it was already foreseen in the UMTS Forum's earlier Market Studies [12] for the introduction of UMTS/3G almost a decade ago. That covers the interests of the first group, the private users, as well. They are even more price sensitive as business people which can be seen from the daily experience with 3G services today. This picture has not changed in recent years, even more it has been adopted by many operators today as you can see on their price schemes. Anyhow, these cost models are not simplified enough and there is more work to do.

Questionnaire

To verify the hypothesis a questionnaire was undertaken at Berlin Tegel Airport, the airport mainly used by business men (and women), and in Berlin Mitte (Sony Center and around), the most busiest place for »white collar« people, individuals and tourists in the capital. The questionnaire separates between those people already using the mobile Internet and those having no experiences with the mobile Internet. Especially, most of the mobile workers have already experiences with mobile Internet, quite often via WLAN in dedicated places e. g. airline lounges, hotels etc, some also with GPRS/UMTS equipment.

Next point to get to know is the time people work on the Internet, fixed or mobile, and the kind of access they presently use. We asked the people, how many hours they work weekly on the Internet and how fast their access is today. Next interest was focussed on money they monthly spend to access the Internet. Last question for the experienced people was, whether they already do or could imagine using the mobile Internet also privately.

People, not having any experience with the mobile Internet were given a hypothetical scenario and asked, under which circumstances they would like to use the mobile Internet and to what expenses.

Results

Quite interesting, the received results were supporting the hypothesis and not very much different from those results, already figured out in some of the mentioned publications. Most people questioned were mobile workers (43 %) at Berlin Tegel Airport. Most people asked were between 20 and 60 years old, with a significant amount of the 45-60 years old ones. That means we really got the »lion's share« of those who would be the early adopters of LTE.

Nearly 80 % of the interviewee (fig. 2) was using fixed broadband DSL2000 (33 %) or DSL6000 (42 %). ISDN is not anymore up to date as only 6 % are still on ISDN, but DSL16000 is of similar use as DSL1000. That has to do mainly with either being on work's access or just not getting more capacity from their current provider. So, using 2-6 Mbps is just the range UMTS/HSPA is offering today, these customers could already be satisfied with present capacity on mobile broadband, if the tariffs were compatible. In summary, LTE is just on track to deliver promising mobile broadband speeds that customer would need in the next future! Well spotted!

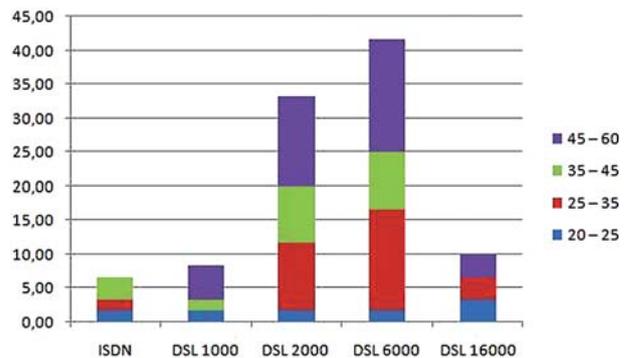


Fig. 2: Type of Internet Access in relation to age groups in years

On the other hand, most interviewees are working 15-25 hours (36 %), respectively 25-50 hours (25 %) weekly on the internet (fig. 3). That is just the audience that would need LTE in the years to come; good news for mobile operators! A similar amount of people (14 % each) is between 5-15 hours or >50 hours on the Internet weekly. All in all, people are tending to more hours spending on the Internet.

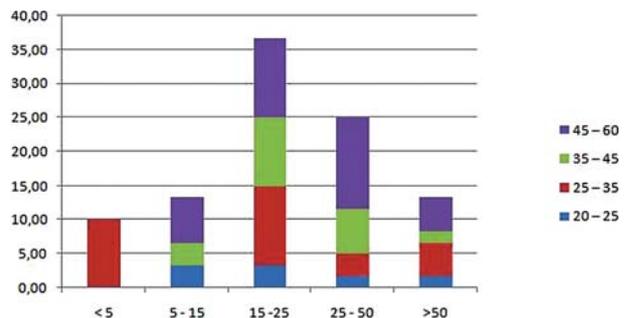


Fig. 3: Internet usage (hrs/week) in relation to age groups in years

A small percentage of customers is already using mobile broadband, mainly young people between 20-25 years (fig. 4). This will extend in the near future as youngsters anyway are more on the mobile side.

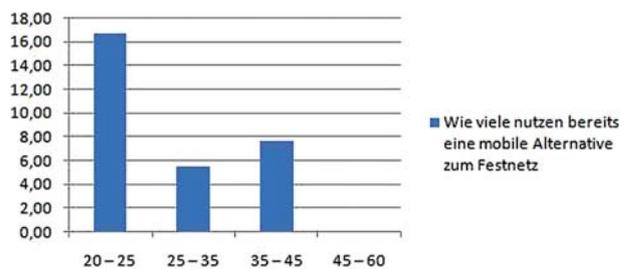


Fig. 4: Mobile Internet users [in %] in relation to age groups in years

Regarding the costs (fig. 5), customers presently spend for the Internet access, we see that most are spending 30-50 € monthly (53 %), but the number of people

spending 50-150 € has almost reached the same level (42%). Most of them are on flat-rate which means they are mainly private users and that the higher figures may probably be more related to mobile workers.

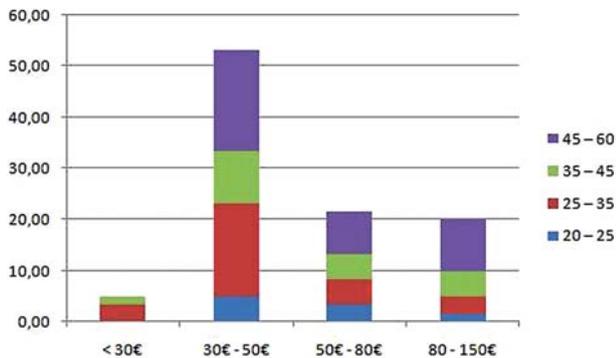


Fig. 5: Internet Access cost (monthly) [in €] in relation to age groups in years

A change from fixed broadband to mobile internet access (fig. 6) is reasonable for the majority of the interviewees (85%). When you explain the opportunities LTE may offer to customers and a change would be possible today (fig. 7) even more would like to do so (92%). Irrespective of age almost everyone would change from fixed to mobile, if the same or better service is delivered for the same price (65%). 20% would pay more, out of the 45-60 yrs old 30% would be ready for a higher bill (fig. 8).

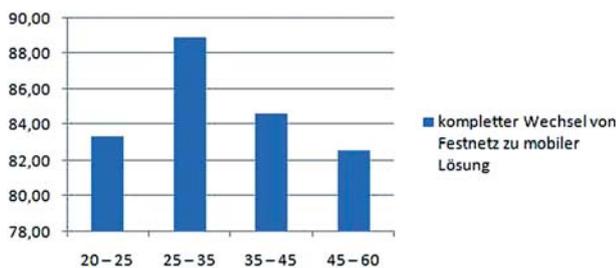


Fig. 6: Full changes from fixed to mobile access in relation to age groups in years

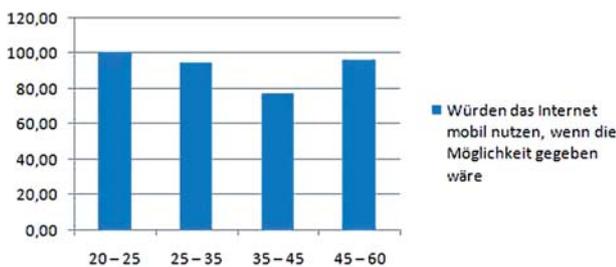


Fig. 7: Change from fixed to mobile broadband (LTE) [in %] in relation to age groups in years

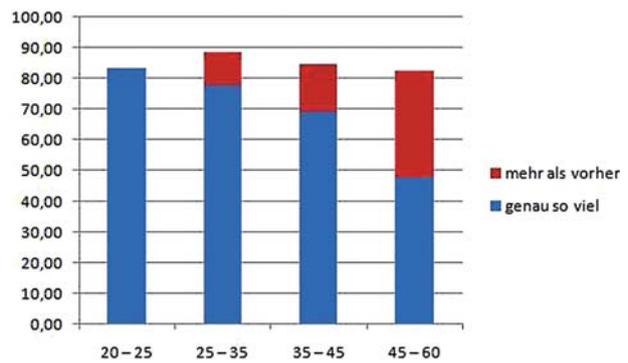


Fig. 8: Willingness to pay [in %] in relation to age groups in years

Another item the study should show was to find out which kind of services the customers would like to have when using LTE. The very clear answer is: Customers want social networking, voice communication, messaging, search on the Internet and some content & entertainment. That is very much in line with the latest studies of Deutsche Telekom [10] and Yankee Group [7]. Content & entertainment are the fastest developing fields that especially attract young people (15-25 yrs) and are the most prosperous market niche. This area is full of emotion. LTE can meet the consumers' wishes. Older people (30+ yrs) would prefer information & communication services.

The mobile world will be successful with broadband access and services, if operators and providers clearly provide the following three crucial items:

- Behaviour and emotional aspects as connection with friends & family must continue without any changes, no barriers between themselves and their families and friends. Communication may be easier and more comfortable. People do not want to be impeded, they want to be supported by new services.
- Applications & services must convince the consumer. They want this new service anytime and anywhere, whether you are on business, at home or on holidays. From the content point of view, customers wish e. g. Internet TV (IPTV), music- and video-on-demand, sending and downloading the latest pictures of your family or files and reports to and from your company regardless which type of device (mobile phone/smart phone/laptop) you have. From the finance point of view, customers want e. g. transparency, sensitivity, comparability to fixed broadband services, e. g. only one invoice for all services instead of at least three for mobile phone calls, fixed line phone calls and internet connection. They want a simple price scheme for all service; customers

do not want to pay any attention for different prices for different services; flat rate is one serious option. Customers want control on all expenses; one invoice for all services suits best.

- Last but not least, costs may increase up to 50%, ideally 25 %, if LTE is a full replacement for fixed broadband access. Consumers would not bother on higher prices, if services and applications are delivered as described in the previous two paragraphs.

Summary

»LTE and Fixed Broadband - Competition or New Challenge?«, the answer is twofold. Firstly, LTE is a new challenge for operators, providers, technicians and the market. The technology is on a good track and will path the way for a new business for operators and providers to meeting the customers' expectations on mobile Internet anywhere and anytime. Secondly, mobile operators' and providers' duty is now to find applications and services which will compete with those on fixed broadband networks. Competition is not only on applications and services, but even more on a suitable price scheme. This is something which was crucial with 3G in the past and has been solved very bumpy. One reason for the difficult start of 3G was based on prices and it took a long time for operators to figure out the market expectations. Now it is easier, as HSPA is airborne and swings up quite nicely. This is good news for mobile operators/providers and a challenge for incumbents. It is the customer who makes the final decision!

References

- [1] Ericsson LTE and SAE, EN/LZT 108 9819 R1A, Ericsson AB 2008
- [2] www.3gpp.org
- [3] NGMN Alliance, Industry Conference, Frankfurt, June 25-27th, 2008
- [4] Sidenbladh, Thomas (2008): LTE – Technology and Spectrum, UMTS Forum's 44th GA, Bratislava, 3-4 July 2008
- [5] Roberts, Mike (2007): Mobile broadband to boom via HSPA to LTE, EV-DO to UMB & WiMAX, 22nd August 2007
- [6] www.informatm.com/wimaxreport
- [7] www.gsacom.org: »GSA Publishes GSM/3G Market Update«, July 31, 2008 and »GSA Confirms Over 200 HSDPA Networks Worldwide Are Launched«, July 16, 2008
- [8] Talmesio, Dario (2008): Mobile Internet Utopia, Yankee Group at UMTS Forum's 44th GA, Bratislava, 3-4th July 2008
- [9] Accenture, Study »Mobile Web Watch 2008«
- [10] Deutsche Telekom, Deutschland Online 2007
- [11] ARD/ZDF, Online-Studie 2007
- [12] UMTS Forum, Reports No 9, 13 & 17

Authors

Prof. Dr.-Ing. Bernd Eylert

Technical University of Applied Sciences Wildau
Faculty of Engineering/Industrial Engineering and Management
Professor for M-Commerce
Senior Director of Deutsche Telekom AG (on secondment) and
Chairman emeritus of the UMTS Forum
Tel. +49 3375 508-120
bernhard.eylert@tfh-wildau.de

Martin Eras, B. Eng.

2nd year Master Student at Wildau University

Thomas Zeh, B. Eng.

2nd year Master Student at Wildau University

Implementation of a siRNA Screen for Prostate Tumour Cell Lines Using Living Cell Arrays

Peggy Reich, Marcus Frohme, Juha Rantala, Matthias Nees

Zusammenfassung

Prostatakrebs ist neben Lungenkrebs eine der häufigsten Todesursachen bei Männern. In dieser Arbeit wurden 1500 potenziell tumorrelevante Gene in drei Zelllinien (VCaP, LAPC-4, RWPE-1) gescreent. Dafür wurde eine neue Technik, die *Lebendzellarrays*, genutzt, um Informationen über die Biologie Androgen-unabhängiger Prostatazellen zu gewinnen. Die Lebendzellarrays basieren auf dem Prinzip der reversen Transfektion [1], und in Folge werden die mRNAs der gewünschten Gene durch spezifische »silencer RNAs« (siRNAs) ausgeschaltet. Die Zellen wurden parallel sowohl in normalem Medium untersucht als auch mit androgen-reduziertem Medium unter Stress gesetzt. Das Wachstum der Prostatazellen wurde mittels Markern für Proliferation und Apoptose beobachtet. Die Daten der Screens wurden mit Hilfe statistischer Verfahren evaluiert. Die Lebendzellarrays konnten erfolgreich für einen umfangreichen siRNA-screen angewendet werden.

Abstract

Prostate cancer is one of the most common causes of death in men. In this work a siRNA screen of around 1500 cancer-relevant genes was performed using 3 different cell lines (VCaP, LAPC-4, RWPE-1). A novel technique, the *living cell array*, was initiated in order to obtain information about the biology of Androgen-induced growth in prostate tumour cell lines. This technique is based on the principal of reverse transfection [1] and genes are knocked down by siRNAs. The cells on the living cell array were set under stress by reduction of the androgens in the media while the proliferation and apoptosis were quantified. The statistical analysis of the data implicates the success of the screen and shows that this method is suitable for large-scale experiments.

1 Introduction

Prostate cancer (PCa) is one of most common causes of death for men (figure 1). In many cases, this malignancy develops without apparent symptoms and is not discovered until metastases arise. In recent years, clinical tests measuring the release of PSA (prostate-specific antigen) into blood serum have significantly increased the number of cases detected at an early stage, resulting in much improved survival rates for these patients. Early diagnosis enables clinicians to successfully treat PCa using androgen ablation therapy [2]. However, particularly in advanced cases, the tumour recurs and develops androgen independent cells that are not responding to the ablation therapy, although almost invariably the androgen receptor (AR) continues to be expressed. This is illustrated by the fact that AR is very frequently amplified and overexpressed in hormone-refractory cancers (HR-PCa), or acquires mutations that cause hyper-activation of its functions by very low amounts of ligands. Last not least, other mutations allow AR to bind unrelated, even non-steroidal ligands. It is this development of HR-PCa

that poses a clinical problem for which, in fact, currently no therapy exists. It is important to understand this development of androgen independency to develop new therapeutic concepts and novel pharmaceuticals. Thus it is helpful to evaluate the network of relevant genes related to androgen-receptor signalling in order to model metabolic pathways and create hypotheses, which are then tested with specific experiments.

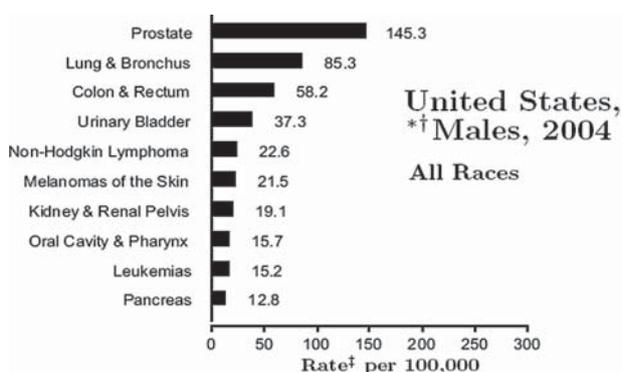


Fig. 1: Cancer cases (rated per 100 000 persons) for males in the United States in the year 2004 [3] – data covers 98 % of the population of the United States

One of the key players in the male metabolism, *Testosterone*, is produced by the testes and the adrenal gland and converted in the prostate gland by 5α -reductase to Dihydrotestosterone (DHT). The androgen receptor is located in the nucleus membrane and has a high affinity for this specific ligand DHT. The activated receptor dissociates from so called heat-shock proteins (HSP) and after dimerization and phosphorylation the androgen receptor (AR) binds specifically DNA sequences, i.e. the androgen responsive elements (ARE). With other co-activators the AR stimulates – as a transcription factor – proliferation and survival as well as it inhibits apoptosis of the prostate cells by regulating the transcription of androgen-responsive genes (fig. 2) [4]. Therefore prostate cells are strictly dependent on androgens to proliferate and survive. The reduction or removal of androgens in the cell culture is called androgen ablation. A prostate tumour may develop cells that are androgen-independent (hormone-refractory), meaning the cells found a way to proliferate by bypassing the normal signalling pathway. An androgen-independent prostate tumour will not respond to androgen ablation therapy and is the most common reason for cancer recurrence. The investigation of how these cells manage to stimulate proliferation without androgens is of outstanding importance.

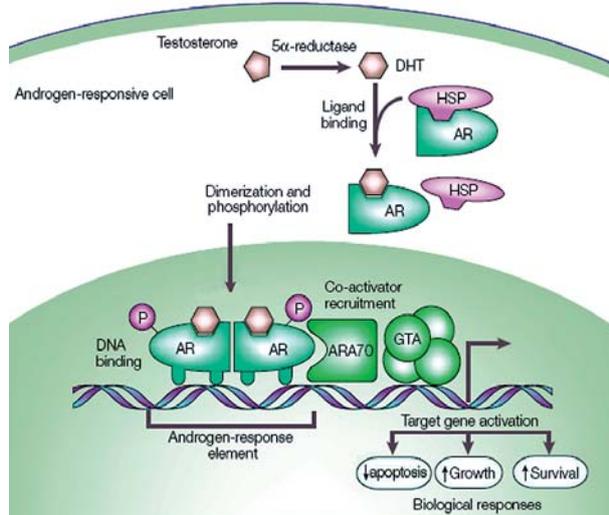


Fig. 2: The signalling pathway of the androgen receptor (AR). Testosterone is transported in the blood and taken up by the androgen responsive prostate cell. After transformation of testosterone to Dihydrotestosterone (DHT) by 5α -reductase in the prostate cell, the DHT binds to the AR, which releases from the heat-shock-proteins (HSP). Then the AR is phosphorylated and dimerizes before it binds to androgen-response elements (ARA) on the DNA. With other coactivators like ARA70 and the general transcription apparatus (GTA) the AR regulates the transcription of genes to increase proliferation and survival of the prostate cells – modified from [4].

This work is aimed to provide experimental data with information about the functions of genes in the prostate cell and the prostate tumour cell, with a special focus on genes in the context of AR functions and HR-PCa. Living cell arrays were used to screen a library of siRNAs. Additionally 2 cell lines (LAPC-4, RWPE-1) were established on living cell arrays, to enable comparison and validation of the data. The establishment includes investigation of the attachment behaviour of the prostate tumour cell lines. The cell arrays were kept under two different conditions: In media supplied with sufficient androgens and androgen ablated media.

2 Materials and Methods

For this study different cell lines were used: VCaP, LAPC-4 and RWPE-1, which were established from metastases of a human prostate carcinoma. The cell line VCaP was derived from a spinal cord metastasis of a PCa patient, and was initially maintained as mouse xenografts. The LAPC-4 cell line was established from a lymph node metastasis of another PCa patient, which was also transplanted in xenografts. VCaP and LAPC-4 cells contain wild type AR and are androgen dependent (AD). Furthermore, VCaP contains a classical amplification of the AR locus on the X chromosome, causing AR to be highly expressed in this cell line. VCaP cells are strongly stimulated by very low amounts of androgens. In contrast, LAPC-4 does not contain an AR amplification and requires considerably higher concentrations of androgens to maintain growth and proliferation. By androgen ablation (= reducing/removing of androgens by the use of anti-androgens or charcoal-stripped serum) the cells die or exist without proliferation. RWPE-1 is a normal prostate epithelial cell line which was immortalized using the oncogenes E6 and E7 of human papillomavirus type 18 (HPV18). In this study, RWPE-1 cells served as the normal control.

The living cell array (fig. 3) was developed in the research group »Medical Biotechnology« at VTT Turku (Technical Research Centre of Finland) [Rantala, manuscript in preparation]. Cell arrays are essentially based on the concept of reverse transfection, i. e. the transfection reagent is printed on a glass or plastic slide before the cells are added and left to attach. Recently, this experimental procedure has been described for small interfering (siRNA) arrays [1].

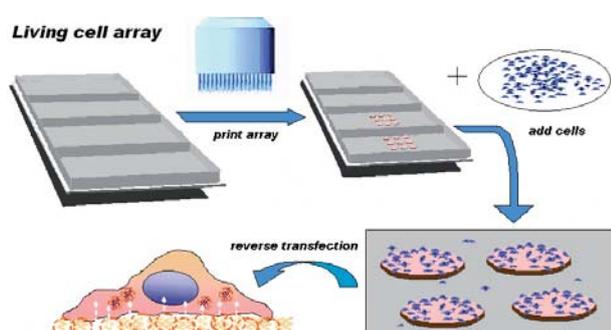


Fig. 3: The principle of a living cell array. First print transfection solution, including siRNA and attachment factors, on a plate. Next, cells are added and left to attach to the printed spots. The transfection of the cells on the spots is performed for 2 – 3 days. After transfection, certain proteins of interest can be labelled by antibodies and assayed.

In vivo, these small RNAs interfere with the expression of a specific gene (this is also called RNAi = RNA interference). In vitro applied synthetic siRNAs for human cells are 19 to 25 nucleotides long, double stranded and have a small nucleotide overhang on both sides. It is mandatory for siRNAs to oblige to these size restrictions because long double stranded RNAs (> 30 nt) will effectively activate the interferon pathway which may lead to apoptosis and inflammation-like artifacts. To introduce siRNA into human cells, an effective transfection method is necessary, normally performed with polar lipids (e. g. lipofectamine [1]). Once introduced in the cell, in particular into the cytoplasm, siRNA knocks down specific genes of interest by silencing target mRNAs through degradation. The siRNAs bind to a complex named RISC, containing a number of cellular proteins that essentially accomplish binding of the siRNA to its mRNA target molecule, causing a cleavage of the message followed by rapid degradation by other nucleases.

This refers to one limitation of RNAi screens in human cells: A gene may create many different mRNAs through splicing – thus many independent siRNAs per gene are required to efficiently knock down the gene [1]. Compared to the typically used liquid phase transfections in 96- or 384-well plates using robotics, the »reverse transfection« is an extremely powerful method for high-throughput screening of many genes in parallel to gain knowledge about their function. The high density of the spots allows an accelerated data acquisition and reduces the cost and resources for each experiment. In particular, the volume of siRNA required is decreased from several microlitres per well to only a few nanolitres per spot [1].

The layout of living cell arrays is variable and can be chosen individually.

The living cell array is printed in three steps (fig. 4). Every field is printed with a 16 pin print head. Three fields were printed in parallel on one slide. All three fields together are called array. One field contains 16 grids (= 784 spots). One grid contains 49 spots, 7 rows and 7 columns. One spot per grid is empty (no solution printed) as control and orientation support. The array includes 2352 spots. The spots have a diameter of 200 to 300 μm .

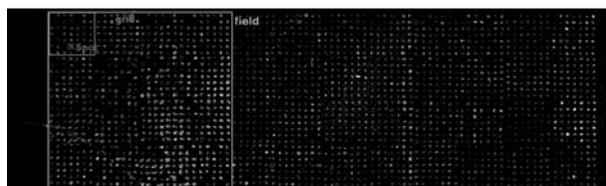


Fig. 4: Layout of a typical living cell array with VCaP cells. A cell array is divided in fields (in green), grids (in blue) and spots (in pink). In this approach, an array contains 3 fields each with 16 grids each with 49 spots. However, this is variable and depends on the printing strategy and the number of siRNAs printed.

The experimental design includes the selection of the siRNAs, controls, cell lines and conditions. The most time consuming part is to grow sufficient numbers of cells for seeding the arrays and to test their attachment capability. After the arrays were printed, the cells were attached, incubated, fixed and stained with antibodies. The staining was performed with an indirect immunoassay, using antibodies for ki67 and cParp. Ki67 is a protein present in the active cell cycle and widely used as a very reliable marker for cell proliferation. Cleaved Parp (cParp) is a proteolytically processed fragment of the poly-ADP-ribose-polymerase (PARP), which is cleaved during apoptosis. As fluorescent dyes, primarily the very stable fluorophores Alexa Fluor 488 and Alexa 555 were used. The cell »cores« were stained with SYTO, a red fluorescent dye that binds to DNA, thus highlighting the nuclei. The performed and stained arrays were subsequently scanned with a fluorescent laser scanner, and the intensities of the spots were measured with the Array-Pro™ Analyzer from Inc. Media Cybernetics. The spot intensities were automatically normalized using a program written in R [Kohonen P, unpublished]. This algorithm first normalizes the variation per grid by dividing every intensity value of one channel by the median of the intensities in this channel per grid (fig. 5):

$$y_{kim} = x_{kim} / \text{median}(x_{im})$$

Here y_{ki} is the corrected intensity value and x_{kim} is the uncorrected raw value of the k^{th} spot in the i^{th} grid in the m^{th} channel, *median* is the median of the values in the i^{th} grid in the m^{th} channel.

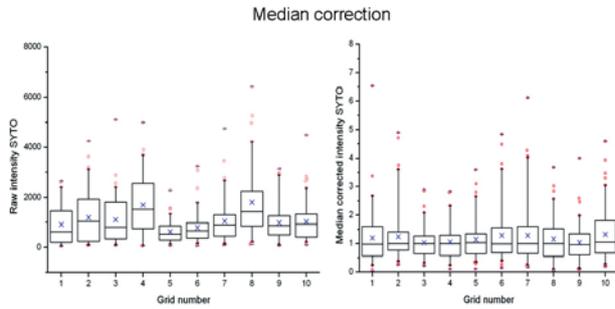


Fig. 5: Box chart of raw and median corrected intensities. The SYTO (= DNA dye) intensities for the first 10 grids of the VCaP cell array are displayed – left: raw intensity values; right: median corrected intensity values. The median of the grids form a line after correction. The box represents the median (horizontal black line) and the data values between the first quartile (25 %, bottom line of box) and third quartile (75 %, top line of box); the whisker (vertical lines from the box) are set from 5 % to 95 %, the blue cross represents the mean of the data, the blue lines represents the maximal and minimal intensity values of the grid and the red dots represents the 10 % outliers.

The intensities of the dyes vary over the array surface (fig. 6). In order to smoothen these variations in the dye intensities, the data are normalized using the loess approach (locally weighted polynomial regression, a.k.a. LOWESS) [6]. The three dye/antibody channels are ordered pairwise (cPARP/SYTO, Ki67/SYTO, Ki67/cPARP) based on their position on the plate and locally fitted by the loess function (fig. 7):

$$Fit = loess(rat \sim int + grow + gcol),$$

with $rat = \log_2(\text{ChannelA}/\text{ChannelB})$ and $int = \log_2(\text{ChannelA} * \text{ChannelB})$ and $grow$ the global row and $gcol$ the global column of the array represent.

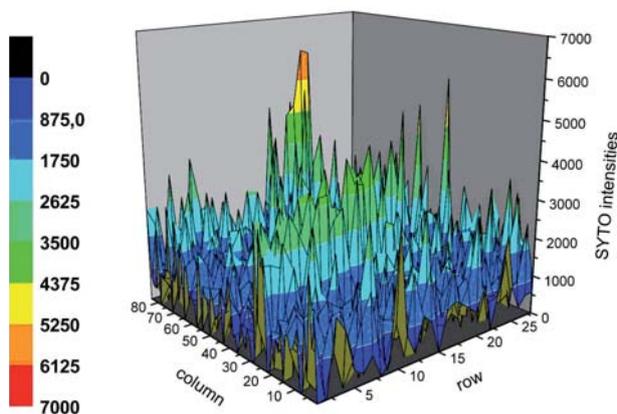


Fig. 6: Surface plot of a living cell array with VCaPs. The intensity of the stained nuclei using SYTO dye are plotted dependent on their location on the array. The array consists of 28 rows and 84 columns of spots. Local areas dominated by high SYTO intensities are clearly visible. These are smoothened using the 3-dimensional loess correction.

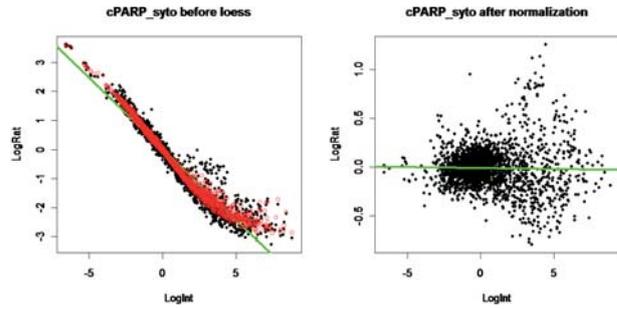


Fig. 7: Scatterplots of data values before and after the 3D-loess-normalization. The channel pair cPARP/SYTO of the living cellarray with VCaP is displayed – left: Scatterplot of the median-corrected data before loess correction; right: Scatterplot of the with loess corrected data – $\text{LogRat} = \log_2(\text{int_cPARP}/\text{int_SYTO})$, $\text{LogInt} = \log_2(\text{int_cPARP} * \text{int_SYTO})$, black dots = data values, grey dots = 3D-loess fit, grey line = linear loess fit. The black dots represent the data values of the intensity ratio cParp/Syto before loess correction (in the left scatterplot) and after loess correction (right scatterplot). The green lines represent the linear loess fit without paying attention to the position of the intensities on the array. The red dots show the 3D loess fit with attention to the position of the intensities on the array. The data values are corrected using the 3D loess fit, the red dots.

3 Results

Several test plates with printed spots containing scrambled siRNA (i. e. siRNA without any information and no expected knock-down function) were used to define the conditions for the two cell lines LAPC-4 and RWPE-1. The conditions, time of enzyme treatment to detach the cells, the minimal cell amount needed as well as the time the cells require to attach were critically optimized and standardized conditions used to perform the actual screens.

The implementation and performance of the living cell arrays with the three cell lines VCaP, LAPC-4 and RWPE-1 was successful. Several other cell lines were also tested, incl. the widely used LNCaP cell line, but resulted in unsatisfactory data. The VCaP cells were left to attach for 45 minutes, while the LAPC-4 cells were incubated for 25 minutes and the RWPE-1 cells were attached for one hour. All arrays were incubated for 36 hours in the appropriate medium, whereby the media was changed after 12 hours. Every array was fixed and stained, which required one full day per array. Eventually, the arrays were scanned and the obtained pictures were measured with the software Array-Pro™ Analyzer. This process is particularly time-consuming, since every spot has to be estimated individually and the automatic software tools are not sufficiently precise for this purpose. The normalization process itself is then automatically performed by the program.

The spots were also observed using a fluorescence microscope (example illustrated in fig. 8). The detailed microscopic observation of hundreds of spots in principle confirmed that the antibody intensity correlates with the obtained values. Also, the SYTO-stained cellular nuclei are clearly visible, while the green fluorescence is situated surrounding the nucleus, which is expected for the Ki67 protein that is located in the cytoplasm.

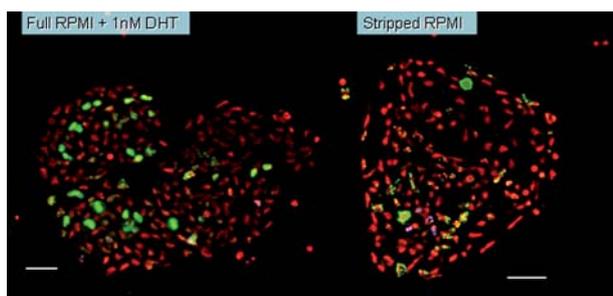


Fig. 8: Microscopic pictures of the VCaP array spot in full RPMI and stripped RPMI (without androgens) – white bar = 50 μ m, red = nuclear staining (SYTO), green = cell proliferation (ki67), blue = apoptosis (cPARP). The apoptosis is more readily visibly in stripped, androgen-depleted RPMI compared to full RPMI. In contrast, the proliferation/cell number ratio is roughly identical in both media

For every array one technical replicate was performed with the same cells, at the same time to estimate the random error of the arrays. The random error for VCaPs based on the normalized ki67/cParp intensity ratios (logarithmic) was calculated to be around 0 ± 0.1 . Two thirds of the values per array lie inside this range. Only the values that are significantly higher or lower are truly interesting. The random error of the procedure is in a reasonable range. The reproducibility is good enough. To allow further evaluation of the data, some control siRNAs were used. Scrambled siRNAs contain no information and no gene-specific knock-down should occur. The calculated mean intensities are, as expected, within the normal range of variation (± 0.1), indicating that transfection alone causes serious artificial effects. The performance of the antibodies was evaluated by a gene-specific knock-down of the mRNAs coding for the proteins those antibodies are expected to detect. The knock-down of the protein PARP (Poly-ADP-Ribose-Polymerase) decreased the intensity of the cParp (cleaved Parp) channel by more than 80 %. However, the knock-down of Ki67 decreased the intensity of the ki67 channel only by 5 %. This may be due to very high expression levels of Ki67 that are inefficiently targeted by the siRNAs, or, alternatively, indicating that the siRNAs against Ki67 are not working. For this reason, fur-

ther controls such as MYC and KIF, whose knock-down was expected to cause cell death, were also used to control for transfection efficiency. Their knock-down decreased the intensity of the ki67/cParp ratio by around 50 %. This indicates that both the transfection of the cells and also the specificity of the antibodies used were satisfactory.

4 Conclusion and future aspects

The performance of the three living cell arrays with the cell lines VCaP, LAPC-4 and RWPE-1 was successful. The obtained data were also successfully evaluated and analyzed for biological relevance (data not shown here). A plate-to-plate normalization will allow the comparison of the intensities of two cell lines or two conditions by using statistical methods such as the student's t-test. These comparisons will produce additional functional information about the relevance of genes under the two different growth conditions examined. In particular, if the knock-down of a certain gene has no apparent growth effects in normal androgen-containing media but leads to increased cell death in androgen-reduced media, this may indicate a functional role of a gene in the androgen pathway. Most of the normalized data tend towards a somewhat higher variation, in particular at high intensities in both channels. Therefore an additional correction of the variance using loess will certainly improve the results.

Annotation and Acknowledgement

This work is based on the master's thesis of Peggy Reich (2008) [7] | Course of Studies Biosystemtechnik/Bioinformatics (BBM06). The major part of the experiments was done at the Technical Research Centre of Finland in Turku.

References

- [1] Erfle, H./Neumann, B./Liebel, U./Rogers, P./Held, M./Walter, T./Ellenberg, J./Pepperkok, R. (2007): Reverse transfection on cell arrays for high content screening microscopy. In: Nature Protocols, Vol. 2, No. 2:392-399.
- [2] Roach, M. (1997): III: Neoadjuvant therapy prior to radiotherapy for clinically localized prostate cancer. In: Eur Urol, 32 (suppl 3): 48-54.
- [3] US Cancer Statistics Working Group: 2004 Incidence and Mortality. US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Cancer Institute; 2007.
- [4] Feldman, B. J./Feldman, D. (2001): The development of androgen-independent prostate cancer. In: Nature Review, Vol. 1:34-45.
- [5] Bokhoven, A./Varela-Garcia, M./Korch, C./Johannes, W. U./Smith, E. E./Miller, H. L./Nordeen, S. K./Miller, G. J./Lucia, M. S. (2003): Molecular Characterization of Human Prostate Carcinoma Cell Lines. In: The Prostate 57:205-225.
- [6] König, R./Chiang, C./Tu, B. P./Yan, S. F./DeJesus, P. D./Romero, A./Bergauer, T./Orth, A./Krueger, U./Zhou, Y./Chanda, S. K. (2007): A probability-based approach for the analysis of large-scale RNAi screens. In: Nature Methods, Vol. 4, No. 10:847-849.
- [7] Reich, P. (2008): Optimization of living cell array for functional characterization of prostate tumor cell lines. Master's thesis, University of Applied Sciences Wildau, Germany.

Authors

Peggy Reich, Master of Science

Technical University of Applied Sciences Wildau
Peggy_R@web.de

Prof. Dr. sc. hum. Marcus Frohme

Technical University of Applied Sciences Wildau
Faculty of Engineering/Industrial Engineering and Management
Molecular Biology and Functional Genomics
Tel. +49 3375 508-249
marcus.frohme@tfh-wildau.de

Juha Rantala, PhD student

Technical Research Centre of Finland, VTT Turku (Finland)
Medical Biotechnology, Biochip Technology
Juha.Rantala@vtt.fi

Matthias Nees, Senior Research Scientist

Technical Research Centre of Finland, VTT Turku (Finland)
Medical Biotechnology, Canceromics
Matthias.Nees@vtt.fi

Goldchipelektroden zur elektrochemischen DNA-Detektion

Sandra M. Bütow, Oliver Pänke, Jan Kafka, Fred Lisdat

Zusammenfassung

Im folgenden Artikel werden einfache DNA-Sensoren vorgestellt, mit deren Hilfe es durch voltammetrische und impedimetrische Messmethoden möglich ist, schnell, sensitiv und kostengünstig Einzelstrang-DNA (ssDNA) nachzuweisen. Beide Messprinzipien lassen neben der spezifischen Detektion auch die Quantifizierung von DNA-Sequenzen sowie den Nachweis von einzelnen Basenfehlpaarungen innerhalb dieser Sequenzen zu. Fänger-DNA wurde zu diesem Zweck mit dem 5'-Ende auf einer Goldoberfläche immobilisiert. Die Hybridisierung mit einem Methylenblau (MB) markierten oder unmarkierten Probenstrang konnte dann mit Hilfe der Differenzpulsvoltammetrie DPV oder der elektrochemischen Impedanzspektroskopie nachgewiesen werden. Die voltammetrische Quantifizierung erfolgte in einem direkten und kompetitiven Ansatz, mit einem Detektionslimit von 30 nM bzw. 3 nM (bei Einsatz von 0,1 μ M Kompetitor-DNA). Das Detektionslimit beim impedimetrischen Nachweis lag bei 100 nM DNA. Die hier vorgestellten Sensoren sind zum einen regenerierbar und können zum anderen über einen Zeitraum von zwei Monaten gelagert werden.

Abstract

This paper describes simplistic electrochemical DNA sensors for the sensitive, more rapid and cost effective detection of single-stranded DNA (ssDNA). The used methods are the voltammetric detection and the detection by impedance spectroscopy. Beside the specific detection of ssDNA both techniques allow quantification of DNA and verification of single base pair mismatches within the sequences. Therefore a single-stranded 18mer oligonucleotide (DNA) was immobilised via a thiol-linker on gold film electrodes and served as probe DNA. Hybridisation was detected by means of the electroactive redox-marker methylene blue (MB), which was covalently bound to the 5'-end of the target DNA, by differential pulse voltammetry (DPV) or by measuring the differences in the charge transfer resistance (R_{CT}) by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) using non-labelled ssDNA targets. MB-labelled target DNA was verified down to 30 nM DNA. By application of a competitive binding assay non-labelled DNA was detected down to 3 nM DNA. The detection limit for impedimetric DNA sensors was 100 nM ssDNA. The sensors were found to be reusable and could be stored for more than two month at 4 °C without significant loss in their activity.

1 Einleitung

Die schnelle Detektion und Quantifizierung von Nucleinsäuren bzw. die Sequenzierung von Nukleotidabfolgen sind auf Grund der schnell voranschreitenden Genomforschung in vielen Anwendungsbereichen und analytischen Laboratorien von besonderem Interesse. Nicht nur die medizinische Diagnostik, deren Aufgabe unter anderem die Detektion von genetisch bedingten Krankheiten ist oder die Forensik, für die der Nachweis von Verwandtschaftsverhältnissen ein zentrales Thema darstellt, sind auf schnelle, einfache und sensitive Nachweismethoden für DNA-Sequenzen angewiesen.

Immer deutlicher tritt zudem hervor, dass es von entscheidender Bedeutung ist, Viren, Bakterien oder mikrobielle Kontaminationen in Lebensmitteln einfach und schnell nachweisen zu können [1, 2]. Dabei spielt der Nachweis von Hybridisierungsvorgängen zwischen DNA-Einzelsträngen eine große Rolle. Im letzten Jahrzehnt fokussierten viele Arbeitsgruppen ihre Arbeiten auf den Nachweis der Hybridisierung mit Hilfe von Fluoreszenzmarkern [z. B. 3]. Daneben wurden auch Untersuchungen mit Hilfe der Massenspektrometrie [4], Quarz-Mikrowaage [5], der Oberflächenplasmonresonanz-Spektroskopie [6] und elektrochemischen Methoden durchgeführt [7-12].

Die Nachfrage nach kleinen, einfachen, kostengünstigen und unter Umständen auch transportablen Nachweissystemen führte zur Entwicklung von zahlreichen elektrochemischen Biosensoren und DNA-Chips. Diesen Biosensoren ist ein Aufbauprinzip gemein: Ein DNA-Fängerstrang (Probe) wird auf der Sensoroberfläche immobilisiert. Der Kontakt mit komplementärer Ziel-DNA (Target) führt zu einer Hybridisierungsreaktion. Der Einbau eines Redoxmarkers in die Targetsequenz oder in die dsDNA (Interkalation) ermöglicht im Anschluss eine Auslese des Sensors. Die einzelnen DNA-Sensoren unterscheiden sich dabei hauptsächlich in der Wahl der verwendeten Redoxspezies. Bei der voltammetrischen Detektion werden z. B. Metallkomplexe auf der Basis von Kobalt, Osmium oder Ruthenium [13-15] oder auch organische Verbindungen wie Methylenblau (MB), Daunomycin, Hoechst 33258 oder Anthrachionderivate [16-18] verwendet. Die Verwendung von redoxaktiven Stoffen bringt jedoch immer einen zusätzlichen Arbeitsschritt und Kosten mit sich. Aus diesem Grunde gibt es Bestrebungen, markierungsfreie Detektionsmöglichkeiten zu entwickeln. So wurde in verschiedenen Arbeiten z. B. die katalytische Oxidation von Guanidin zur Detektion der Hybridisierung verwendet [z. B. 19]. Aber auch der elektrische Widerstand [20] oder die Kapazität [21] einer Oberfläche zeigen Änderungen in der Oberflächenbeschaffenheit sehr sensitiv an und bieten somit eine weitere Möglichkeit zur Detektion von Hybridisierungsereignissen. Bei der elektrochemischen Impedanzspektroskopie ist die Messung beider Parameter möglich. Heutige Geräte bieten dabei die Möglichkeit Impedanzspektren über einen breiten Frequenzbereich aufzuzeichnen, was dann eine umfassende Charakterisierung der Oberfläche innerhalb einer Messung zulässt.

In diesem Artikel zeigen wir einfach aufgebaute DNA-Sensoren, die mit verschiedenen elektrochemischen Messmethoden, wie der voltammetrischen Detektion (CV, DPV) oder der Impedanzspektroskopie (EIS), in der Lage sind, sowohl unbekannte Mengen an Einzelstrang DNA zu quantifizieren, als auch einzelne Basenfehlpaarungen zuverlässig zu detektieren. Die Detektion kann dabei sowohl mit unmarkierten, als auch mit dem redoxaktiven Methylenblau (MB) markierten ssDNA-Strängen durchgeführt werden.

2 Material und Methoden

Thiol-modifizierte Einzelstrang-DNA (ss-DNA) wurde über die Firma Thermo-Electron (Ulm, Germany) bezogen. Die Thiolgruppe war über einen C6-Linker am 5'-Ende mit der Sequenz verbunden: HS-C₆-CCT CGT AGG CAA TCG TTC-3'. Die DNA-Konzentration wurde photometrisch bei 260nm bestimmt und der Gehalt an freien Thiolgruppen wurde mit Hilfe des Ellmanns Reagenz [22] überprüft. Alle ssDNA-Targets wurden von BioTez (Berlin-Buch, Deutschland) geliefert. Die Modifikation dieser DNA mit dem redoxaktiven Marker Methylenblau (MB) erfolgte am 5'-Ende der Sequenz über einen Aminlinker durch die Firma emp Biotech (Berlin-Buch, Deutschland). Die verwendeten Sequenzen dieser Studie sind in Tabelle 1 dargestellt. Die DNA-Stränge bestanden aus 18 Basen (18mer) und waren zusätzlich mit HPLC aufgereinigt. Alle anderen verwendeten Chemikalien wurden über Sigma-Aldrich (Taufkirchen, Deutschland) oder Merck (Darmstadt, Deutschland) bezogen und ohne weitere Aufreinigung verwendet. Zum Ansetzen der Lösungen wurde deionisiertes Wasser aus einem Millipore MilliQ-System verwendet.

Name	Sequence (5' → 3')
komplementäre ssDNA (c)	GAA CGA TTG CCT ACG AGG
ssDNA (GA14)	GAA CGA TTG CCT AAG AGG
ssDNA (GG14)	GAA CGA TTG CCT AGG AGG
ssDNA (GT14)	GAA CGA TTG CCT ATG AGG
ssDNA (AC08)	GAA CGA TCG CCT ACG AGG
ssDNA (TT03)	GAT CGA TTG CCT ACG AGG
nicht-kompl. ssDNA (n)	CCT CGT AGG CAA TCG GCG

Tabelle 1: Verwendete DNA-Sequenzen

Reinigung der Goldchipelektroden

Die verwendeten Goldelektroden bestanden aus einer 200 nm dicken Goldschicht, aufgetragen auf einen Siliziumwafer und wurden vom Forschungszentrum Jülich (Prof. Schöning, Deutschland) bezogen. Die Elektrodenoberfläche hatte eine Fläche von 0,2 cm². Zur Reinigung der Oberfläche vor der Beschichtung erfolgten zwei Inkubationen von jeweils 15 min in Aceton gefolgt von Isopropanol im Ultraschallbad bei 50 °C. Danach anschließend wurden die Elektroden für 1h in frisch bereiteter „hot Piranha-Lösung“ (67 %, v/v, konzentrierte (98 %) Schwefelsäure und 33 % Wasserstoffperoxid (33 %)) gereinigt. Hier ist besondere Vorsicht geboten, da »Piranha-Lösung« bei der Herstellung extrem heiß

wird. Nach jedem Schritt wurden die Elektroden gründlich mit deionisiertem Wasser gespült.

Immobilisierung der Fänger-DNA und Passivierung der Oberfläche

Für die Immobilisierung der jeweiligen Fängersequenzen wurden die Elektroden im Anschluss an die Reinigung für 2 h in 0,1 M Natriumphosphatpuffer (pH 7), der 1 μM thiolmodifizierten Fänger, 1 M Kaliumchlorid und 2 mM Magnesiumchlorid enthielt inkubiert. Nach der Immobilisierung der ssDNA erfolgte ein Passivierungsschritt mit 1 mM 4-Mercapto-1-butanol (MCB) im Immobilisierungspuffer über Nacht, um unspezifisch auf der Oberfläche angelagerte DNA-Stränge zu entfernen. Die Hybridisierung der Fänger mit ssDNA-Targets wurde in einem 50 nM Tris-(hydroxymethyl)aminoethan-Puffer (TRIS/HCl, pH 7) mit 10 μM ssDNA und 100 mM Natriumchlorid durch 10 min Inkubation durchgeführt.

Alle voltammetrischen Untersuchungen wurden mit Hilfe eines μ Autolab Potentiostaten (Metrohm, Filderstadt, Germany) und einer 1ml Messzelle durchgeführt. Dabei bildete die modifizierte Goldchipelektrode die Arbeitselektrode, eine Ag | AgCl | 3M KCl Elektrode (Microelectrodes, Bedford, USA) die Referenzelektrode und ein Platindraht (0,5 mm, GoodFellow, Huntington, England) die Gegenelektrode der Drei-Elektroden-Anordnung. Die Messungen erfolgten in einem 0,1 M Natriumphosphatpuffer mit dem pH 7 (Messpuffer). Vor den Messungen wurde der Puffer mit Stickstoff gespült, um darin gelösten Sauerstoff zu entfernen. Bei der Messung wurde der Puffer nicht gerührt.

Voltammetrische Messungen

Die zykl voltammetrischen Messungen zur Berechnung der Oberflächenbelegung wurden mit einer Scanrate von 100mVs^{-1} im Bereich 0 V bis -0,4 V in Messpuffer durchgeführt.

Bei der Differenzpuls voltammetrie (DPV) wurde mit den folgenden Parametern gemessen: 25 mV Pulsamplitude, 5mV Steppotential, 50 ms Pulsbreite und 0,5 s Pulsdauer. Die Messungen starteten bei 0V und endeten bei -400 mV. Vor der Messung wurde eine Spannung von 0 V über 60 s angelegt, um eine komplette Oxidation des MB sicherzustellen. Alle Experimente wurden bei Raumtemperatur ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) durchgeführt. Die erhaltenen Messdaten wurden mit der GPES 4.7 Software der Firma EcoChemie/Metrohm (Filderstadt, Deutschland) ausgewertet.

Impedimetrische Messungen

Die impedimetrischen Messungen mit der Elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS) erfolgten in derselben Messzelle wie zuvor die voltammetrischen Messungen. Es wurde ein Autolab PGSTAT 20 Gerät, ausgestattet mit einem FRA-Modul der Firma Metrohm (Filderstadt, Deutschland) verwendet. Die Impedanz wurde für das Hexacyanoferrat-System ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} / [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, je 5 mM) in N_2 -gespültem Messpuffer unter OCP-Bedingungen gemessen. Es wurden Frequenzen zwischen 10 kHz und 0,3 Hz in logarithmischem Abstand bei 10 mV Amplitude gewählt. Die Auswertung der gemessenen Impedanzspektren erfolgte über ein Ersatzschaltbild mit konstantem Phasenelement (CPE) und Lösungswiderstand, die in Reihe geschaltet die Versuchsanordnung zufriedenstellend wiedergeben. Der α -Werte des CPEs lag zwischen 0,96 und 0,99.

Jede DNA-modifizierte Elektrode konnte üblicherweise für 12 Durchgänge (Hybridisierung/Denaturierung) verwendet werden. Die Denaturierung der Doppelstränge erfolgte mit 8 M Harnstoff-Lösung für 30 s. Vor jeder Messung (DPV oder EIS), d. h. nach jedem Hybridisierungs- bzw. Denaturierungsschritt wurde die Zelle mehrfach mit Messpuffer gespült.

Bei beiden Messmöglichkeiten ist eine leichte Abnahme des Peakstroms bzw. eine Zunahme des Durchtrittswiderstandes als Alterungserscheinung bei wiederholten Hybridisierungs-/Denaturierungszyklen zu verzeichnen. Aus diesem Grund wurden die Messwerte zur besseren Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messungen normalisiert.

Dazu erfolgte jede zweite oder dritte Hybridisierung mit 10 μM komplementärer ssDNA zur Generierung von Referenzwerten. Diese interpolierten Werte wurden im Anschluss als Referenzsignal für die unter anderen Bedingungen gemessenen Hybridisierungs-/Denaturierungszyklen verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Voltammetrische DNA-Detektion

Das Prinzip der voltammetrischen DNA-Detektion ist in Abbildung 1A dargestellt. Bei der DNA-Detektion mit Hilfe der Voltammetrie (Zyklische Voltammetrie CV oder Differenzpuls voltammetrie DVP) erfolgt der Nachweis der Hybridisierung des Fängers mit einer komplementären DNA-Sequenz über die Redoxumwandlung eines gebundenen Markers. Dabei wurde Methylenblau

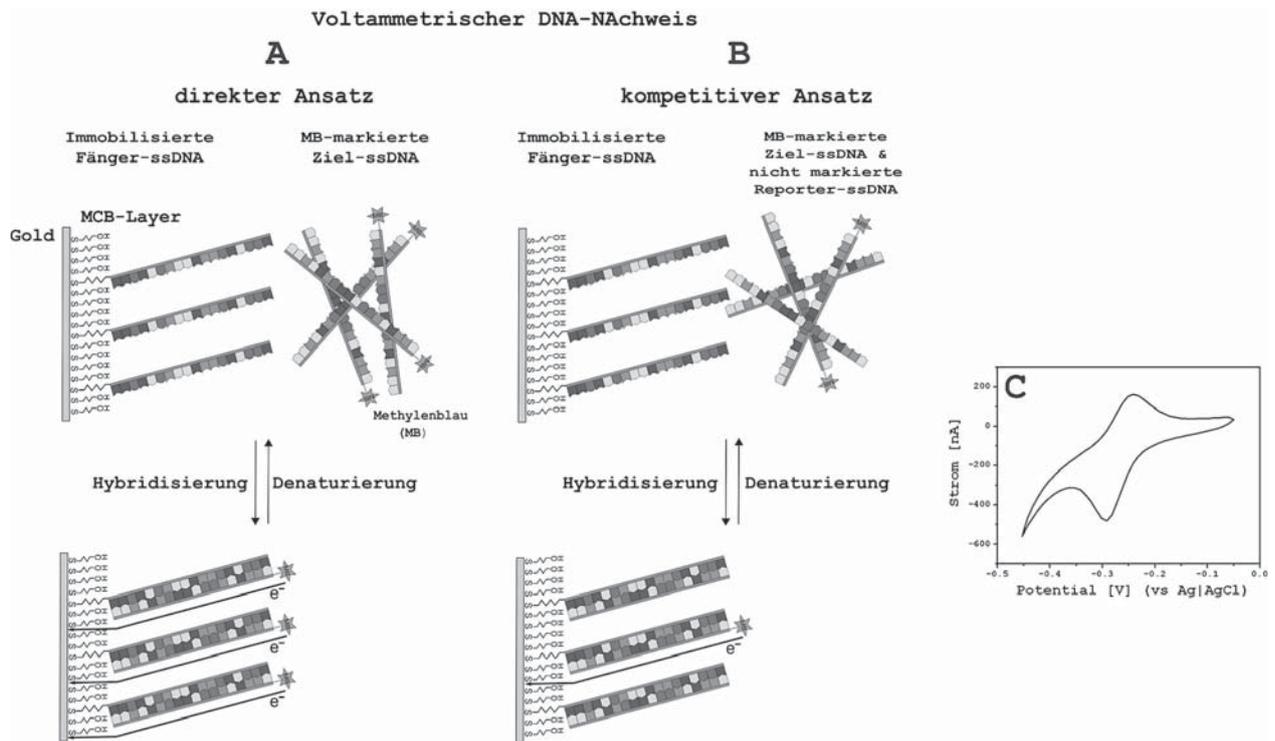


Abb. 1: Funktionsprinzip eines voltammetrisch auszuwertenden DNA-Sensors. A) Quantitativer Nachweis von MB-markierter DNA in einem direkten Ansatz und B) von nicht markierter DNA in einem kompetitiven Ansatz. C) Typisches Zyklovoltammogramm eines Sensors nach der Hybridisierung mit komplementärer MB-markierter Ziel-DNA.

(MB) über eine kovalente Bindung an die Target-DNA gebunden. Ist die markierte Zielsequenz komplementär und hat die Möglichkeit, mit der Fänger-DNA zu hybridisieren, entsteht ein Doppelstrang mit fest gebundenem Redoxmarker. Bei Aufprägung eines Potentials kann dann ein Austausch von Elektronen zwischen dem Redoxmarker Methylenblau und der Goldoberfläche erfolgen (s. Abb. 1A). Durch die Elektronenübertragung erfolgt ein Stromfluss, abhängig von der gewählten Methode sichtbar durch einen oder zwei charakteristische Peaks (s. Abb. 1C bzw. Abb. 2A).

Zur Charakterisierung der präparierten Elektroden, die sowohl für die voltammetrischen Messungen mit DPV als auch für die impedimetrischen Messungen mit EIS verwendet werden sollten, wurden vor jeder Versuchsreihe die Oberflächenbelegung und die Peaklage des Oxidations- bzw. Reduktionspeaks mit Hilfe der Zyklovoltammetrie (CV) bestimmt. Dazu erfolgte eine Hybridisierung mit 10 μM komplementärer, MB-markierter ssDNA.

Die Auswertung von 20 Elektroden ergab ein formales Potential von -260 mV gegen Ag | AgCl. Dieses Ergebnis stimmt mit dem von Boon et al. 2003 bestimmten Wert von -265 mV für in DNA eingelagertes MB überein [23]. Die Oberflächenbelegung kann über eine Integ-

ration der Peakflächen berechnet werden. Die Menge an immobilisierter DNA ist dabei proportional zu der Menge an hybridisierter ssDNA-MB und damit auch proportional zur Peakfläche. Die Oberflächenbelegung für dsDNA wurde mit 4-6 pmolcm^{-2} berechnet, was in derselben Größenordnung liegt, wie die in der Literatur beschriebenen Werte [13, 24, 25]. Eine hypothetische, maximale Oberflächenbelegung von 34 pmolcm^{-2} kann über den Durchmesser der dsDNA-Helix (2,37 nm, Typ B-Struktur) und die Annahme einer dichtesten Packung berechnet werden. Auf Grundlage dessen haben die DNA-Sensoren eine Belegung ca. 12%.

Die Denaturierung der Sensoren mit Harnstofflösung ermöglicht eine Verwendung der Elektroden für bis zu 12 Zyklen (Hybridisierung/Denaturierung). Die präparierten Elektroden konnten bei 4 °C über zwei Monate ohne signifikanten Signalverlust gelagert werden.

Nach der Charakterisierung der präparierten Elektroden erfolgten die Folgeexperimente mit der Differenzpulsvoltammetrie (DPV). Bei der DPV gibt der Stromverlauf bei einer gepulst angelegten Spannung Aufschluss über die Faradayschen Prozesse, die an der Oberfläche der Arbeitselektrode ablaufen. Die Spannungspulse in Kombination mit einer Strommessung zu definierten Zeitpunkten bieten dabei den Vorteil, dass der Faraday-

sche Strom weitestgehend ohne den störenden kapazitiven Strom detektiert werden kann. Dieses macht diese Methodik im Gegensatz zur CV wesentlich sensitiver, auch geringe Faradaysche Ströme können somit noch zufriedenstellend detektiert werden.

Spezifität des voltammetrischen DNA-Sensors

Die Bindungsspezifität der DNA-modifizierten Elektroden wurde durch die Hybridisierung des Sensors mit komplementärer und nicht-komplementärer Ziel-DNA getestet. In Abbildung 2A und 2B sind die Ergebnisse von verschiedenen DPV-Messungen einer Elektrode und die dazugehörigen Peakströme gezeigt. Die Hybridisierung mit MB-markierter komplementärer Ziel-DNA zeigt einen starken Peak bei -250 mV. Die Messung des Sensors nach einer Denaturierung zeigte nur noch einen kleinen Peak, der unspezifisch gebundenen Ziel-DNA zuzuschreiben ist. Die Hybridisierung mit nicht komplementärer ssDNA, die ebenfalls MB markiert war, zeigte ebenfalls nur einen geringen Peak. Dieser ist vermutlich verursacht durch eine partielle Hybridisierung der nicht komplementären DNA mit dem Fänger. Bei einem Versatz der Zielsequenz um fünf Basen gegen die Fängersequenz können sieben Basenpaare hybridisieren, die eine schwache Bindung der Sequenzen verursachen könnten. Durch Hybridisierung mit einer vollständig nichtkomplementären Sequenz, bei der keine Teilpassfähigkeit vorhanden war, konnte dieser Peak nochmals verkleinert werden. Damit ist deutlich, dass es sich um einen hochspezifischen Sensor handelt.

Bei einer wiederholten Inkubation der Elektrode mit komplementärer ssDNA konnten 92 % des zuerst gemessenen Signals erhalten werden. Die leichte Verringerung des Signals wird durch die Denaturierungsprozedur verursacht und wurde für Folgeexperimente berücksichtigt. Damit ist ein wiederholter Einsatz der DNA-Elektroden möglich, was einen deutlichen Vorteil im Gegensatz zu bisherigen Systemen bedeutet.

Zur Charakterisierung der Qualität der hergestellten Elektroden wurde die Standardabweichung des Peakstroms von 30 verschiedenen DNA-Sensoren nach der ersten Hybridisierung der Oberfläche mit 10 μM komplementärer, MB-markierter Ziel-DNA bestimmt. Der Peakstrom-Mittelwert konnte mit 330 ± 80 nA und das dazugehörige Potenzial für MB mit 250 ± 7 mV berechnet werden (DPV-Messungen). Die geringen Standardabweichungen zeigen die hohe Reproduzierbarkeit des Sensorsystems.

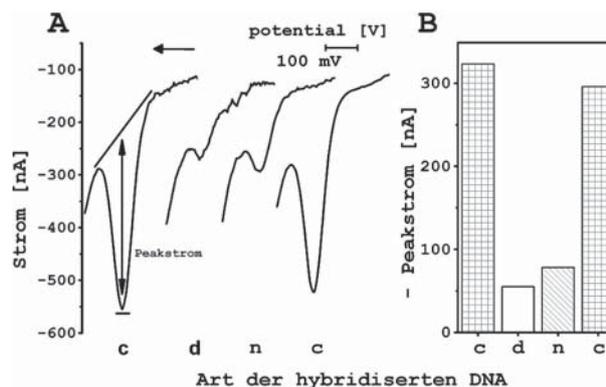


Abb. 2: A) DPV-Messungen eines Sensors mit verschiedenen komplementären (c) und nicht komplementären (n) DNA-Sequenzen sowie Messung des Sensors nach der Denaturierung (d) zur Untersuchung der unspezifischen Bindung. B) Darstellung der Peakströme dieser Messungen.

Quantifizierung von Einzelstrang-DNA

im direkten Ansatz

Zur Ermittlung der Sensitivität der Sensoren wurde die Oberfläche der DNA-modifizierten Elektroden verschiedenen Konzentrationen an MB-gelabelter ssDNA ausgesetzt. In Abbildung 3A und 3B sind die Ergebnisse der DPV-Messungen der verschiedenen Experimente dargestellt. Wie erwartet nahm der Peakstrom mit geringeren Konzentrationen an ssDNA ab. Der charakteristische Halbmaximalwert, gerechnet über alle Elektroden, wurde für 170 ± 25 nM DNA gefunden. Der lineare Bereich der Konzentrationskurve, welcher zur Quantifizierung von ssDNA benutzt werden kann, liegt zwischen 30 nM und 3 μM DNA. Das untere Detektionslimit wurde mit 30 nM DNA bestimmt, was 30 pmol DNA in 1 ml Lösung entspricht. In der Literatur werden zum Teil deutlich geringere Nachweisgrenzen von verschiedenen Autoren beschrieben [26-29]. Der besondere Vorteil der hier beschriebenen Sensoren liegt jedoch in ihrer Wiederverwendbarkeit bzw. Kalibrierbarkeit.

Quantifizierung im kompetitiven Ansatz

Um auch unbekannte Mengen nicht-markierter ssDNA analysieren zu können, wurde ein kompetitiver Assay entwickelt. Bei einem kompetitiven Ansatz wird die Menge der zu bestimmenden, unmarkierten ssDNA mit Hilfe einer bekannten Menge an MB-markierter ssDNA (Kompetitor) bestimmt. Das Prinzip dieses Ansatzes ist in Abbildung 1B dargestellt. Die DPV-Peakströme verschiedener Gemische von unmarkierter (zu bestimmender) ssDNA und MB-markierter ssDNA (Kompetitor) sind in Abbildung 3C gezeigt. Der größte Peakstrom konnte nach der Inkubation des Sensors mit 1 μM

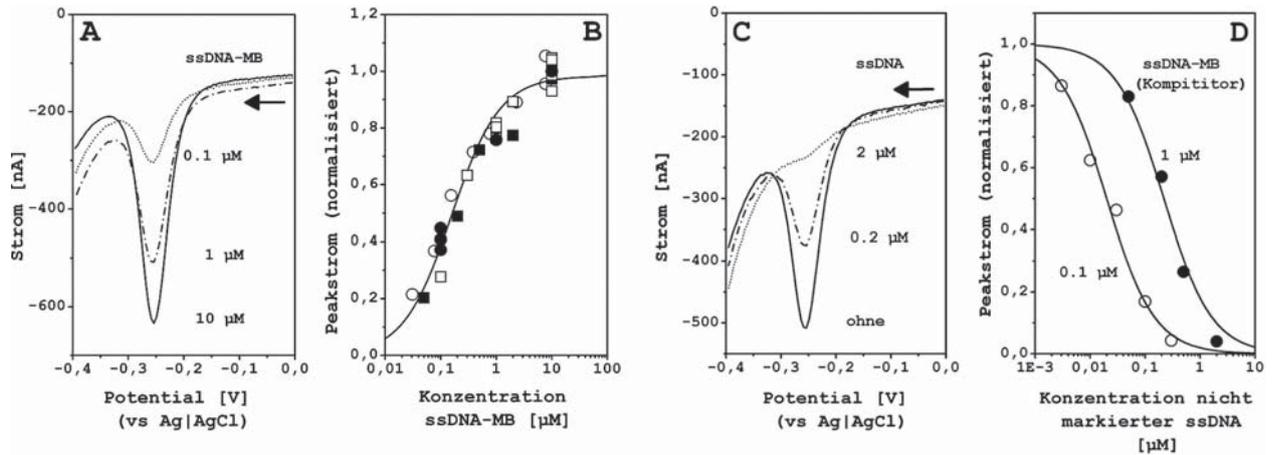


Abb. 3: A) Vergleich von direktem und kompetitivem Quantifizierungsassay. DPV-Signale eines direkten Ansatzes nach Inkubation des Sensors mit verschiedenen Konzentrationen an Ziel-DNA und B) konzentrationsabhängiger Auftrag des resultierenden Peakstroms. Dargestellt in Bild C sind die DPV Signale eines kompetitiven Ansatzes nach Inkubation eines Sensors mit 1 μM MB-markierter und verschiedenen Konzentrationen unmarkierter Ziel-DNA. Bild D zeigt die Konzentrationsabhängigkeit des gemessenen Peakstroms.

markierter Kompetitor-DNA ohne unmarkierte DNA gemessen werden. Die Zugabe von 0,2 μM unmarkierter DNA führte zu einer Verringerung und eine Zugabe von 2 μM zu einer Löschung des Peakstroms. Diese Ergebnisse zeigen, dass die unmarkierte DNA mit dem Kompetitor um die Bindungsplätze der DNA-Fänger konkurriert und deshalb eine eindeutige Konzentrationsbestimmung von unmarkierter DNA möglich ist.

In Abbildung 3D sind die Peakströme zwei verschiedener Versuchsansätze (Zugabe von 0,1 μM oder 1 μM Kompetitor-DNA) gezeigt. Wie erwartet steigt der Peakstrom mit sinkender Konzentration an nicht markierter, zu bestimmender ssDNA an. Je geringer die Menge an markierter DNA (Kompetitor) in der Lösung ist, desto weniger unmarkierte DNA-Moleküle werden benötigt, um die Bindung der gelabelten DNA-Moleküle mit dem Fänger auf der Oberfläche zu verhindern. Damit ist es möglich, den Sensitivitätsbereich des Assays mit der Konzentration an MB-markierter Kompetitor-DNA einzustellen. Die Zugabe von 0,1 μM markierter Kompetitor-DNA lässt die Detektion von 3 nM nicht markierter, d. h. nachzuweisender ssDNA mit einem Halbmaximalwert bei 20 ± 2 nM DNA zu.

Der kompetitive Ansatz, bei dem die MB-markierte DNA ausschließlich als Reportermolekül eingesetzt wird, stellt damit nicht nur eine Methode dar, um kleine Mengen DNA nachzuweisen, sondern bietet auch den Vorteil, dass die Proben-DNA vor der Analyse nicht markiert werden muss. Der Nachweis von DNA aus Amplifizierungsprotokollen wie der PCR ist auf diesem Weg möglich.

Detektion von einzelnen Basenfehlpaarungen

Neben der Quantifizierung von ssDNA ist die Detektion von verschiedenen Basenfehlpaarungen innerhalb der Fänger oder Zielsequenzen ebenfalls möglich. In einem kompetitiven Versuchsansatz wurden verschiedene Fehlpaarungen an verschiedenen Stellen der Sequenzen getestet (s. Tabelle 1 und Abb. 4A). In Abhängigkeit von der Art und Lage der Fehlpaarungen ergaben sich folgende Abhängigkeiten für die mit Hilfe der DPV gemessenen Peakströme: $c < AC \leq GG \approx TT < GA < GT < n = 0$ (s. Abb. 4B). Offensichtlich kommt es in diesem kompetitiven Ansatz auf Grund der einzelnen Mismatches zu einer verringerten Bindungsaffinität der nicht-markierten Zielsequenzen mit den Fängersequenzen. Je geringer das Bestreben der nichtmarkierten DNA zur Hybridisierung mit der Fänger-DNA ist, desto weniger stark kann diese die Bindung der markierten verhindern. Als Folge dessen erhöhen sich die Peakströme beim Vorhandensein von Basenfehlpaarungen im Vergleich zur Hybridisierung mit komplett komplementärer ssDNA.

Da die Signale der durchgeführten DPV-Experimente eine hohe Reproduzierbarkeit aufwiesen, scheint diese Methode geeignet, um z. B. in der klinischen Diagnostik Basenfehlpaarungen nachzuweisen. Weiterhin ist es auch möglich, eine erste Einschätzung der Art und Lage eines Mismatches zu erhalten. Nochmals sei darauf hingewiesen, dass die Messungen mit unmarkierten DNA-Strängen durchgeführt werden können.

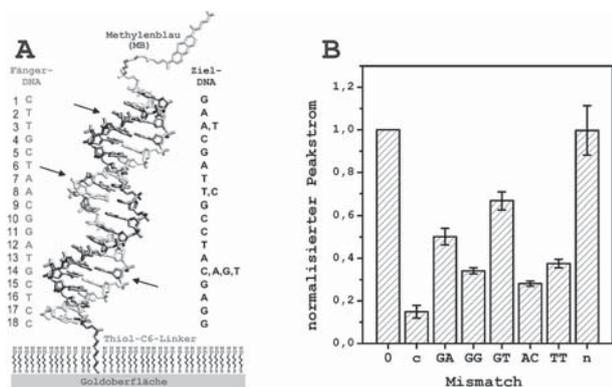


Abb. 4: A) Lage und Art der Fehlpaarungen des 18mer DNA-Fängers. B) Peakströme der voltammetrischen Detektion von verschiedenen, einzeln getesteten Basenfehlpaarungen an unterschiedlichen Stellen der nachzuweisenden DNA-Sequenz in einem kompetitiven Assay.

3.2 Impedimetrische DNA-Detektion

Die Sensorpräparation für die impedimetrischen Versuchsreihen erfolgte wie bei den voltammetrischen Experimenten. Zur Charakterisierung der hergestellten Sensoren vor Verwendung in impedimetrischen Messungen wurde zunächst ebenfalls die DNA-Oberflächenbelegung, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, bestimmt. Durch eine Modifizierung des MCB-Passivierungsschrittes konnte die Belegung im Vergleich zu den voltammetrischen Experimenten auf 5-8 pmolcm⁻² erhöht werden. Nach der Denaturierung der Sensoroberfläche war diese für folgende impedimetrische Experimente bereit.

Beim impedimetrischen DNA-Nachweis wird der Widerstand für die Redoxumwandlung eines Redoxsystems an einer Elektrode bestimmt. Dabei erhöht sich bei der Wahl einer negativ geladenen Redoxspezies (z. B. $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} / [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$) der Widerstand des Sensors nach erfolgter Hybridisierung. Durch die Hybridisierung des negativen DNA-Einzelstrangs mit dem ebenfalls negativ geladenen Zielstrang wird die Ladung auf der Oberfläche des Sensors deutlich erhöht. Negativ geladene Hexacyanoferrat-Ionen werden dadurch an der Abgabe und Aufnahme ihrer Elektronen an der Sensoroberfläche gehindert (s. Abb. 5). Der zu messende Durchtrittswiderstand an der Elektrode erhöht sich deutlich. Dies kann in der sogenannten Nyquist-Darstellung der Impedanz in einfacher Weise an der Zunahme des Durchmessers des Halbkreises erkannt werden (s. Abb. 6A) und wird quantitativ durch eine Anpassung (Fit) der Messdaten anhand eines Ersatzschaltbildes (s. Abb. 6A Inlet) ermittelt. Die Analyse aller Impedanzspektren, die in dieser Versuchsreihe vermessen wurden (n=35) zeigten, dass eine Hybridisierung mit 10 μM

nicht markierter 18mer ssDNA zu einer Verdreifachung des Durchtrittswiderstandes führt. Als Messgröße für die impedimetrische DNA-Detektion wurde die relative Änderung des Durchtrittswiderstandes gewählt ($R_{\text{CT}} = R_{\text{CTH}} / R_{\text{CTD}}$; R_{CTH} = Durchtrittswiderstand nach der Hybridisierung, R_{CTD} = Durchtrittswiderstand nach der Denaturierung).

Die Schlussfolgerung, dass die negative Ladung der immobilisierten DNA die Änderung des Durchtrittswiderstandes beeinflusst, legte nahe, dass auch die Zusammensetzung des Messpuffers die Sensitivität der impedimetrischen Messungen beeinflussen könnte. Versuchsreihen mit verschiedenen Konzentrationen an Phosphatpuffer ergaben die größten relativen Änderungen bei Verwendung von Pufferkonzentrationen im Bereich 50 – 100 nM.

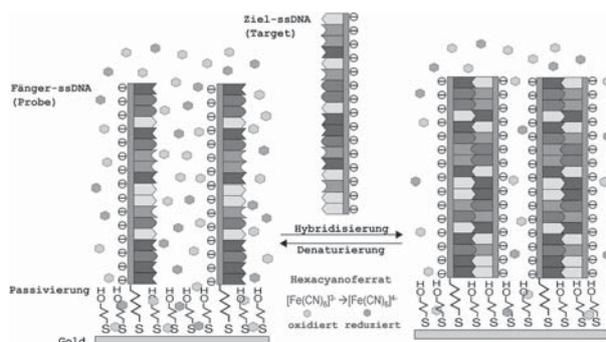


Abb. 5: Darstellung des Messprinzips eines impedimetrischen DNA-Sensors.

Spezifität und Sensitivität der impedimetrischen DNA-Detektion

Die abwechselnde Hybridisierung des Sensors mit komplementärer und nicht-komplementärer ssDNA zeigte die hohe Spezifität der DNA-Elektrode. Die Inkubation mit komplementärer Ziel-DNA erzeugte einen erhöhten Widerstand, wohingegen die Hybridisierung mit nicht komplementärer ssDNA keinen Effekt aufzeigte (s. Abb. 6B). Dieses bedeutet, dass die MCB-Passivierungsschicht eine unspezifische Bindung von DNA-Targets an die Sensoroberfläche verhindert.

Um die entwickelten Sensoren auch für eine Anwendung (z. B. die Quantifizierung von unbekanntem Mengen DNA) zugänglich zu machen, wurden die Detektionsgrenzen des Assays bestimmt. Die Sensoroberfläche wurde dazu verschiedenen Konzentrationen an komplementärer 18mer Ziel-DNA ausgesetzt. Die ausgefüllten Punkte der Abbildung 7A zeigen die normalisierten Widerstandsänderungen in Abhängigkeit von der ssDNA-Konzentration. Die Bindungskurve zeigte

einen halbmaximalen Wert bei 350 ± 40 nM ssDNA, was bedeutet, dass die Sensitivität der impedimetrisch gemessenen DNA-Elektrode im gleichen Bereich liegt wie die des voltammetrisch vermessenen Sensors, der einen Redoxmarker zur Detektion verwendet. Der lineare Bereich der Kurve, der für eine Quantifizierung verwendet werden kann, liegt zwischen $0,1 \mu\text{M}$ und $1 \mu\text{M}$ ssDNA, was für eine Detektion von DNA aus Amplifizierungsprotokollen wie der PCR ausreichend ist.

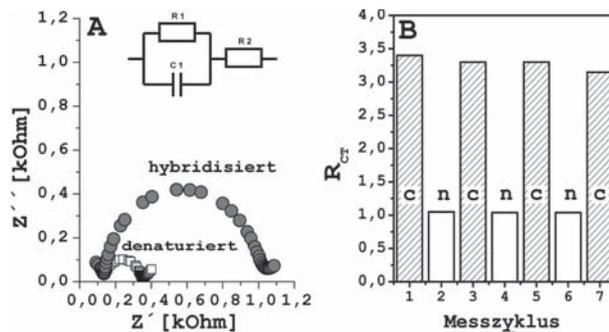


Abb. 6: A) Nyquistdiagramm der Messung des Sensors vor (denaturiert) und nach Hybridisierung mit komplementärer ssDNA. Die Auftragung der durch Analyse mit einem Ersatzschaltbild (Inset in A) gewonnenen Durchtrittswiderstände nach der Hybridisierung mit komplementärer DNA (c) ist in B sichtbar. Es sind zudem die Widerstände von Messungen nach Hybridisierung mit nicht komplementärer DNA (n) aufgetragen. Es erfolgten sieben Messzyklen mit jeweils einem Denaturierungsschritt dazwischen.

Regeneration von DNA-Sensoren

Um den Einfluss verschiedener Denaturierungsmittel auf die Regenerationsfähigkeit des Sensors zu bestimmen wurden folgende Lösungen getestet: Isopropanol, 6 M Guanidiniumchlorid, 0,1 M Natriumcarbonat und 8M Harnstoff. Die darin enthaltenen Stoffe sind bekannt dafür, die DNA-Doppelhelix aufzulösen, und könnten damit geeignet sein, die Ziel-DNA vom Fänger zu lösen und die Oberfläche für weitere Experimente zu regenerieren. Die Ergebnisse zeigen, dass weder Isopropanol, noch Guanidiniumchlorid für diesen Zweck geeignet sind, da beide die Oberfläche derart modifizierten, dass nach vier Detektionszyklen keine Unterschiede in den Durchtrittswiderständen von denaturiertem Sensor zu hybridisiertem Sensor messbar waren. Die Denaturierung mit Natriumcarbonat konnte die Funktionalität des Sensors zwar erhalten, erhöhte jedoch die Widerstände innerhalb von vier Zyklen um das Zehnfache. Verantwortlich dafür sind vermutlich Modifikationen an der Sensoroberfläche. Nur geringe Änderungen des Durchtrittswiderstandes verursachte die Regenerierung der Oberfläche mit Harnstoff. Für

die in Abbildung 6B gezeigte Versuchsreihe verdoppelte sich für die denaturierte Oberfläche der Durchtrittswiderstand R_{CT} innerhalb von sieben Zyklen von 230 k Ω auf 500 k Ω . Neben der Signalstabilität verringerte der Einsatz von Harnstoff zudem die benötigte Zeit bei der Messung, da die Denaturierung in diesem Fall nur 30 s benötigt. Zu dem Zeitersparnis bei der Denaturierung konnte zudem in kinetischen Studien nachgewiesen werden, dass die Hybridisierung mit einem 18mer bei Raumtemperatur bereits nach 5 min abgeschlossen ist. Somit summiert sich die Gesamtzeit eines Analysezyklus auf 15 min.

Nachweis von einzelnen Basenfehlpaarungen mit Hilfe der EIS

Neben der Quantifizierung von unmarkierter DNA unbekannter Konzentration ist die Verwendung dieser Sensoren für den Nachweis von einzelnen Basenfehlpaarungen ein weiteres Beispiel für deren Nutzen. Dazu wurden die bereits bei der voltammetrischen Mismatchdetektion beschriebenen Fehlpaarungen getestet (s. Tab 1). Die dabei für die Inkubation verwendete Ziel-DNA-Konzentration wurde für diese Experimente von $10 \mu\text{M}$ auf $30 \mu\text{M}$ ssDNA erhöht. Abbildung 7B zeigt die Ergebnisse dieser Versuchsreihe. Alle Hybridisierungen mit Fehlpaarungen enthaltenden ssDNA-Strängen führten zu geringeren Durchtrittswiderständen. Dabei sinkt der Wert im Vergleich zur komplett komplementären Sequenz umso mehr, je geringer der Abstand zwischen Mismatch und der Elektrodenoberfläche ist.

Um auszuschließen, dass die Verringerung der Signale durch eine verringerte Bindungsaffinität der ssDNA-Targets hervorgerufen wurde, wurde mit der DNA-Sequenz, die einen GT-Mismatch an Position 14 enthielt, eine Bindungskurve aufgenommen (Abb. 7A ungefüllte Messpunkte). Im Vergleich zu der zuvor aufgenommenen Kurve zur Bestimmung der Sensoreigenschaften zeigt der Mismatchstrang eine geringere Affinität. Der Halbmaximale Wert wurde bei 850 ± 90 nM ssDNA gefunden, was etwa dem doppelten Wert der komplementären DNA entspricht (350 ± 40 nM). Die für die Mismatch-Experimente gewählte Konzentration von $30 \mu\text{M}$ ssDNA stellt jedoch eine Sättigung der auf Sensoroberfläche befindlichen Fängermoleküle dar, womit sichergestellt ist, dass die gemessenen Effekte nicht auf Grund von geringeren Bindungsaffinitäten verursacht wurden. Die verringerten Werte kommen vielmehr durch strukturelle Änderungen des Doppelstranges zu Stande.

Bisherige Studien, die sich mit der impedimetrischen Detektion von einzelnen Basenfehlpaarungen beschäftigten, zogen Änderungen in der Bindungsaffinität nicht in Betracht. Sie benutzten komplexer aufgebaute Elektroden und/oder Amplifikationsprotokolle: z. B. die Verwendung eines leitfähigen Polymerfilms für die Immobilisierung der Fänger-DNA und Signalweiterleitung [30] oder nachfolgende Bindungsschritte mit negativ geladene Liposomen für die Signalverstärkung [31]. In der Studie von Long et al. benötigten diese, um Fehlpaarungen zu detektieren, einen Zwischenschritt, in dem sie die B-Typ DNA in M-Typ DNA umwandelten [32]. Mit Hilfe der hier gezeigten Methodik der impedimetrischen Mismatchdetektion ist es möglich Basenfehlpaarungen ohne die oben genannten komplexen Elektroden durchzuführen.

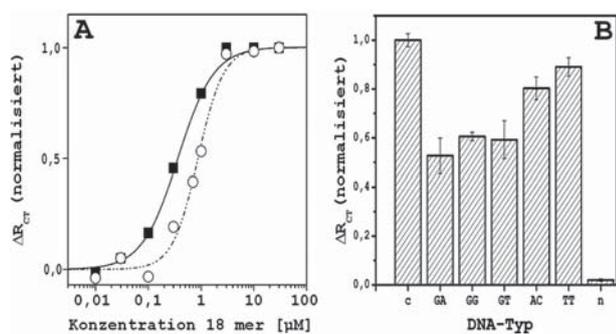


Abb. 7: A) Konzentrationsabhängige Darstellung der gemessenen Durchtrittswiderstände bei verschiedenen Ziel-DNA-Konzentrationen (gefüllte Messpunkte) sowie die Bindungskurve der DNA-Sequenz mit einem GT-Mismatch an Position 14. B) Detektion der bereits mit voltammetrischen Methoden vermessenen Basenfehlpaarungen an unterschiedlichen Stellen der nachzuweisenden DNA-Sequenz in einem direkten Ansatz.

4 Zusammenfassung

Die schnelle und spezifische Analyse von Nukleinsäuresequenzen ist in der klinischen Anwendung, in der Landwirtschaft sowie in der Grundlagenforschung unverzichtbar. Dabei kommt es neben dem spezifischen Nachweis von DNA-Sequenzen auch auf eine Quantifizierung und den Nachweis von einzelnen Basenfehlpaarungen an. Die hier vorgestellte Methodik zur Präparation von DNA-modifizierten Elektroden zur Charakterisierung von DNA-Sequenzen bietet in Kombination mit den Methoden der voltammetrischen Detektion oder Impedanzspektroskopie die Möglichkeit, spezifisch, schnell und kostengünstig ssDNA zu quantifizieren und zudem einzelne Basenfehlpaarungen innerhalb der Sequenz zu detektieren. Die Präparation

und das Auslesen der Sensoren können ohne großen apparativen Aufwand und ohne zusätzliche Temperierschritte bei Raumtemperatur erfolgen. Die Sensitivität des Nachweises ist ausreichend, um DNA aus Amplifizierungsprotokollen nachzuweisen und kann mit einer Analysezeit von 15 min als zeitsparend beschrieben werden. Mit der Wahl eines kompetitiven Ansatzes bzw. der Detektion mit Hilfe der Impedanzspektroskopie kann der Schritt der Probenmarkierung entfallen. Einen zusätzlichen Vorteil bietet die Wiederverwendbarkeit der Sensoren. In den hier gezeigten Studien war es möglich, die Elektroden mit nur einem geringen Signalverlust bis zu 12-mal zu regenerieren.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sind weitere Experimente möglich. Dabei stehen vor allem die Senkung der unteren Nachweisgrenze, eine Vergrößerung der Arbeitsstabilität und eine Erhöhung der Parallelität der Analyse im Vordergrund.

Literatur

- [1] Peterson, A. W./Wolf, L. K./Georgiadis, R. M. in: *Journal of The American Chemical Society* (2002), **124**(49): p. 14601-14607.
- [2] Heller, M. J. in: *Annual Review of Biomedical Engineering* (2002), **4**: p. 129-153.
- [3] Reichert, J./Csaki, A./Kohler, J. M./Fritzsche, W. in: *Analytical Chemistry* (2000), **72**(24): p. 6025-6029.
- [4] Sauer, S. in: *Clinica Chimica Acta* (2006), **363**(1-2): p. 95-105.
- [5] Willner, I./Patolsky, F./Weizmann, Y./Willner, B. in: *Talanta* (2002), **56**(5): p. 847-856.
- [6] Wang, R. H./Minunni, M./Tombelli, S./Mascini, M. in: *Biosensors & Bioelectronics* (2004), **20**(3): p. 598-605.
- [7] Diculescu, V. C./Paquim, A. M. C./Brett, A. M. O. in: *Sensors* (2005), **5**(6-10): p. 377-393.
- [8] Albers, J./Grunwald, T./Nebling, E./Piechotta, G./Hintsche, R. in: *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (2003), **377**(3): p. 521-527.
- [9] Gooding, J. J. in: *Electroanalysis* (2002), **14**(17): p. 1149-1156.
- [10] Palecek, E./Fojta, M./Jelen, F. in: *Bioelectrochemistry* (2002), **56**(1-2): p. 85-90.
- [11] Lisdat, F./Ge, B./Krause, B./Ehrlich, A./Bienert, H./Scheller, F. W. in: *Electroanalysis* (2001), **13**: p. 1225-1230.
- [12] Wang, J. in: *Nucleic Acids Research* (2000), **28**(16): p. 3011-3016.
- [13] Steel, A. B./Herne, T. M./Tarlov, M. J. in: *Analytical Chemistry* (1998), **70**(22): p. 4670-4677.
- [14] Maruyama, K./Motonaka, J./Mishima, Y./Matsuzaki, Y./Nakabayashi, I./Nakabayashi, J. in: *Sensors and Actuators B-Chemical* (2001), **76**(1-3): p. 215-219.
- [15] Wang, J./Cai, X. H./Rivas, G./Shiraishi, H./Farias, P. A. M./Dontha, N. in: *Analytical Chemistry* (1996), **68**(15): p. 2629-2634.
- [16] Ozkan, D./Kara, P./Kerman, K./Meric, B./Erdem, A./Jelen, F./Nielsen, P. E./Ozsoz, M. in: *Bioelectrochemistry* (2002), **58**(1): p. 119-126.
- [17] Kelley, S. O./Barton, J. K./Jackson, N. M./Hill, M. G. in: *Bioconjugate Chemistry* (1997), **8**(1): p. 31-37.

- [18] Hashimoto, K./Ito, K./Ishimori, Y. in: *Analytica Chimica Acta* (1994), **286**(2): p. 219-224.
- [19] Thorp, H. H. in: *Trends in Biotechnology* (1998), **16**(3): p. 117-121.
- [20] Pan, S. L./Rothberg, L. in: *Langmuir* (2005), **21**(3): p. 1022-1027.
- [21] Berggren, C./Stalhandske, P./Brundell, J./Johansson, G. in: *Electroanalysis* (1999), **11**(3): p. 156-160.
- [22] Riddles, P. W./Blakeley, R. L./Zerner, B. in: *Methods in Enzymology*, (1983), **91**: p. 49-60.
- [23] Boon, E. M./Barton, J. K./Bhagat, V./Nersissian, M./Wang, W./Hill, M. G. in: *Langmuir* (2003), **19**(22): p. 9255-9259.
- [24] Georgiadis, R./Peterlinz, K. P./Peterson, A. W. in: *Journal of The American Chemical Society* (2000), **122**(13): p. 3166-3173.
- [25] Herne, T. M./Tarlov, M. J. in: *Journal of The American Chemical Society* (1997), **119**(38): p. 8916-8920.
- [26] Carpini, G./Lucarelli, F./Marrazza, G./Mascini, M. in: *Biosensors & Bioelectronics* (2004), **20**(2): p. 167-175.
- [27] Fan, C. H./Plaxco, K. W./Heeger, A. J. in: *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America* (2003), **100**(16): p. 9134-9137.
- [28] Park, N./Hahn, J. H. in: *Analytical Chemistry* (2005), **77**(21): p. 7100-7100.
- [29] Wang, J./Kawde, A. N./Musameh, M./Rivas, G. in: *Analyst* (2002), **127**(10): p. 1279-1282.
- [30] Gu, H. R./di Su, X./Loh, K. P. in: *Journal of Physical Chemistry B* (2005), **109**(28): p. 13611-13618.
- [31] Patolsky, F./Lichtenstein, A./Willner, I. in: *Journal of The American Chemical Society* (2001), **123**(22): p. 5194-5205.
- [32] Long, Y. T./Li, C. Z./Sutherland, T. C./Kraatz, H. B./Lee, J. S. in: *Analytical Chemistry* (2004), **76**(14): p. 4059-4065.

Autoren

Dr. rer. medic. Sandra M. Bütow

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Biosystemtechnik
 Tel. +49 3375 508-137
 sandra.buetow@tfh-wildau.de

Dr. rer. nat. Oliver Pänke

oliver.paenke@web.de

Jan Kafka, M. Sc.

Danmarks Tekniske Universitet, Lyngby
 Department of Micro- and Nanotechnology
 jan.kafka@nanotech.dtu.dk

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

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Biosystemtechnik
 fred.lisdat@tfh-wildau.de

Genomic Analyses of Cryptobiotic Tardigrades

Brahim Mali, Markus Grohme, Weronika Welnicz, Thomas Dandekar, Martina Schnölzer, Dirk Reuter, Ralph O Schill and Marcus Frohme

Zusammenfassung

Techniken der Genomanalyse, speziell das transkriptionelle Profiling, erlauben uns, Genexpression innerhalb eines und zwischen verschiedenen Organismen zu untersuchen.

Wir nutzen als Modell Tardigraden, auch bekannt als Bärtierchen, um das Phänomen der Kryptobiose besser zu verstehen. Die ausgetrockneten Tiere können Jahre überdauern. Wenn man Wasser hinzugibt, rehydrieren die Tiere und werden wieder zum Leben erweckt. In unserem Labor untersuchen wir die Genexpression als Antwort auf das Austrocknen und Rehydrieren mittels Bibliotheken Expressierter Sequenz Tags (ESTs), Repräsentativer Differenz Analyse und Mikroarray-Untersuchungen. Die molekulare Analyse des komplexen Phänomens und seiner Regulation auf Ebene der Gene wird es ermöglichen, Techniken für die Konservierung und Stabilisierung von biologischem Material in trockenem Zustand zu entwickeln.

Summary

Genomics technologies, especially transcriptional profiling, allows comparisons of gene expression within and across different organisms. By the use of the model group Tardigrada, also known as water bear, we try to understand the phenomenon of cryptobiosis. The dry organisms can survive for years without water. When re-exposed to water, the animals rehydrate and come back to life. The expression of genes in response to dehydration and rehydration is being examined in our laboratory through the generation of expressed sequence tags (ESTs), representational difference analysis (RDA) and subsequent microarray analysis. Molecular dissection of this complex phenomenon, including gene regulation, will allow the development of techniques for preservation and stabilisation of biological materials in a dried state.

1 Introduction

Many organisms possess the ability to survive extreme desiccation by entering into a state of suspended animation known as anhydrobiosis [1-2]. This state in which metabolism is not detectable is also known as cryptobiosis [3]. In extreme conditions of dehydration, anhydrobiotic organisms are able to adopt a metabolic dormancy. In that sense it is not »alive«, yet neither is it »dead« since suitable rehydration produces an obviously living organism. Once in dry state these organisms are highly resistant to environmental challenge, such as exposure to extremes temperature, radiation and pressure [4] as they may remain dormant for a long period [5]. Later they can resume their normal metabolic functions on rehydration.

Anhydrobiosis has been adapted during evolution by many organisms, from prokaryote [6] to eukaryote, especially, rotifers, nematodes and tardigrades [7]. Furthermore, plant seeds and vegetative tissues of certain higher plants have also the ability to exhibit anhydro-

biosis [8-9]. However, such phenomena have never been seen in higher organisms – i. e. vertebrates.

Anhydrobiosis is dependent on series of complex physiological adaptations, but a number of components appear to be important in protecting these organisms from desiccation damage such as the highly hydrophilic LEA proteins [10-12] and non-reducing disaccharides like trehalose [13-15].

Tardigrades, also known as water bears were first described by the German pastor J. A. E. Goeze in 1773. They are usually less than 0.5 mm in length, have four pairs of legs (Fig. 1) and are either carnivorous or herbivorous. There are more than 900 different species living on land, in fresh water and in the sea [16]. Terrestrial tardigrades live in the thin film of water on the surface of moss, lichens, algae, and other plants and depend on water to remain active and complete their life cycle. They have been studied for their fascinating ability to perform cryptobiosis and consequently as a potential model animal for studying tolerance and survival of multicellular organisms to a variety of extreme

environmental conditions [17]. Very recently they were even used to study extraterrestrial conditions in a space mission [18].

Although there are several physiological and ecological studies on tardigrades, only limited sequence information has been published so far, and no other genomic and molecular data are available regarding anhydrobiotic tardigrades. As part of FUNCRIPTA project (Functional Analysis of Dynamic Processes in Cryptobiotic Tardigrades) investigating gene and protein expression in the anhydrobiotic tardigrade *Milnesium tardigradum* (Fig. 1), we have generated 20,000 ESTs (expressed sequence tags) from 2 cDNA libraries of animals in active (alive) and inactive (dry) states.

Furthermore a molecular subtraction technique – representational difference analysis of cDNA – aims to identify differentially expressed genes.

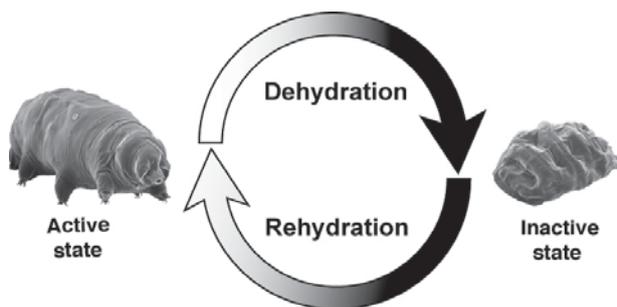


Fig. 1: The tardigrade *Milnesium tardigradum* on the way from an active to an anhydrobiotic state (inactive state) and back to an active stage again.

2 Material and methods

Milnesium tardigradum specimens used in this study, were provided by our FUNCRIPTA partner in Stuttgart. For each stadium (active and inactive) we used 600 animals that were frozen at -80°C until the RNA isolation step and cDNA synthesis.

Obtaining high quality, intact RNA is the first and the most critical step in performing cDNA library construction. Due to the fragility of the RNA, extreme caution should be taken to avoid RNA degradation by ribonuclease (RNases) contamination. Therefore most of the RNA isolation procedure takes place in a strong denaturant (guanidium thiocyanate, SDS, phenol) that renders RNases inactive. Total RNA isolated was quantified by Nanodrop spectrophotometer and qualified with normal agarose gel and the Agilent Bioanalyzer.

Synthesis of first strand cDNA from RNA templates is catalyzed by viral reverse transcriptase in the presence

of oligo(dT)18 which anneals selectively on the poly(A) tail of mRNA. The first strand of cDNA is directly used as a template in PCR amplification. The amplified PCR products were analyzed by agarose gel electrophoresis. Sufficient cDNA was obtained after 18 PCR cycles. After digestion of the amplified cDNA with *Sfi*I restriction enzyme, products smaller than 300 bp were removed by column chromatography.

The resulting cDNAs were directionally cloned into the *Sfi*I-digested pDNR-Lib plasmid vector (Clontech) and transformed into *Escherichia coli* competent cells (Invitrogen) by electroporation. Following 1 h growth in a rich medium at 37°C , cells were plated on LB agar medium containing chloramphenicol antibiotic and incubated overnight at 37°C . Colonies were picked with a colony-picking robot (Genetix) into 384-well plates. After overnight incubation at 37°C , the 384-well plates were stored at -80°C . One cDNA library was generated for each of the tardigrade stages (active and inactive).

Expressed sequence tag (EST) sequencing was undertaken for the purpose to discover anhydrobiotic genes. Initially, two cDNA libraries were constructed (active and inactive). A total of 10,000 clones (5,000/state) were analyzed by sequencing from the 5' end. Blast searches were conducted at the bioinformatics department in Würzburg (FUNCRIPTA partner).

We used representational difference analysis (RDA), which couples subtractive hybridization to PCR-mediated kinetic enrichment [19], to identify differentially expressed genes between active and inactive tardigrades. cDNA for RDA was prepared from both states. After generation of representations three cycles of subtractive hybridisation and amplification followed. Cloning of the difference products and subsequent sequencing led to potential candidate genes.

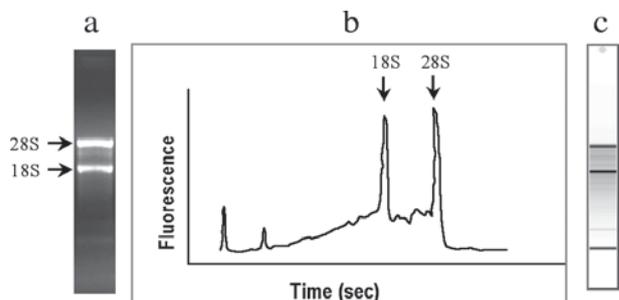


Fig. 2: Qualitative analysis of total RNA extracted from tardigrades. a) 28S and 18S rRNA separated by agarose gel electrophoresis (150 ng total RNA loaded). b) Electropherogram data from the Agilent 2100 bioanalyzer (1 ng total RNA loaded) showing 18S and 28S rRNA peak profiles as well as a gel-like image (c).

3 Results

Agarose gel electrophoresis (Fig. 2a) shows intact total RNA consisting mainly of two ribosomal RNA bands, 28S and 18S. Their corresponding bands should appear sharp on a gel electrophoresis and the 28S band should be approximately twice as bright as the 18S band. In gene expression analysis, the quantity of RNA obtained is limited, thus the sensitivity of detection is very important. With the use of microcapillary electrophoresis, the Bioanalyzer is more sensitive than classical gel electrophoresis, and only as little as 100 pg total RNA is needed to perform the analysis and thus saving most of the valuable sample. The output of this method is a diagram that displays fluorescence as a function of time, with small molecules appearing at the left side of the graph. Illustration of this by RNA quality is in Fig. 2b,c (good quality). Higher sensitivity allows detection of less abundant fractions of total RNA that are not visible by agarose electrophoresis.

Using total RNA prepared from active and inactive tardigrade, ds cDNAs were synthesized using the SMART PCR cDNA Synthesis Kit (Clontech). The quality of PCR product was checked by electrophoresis on a 1.1 % agarose gel. A homogeneous smear of each PCR product ranging from 250 to 3,000 bp in size was obtained (Fig. 3), showing the complex nature of the ds cDNAs which were used in the construction of the EST and RDA libraries.

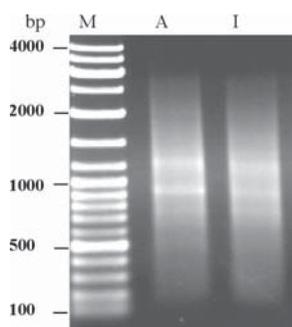


Fig 3: Agarose gel electrophoresis (1.1 %) of amplified SMART-prepared cDNA from Tardigrade. M: DNA ladder Mix., A: Tardigrade Active cDNA, I: Tardigrade Inactive cDNA, bp: base pair DNA

Two cDNA libraries were constructed from *M. tardigradum* (active and inactive). From these two libraries, a total of 10,000 clones were randomly selected, sequenced and analyzed. A total of 7,000 high-quality Expressed Sequence Tags (EST) sequences were generated from the 10,000 clones. The average length of the ESTs

is 500 bp ranging from 150 to 2,000 bp. These quality ESTs were further assembled into 3,800 unique ESTs. The 7,000 ESTs have been deposited to the Tardigrade analyzer software made especially for analysing the tardigrade genome and proteome [20].

The entire ESTs were subjected to a search for sequence homology in the GenBank DNA and EST database by BLAST. Blast results show mainly two groups of ESTs. The first gave hits to known genes and the second consisted of those ESTs having no corresponding or homologous sequence in the databases which can be considered as putative novel cDNAs.

The difference products obtained after each cycle of subtractive hybridisation and amplification (DP1, DP2 and DP3) are shown in Figure 4. The difference product showing a »smear« with some distinct bands was obtained only after the third round of enrichment (DP3). The DP products were excised from each gel and the DNA was purified and cloned. Approximately 30 clones were analysed each.

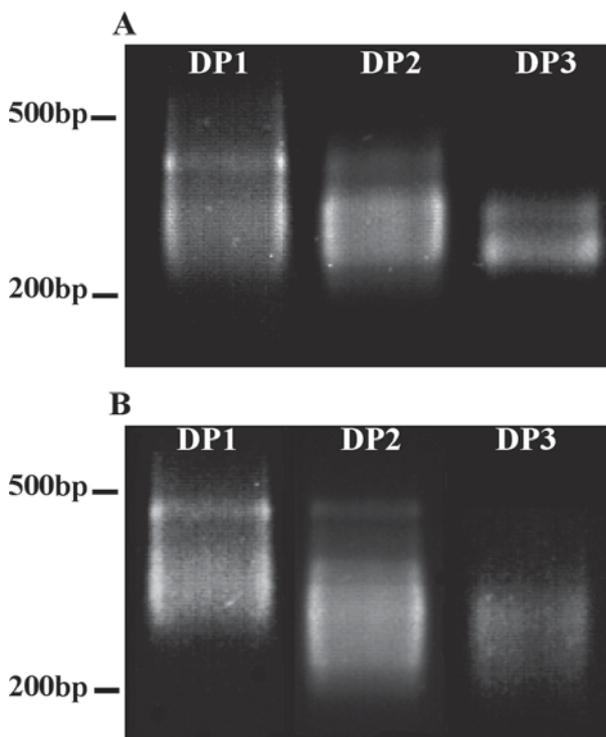


Fig. 4: Agarose gel electrophoresis of representations and difference products identified by RDA. Difference products after one two and three rounds of subtraction/amplification (DP1, DP2 and DP3) were generated using the representations from active tester vs. inactive driver cDNAs (A) and from inactive tester vs. active driver cDNAs (B). Size markers (base pair, bp) are indicated to the left.

4 Discussion

As transcription of most genes correlates with their protein function, changes in transcription are likely to reflect changes in biochemical processes within an organism. Thus, identifying genes in anhydrobiotic tardigrades whose expression is modified by various environmental conditions is an important goal of our research. In the present study, using a combination of ESTs and RDA, we have identified dozens of differently expressed genes in *Milnesium tardigradum*.

Expressed sequence tags (EST) represent an effective genomic approach for rapid identification of expressed genes. Many successful EST projects have been reported for a number of species and from a variety of tissues under different environmental conditions [21-23]. Furthermore, the availability of cDNA sequences has accelerated molecular characterization of genes of interest and provided sequence information for microarray construction and genome annotation.

However, most of these EST projects subjected defined tissues or genotypes. The EST project reported in this study is designed using the whole and the same specie (*M.tardigradum*) but in different physiologic states: anhydrobiotic (dry) versus normal (alive) state.

RDA as a rapid PCR-based method [19] has been successfully adapted and used for the cloning of genes, which are differentially expressed between active and inactive animals. This method is particularly appropriate for application to species whose genomes and expressed sequences have been very little characterized [24].

Until now, we do not know whether any of the differentially expressed genes we have identified are responding specifically to anhydrobiosis processes or are more general in their activity. A combination of proteomic analysis and microarray technology is expected to provide insight into the specific process of gene transcription in anhydrobiotic tardigrades and may be relevant to understand how organisms tolerate extreme conditions and persist in dry state for long periods.

Among the genes identified by EST and RDA, almost half were homologous to sequences known from other species. The rest of the DNA sequences showed no significant homology to previously described genes and at present we cannot deduce any function for these genes in anhydrobiosis. A detailed analysis of the function of these unknown genes however provides clues to possible mechanisms that contribute to the comprehension of anhydrobiosis.

5 Potential application

Understanding the desiccation-tolerance in anhydrobiotic organisms will enable us to induce or engineer tolerance in sensitive species and subsequent long-term stabilization and preservation of biological materials in dry state. This is a topic of a broad-ranging medical and commercial interest. In the medical field conservation of cells and organs is covered; the food industry will be interested in preservation and storage and the pharmaceutical industry tries to extend the shelf life of protein-based drugs and enzymes. The latter also being of interest in white biotechnology. The need for stabilization of cells in the dried or frozen state is particularly urgent in organ and tissue preservation for transportation and medical applications, as well as long term storage of autologous and heterologous tissue and organ material. For example, human blood platelets are not allowed to be stored beyond five days, therefore, shortage of fresh platelets sometimes occurs. With new techniques it may become possible to store platelets, cell lines, tissues or organs at room temperature, rather than in expensive liquid-nitrogen freezers. Also transportation could become easier.

6 Conclusions and perspectives

Tardigrades have hardly been the subject of detailed scientific investigations, due to the rare existence of molecular and genetic data. As a first step, in the present study we generated thousands of ESTs sequences that will be important for downstream experiments and analyses.

The ESTs and RDA sequences will be amplified and spotted onto glass slides in known locations to create microarrays or gene chips. cDNAs can be labelled with different fluorescent tags and allowed to hybridize with the DNA on the chip. The expression level of thousands of genes can be then analyzed at the same time. Subsequently, the gene expression profiles will be determined in order to identify genes that are associated with anhydrobiosis.

Beside the main focus on anhydrobiosis, we started genotyping within different members of tardigrada, mainly close relatives of *Milnesium*, in order to determine the molecular aspect of their anhydrobiotic phenotypes. Besides other sequences we plan to use 18S rDNA and mitochondrial cytochrome oxidase sequence in-

formation in our studies since these genes contain both conserved and variable regions. Also, this area has been targeted by most other research groups and will enable us to compare our data.

References

- [1] Crowe, J. H./Hoekstra, F. A./Crowe, L. M. (1992): Anhydrobiosis. *Annu. Rev. Physiol.* 54, 579-599.
- [2] Tunnacliffe, A./Lapinski, J. (2003): Resurrecting van Leeuwenhoek's rotifers: a reappraisal of the role of disaccharides in anhydrobiosis. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 358, 1755-1771.
- [3] Clegg, J. S. (2001): Cryptobiosis – a peculiar state of biological organisation. *Comp. Biochem. Physiol.* 128B, 613-624.
- [4] Jönsson, K. I./Schill, R. O. (2007): Induction of Hsp70 by desiccation, ionising radiation and heat-shock in the eutardigrade *Richtersius coronifer*. *CBP* 2007, 146:456-460.
- [5] Bertolani, R./Guidetti, R./Jönsson, K. I./Altiero, T./Boschini, D./Rebecchi, L. (2004): Experience with dormancy in tardigrades. *J. Limnol* 2004, 63(1):16-25.
- [6] Potts, M. (1999): Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria. *Eur. J. Phycol.* 57, 43 68.
- [7] Ricci, C. (1998): Anhydrobiotic capabilities of bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 387 388, 321 326.
- [8] Alpert, P. (2000): The discovery, scope and puzzle of desiccation tolerance in plants. *Plant Ecol.* 151, 5 17.
- [9] Scott, P. (2000): Resurrection plants and the secrets of the leaf. *Ann. Bot.* 85, 159 166.
- [10].Cuming, A. C. (1999): LEA Proteins. *Seed Proteins* 1999:753-780.
- [11] Browne, J./Tunnacliffe, A./Burnell, A. (2002): Anhydrobiosis - plant desiccation gene found in a nematode. *Nature* 2002, 416(6876):38.
- [12] Browne, J. A./Dolan, K. M./Tyson, T./Goyal, K./Tunnacliffe, A./ Burnell, A. M. (2004): Dehydration-specific induction of hydrophilic protein genes in the anhydrobiotic nematode *Aphelenchus avenae*. *Eukaryot Cell* 2004, 3(4):966-975.
- [13] Westh, P./Ramlov, H. (1991): Trehalose accumulation in the tardigrade *Adorybiotus coronifer* during anhydrobiosis. *J Exp Zool* 1991, 258:303-311.
- [14] Crowe, L. M. (2002): Lessons from nature: the role of sugars in anhydrobiosis. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol* 2002, 131(3):505-513.
- [15] Hengherr, S./Heyer, A. G./Köhler, H. R./Schill, R. O. (2008): Trehalose and anhydrobiosis in tardigrades – evidence for divergence in responses to dehydration. *FEBS J* 2008, 275(2):281-288.
- [16] Guidetti, R./Bertolani, R. (2005): Tardigrade taxonomy: an updated check list of the taxa and a list of characters for their identification. *Zootaxa* 2005, 845:1-46.
- [17] Wright, J. C. (2001): Cryptobiosis 300 years on from van leuwenhoek: what have we learned about tardigrades? *Zool Anz* 2001, 240:563-582.
- [18] Jönsson, K. I./Rabbow, E./Schill, R. O./Harms-Ringdahl, M./Rettberg, P. (2008): Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Current Biology*, Vol 18, R729-R731.
- [19] Frohme, M./Hoheisel, J. D. (2006): Representational difference analysis; a methodology to study differential gene expression. In *Celis J (Hrsg.): Cell Biology – A laboratory handbook*, 3. Ed., Elsevier, New York: Vol. 4, 113-120.
- [20] Shkumatov, A./Förster, F./Liang, C./Engelmann, J./Schnölzer, M./Frohme, M./Müller, T./Schill, R. O./Dandekar, T. (submitted): Tardigrade analyzer reveals new stress adaptations, RNA elements and major tardigrade protein clusters.
- [21] Denise E Abbott, D. E./Pritchard, C./Clegg, N. J./Ferguson, C./Dumpit, R./Sikes, R. A./Nelson, P. S. (2003): Expressed sequence tag profiling identifies developmental and anatomic partitioning of gene expression in the mouse prostate. *Genome Biology* 2003, 4:R79
- [22] Clark, M. S./corresponding Michael AS Thorne, M. A. S./Purać, J./Grubor-Lajšić, G./Kube, M./Reinhardt, R./Worland, M. R. (2007): Surviving extreme polar winters by desiccation: clues from Arctic springtail (*Onychiurus arcticus*) EST libraries. *BMC Genomics*. 2007; 8: 475.
- [23] Soza-Ried, J./Hotz-Wagenblatt, A./Glatting, K. H./del Val, C./Bode, H./Frank, U./Hoheisel, J./Frohme, M. (submitted): The transcriptome of the colonial marine hydroid *Hydractinia echinata*.
- [24] Grohme, M./Frohme, M./Mali, B.: PCR-based methods for differential gene expression analysis. *Current Pharmaceutical Analysis* (in print).

Authors

Prof. Dr. Marcus Frohme

Dr. Brahim Mali

Markus Grohme, PhD student

Weronika Welnicz, MSc student

Technical University of Applied Sciences Wildau, Germany
Faculty of Engineering/Industrial Engineering and Management
Laboratory for Molecular Biology and Functional Genomics
Tel. +49 3375 508-249
marcus.frohme@tfh-wildau.de

Prof. Dr. Thomas Dandekar

University of Würzburg, Germany

Dr. Martina Schnölzer

German Cancer Research Center Heidelberg, Germany

Dr. Dirk Reuter

Oncoscience AG, Wedel, Germany

Dr. Ralph O Schill

University of Stuttgart, Germany

Disposition und Steuerung des Wareneingangs in einem Transportermontagewerk

Christian Stegner, Stefanie Wendler, Mario Wöllner, Herbert Sonntag

Zusammenfassung

Die Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen ist maßgeblich von der Steuerung logistischer Prozesse bestimmt. Im Sinne einer Effizienzmaximierung der nachfragebasierten Materialversorgung kommt dem Informationsfluss eine bedeutende Rolle zu. Dabei ist eine einwandfreie Datenerfassung, als Schnittstelle zwischen Informations- und Materialfluss, essentiell. Allerdings kann eine fehlerfreie Erfassung logistikrelevanter Daten entlang der Supply Chain aufgrund manueller Identifizierungsabläufe nicht immer gewährleistet werden. Dies kann die Fähigkeit der effizienten Prozesssteuerung stark einschränken und demzufolge zu empfindlichen Einschnitten bezüglich der Prozessqualität führen. Der Einsatz automatischer Identifizierungssysteme im Unternehmen stellt ein probates Hilfsmittel zur Sicherstellung der logistischen Prozesssicherheit dar. Doch sind bei der Auswahl eines für den jeweiligen Anwendungsfall bestgeeigneten Auto-ID-Systems neben monetären auch qualitative Parameter zu untersuchen. Nur so kann sichergestellt werden, dass aus einer Vielzahl möglicher Technologiealternativen eine Systemvariante ausgewählt wird, die die gegebenen Rahmenbedingungen optimal berücksichtigt. Im Nachfolgenden soll die Auswahl eines Auto-ID-Systems exemplarisch erläutert werden. Dazu wird zunächst eine detaillierte Systemanalyse durchgeführt. Zur Bewertung des qualitativen Nutzens der Implementierung eines Auto-ID-Systems kommt eine Nutzwertanalyse zur Anwendung. Des Weiteren wird eine umfassende Investitionsrechnung durchgeführt, bei der sowohl etwaige Investitions- als auch Betriebskosten einbezogen werden, um ebenso quantitative Aufwandparameter abschätzen zu können. Die abschließende Systemempfehlung erfolgt mittels einer Nutzwert-Kosten-Analyse, bei der die einzelnen Systemalternativen anhand ihrer qualitativen und quantitativen Eigenschaften gegenübergestellt werden. Vor dem Hintergrund der gegebenen Problemstellung hat sich ein WLAN-gestütztes Auto-ID-System als Vorzugsvariante herausgestellt. Es verfügt unter allen Alternativen über das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis und führt zur größtmöglichen Prozessverbesserung.

Abstract

The performance of manufacturers is mainly determined by the control of the logistic processes. To maximize the efficiency of a demand based material flow, it is of particular importance to focus on the information flow. It is essential to have a perfectly working data recording as interface between the material and information flow. However, manual identification procedures in supply chains do not guarantee a faultless recording of relevant data. On the contrary, automatic identification systems are known to ensure logistic process reliability. Against the background of a diversity of available Auto-ID solutions, the choice for an appropriate one needs not only to take into account monetary, but also qualitative parameters. In this way, also on-site conditions are considered. In the following, the selection of an Auto-ID system will be exemplified which is firstly based on a detailed system analysis. Secondly, a value benefit analysis will be conducted that evaluates the qualitative advantages of the implementation of an Auto-ID system. Thirdly, potential expenditures will be estimated by carrying out a comprehensive investment appraisal, focusing both on investment and operating costs. Finally, a system recommendation will be offered as a result from a cost-benefit analysis that compares all system solutions on the basis of their qualitative and quantitative properties. In the given study, a WLAN based Auto-ID system turned out to be the favorable solution. It had the best cost-benefit ratio across all alternatives and led to the largest possible process improvement.

1 Einleitung

Der Fahrzeugbau ist durch eine hohe Teilevielfalt gekennzeichnet, verursacht durch komplexe Produkte [1]. Somit ist ein erheblicher Logistikaufwand zu erbringen, um diese Komplexität unter Beachtung wirtschaftlicher Ziele zu beherrschen [2]. Insbesondere die Datenerfassung ist für einen optimierten, kostenminimalen Materialfluss von hoher Bedeutung [3]. Ziel eines produzierenden Unternehmens muss es daher sein, eine effiziente Steuerung der Materialbeschaffungsvorgänge sicherzustellen. Dies gilt insbesondere auch im Bereich der Transport- und Wareneingangsprozesse, der von einem zunehmenden Aufwand zur Koordination der Informations- und Materialflüsse geprägt ist. Dies ist im vorliegenden Anwendungsfall von Stegner (2008) im Rahmen einer Diplomarbeit im Werk Mercedes Benz Ludwigsfelde untersucht worden.

Im bearbeiteten Fall ist die Leistung der Logistikprozesse stark von der Qualität (Menge, Validität, Verfügbarkeit etc.) logistischer Datensätze abhängig. Bei der Konzipierung wird daher der Einsatz automatischer Identifizierungssysteme erwogen, denn die Leistungsfähigkeit logistischer Prozessketten ist nur so gut wie die Informationen, die zur Lenkung derselben notwendig sind [4]. Es bildet die Auto-ID durch ihre nahezu feh-

lerfreie Identifikation in kürzester Zeit die elementare Voraussetzung für eine effiziente Prozessgestaltung [5]. Auto-ID-Verfahren umfassen die automatische Übertragung von Informationen der realen Welt in die Informationssysteme von Unternehmen. Diese übernimmt dabei auch Dienste zur Vorverarbeitung von Daten, die von der Auto-ID-Peripherie bereitgestellt werden (=Event Middleware). Einem zentralen unternehmensinternen Informationssystem werden somit nur die betriebswirtschaftlich sinnvollen Daten weitergereicht [6]. Nachfolgend ist eine geeignete Gesamtarchitektur dargestellt.

2 Untersuchungsbereich

Zur Planung des Material- und Informationsflusses innerhalb des Teilgebietes »Inboundlogistik« wurde dieses in die drei Phasen *Warenabholung*, *Transport* und *Wareneingang* unterteilt. Letztgenannte Phase ist Schwerpunkt dieser Arbeit gewesen. Der Wareneingang schließt mit Ankunft des Spediteurs am Werk die betriebsexternen Schritte der Beschaffung ab.

Abbildung 2 verdeutlicht, welche Teilprozesse bei der Wareneingangsabwicklung betrachtet wurden. Im Vordergrund standen die Prozessschritte zwischen der WE-Leitstelle an der Werkseinfahrt und den relevanten

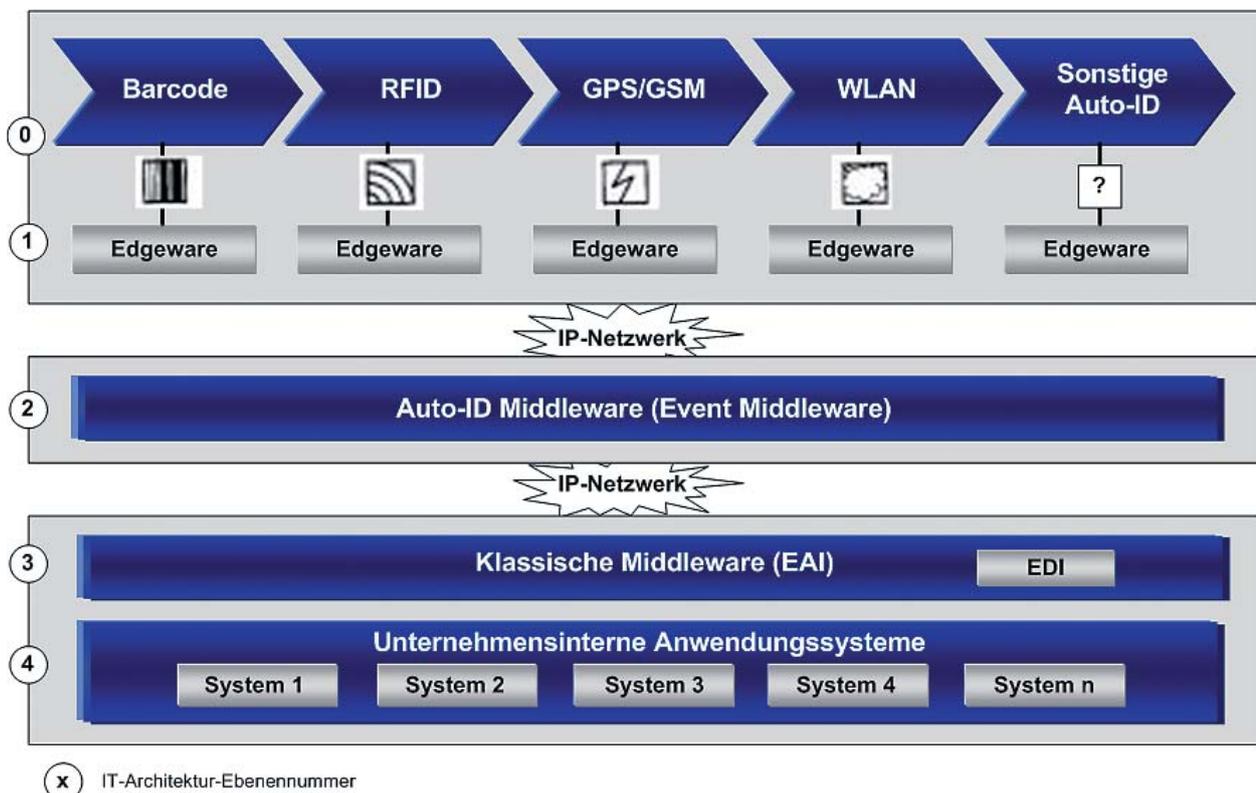


Abb. 1: IT-Architektur eines Auto-ID-Systems

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Gillert/Hansen 2007, S. 137



Abb. 2: Abgrenzung des Untersuchungsbereiches (blau)

Be- bzw. Entladezonen des Montagewerkes. Die Aufgabe des Wareneingangs besteht in der Annahme und Erfassung angelieferter Produktionsmaterialien. Dazu wird in den informatrischen und physischen Wareneingang unterschieden. Die Analyse, Darstellung und Bewertung der Wareneingangsprozesse beschränkte sich auf sämtliche Inbound-Verkehre zur Anlieferung von Produktivmaterial sowie auf Be-/Entladezonen, die der Lkw-Steuerung unterliegen.

3 Ausgangssituation, Rahmenbedingungen und Planungsgrundlagen

Die Transport- und Wareneingangsprozesse in der industriellen Automobilherstellung werden durch die Interaktion verschiedener IT-Systeme unterstützt. Diese tragen maßgeblich zur Effizienzsteigerung bei der Erfassung und Steuerung der Wareneingänge bei. Im themenstellenden Unternehmen ist das Wareneingangssystem (WES) fundamentaler Bestandteil der Wareneingangsabwicklung. Das WES ist ein System für die ordnungsgemäße Erfassung und Verarbeitung der Ein- und Ausgänge sowohl von Produktivmaterial als auch von Ladungsträgern. Im Zuge der Avisierung von Materiallieferungen werden per Datenfernübertragung (DFÜ) elektronische Lieferschein-Avisen an das WES übermittelt.

Ankommende Lkws werden zunächst in der WE-Leitstelle informatrisch abgefertigt. Im Rahmen der informatrischen Warenvereinnahmung werden die

Daten der Lieferanten in das WES übernommen (informatrische Ersterfassung). Es folgt die Zuweisung einer ersten anzufahrenden Entladezone als Teil der internen Lkw-Steuerung. Dort erfolgt der physische Wareneingang, d. h. die eigentliche physische Lkw-Abfertigung. Abbildung 3 gibt einen schematischen Überblick über die Wareneingangsabwicklung des Montagewerkes für Nutzfahrzeuge.

Neben der Erfassung, Korrektur und Abfrage der Wareneingangsdaten ermöglicht eine WES-Funktionalität, dass zu jedem Bordero-Umfang Lkw-Abfertigungsdaten und -zeiten (KOMMT- und GEHT-Zeiten) erfasst werden können. Somit stellt das WES allen Prozessbeteiligten Informationen über die im Werk befindlichen und die vor dem Werk wartenden Lkws zur Verfügung.

Aufgabe der internen Lkw-Steuerung ist es, auf dem Werksgelände befindliche Lkws optimal durch das Werk von Entladezone zu Entladezone zu leiten. Bei einer optimalen operativen Steuerung sollten u. a. folgende Prämissen verfolgt werden:

- minimale Durchlaufzeiten pro Lkw,
- gleichmäßige Auslastung der Be- und Entladezonen,
- Minimierung der Belastung der Be- und Entladezonen,
- Beachtung zeitkritischer Anlieferungen.

Dazu wird jedoch eine höchstmögliche Prozesstransparenz vorausgesetzt. Es ist unabdingbar, genaue Informationen über die Auslastungen von Be- und Entladezonen sowie über den Bearbeitungsstatus einzelner Lkws vorliegen zu haben. Demzufolge ist die exakte

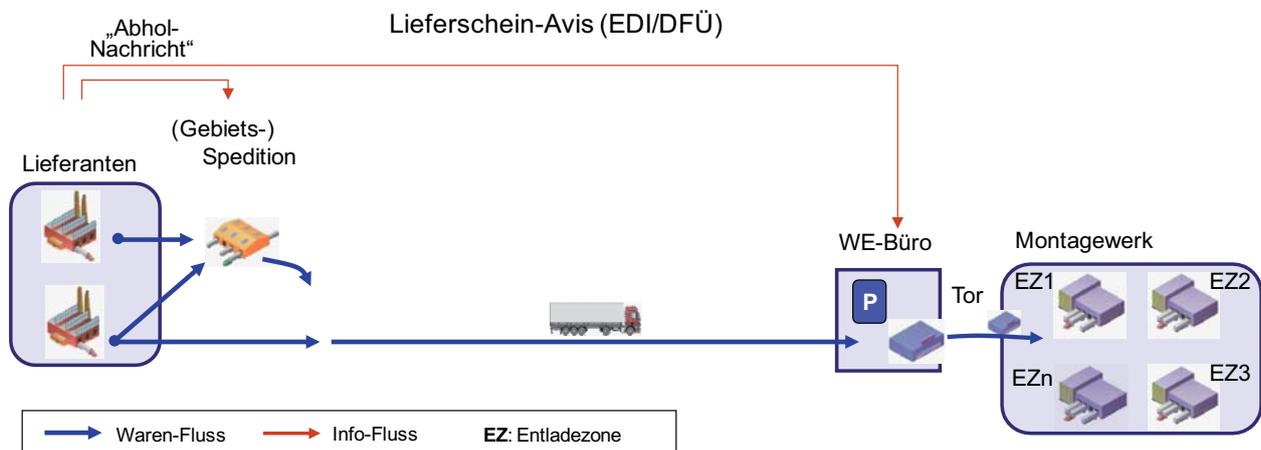


Abb. 3: Schema Transport- und Wareneingangsprozess

und vollständige An- und Abmeldung eines Lkws – insbesondere an den jeweiligen Be- und Entladezonen des betroffenen Werkes – essentiell.

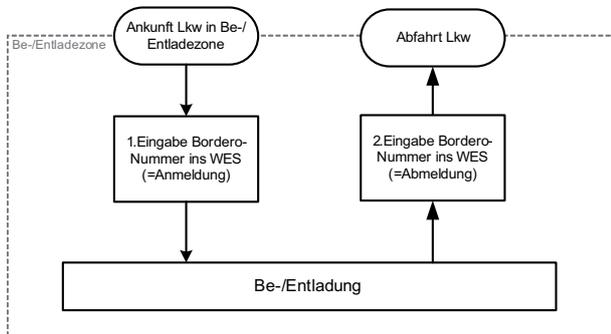


Abb. 4: Prinzipskizze der Lkw-Erfassung

Bei der Erfassung von Lkw-Abfertigungszeiten können zum einen Ankunfts- und zum anderen Abfahrtsdaten eines Fahrzeuges an einer Be-/Entladezone erfasst werden. Die Setzung von Abfertigungszeiten wird an den Be- und Entladezonen manuell durchgeführt, indem durch manuelle Eingabe der Bordernummer im WES das aktuelle Zeitereignis im Abfertigungssatz gebucht wird. Dieses manuelle Prinzip erfordert eine genaue Einhaltung von Prozessvorgaben.

<ul style="list-style-type: none"> – Wareneingangssystem (WES) – Frühzeitige DFÜ-Avisierung 	Stärken	Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> – Mangelnde Daten- und Prozesstransparenz – Schlechte Datenqualität – Unzulängliche Lkw-Steuerung im Werk MBLU – Nicht-Einhaltung von Prozessvorgaben – kaum Auswertungsmöglichkeiten
<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz innovativer Technologien – Nutzung vorhandener (IT-Infrastruktur) – Beachtung konzerninterner Projekte 	Chancen	Risiken	<ul style="list-style-type: none"> – Mangelnde Akzeptanz der Prozessbeteiligten – Überdimensionierung neuer Systeme

Abb. 5: Zusammenfassung SWOT-Analyse

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der SWOT-Analyse dargestellt. Es ist ersichtlich, dass im Werk eine schlechte Datenqualität in Bezug auf die Erfassung von Lkw-Abfertigungszeiten vorherrscht, was in einer ungenügenden Prozesstransparenz resultiert. Die Hauptursache dafür ist in dem hohen Einfluss manueller Tätigkeiten bei den Erfassungsvorgängen zu sehen, der hohe Fehlerquoten begünstigt. Diese Qualitätsdefizite nehmen negativen Einfluss auf die gesamte interne Lkw- und Wareneingangssteuerung, wie in Abbildung 6 verdeutlicht.

Aufgrund der beschriebenen Ausgangssituation und der Tatsache, dass der Einsatz automatischer Identifikationssysteme erhebliches Potenzial zur Optimierung bietet, wurde in dieser Arbeit eine Untersuchung zum möglichen Einsatz eines solchen Systems durchgeführt. Damit sollen zukünftig alle Lkws, die Produktivmaterial anliefern, automatisch an neuralgischen Punkten im Werk identifiziert bzw. erfasst werden können. Eine Prozessoptimierung in Form der Einführung eines umfangreichen technischen Systems gibt die Möglichkeit einer ganzheitlichen Optimierung betroffener Prozesse im Wareneingang und lässt höhere Synergien erwarten als partielle Verbesserungen entlang der Prozesskette.

4 Auswahl eines Auto-ID-Systems zur Optimierung der Wareneingangssteuerung

4.1 Allgemeine Vorgehensweise

Bei der Auswahl eines geeigneten Auto-ID-Systems muss stets bedacht werden, dass eine rein technisch ausgerichtete Implementierungsstrategie ohne detaillierte Kosten-Nutzen-Betrachtung einen angestrebten Projekterfolg entscheidend gefährden kann. Demzufolge spielt bei der Auswahl eines geeigneten Auto-ID-Systems, unter Berücksichtigung der Vielzahl an

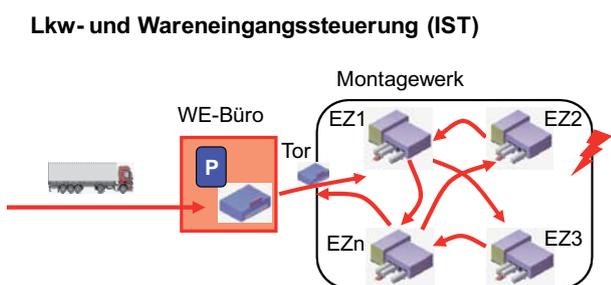


Abb. 6: Problemstellung der internen Lkw- und Wareneingangssteuerung

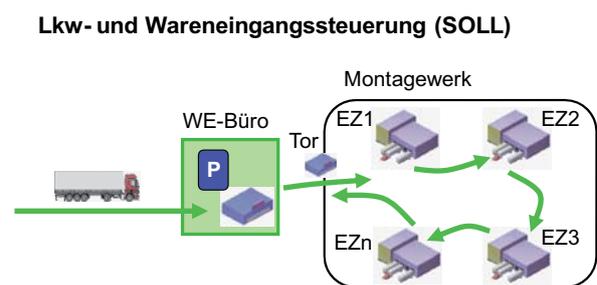




Abb. 7: Vorgehensweise bei der Auswahl eines Identifikationssystems

Technologiealternativen, die Wirtschaftlichkeit und der individuelle Nutzen potenzieller Lösungsvarianten eine entscheidende Rolle. Zur Durchführung der Auswahl eines geeigneten Identifikationssystems ist eine strukturierte Vorgehensweise erforderlich, die es ermöglicht, eine Analyse von der ersten Zielformulierung bis zur finalen Bestimmung einer Vorzugsvariante zu realisieren. Folgende Vorgehensweise wurde bei dieser Arbeit angewandt und ist im Allgemeinen für eine Systemauswahl zu empfehlen:

4.2 Vorauswahl

Zu Beginn der Bewertung potenzieller Auto-ID-Systeme ist zu klären, welche Systeme aus der Vielzahl vorhandener Lösungen zur automatischen Identifikation in Betracht gezogen werden sollen. Bei dieser Analyse wurden alle die Systeme bei der Bewertung beachtet, die alle Lkws im Werk aktuell (d. h. in Echtzeit), lückenlos und fehlerfrei zu erfassen in der Lage sind. Der Kreis möglicher Identifikationssysteme wurde bewusst groß gehalten, um unter Garantie die für die vorliegende Situation optimale Technologie zu eruiieren. Insgesamt wurden 13 Systeme auf deren Anwendbarkeit geprüft.

In einer ersten Vorauswahl wurden einige potenzielle Auto-ID-Systeme ausgeschlossen, die erwarten ließen, dass sie den Prozessanforderungen der Lkw-Steuerung des Werkes nicht genügen. Dazu lassen sich aus den Anforderungen Restriktionen bezüglich des Gesamtsystems ableiten. Diese Restriktionen können organisatorischer und technischer Art sein und sind unternehmensspezifisch. Ein neues System muss die Restriktionen erfüllen. Andererseits fungieren diese als K.O.-Kriterien, sodass die Lösungsvariante von der weiteren Auswahl eines passenden Identifikationssystems auszuschließen ist.

Durch Abgleich der (technischen) Eigenschaften der betrachteten Auto-ID-Systeme mit den vorangehend definierten Restriktionen lässt sich bereits eine Vorauswahl treffen. Bei der vorliegenden Analyse stellten sich drei Systeme heraus, die für eine weitergehende Analyse geeignet sind. Dies betrifft die aktive und passive RFID-Technologie sowie die Ortungstechnologie auf Basis eines ausgedehnten WLAN-Netztes. Im Weiteren erfolgte nun eine detaillierte Systemanalyse – unter Beachtung von Nutzwerten und Kosten – der verbliebenen Systeme RFID (aktiv und passiv) sowie WLAN.

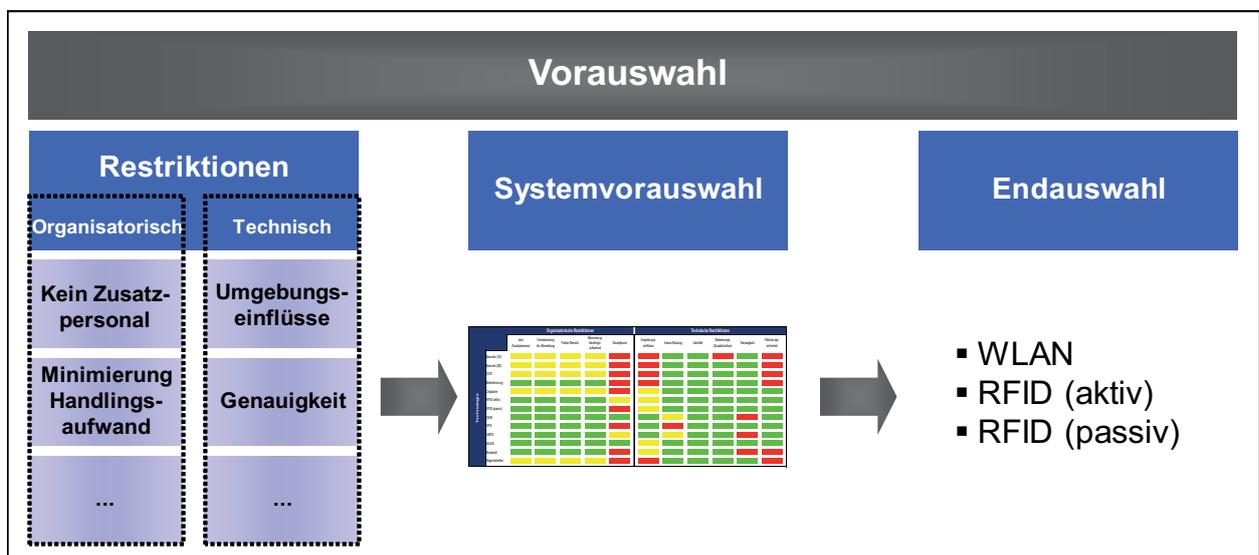


Abb. 8: Vorauswahl eines Auto-ID-Systems im betrachteten Unternehmen

4.3 Systemanalyse

Nutzwertanalyse

Zur Bestimmung einer Vorzugsvariante ist es von Bedeutung, dass bei der systematischen Entscheidungsfindung neben monetären auch nicht quantifizierbare Entscheidungskriterien bedacht werden. Zur nicht-monetären Bewertung und Gegenüberstellung der verbliebenen Varianten wurde sich des Nutzwertverfahrens bedient. Bei einer Nutzwertanalyse können mehrere Alternativen verglichen und ihr Wert in Hinsicht auf die gestellten Ziele ermittelt werden. Folgende Schritte sind bei einer Nutzwertanalyse zu tätigen:

- 1) Erster Schritt und Grundlage für eine Nutzwertanalyse ist das Erkennen und Formulieren von Bewertungskriterien, die die Zielvorgaben der Implementierung eines Auto-ID-Systems erfassen und die Prozessstrukturen des betrachteten Unternehmens berücksichtigen. Die einzelnen Kriterien müssen weitestgehend unabhängig voneinander sein.
- 2) Die Bedeutung der verschiedenen Kriterien für den Gesamtwert wird über Gewichtungsfaktoren ausgedrückt. Wegen hoher Objektivität und guter Reproduzierbarkeit kam hierbei das Verfahren der absoluten Gewichtung zur Anwendung. Es wurden absolute Gewichtungsfaktoren zwischen eins (unwichtig) und fünf (äußerst wichtig) vergeben.
- 3) Anschließend werden die einzelnen Varianten hinsichtlich der Erfüllung der einzelnen Kriterien beurteilt. Für das Beurteilen des Erfüllungsgrades einer Systemalternative für jedes der Kriterien wurden hierbei Punkte von null (unbrauchbar) bis zehn (ideal) vergeben.
- 4) Zur Ermittlung der Teilnutzwerte einer Alternative wird je Kriterium der Erfüllungsgrad mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert.
- 5) Der Gesamtnutzwert jeder Systemvariante wird durch Addition der gewichteten und ungewichteten

ten Teilnutzwerte der Kriterien bestimmt. Für einen Vergleich der Alternativen werden die jeweiligen Gesamtnutzwerte zu den maximal erreichbaren Nutzwerten ins Verhältnis gesetzt. Daraus ergibt sich eine Rangfolge, die zu einer ersten Systempräferenz führt. Als Referenzwert dient dabei der IST-Zustand, der ebenfalls zu bewerten ist.

Zum Schluss erfolgt die Aufbereitung der Ergebnisse. Nach Abschluss dieser Nutzwertanalyse wird deutlich, dass die Variante 1 (WLAN) den besten Gesamtnutzwert unter allen Alternativen aufweist. Insgesamt führen jedoch alle Alternativen zu einer deutlichen qualitativen Verbesserung im Vergleich zur IST-Situation. Um den Einfluss der Gewichtungen zu relativieren, sollte ebenfalls für die ungewichteten Nutzwerte eine Rangfolge gebildet werden.

Investitionsrechnung

Auch wenn nach Beurteilung qualitativer Aspekte hierbei eine erste Systempräferenz abgegeben werden konnte, erweist sich eine detaillierte Analyse quantitativer Aufwandsparameter als sinnvoll. Für eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Bestimmung einer Vorzugsvariante ist eine Investitionsrechnung unumgänglich. Im Allgemeinen ergibt sich die Wirtschaftlichkeit eines Investitionsvorhabens aus der Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse (Leistungen) und dem dafür getätigten Mitteleinsatz (Kosten). Das heißt, auf der Kostenseite sind zunächst sämtliche mittelbaren und unmittelbaren Kostenbestandteile – die Investitions- und Betriebskosten – zu ermitteln. Ergänzt wird dies durch die Ermittlung individueller Leistungspotenziale, d. h. potenzieller Kosteneinsparungen, die sich durch die Implementierung eines Auto-ID-Systems ergeben können.

Bei den Investitionskosten sind die einzelnen Kostenbestandteile für die Einführung eines neuen Systems zur automatischen Identifizierung zu bestimmen. Im

		Ist-Zustand (manuell)	Variante 1 WLAN	Variante 2 RFID (aktiv)	Variante 3 RFID (passiv)
Nutzwert (gewichtet)	Punktzahl	628	827	772	761
	Rang	4	1	2	3
	Anteil an maximaler Punktzahl	60 %	80 %	74 %	73 %
Nutzwert (ungewichtet)	Punktzahl	217	282	265	261
	Rang	4	1	2	3
	Anteil an maximaler Punktzahl	60 %	78 %	74 %	73 %

Tab. 1: Ergebnis der Nutzwertanalyse

Investitionskosten							
Kosten für		Variante 1 (WLAN)		Variante 2 (RFID aktiv)		Variante 3 (RFID passiv)	
		Umfang	Kosten	Umfang	Kosten	Umfang	Kosten
Hardware	Schreib/Leseinheit	–	0,00 €	16 Stück	40.000,00 €	16 Stück	35.200,00 €
	Access Points	6 Stück	4.500,00 €	–	0,00 €	–	0,00 €
	Datenträger (Tags)	151 Stück	7.550,00 €	151 Stück	7.550,00 €	33158 Stück	24.868,80 €
	Halterung	50 Stück	250,00 €	50 Stück	250,00 €	–	0,00 €
	Chokepoints	2 Stück	1.300,00 €	–	0,00 €	–	0,00 €
	Server	2 Stück	8.000,00 €	2 Stück	8.000,00 €	2 Stück	8.000,00 €
Software	Edgware	–	0,00 €	1 Stück	8.000,00 €	1 Stück	8.000,00 €
	Middleware (inkl. Programmierleistung)	1 Stück	85.000,00 €	1 Stück	50.000,00 €	1 Stück	50.000,00 €
	Anwendungssoftware	3 Stück	750,00 €	3 Stück	150,00 €	3 Stück	750,00 €
Integration	Umbaumaßnahmen	1 Auftrag	5.000,00 €	1 Auftrag	5.000,00 €	1 Auftrag	5.000,00 €
	Schulung Mitarbeiter	1 Mann/Tag	570,00 €	1 Mann/Tag	570,00 €	1 Mann/Tag	570,00 €
	Abfindungen, Sozialpläne	–	0,00 €	–	0,00 €	–	0,00 €
	Schnittstellenanpassung	1 Auftrag	50.000,00 €	1 Auftrag	50.000,00 €	1 Auftrag	50.000,00 €
	Erweiterung WES	2 Mann/Tage	685,52 €	2 Mann/Tage	685,52 €	2 Mann/Tage	685,52 €
Dienstleistungen	I. Projektbearbeitung (Erarbeitung Aufgabenstellung/Planung)	6 Mann/Tage	2.056,56 €	6 Mann/Tage	2.056,56 €	6 Mann/Tage	2.056,56 €
	II. Realisierung Phase 1 (Externe Beratung/Vorbereitung Umsetzung)	3 Mann/Tage	1.938,00 €	3 Mann/Tage	1.938,00 €	3 Mann/Tage	1.938,00 €
	III. Realisierung Phase 2 (Montage Auto-ID-Equipment **)	3 Mann/Tage	912,00 €	6 Mann/Tage	1.824,00 €	6 Mann/Tage	1.824,00 €
	IV. Realisierung Phase 3 (Konfiguration + Abnahme Auto-ID-System)	5 Mann/Tage	1.713,80 €	5 Mann/Tage	1.713,80 €	5 Mann/Tage	1.713,80 €
Summe			170.225,88 €		177.737,88 €		190.606,68 €

Tab. 2: Investitionskosten

vorliegenden Anwendungsfall setzen sich die Investitionskosten aus vier Kostenblöcken zusammen. Dies sind Kosten für:

- die zu beschaffende Hardware,
- die Software für notwendige Applikationen,
- die Integration des neuen Systems in die Unternehmensstrukturen,
- die eigentliche Planungsleistung.

Aufgrund der hohen Varianz bezüglich der Leistungsmerkmale der am Markt angebotenen Systemkomponenten sind vor Angebotseinholung gewisse Systemanforderungen zu determinieren, die bei der Auswahl geeigneter Komponenten helfen sollen. Zusammenfassend gibt die Tabelle 2 sämtliche zu berücksichtigende Kostenblöcke und deren einzelne Bestandteile wieder.

Insgesamt weist die Variante 1 (WLAN) nach der Investitionskostenrechnung mit zu erwartenden rund 170.000 € den geringsten einmaligen Investitionsbedarf auf. Dies lässt sich insbesondere auf die bereits vorhandene WLAN-Infrastruktur in dem Werk für Nutzfahrzeuge zurückführen, die bereits wichtige Komponenten zur automatischen Identifizierung enthält. Es lässt sich festhalten, dass sich die einzelnen Alternativen vor allem in den Kosten für Hard- und Software unterscheiden, denn beide Kostenblöcke bestimmen bei allen Varianten ca. zwei Drittel der gesamten Investitionskosten.

Für die Investitionsrechnung ebenso bedeutend ist eine detaillierte Behandlung der Betriebskosten. Im Gegensatz zu den Investitionskosten ist die Kostenanalyse bei den Betriebskosten weniger umfangreich. Insgesamt

Betriebskosten p. a.						
Kosten für	Variante 1 (WLAN)		Variante 2 (RFID aktiv)		Variante 3 (RFID passiv)	
	Umfang	Kosten	Umfang	Kosten	Umfang	Kosten
Wartung, Instandhaltung und Energie	5 % vom Invest	8.511,29 €	5 % vom Invest	8.886,89 €	5 % vom Invest	9.530,33 €
Datenträgermaterial	8 Stück	400,00 €	8 Stück	400,00 €	33158 Stück	24.868,80 €
laufende Schulungen	–	0,00 €	–	0,00 €	–	0,00 €
Datenbestand	0,1 AK/Jahr	8.226,24 €	0,1 AK/Jahr	8.226,24 €	0,1 AK/Jahr	8.226,24 €
Handling	–	0,00 €	–	0,00 €	–	0,00 €
Summe		17.137,53 €		17.513,13 €		42.625,37 €

Tab. 3: Betriebskosten

können nur fünf Kostenbestandteile eruiert werden, die für die Sicherstellung des Systembetriebs eines Auto-ID-Systems von Bedeutung sind. Dazu zählen Kosten für:

- die Wartung, Instandhaltung und Energie,
- den Ersatz der Datenträger,
- das Handling der Datenträger (z. B. Rückführung zum Ausgabeort),
- die Pflege des Datenbestandes der Datenbank,
- laufende Schulungen.

Zwei dieser Bestandteile sind für diesen Anwendungsfall sogar zu vernachlässigen, der Aufwand für Schulungen sowie für Handlungsaufgaben wird als gering angesehen. Allgemein können die einzelnen Kostenblöcke der Betriebskosten – in Abhängigkeit von den vorliegenden Rahmenbedingungen – unterschiedlich stark in die Gesamtkosten einfließen.

Im Ergebnis verzeichnet die Alternative des WLAN mit jährlich ca. 17.100 € die geringsten Betriebskosten. Der Unterschied zur Technologie des RFID aktiv ist jedoch marginal. Deutlich höhere Betriebskosten entfallen auf RFID passiv, was sich mit dem deutlich höheren Investitionsaufwand für die jährliche Nachbestellung der Datenträger begründen lässt. Der Bedarf an neuem Datenträgermaterial ist abhängig von der Art des Speichermediums. Aktive Transponder können mehrfach benutzt werden, wohingegen passive Einwegtags jedes Jahr mindestens in gleichem Umfang ersetzt werden müssen wie zum Zeitpunkt der Erstbeschaffung. Da-

pro Jahr	WLAN	RFID aktiv	RFID passiv
Durchschnittliche Einsparungen	55.083,58 €	55.083,58 €	55.083,58 €
Durchschnittliche Betriebskosten	17.137,53 €	17.513,13 €	42.625,37 €
Durchschnittlicher Gewinn	37.946,05 €	37.570,45 €	12.458,21 €

Tab. 4: Jährliche Gewinne

raus lässt sich schließen, dass bei den Betriebskosten vor allem die Datenträger Kostentreiber sind. Personalkosten, die gewöhnlich einen Großteil der Betriebskosten stellen, müssen in diesem Fall nicht beachtet werden, da es sich um vollautomatisierte Abläufe mit automatischer Identifikation bzw. Handhabung handeln würde.

Zum Abschluss der Investitionsrechnung müssen die bei der Implementierung eines neuen Identifikationssystems realisierbaren Ergebnisse (Leistungen) ermittelt werden. Darunter verstehen sich Kosteneinsparungen, die sich beispielsweise durch Substitution manueller Tätigkeiten ergeben. Bei allen untersuchten Varianten würden im Falle einer Implementierung sämtliche Kostensenkungseffekte in gleichem Maße zum Tragen kommen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es hierbei lediglich von Bedeutung ist, ob ein neues Identifikationssystem eingeführt wird oder nicht. Prinzipiell fallen etwaige Kosteneinsparungen umso höher aus, desto höher der angestrebte Automatisierungsgrad ist.

Nach Abschluss der Ermittlung sämtlicher Leistungspotenziale kann ein Gesamteinsparpotenzial von 55.083,58 € im Jahr für das besagte Werk festgestellt werden. Zu beachten ist, dass sich je nach Anwendungsfall andere bzw. weitere Einsparpotenziale ergeben können, weshalb individuelle Potenziale ausgelotet werden müssen.

Je nach Bedarf können ergänzend zu den vorangehend ermittelten quantitativen Aufwandparametern auch Finanzkennzahlen, wie z. B. die Amortisationszeit oder der Kapitalwert, berechnet werden. Diese können helfen, die Ergebnisse der Investitionsrechnung zu konzentrierten Aussagen über die ökonomische Vorteilhaftigkeit eines neuen Auto-ID-Systems zusammenzufassen. Für den vorliegenden Fall soll jedoch eine Nutzwert-Kosten-Analyse zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

Erfüllungsgrad	0	1	2	3	4	5
Investitionskosten (€)	>200.000	175.001-200.000	150.001-175000	100.001-150.000	50.001-100.000	<50.000
jährliche Gewinne (€)	<10.000	10.001-20.000	20.001-30.000	30.001-40.000	40.001-50.000	>50.000

Tab. 5: Wertetabelle – Erfüllungsgrade in Abhängigkeit der Kosten

4.4 Systemempfehlung

Nach Abschluss der Bewertung der drei verbliebenen Alternativen nach qualitativen und quantitativen (monetären) Aspekten erfolgt abschließend eine finale Empfehlung zugunsten eines der Systeme. Für eine Nutzwert-Kosten-Analyse müssen den Nutzwerten der Nutzwertanalyse die absoluten Kosten der Investitionsrechnung gegenübergestellt werden, d. h. die Investitionskosten als auch die jährlichen Gewinne. Die Berechnung des jährlichen Gewinns bildet sich bei dieser Analyse aus der Differenz der Einspareffekte pro Jahr und den jährlichen Betriebskosten.

jährlicher Gewinn = jährlicher Einspareffekt – jährliche Betriebskosten

Das Ergebnis der Berechnung der jährlichen Gewinne ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Im Sinne einer Vergleichbarkeit bedarf es der Transformation der Kosten in einen Nutzwert, um aus dem Nutzwert der Nutzwertanalyse und dem Nutzwert der Kostenanalyse einen Gesamtnutzwert je Systemalternative zu erhalten [7]. Die Transformation der Kosten erfolgt über die Vergabe von Erfüllungsgraden. Der Erfüllungsgrad ist von der Höhe der errechneten Investitionskosten bzw. der jährlichen Gewinne abhängig.

Der Nutzwert der Kosten ergibt sich aus der Addition des gewichteten Erfüllungsgrades der Investitionskosten ($w_i * E_i$) mit dem gewichteten Erfüllungsgrad der jährlichen Gewinne ($w_g * E_g$) [8]:

$$N_k = w_i * E_i + w_g * E_g.$$

Es wurde festgelegt, dass die Gewichtung der Investitionskosten und der jährlichen Gewinne ein Verhältnis von 0,4 zu 0,6 erhalten ($w_i = 40\%$; $w_g = 60\%$). Dies ist jedoch individuell anzupassen. Der endgültige Gesamtnutzwert einer Variante wird ermittelt aus den gewichteten Nutzwerten der Kosten ($w_k * N_k$) und den gewichteten Nutzwerten aus der Nutzwertanalyse ($w_n * N_n$) entsprechend folgender Nutzwertformel [9]:

$$N_{ges} = w_k * N_k + w_n * N_n.$$

Für die Gewichtung der beiden Nutzwerte N_k und N_n wurde ein Gewicht von je 0,5 bestimmt ($w_k = w_n = 50\%$). Die Nutzwerte N_n leiten sich aus den prozentualen Nutzwerten der Nutzwertanalyse ab und werden auf einen Wert zwischen null und fünf umgerechnet. Das Ergebnis der Nutzwert-Kosten-Analyse kann der Tabelle 6 entnommen werden.

Ergebnisse	Alternativen		
	WLAN	RFID aktiv	RFID passiv
Investitionskosten	170.225,88 €	55.083,58 €	55.083,58 €
Erfüllungsgrad E_i ($w_i = 0,4$)	2	1	1
Gewinne p. a.	37.946,05 €	37.570,45 €	12.458,21 €
Erfüllungsgrad E_g ($w_g = 0,6$)	3	3	1
Nutzwert Kosten N_k	2.6	2.2	1
Nutzwert (%)	80 %	74 %	73 %
Nutzwert Nutzwert- analyse N_n	4	3.7	3.65
Gesamtnutzwert N_{ges} ($w_k = w_n = 0,5$)	3.30	2.95	2.33
Rangfolge	1	2	3

Tab. 6: Gesamtnutzwerte der Systemalternativen

Die Variante der automatischen Erfassung der Lkws über ein WLAN-gestütztes System erhält hierbei den größten Gesamtnutzwert unter allen drei in der Endauswahl befindlichen Alternativen. Sie erhält 3,3 von 5 möglichen Punkten. Je größer der Gesamtnutzwert, desto vorteilhafter ist eine Variante anzusehen. Die Variante WLAN verspricht somit die größten qualitativen Prozessverbesserungen sowie die größten jährlichen Kostenvorteile bei gleichzeitig geringstem Investitionsaufwand. Prinzipiell lassen sich aber alle drei Alternativen umsetzen.

Zur Stabilisierung des Ergebnisses sollte zudem eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, bei der die einzelnen Gewichtungen variiert werden. Bei dieser Untersuchung hatte eine Veränderung der Gewichtungen jedoch keine Auswirkungen auf die Gesamtnutzwerte zueinander und somit auf das Endergebnis.

Anmerkungen

- [1] Vgl. Ihme 2000, S. 7 ff.
- [2] Vgl. Ihme 2000, S. 7 ff.
- [3] Vgl. Universität Dortmund 2003, S. 1
- [4] Vgl. Lolling 2003, S. 11
- [5] Vgl. Hompel et al. 2008, S. 9
- [6] Vgl. Gillert/Hansen 2007, S. 136
- [7] Vgl. Rinza/Schmitz 1992, S. 155
- [8] Vgl. Rinza/Schmitz 1992, S. 156 ff.
- [9] Vgl. Rinza/Schmitz 1992, S. 156

Literatur

- Finkenzeller, K. (2002): RFID-Handbuch, 3. aktualisierte und erweiterte Auflage, München/Wien: Hanser.
- Franke, W. et al. (2006): RFID – Leitfaden für die Logistik, Wiesbaden: Gabler.
- Gillert, F./Hansen, W.-R. (2007): RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen, München/Wien: Hanser.
- ten Hompel, M. et al. (2008): Identifikationssysteme und Automatisierung, Berlin/Heidelberg: Springer.
- Ihme, J. (2000): Logistik im Fahrzeugbau, Wien: Manz
- Lolling, A. (2003): Identifikationssysteme in der Logistik, München: Huss.
- Mühlenkamp, H. (1994): Kosten-Nutzen-Analyse; München/Wien/Oldenbourg: Oldenbourg.
- Rinza, P./Schmitz, H. (1992): Nutzwert-Kosten-Analyse, Düsseldorf: VDI Verlag.
- Seifert, W./Decker, J. (2005): RFID in der Logistik, Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag.
- Stegner, Christian (2008): Optimierung und Reorganisation des Material- und Informationsflusses in der Beschaffungslogistik, Diplomarbeit, TFH Wildau.
- Universität Dortmund (2003): Auswahlmethodik für Identifikationssysteme in der Logistik; unter: <http://www.lfv.mb.uni-dortmund.de/mab/p12987/identifikationssysteme.pdf>, Dortmund [abgerufen am 05.06.2008].

Autoren

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Christian Stegner
Technische Fachhochschule Wildau

Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Stefanie Wendler
Mercedes Benz Ludwigsfelde

Dipl.-Ök. Mario Wöllner
Mercedes Benz Ludwigsfelde

Prof. Dr.-Ing. Herbert Sonntag
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Logistik
Tel. +49 3375 508-924
herbert.sonntag@tfh-wildau.de

Möglichkeiten und Grenzen eines zweistufigen Beschaffungsprozesses in der Automobilindustrie

Helge Mühlenbruch, Ingo Schneider, Ralf Szymanski

Zusammenfassung

Die Planung und Ausgestaltung der automobilen Supply Chain ist durch eine globale Beschaffung, mehrere Produktionsstandorte und einen weltweiten Absatz der Fahrzeuge heute so komplex geworden, dass diese Aufgaben mit herkömmlichen Mitteln nicht mehr bewältigt werden können. Ein Tool zur Unterstützung dieser Planungen bietet das Supply Chain Optimierungstool SCOT. In diesem Artikel wird die Modellierung und Implementierung eines zweistufigen Beschaffungsprozesses in das Tool SCOT beschrieben. Nach einer kurzen Einführung in das Tool werden zunächst die Möglichkeiten und Grenzen eines zweistufigen Beschaffungsprozesses beschrieben. Daran anschließend wird anhand eines Ausschnittes aus dem mathematischen Modell des Prozesses dessen Modellierung beschrieben. Der Artikel schließt mit der Bewertung einer Berücksichtigung des zweistufigen Beschaffungsprozesses im Rahmen des Tools.

Abstract

Due to global sourcing processes, multiple production sites and a worldwide sales volume of vehicles the planning of the automobile supply chain is too complex to solve its problems without the aid of special tools. The Supply Chain Optimization Tool SCOT is one of these tools that support the planning of the supply chain. Within this paper the modelling and implementation of a two-stage sourcing process into SCOT is described. After a short introduction into the tool the possibilities and limits of a two-stage sourcing process are specified. After that the modelling of the process is been described by a cut out of the mathematical model. The paper closes with a valuation of the consideration of the two-stage sourcing process within SCOT.

1 Einleitung

Der durch die Marktsättigung gestiegene Wettbewerbsdruck unter den Automobilherstellern führte in der Vergangenheit zu einer verstärkten Kundenorientierung, was unter anderem durch steigende Variantenzahlen bei kürzeren Modelllebenszyklen reflektiert wird. Um in diesem Wettbewerb bestehen zu können, entwickelten die Automobilhersteller Strategien wie Konzentration auf Kernkompetenzen, was zu einer Verringerung der Fertigungstiefe bei gleichzeitiger Erhöhung der Beschaffungstiefe und allgemein zu einer Erhöhung der Komplexität führt [1]. Um diese Komplexität zu beherrschen, treten Konzepte wie ganzheitliches Supply Chain Management, Just in Time oder Lean Production in den Fokus der Unternehmen, was in einer Reduzierung der Lieferantenzahl, in der Reduzierung materieller und zeitlicher Sicherheitspuffer und vermehrtem Outsourcing mündet. Die Folge dieses starken Wandels in der Geschäftswelt der Automobilindustrie ist ein rapider

Anstieg der Risiken in den Netzwerken. Diese Grenzen müssen frühzeitig erkannt werden – bei gleichzeitiger Nutzung vorhandener Möglichkeiten in Form von Chancen. Idealerweise findet die Untersuchung der Grenzen und Möglichkeiten bereits bei der Festlegung der Beschaffungs-, Produktions- und Vertriebsnetzwerke statt. Hierzu ist es erforderlich, einerseits potenzielle Risiken, die von Lieferanten, unternehmenseigenen Produktionsstandorten und den logistischen Verbindungen (Supply Chains) ausgehen, und andererseits Chancen in Form von Kosteneinsparungen in die Netzwerkgestaltung zu integrieren. Dieser Artikel beschäftigt sich mit dem dazu entwickelten Ansatz, der in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden soll.

2 Netzwerkgestaltung mit SCOT

Zur kostenoptimalen Gestaltung der Netzwerke in der frühen Projektphase steht das Optimierungstool SCOT

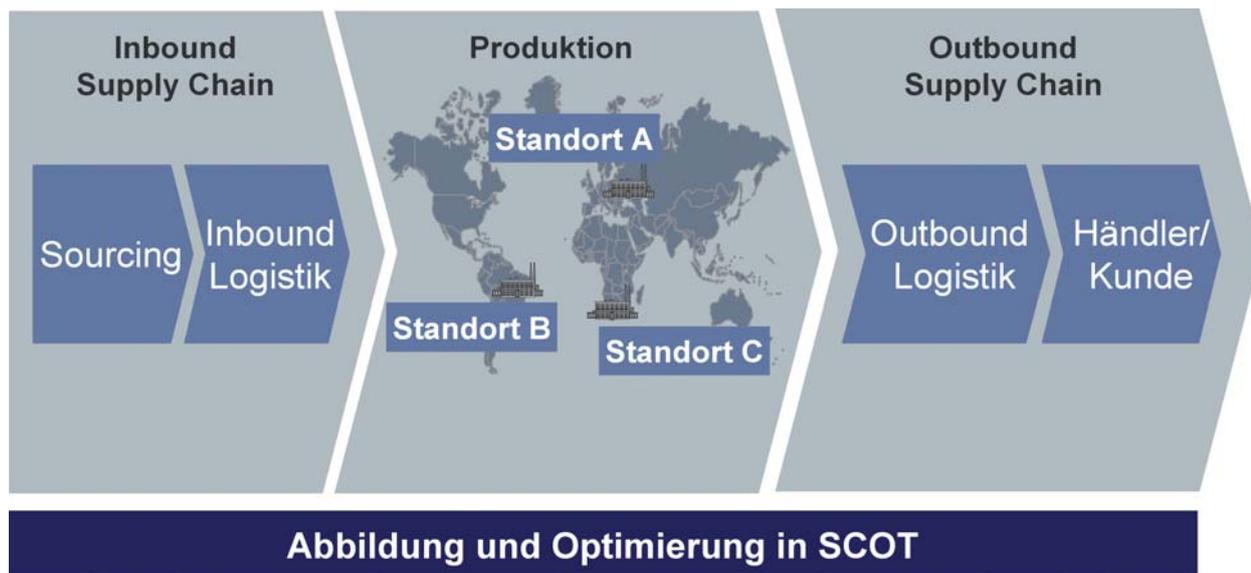


Abb. 1: Betrachtung der kompletten Supply Chain mit SCOT

(Supply Chain Optimization Tool) zur Verfügung. Mit dem Tool ist eine ganzheitliche Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette zur Herstellung eines Fahrzeuges möglich. Basisinformationen, auf deren Grundlage die logistische Supply Chain optimiert wird, sind geplante Produktionsstandorte, Beschaffungsregionen, Vertriebsländer sowie Fahrzeugderivate und deren wesentliche Module bzw. Baugruppen (Abbildung 1) [2].

Jeder Baugruppe und jeder logistischen Verbindung sowie jedem Produktionsstandort werden spezifische Einzelkosten und Initialinvestitionen zugewiesen. Für die Produktion können darüber hinaus je Derivat die verbrauchten Zeiten und die Kosten pro Arbeitsstunde hinterlegt werden. Weiterhin werden die jeweiligen maximalen und minimalen Produktionskapazitäten der Standorte sowie Vertriebsstückzahlen und Kapazitäten bei Lieferanten festgelegt.

Durch die Berücksichtigung von Inbound- und Outboundlogistikkosten, Zollkosten und Local Content-Vorgaben können mit dem Tool die aus Kostensicht am Besten geeigneten Produktionsstandorte und Beschaffungsregionen ermittelt werden. Die Festlegung der Beschaffungsregionen geht dabei bis auf Modulebene herunter.

Das Tool arbeitet auf Basis eines gemischt ganzzahligen Optimierungsmodells (MIP). Dieses wird mit dem Branch-and-Bound-Algorithmus gelöst [3]. Die Komplexität des Lösungsverfahrens wird durch die Anzahl der ganzzahligen Binärvariablen n bestimmt. Es könnten theoretisch 2^n Knoten des Branch-and-Bound Suchbaums entwickelt werden. An jedem Knoten würde ein lineares Ungleichungssystem unter Vernachlässigung

der Ganzzahligkeit gelöst. Gute kommerzielle Optimierungssysteme benötigen für ein praktisches Problem häufig aber nur wenige Minuten.

Mit SCOT ist damit ein Tool entstanden, das schon in der ganz frühen Projektphase Entscheidungen zu einer Projektfeasibility unterstützen kann und damit die Planung einer optimalen Supply Chain schon zu Beginn eines Fahrzeugprojektes gewährleistet. Im Folgenden wird u. a. beschrieben, wie die Abbildung eines zweistufigen Beschaffungsprozesses in die Basisversion von SCOT implementiert wurde.

2.1 Möglichkeiten durch den zweistufigen Beschaffungsprozess

Zur Nutzung weiterer Möglichkeiten bzw. Chancen ist darauf aufbauend eine detailliertere Betrachtung erforderlich. Ein Schritt in diese Richtung wird mit dem Ansatz eines zweistufigen Beschaffungsprozesses verfolgt. Hierbei werden die beschaffungsseitigen Supply Chains ausführlicher betrachtet. So interessieren jetzt nicht mehr Sourcing-Regionen, sondern gezielt die einzelnen möglichen Zulieferer bestimmter Komponenten. Dabei ist jede Supply Chain des Netzwerks zwischen potentiellen Produktionsstandorten der Fahrzeuge und potenziellen Lieferanten vor der Optimierung zu untersuchen. Hierzu wird die Lieferkette in unterschiedliche Stationen unterteilt. Zu den Stationen gehören neben Quelle (Lieferant) und Senke (Produktionsstandort des Fahrzeugs) auch interner Transport, trockener und nasser Transport (Land- und Seetransport), Hafen und Lager. Durch diesen modularen Aufbau der Supply Chain lassen sich alle denkbaren Supply Chains (national, in-

ternational, interkontinental) modellieren. Sogar eine interne Supply Chain, die sich vorfindet, wenn Quelle und Senke am selben Ort liegen, lässt sich darstellen. Somit bestehen die unterschiedlichen Supply Chains aus einer bis zu zehn Stationen.

Chancen für Kosteneinsparungen ergeben sich nun durch die Ermittlung, ob die Teile und Komponenten auf interkontinentalen Transporten per Einweg- oder Mehrwegverpackungen verschickt werden sollen. Einwegverpackungen bestehen in der Regel aus Holz und Karton. Sie werden nach Ankunft an der Senke entsorgt bzw. weiterverwendet. Die Einwegverpackungen fassen je nach Teil bzw. Komponente eine bestimmte Anzahl und werden für den interkontinentalen Transport in Überseecontainer verstaут. Mehrwegverpackungen sind dagegen aus Metall. Der große Nachteil liegt hier bei dem Rücktransport der Leergutbehälter. Hierfür lassen sich die Mehrwegverpackungen zum Teil auf ein geringeres Volumen zusammenfallen. Der Anteil, wie viele Behälter als Leergut zurückgehen hängt von der Art des Behälters und den Lieferaktivitäten ab. Spezialbehälter müssen in der Regel vollständig als Leergut zurücktransportiert werden, wohingegen häufig eingesetzte Modelle eventuell für den Transport in die andere Transportrichtung einsetzbar sind. Voraussetzung hierfür ist, dass überhaupt ein Transport in diese Richtung existiert. Die Faltbarkeit der Behälter und der Leergutanteil tragen bedeutend zur Entscheidung zwischen Einweg und Mehrweg bei. Wesentlichen Einfluss haben auch die Transportkosten, die in unterschiedlichen Richtungen sehr stark abweichen können.

Ein Einfluss der beiden unterschiedlichen Verpackungskonzepte auf die Sicherheit der Teile beim Transport ist nicht bekannt. Die Entscheidung, welche Lösung die kostengünstigere ist, lässt sich hier innerhalb der einzelnen Supply Chain und damit auch außerhalb des Optimierungstools SCOT treffen.

Komplizierter wird die Untersuchung, ob ein bestimmter Teileumfang in Form von Einzelteilen oder als Zusammenbau transportiert werden soll. Bei dieser Chance liegt die Entscheidung nicht mehr innerhalb der einzelnen Supply Chain sondern betrifft das gesamte Netzwerk. Der Zusammenbau kann auf der einen Seite an der Senke erfolgen, wenn die Teile als Einzelteile transportiert werden oder an der Quelle direkt beim Lieferanten, sodass ein Transport im zusammengebauten Zustand zu erfolgen hat. Den für gewöhnlich höheren Transportkosten eines Zusammenbaus aufgrund erhöhten Transportvolumens stehen ggf. gerin-

ge Produktionskosten gegenüber. Diese können sich durch unterschiedliche Personal- und Anlagenkosten an Quelle und Senke sowie durch die Netzwerkstruktur äußern. Versorgt beispielsweise ein Lieferant zwei Produktionsstandorte, sind für die Lösung des Einzelteiltransports Anschaffungsausgaben für zwei Anlagen zur Herstellung des Zusammenbaus an den Produktionsstandorten erforderlich, wohingegen die Lösung des Transports im zusammengebauten Zustand nur eine Anlage beim Lieferanten verlangt.

2.2 Grenzen

Neben den Chancen müssen jedoch auch Grenzen, beschrieben durch potenzielle Risiken des Beschaffungsnetzwerks, in die Optimierung integriert werden. Diese werden bei diesem Ansatz in strategische und operative, vor und nach Vertragsschluss sowie vom Partner abhängige und unabhängige Risiken unterschieden [4]. Bei dessen Eintritt entstehen Schäden, die den Netzwerkpartnern Kosten verursachen. Durch Berücksichtigung dieser Risikokosten im Sinne eines Total Cost of Ownership (TCO) erfolgt eine ganzheitliche Kostenbetrachtung [5]. Zur Ermittlung der Risikokosten stehen Hilfsmittel des klassischen Risikomanagements, wie beispielsweise die Fehlerbaumanalyse, zur Verfügung [6].

Generell lassen sich Risiken durch Maßnahmen beeinflussen. In einem Netzwerk bieten sich zahlreiche Möglichkeiten für Maßnahmen zur Risikobeeinflussung. Eine gängige Einteilung der Maßnahmen ist die in ursachenbezogene und wirkungsbezogene Maßnahmen [7]. Ursachenbezogen bedeutet die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten konkreter Risiken vor Eintritt des Risikos. Wirkungsbezogene Maßnahmen hingegen beheben Schäden beim Eintritt möglichst wirkungsvoll, es handelt sich also um eine Schadensbegrenzung, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit unverändert bleibt. Auch Maßnahmen verursachen Kosten, wobei mit steigender geforderter Sicherheit diese Kosten in der Regel überproportional ansteigen. Dahingegen nehmen die Schadenskosten kontinuierlich ab.

Bei einer ganzheitlichen Kostenbetrachtung im Sinne des TCO müssen beide Kostenarten berücksichtigt werden. Die Risikokosten lassen sich dann einerseits in Kosten für Vorkehrungen (z. B. Versicherung, Sicherheitsbestände) und andererseits in Kosten durch Unsicherheiten (z. B. Nottransporte nach Eintritt des Schadens) unterteilen. Hinzu kommen diejenigen Kosten, die sich durch den Schaden ereignen (z. B. zerstörte Teil-

le, Bergungsarbeiten). Die Kosten durch Unsicherheiten und die Schadenskosten sind als kalkulatorische Kosten mit in die Rechnung aufzunehmen. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass einige Risiken und damit auch Kosten auf Netzwerkpartner überwältzt werden können. Dies erfolgt durch Vertragsgestaltung. In diesen Fällen muss ggf. mit erhöhten Teilepreisen durch aufgeschlagene Kosten für überwältzte Schäden gerechnet werden.

Die Kombination der ermittelten Risikokosten mit den in Kap. 2.1 aufgeführten Kosten für Produktion und Logistik führt zur ganzheitlichen Kostenbetrachtung. Diese Kosten sind in einem weiteren Schritt an den Quellen und Senken sowie in den Supply Chains in SCOT zu integrieren.

2.3 Ergebnisvergleiche

SCOT liefert durch die Erweiterungen die optimalen Netzwerkbeziehungen unter Berücksichtigung potenzieller Risiken und gleichzeitiger Nutzung von Chancen. Durch Variationen der Auswahl und der Abstufung von Maßnahmen ergeben sich ursachenbezogen unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeiten und Risikohöhen und darauf aufbauend wirkungsbezogen unterschiedliche Schadenshöhen. Durch Importieren der daraus resultierenden unterschiedlichen Risikokosten in SCOT errechnen sich unterschiedliche Netzwerkoptima je nach Auswahl und Intensität der Maßnahmen. Jedes von SCOT errechnete Netzwerk beschreibt das Optimum bei einem bestimmten Risiko. Je nach Risikofreudigkeit des Entscheidenden ist das jeweilige Optimum auszuwählen.

3 Mathematischer Modellausschnitt

Der mathematische Modellausschnitt beschreibt einen zweistufigen Beschaffungsprozess im Rahmen einer gegebenen Supply Chain Struktur [8]. Die Supply Chain Komponenten werden nicht vorgestellt. Die Schnittstelle zwischen der Supply Chain und dem zweistufigen Beschaffungsprozess stellt der Restriktionsblock »Bedarf« dar. Dort wird mindestens eine Zusammenbauanlage je Modul entweder beim Lieferanten oder am Produktionsstandort gefordert.

Keine Berücksichtigung in dem hier diskutierten Modell finden Kapitalwertbindung, Local Content und stochastische Schwankungen, basierend auf dem Verkäuferverhalten.

3.1 Indexe und Indexmengen

Die Mengen und Indexe als Elemente der Menge werden wie folgt definiert:

P: Menge der Produktionsstandorte mit $p \in P$

L: Menge der Lieferanten mit $l \in L$

M: Menge der Module, für die zweistufige Beschaffung möglich ist, mit $m \in M$

Einheiten:

ME: Mengeneinheiten

GE: Geldeinheiten

ZE: Zeiteinheiten

Kostendaten:

$c_{1,m,l}$: Investitionskosten der Zusammenbauanlage für das Modul m beim Lieferanten l in GE mit $m \in M, l \in L$

$c_{2,m,p}$: Investitionskosten der Zusammenbauanlage für das Modul m am Produktionsstandort p in GE mit $m \in M, p \in P$

$ci_{m,l}$: Werkzeuginvestitionskosten für das Modul m beim Lieferanten l in GE mit $m \in M, l \in L$

Entscheidungsvariablen:

$x_{1,m,l} = 1$, wenn das Modul m für den Produktionsstandort p beim Lieferanten l zusammengebaut wird, sonst 0 mit $m \in M, l \in L, p \in P$.

$x_{2,m,l,p} = 1$, wenn das Modul m vom Lieferanten l am Produktionsstandort p zusammengebaut wird, sonst 0 mit $m \in M, l \in L, p \in P$.

$y_{1,m,l} = 1$, wenn sich die Zusammenbauanlage für das Modul m beim Lieferanten l befindet, sonst 0 mit $m \in M, l \in L$.

$y_{2,m,p} = 1$, wenn sich die Zusammenbauanlage für das Modul m am Produktionsstandort p befindet, sonst 0 mit $m \in M, p \in P$.

$z_{m,l} = 1$, wenn die Werkzeuginvestitionen für das Modul m beim Lieferanten l realisiert werden, sonst 0 mit $m \in M, l \in L$.

3.2 Das Optimierungsmodell

Zielfunktion:

$$\sum_{m \in M} \sum_{l \in L} (c_{1,m,l} y_{1,m,l} + ci_{m,l} z_{m,l}) + \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} c_{2,m,p} y_{2,m,p}$$

Bedarf:

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{l \in L} \sum_{p \in P} x_{k,m,l,p} \geq 1 \quad \text{für alle } m \in M$$

Zusammenbauanlage beim Lieferanten:

$$\sum_{p \in P} x_{k,m,l,p} \leq |P| y_{k,m,l} \quad \text{für alle } k = 1, m \in M, l \in L$$

Zusammenbauanlage am Produktionsstandort:

$$\sum_{l \in L} x_{k,m,l,p} \leq |L| y_{k,m,p} \quad \text{für alle } k = 2, m \in M, p \in P$$

Werkzeuginvestitionen:

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{p \in P} x_{k,m,l,p} \leq 2|P| z_{m,l} \quad \text{für alle } m \in M, l \in L$$

Nichtnegativitäten:

$$\begin{aligned} x_{1,m,l,p} &\in \{0, 1\} && \text{für alle } m \in M, l \in L, p \in P \\ x_{2,m,l,p} &\in \{0, 1\} && \text{für alle } m \in M, l \in L, p \in P \\ y_{1,m,l} &\in \{0, 1\} && \text{für alle } m \in M, l \in L \\ y_{2,m,p} &\in \{0, 1\} && \text{für alle } m \in M, p \in P \\ z_{m,l} &\in \{0, 1\} && \text{für alle } m \in M, l \in L \end{aligned}$$

4. Resultate

Modellgenerator und Lösungsaufbereitung wurden in FORTRAN implementiert. Die Verwaltung der Informationen und die Benutzerschnittstelle wurden mit VBA-Excel von Microsoft realisiert. Die Lösung der Modelle wurde mit dem mathematischen Optimierungssystem MOPS [9] in der Version 9.13 auf einem Intel Pentium IV, 1,26 GHz, 2 GB RAM berechnet.

Das erste Modell unterstützt die Entscheidungsfindung für ein typisches zweistufiges Beschaffungsszenario: Soll das Modul T beim Lieferanten (Alternative 1) oder am Produktionsstandort (Alternative 2) zusammengesetzt werden.

Modell 1	Anzahl
Produktionsstandort	2
Produktvarianten	ca. 30
Module	ca. 200
Entscheidungsmatrix: Zeilen x Spalten x Nichtnullelemente	in Tausend: 265 x 550 x 1.300
Lösungszeit	4,1 Minuten

Das Resultat fiel knapp für eine Anlieferung in Einzelteilen und den Zusammenbau am Produktionsstandort aus – also Alternative 2.

Die Ergebnisse der beiden Alternativen unterscheiden sich nur um 1,89 Euro je Fahrzeug. Der Lieferant befand sich direkt am Produktionsstandort und sämtliche Fahrzeuge wurden nur an diesem Standort gefertigt.

Das zweite Modell beschreibt eine andere Situation. Es gibt drei Produktionsstandorte (A, B und C). Auch hier gilt es, einen zweistufigen Beschaffungsprozess zu

evaluieren: Soll das Modul T beim Lieferanten (Alternative 1) oder am Produktionsstandort (Alternative 2) zusammengesetzt werden?

Modell 2	Anzahl
Produktionsstandort	3
Produktvarianten	ca. 6
Module	ca. 60
Entscheidungsmatrix: Zeilen x Spalten x Nichtnullelemente	in Tausend: 80 x 140 x 300
Lösungszeit	0,6 Minuten

Auch hier fiel wieder ein Produktionsstandort heraus, an dem nicht gefertigt wird (Standort A). Am Standort B werden ca. 85 % der Fahrzeuge und an dem Standort C ca. 15 % der Fahrzeuge gefertigt. Der Lieferant befindet sich direkt am Produktionsstandort B und versorgt von dort aus beide Produktionsstätten B und C mit Einzelteilen, die am Produktionsort zusammgebaut werden – also wiederum ist Alternative 2 effizienter.

Die Ergebnisse der Alternativen unterscheiden sich durchschnittlich nur um 9,43 Euro. Der höhere Unterschiedsbetrag wird im Wesentlichen durch höhere Logistikkosten für das Modul T zum Standort C verursacht.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Wandel der Märkte und den damit verbundenen erhöhten Wettbewerb sehen sich die Automobilhersteller gezwungen, neue Wege durch neue Strategien zu bestreiten. Eng damit verbunden sind steigende Risiken in den Netzwerken, die bestmöglich durch Maßnahmen beeinflusst werden müssen bei gleichzeitiger optimaler Chancennutzung.

Der in diesem Artikel beschriebene Ansatz geht einen entscheidenden Schritt in diese Richtung. Durch Erweiterung des Optimierungstools SCOT durch den zweistufigen Beschaffungsprozess und eine vorgelagerte Risikoanalyse ist es möglich, Chancen und Risiken bereits in den Entscheidungsprozess der Netzwerkgestaltungen zu integrieren. Die Risikoanalyse erfolgt bis jetzt nur beschaffungs- und produktionsseitig, vertriebsseitig besteht noch Handlungsbedarf. Werden in einem weiteren Schritt Maßnahmenvariationen durchgeführt, lassen sich verschiedene Netzwerkoptima errechnen, die mit einer bestimmten Risikofreudigkeit des Entscheidenden in Verbindung gesetzt werden

können. Im Falle unterschiedlicher Netzwerkoptima mit gleichen Kosten, aber unterschiedlicher Risikohöhen ist das Netzwerk mit dem geringsten Risikopotenzial zu wählen. Andersherum ist beim Vorfinden zweier Netzwerkoptima mit identischem Risikopotential und unterschiedlichen Kosten die kostengünstigere Alternative zu wählen.

Durch das in diesem Artikel vorgestellten Verfahren ist eine Erweiterung eines Optimierungstools zur Errechnung des optimalen Supply Chain Netzwerks mit ganzheitlicher Betrachtung von Chancen und Risiken geschaffen worden.

Anmerkungen

- [1] Vgl. Bedacht 1995, S. 1; Ziegenbein 2007, S. 1.
- [2] Wiedemann et al. 2007.
- [3] Szymanski 2008.
- [4] Vgl. Bernecker 2006, S. 30-31.
- [5] Vgl. Ellram 1995, S. 11-12; Smytka 1993, S. 43-46.
- [6] Vgl. Ziegenbein 2007, S. 83-84; Haindl 1996, S. 69-74.
- [7] Vgl. hierzu Bode 2007, S. 14-15; Ziegenbein 2007, S. 192-193; Eberle 2005, S. 168-169; Götze 2007, S. 46.
- [8] Szymanski 2008.
- [9] Suhl 1994.

Literaturverzeichnis

- Bedacht, F. (1995): Global Sourcing – Analyse und Konzeption der internationalen Beschaffung, Diss., Wiesbaden.
- Bernecker, T./Präuer, A. (2006): Risiken und Risikomanagement in Zulieferernetzwerken. In: Die Unternehmung, 60. Jg., 2006, Nr. 1, S. 27-43.
- Bode, C./Friedrichs-Schmidt, S./Lindemann, E./Sauer, R. (2007): Supply Chain Risiken und ihre Versicherbarkeit. In: Logistik Management, 9. Jahrgang, 2007, Ausgabe 3, S. 8-22.
- Eberle, A. O. (2005): Risikomanagement in der Beschaffungslogistik – Gestaltungsempfehlungen für ein System, Diss., Bamberg.
- Ellram, L. M. (1995): Total cost of ownership – An analysis approach for purchasing. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 25 Nr. 8, 1995, S. 4-23.
- Götze, U./Mikus, B. (2007): Der Prozess des Risikomanagements in Supply Chains. In: Vahrenkamp, R./Siepermann, C. (2007): Risikomanagement in Supply Chains – Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren, Berlin, S. 29-58.
- Haindl, A. (1996): Risk Management von Lieferisiken, Diss., Karlsruhe.
- Suhl U. H. (1994): MOPS – Mathematical OPTimization System. In: European Journal of Operational Research 72, 1994, S. 312-322.
- Szymanski, R. (2008): Die Renaissance der klassischen Kostenfunktion im Zeitalter der Supply Chain Optimierung. In: Fuchs, G. et al. (Hrsg.): Anwendungen und Techniken zur Analyse großer Datenbestände, AKWI-Fachtagung am 11. und 12.09.2008 an der Hochschule Niederrhein in Mönchengladbach, Berlin: News & Media, S. 24-35.
- Smytka, D. L./Clemens, M. W. (1993): Total Cost Supplier Selection Model: A case study. In: International Journal of Purchasing and Materials Management, Winter, S. 42-49.
- Wiedemann, B./Große-Loheide, D./Brüning, J./Fohr, M. (2007): Kundenorientierung als Basisstrategie, Beschaffung aktuell, Heft 1/2007, Leinfelden-Echterdingen: Konradin Verlagsgruppe Kohlhammer, S. 26-28.
- Ziegenbein, A./Schönsleben, P. (Hrsg.) (2007): Supply Chain Risiken – Identifikation, Bewertung und Steuerung, Diss., Zürich.

Autoren

Helge Mühlenbruch

Projektsteuerung Volkswagen Nutzfahrzeuge Hannover
Tel. +49 511 7981904
helge.muehlenbruch@volkswagen.de

Ingo Schneider

Markenplanung Volkswagen Nutzfahrzeuge Hannover
Tel. +49 511 7987587
ingo.schneider1@volkswagen.de

Prof. Dr. Ralf Szymanski

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
Tel. +49 3375 508-533
ralf.szymanski@tfh-wildau.de

Gebäudemanagementsoftware auf Basis des OSGi-Standards

Ralf Vandenhouten, Thomas Kistel

Zusammenfassung

Der OSGi-Standard wurde für die Entwicklung komponentenbasierter Software in Java spezifiziert. In diesem Artikel wird eine Architektur für Gebäudemanagementsoftware vorgestellt, die auf Basis von OSGi entwickelt wurde. Grundlage der Client-Server-Architektur des entwickelten Systems ist das Eclipse-Framework, das mit Equinox eine Implementierung des OSGi-Standards liefert. Die verwendeten OSGi-Technologien ermöglichen eine modulare Integration unterschiedlicher Gebäudemanagement-Geräte verschiedener Hersteller in die Softwareplattform und dessen einheitliche Steuerung und Visualisierung. Die Client-Anwendung des Systems profitiert dabei von der komfortablen Benutzeroberfläche der Eclipse Rich-Client-Plattform. Das Ergebnis ist eine flexibel einsetzbare Softwarelösung für ein breites Anwendungsspektrum, das von der Überwachung von Industrie- und Bürogebäuden bis hin zu Privathäusern mit Touch-Display-Bedienung reicht. Wesentliche Vorteile der Lösung sind die kontextsensitive Informationsbereitstellung sowie die Unterstützung und Automatisierung der Prozesse im Gebäudemanagement. Der Artikel geht auf die technologischen Hintergründe des Software-Systems ein und stellt die betriebswirtschaftlichen Anwendungsfälle vor.

Abstract

The OSGi-Standard was designed for the component-based development of software applications in Java. The architecture of a facility management software which was developed based on OSGi is presented in this article. Basis of the client-server architecture of the developed system is the Eclipse framework which provides an implementation of the OSGi standard with Equinox. The OSGi technologies used allow for a modular integration of different facility management devices of different manufacturers into the software platform, and enable a consistent control and visualization. The client application of the system benefits from the comfortable user interface of the Eclipse Rich-Client-Plattform. The result is a flexible software solution for a wide application range that reaches from the supervision of industry and office buildings to private houses and touch display operation. Context-sensitive provision of information as well as the assistance and automation of the processes in the facility management are the essential advantages of the solution.

In this article the reader will be introduced into the technological backgrounds of the software system. Furthermore the business use-cases of the software application will be explained.

1 Einleitung

Der Begriff Facility Management wird aus dem Englischen oft direkt als »Gebäudemanagement« übersetzt. Facility Management ist jedoch umfassender und beschreibt nach [1] eine Managementdisziplin zur ergebnisorientierten Handhabung von Facilities und Services. Ziele der Facility Prozesse sind u. a. die Befriedigung von Grundbedürfnissen von Menschen am Arbeitsplatz und die Unterstützung der Kernprozesse von Unternehmen. Facility Management betrachtet dabei den gesamten Lebenszyklus von Facilities: vom Planen, Erstellen, Gebäudemanagement bis zum Abriss der Liegenschaft.

Gebäudemanagement ist somit nur ein Teil von Facility Management, wenngleich aber der komplexeste. Gebäudemanagement lässt sich in folgende drei Kernbereiche untergliedern:

- technisches Gebäudemanagement
- kaufmännisches Gebäudemanagement
- infrastrukturelles Gebäudemanagement

Das technische Gebäudemanagement wurde in den letzten Jahren in erster Linie durch die informationstechnischen Entwicklungen der Gebäudetechnik und Gebäudeleittechnik geprägt. Am Markt existiert eine Reihe von Softwarewerkzeugen für das Gebäudemanagement. Der Großteil dieser Softwarewerkzeuge ist

herstellerspezifisch oder auf bestimmte Lösungszwecke zugeschnitten. An der Technischen Fachhochschule Wildau wurde zusammen mit der ixellence GmbH und der Gemtec GmbH die Gebäudemanagementsoftware *Wotan* entwickelt, die die Kontrolle und Verwaltung unterschiedlicher Gebäudeanlagen ermöglicht. Hierzu gehören unter anderem

- Einbruchmeldeanlagen
- Brandmeldeanlagen
- Überwachungskameras
- Schaltsysteme
- Telefonanlagen

Zusammen ergibt dies ein flexibles Gesamtsystem, welches sich in sehr unterschiedlichen Bereichen, wie in Einkaufszentren, Banken, Bürogebäuden, Bundeswehrkasernen, aber auch Privathäusern einsetzen lässt.

2 Anforderungen

Die Anforderungen an ein solches Softwaresystem sind vielfältig. Eines der Kernkriterien ist die Integration unterschiedlicher Gebäudetechniken von verschiedenen Herstellern. Diese müssen gemeinsam auf einer grafischen Oberfläche einer PC-Anwendung (Client) dargestellt werden, sodass der Nutzer schnell einen Überblick über alle technischen Anlagen im Gebäude bekommt. Weiterhin muss die Möglichkeit bestehen, mehrere Clients starten zu können. Die Konfiguration aller Anlagen soll aber dennoch zentral erfolgen. Gleichzeitig besteht die Einschränkung, dass nicht alle Gebäudeanlagen direkt an einen Server angeschlossen werden können, da sich die Anlagen teilweise in verschiedenen Gebäuden befinden. Aus diesem Grund ist auch eine Benutzerverwaltung erforderlich, da nicht jeder Client alle Anlagen aus allen Gebäuden verwalten darf.

Eine Basisfunktion des Softwaresystems ist die Darstellung der Zustände der einzelnen Gebäudeanlagen auf der grafischen Oberfläche der jeweiligen PC-Anwendung. Weiterhin sollen diese Zustände ggf. verändert (geschaltet bzw. gesteuert) werden können. Als anschauliches Beispiel kann hier eine Einbruchmeldeanlage (EMA) genannt werden. Die Zustände der einzelnen Melder und Sensoren werden in einer grafischen Ansicht dargestellt. Außerdem soll in der PC-Anwendung ersichtlich sein, ob die EMA scharf (löst bei Einbruch einen Alarm aus) oder unscharf (löst keinen Alarm aus) ist. In Bürogebäuden werden Alarmanlagen oftmals während der Betriebszeiten unscharf gestellt,

um Fehlalarme zu vermeiden. Außerhalb der Betriebszeiten (insbesondere am Wochenende) werden diese scharf geschaltet, um bei Einbruch einen Alarm zu signalisieren. Scharf und unscharf Schalten einer Einbruchmeldeanlage sind somit ein täglich wiederkehrender Prozess, der automatisiert erfolgen kann. Aus diesem Grund müssen bestimmte Steuerungsaktionen des Softwaresystems auch zeitgesteuert ausgeführt werden können.

3 Lösungskonzept

Das Softwaresystem *Wotan* wurde auf Basis der *Eclipse Rich-Client-Plattform (RCP)* [2] entwickelt. *Eclipse* war ursprünglich nur eine Entwicklungsumgebung für die Programmiersprachen Smalltalk und Java und firmierte unter dem Produktnamen *Visual Age* von IBM. Heute wird das Eclipse-Projekt unter *eclipse.org*, einer Nonprofit-Organisation, betrieben. Eclipse wurde auf Basis einer offenen und erweiterbaren Plugin-Struktur entwickelt, von der man schnell erkannte, dass diese auch für die generische Entwicklung anderer Anwendungen genutzt werden kann. Da in Eclipse alle Funktionen in unterschiedlichen Plugins realisiert sind, ist es auch möglich, Eclipse durch eigene Plugins zu erweitern oder als Grundlage für eine eigene Applikation zu verwenden (Eclipse Rich-Client Anwendung).

Mit der Version 3.0 wurde Eclipse vollständig restrukturiert und die Ablaufplattform auf Basis von *OSGi (Open Service Gateway Initiative)* [3] gestellt, die das Kernstück von Eclipse bildet. Vom OSGi-Standard existieren unterschiedliche kommerzielle und nicht-kommerzielle (Open Source) Implementierungen. Im Eclipse-Projekt wird die OSGi-Implementierung unter dem Namen *Equinox* betrieben. Bei OSGi-basierten Anwendungen werden die Funktionen in einzelnen *Bundles* gekapselt. Das OSGi-Framework besteht dabei selbst aus ein oder mehreren *System-Bundles* (vgl. Abbildung 1).

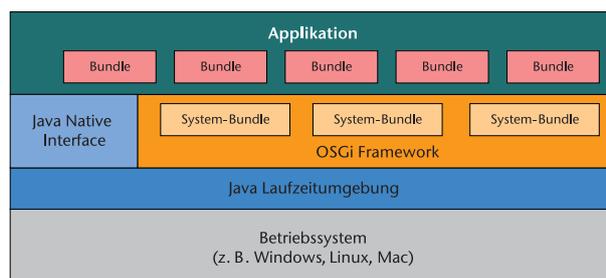


Abb. 1: OSGi-Architektur

Der OSGi-Standard bietet daher ein solides Rahmenwerk für die Modularisierung von Software-Applikationen. Ein großer Vorteil von OSGi ist, dass die Bundles dynamisch zur Laufzeit gestartet und gestoppt werden können, ohne dabei die Anwendung neu starten zu müssen. Dies ist insbesondere bei Serveranwendungen ein großer Vorteil, da dadurch ein unterbrechungsfreier Betrieb gewährleistet wird. Weiterhin können auch Aktualisierungen (Updates) für einzelne Bundles während der Laufzeit durchgeführt werden. Neben der Bundle-Technologie bilden die OSGi-Services eine weitere wichtige Komponente dieser Architektur. Jedes Bundle kann eigene Services exportieren, die von anderen Bundles dynamisch geladen und verwendet werden können.

Bei Eclipse Rich-Client-Anwendungen entspricht jedes Plugin immer einem OSGi-Bundle. Eclipse-Plugins besitzen somit immer den Funktionsumfang, den der OSGi-Standard definiert. Darüber hinaus gibt es bei Eclipse-Plugins einen Extension-Point-Mechanismus, mit dem es möglich ist, ein Plugin durch andere Plugins zu erweitern. Dieser mächtige Mechanismus ist einer der Hauptgründe für die große Verbreitung der Eclipse Rich-Client-Plattform bei der Entwicklung eigener Anwendungen. Die populärsten Anwendungen, die auf Basis von Eclipse RCP entwickelt wurden, sind sicherlich die Jet Propulsion Laboratory Tools der NASA [4], die u. a. bei Steuerungsfunktionen in Mars-Missionen eingesetzt werden, und IBM's Lotus Notes, welches seit der Version 8 auf Eclipse RCP basiert.

4 Nutzungsmöglichkeiten von Eclipse und OSGi

Zur Realisierung der genannten Anforderungen wurde eine Client-Server-Architektur gewählt, wie sie Abbildung 2 zeigt. Die Gebäudeanlagen sind dabei jeweils an einem Anlagenserver angeschlossen, von dem ein oder mehrere vorhanden sein können. Die Konfigurationen der einzelnen Anlagenserver sind auf einem zentralen Konfigurationsserver hinterlegt. Die grafische Benutzeroberfläche des Gebäudemanagementsoftware *Wotan* ist auf dem Client installiert, der ebenfalls Konfigurationsdaten, wie Benutzerdaten, vom Konfigurationsserver lädt und sich zu verschiedenen Anlagenservern verbinden kann.

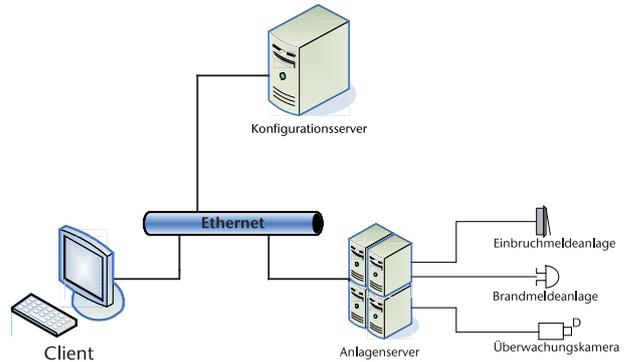


Abb. 2: Client-Server-Architektur des Wotan-Systems

Es existieren also drei verschiedenen Anwendungen, die das *Wotan-System* bilden:

- Client: grafische Benutzeroberfläche und Interaktionen
- Anlagenserver: Verbindungsschnittstelle zu den Gebäudeanlagen
- Konfigurationen: zentrales Laden und Speichern von Konfigurationsdaten

Die Kommunikation der Anwendungen untereinander erfolgt TCP-basiert und meist über Ethernet. Möglich ist auch die Anbindung der Anlagenserver an das System, z. B. über ISDN-Leitungen.

Während die Client-Applikation eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) auf Basis von Eclipse RCP besitzt, kommen die beiden Server-Applikationen ohne GUI aus. Die Server-Applikationen können als reine OSGi-Anwendungen betrachtet werden, obgleich sie den Extension-Point-Mechanismus von Eclipse verwenden. Die unterschiedlichen Anlagen, die an den Anlagenserver angeschlossen werden können, sind softwaretechnisch in separaten OSGi-Bundles realisiert. Neue Geräte können somit einfach durch neue Bundles hinzugefügt werden. Die Geräte-Bundles sind selbst dafür verantwortlich, die Verbindungsdaten zu dem jeweiligen Gerät auszulesen und sich mit der Anlage zu verbinden. Bei erfolgreicher Verbindung wird das Gerät an einer Geräteplattform angemeldet, die dann im Wotan-System zur Verfügung steht. Die Geräteplattform ist für die Verwaltung aller an einem Anlagenserver angeschlossenene Geräte verantwortlich. Die Registrierung der Geräte bei der Geräteplattform erfolgte bislang über den Extension-Point-Mechanismus. In Zukunft soll dieser Mechanismus durch OSGi-Services realisiert werden, da dieses Vorgehensmodell noch mehr Flexibilität liefert [5].

Bei der Clientanwendung werden ebenfalls Extension-Points verwendet, so zum Beispiel für die Integration von Wizards, Dialogen und Ansichten in die grafische Benutzeroberfläche.

Jedes Plugin der Clientanwendung steuert damit seine eigenen grafischen Komponenten zur Gesamtanwendung bei. Beispielsweise existiert in der Clientanwendung ein Plugin, welches für die Erstellung und das Betrachten von Gebäudelageplänen verantwortlich ist. Dieses Plugin integriert einen Wizard zum Erstellen, einen Editor zum Bearbeiten und eine Ansicht zum Anzeigen der Lagepläne. Ist das Plugin nicht installiert, stehen diese Funktionen nicht mehr zur Verfügung. Dadurch sind die einzelnen Komponenten der Anwendung lose aneinander gekoppelt, sodass keine Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Komponenten bestehen. Dies erhöht im hohen Maße die Wartbarkeit und Skalierbarkeit des komplexen Gesamtsystems.

Ein weiteres Beispiel für die Modularisierung des Gesamtsystems zeigt sich bei der Benutzerverwaltung. Hier wurde ein *Core-Plugin* entwickelt, das die Programmlogik des Rechtesystems (Laden/Speichern von Benutzerdaten, Überprüfung von Benutzerrechten) enthält. Die grafischen Komponenten zur Einstellung der Benutzerrechte oder der Login-Dialog beim Client wurden in einem separaten *UI-Plugin* realisiert, das eine Abhängigkeit auf das *Core-Plugin* besitzt. Das UI-Plugin ist nur beim Client installiert, während das Core-Plugin zusätzlich auch beim Konfigurationsserver installiert ist, da dort ebenfalls Benutzerrechte überprüft werden müssen. Damit werden Programmlogik und grafische Benutzeroberfläche in separaten Plugins getrennt, die eine bessere Wiederverwendbarkeit gewährleisten. Eine ähnlich flexible Lösung wird auch bei anderen Funktionsmodulen des Systems, wie den Timern zum zeitgesteuerten Auslösen von bestimmten Aktionen, verwendet. Die Timer werden beim Client über einen Dialog konfiguriert und je nach Einstellung beim Client (z. B. Anzeige eines Dokuments) oder Anlagenserver (z. B. Scharfschalten einer Einbruchmeldeanlage) ausgeführt.

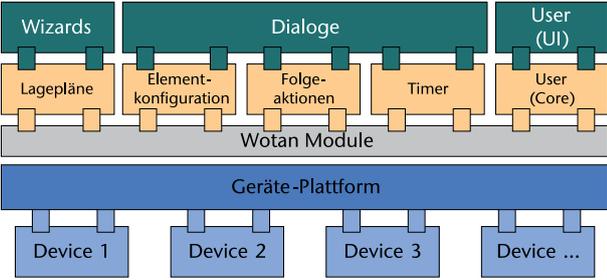


Abb. 3: Pluginstruktur des Wotan-Systems

Ein Großteil der Flexibilität der OSGi-Infrastruktur bzw. der Eclipse-Plugins besteht darin, dass Bundles

der eigenen Anwendung andere Bundles dynamisch erweitern können. Dies kann zum einen über die OSGi-Services erfolgen, zum anderen aber auch über den Eclipse-spezifischen Extension-Point-Mechanismus. Letzterer wurde im Wotan-System verwendet, um die einzelnen Plugins erweiterbar zu gestalten. Die Paradigmen zur Bereitstellung eigener Erweiterungen sind in [6] sehr gut beschrieben. Im Wotan-System wurden beispielsweise die Konfigurationsdialoge mit Erweiterungspunkten ausgestattet, da *a priori* nicht klar ist, welche zusätzlichen Konfigurationen durch das System später noch realisiert werden müssen. Dadurch bleibt die Anwendung leicht erweiterbar, ohne die Basisarchitektur verändern zu müssen.

5 Anwendungsbeispiele

Die Anwendungsmöglichkeiten des Wotan-Systems sind äußerst vielfältig. Grundsätzlich werden in der Clientanwendung zwei Betriebsmodi unterschieden:

- Designmodus: In diesem Modus können alle Konfigurationseinstellungen am System vorgenommen werden.
- Nachrichtenmodus: Für den Überwachungsbetrieb der Gebäudemanagementsoftware

Abbildung 4 zeigt die Clientanwendung im Designmodus. Hier stehen für die Konfiguration eine Reihe von Wizards, Dialoge und Editoren zur Verfügung.

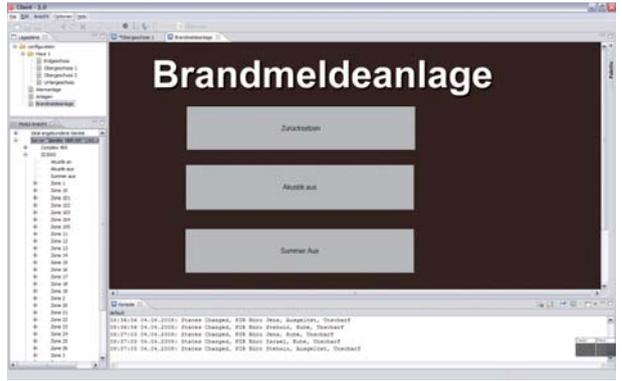


Abb. 4: Clientanwendung im Designmodus

Durch den bereits genannten Extension-Point-Mechanismus können die GUI-Elemente auch in Zukunft durch zusätzliche Funktionen erweitert werden. Die wesentlichen Ansichten und Dialoge des Designmodus sind:

- Die Lageplanübersicht stellt alle mit dem Wizard erstellten Lagepläne in einer Baumansicht dar.

- Die Modulansicht (vgl. Abbildung 5) visualisiert alle angeschlossenen Geräte der jeweiligen Anlagenserver.
- Im Dialog für die *Element-Konfiguration* (vgl. Abbildung 6) können alle Einstellungen für die Geräte, Maßnahmepläne, Folgeaktionen und Benutzerrechte vorgenommen werden.
- Im *Timer*-Dialog werden zeitgesteuerte Aktionen konfiguriert.

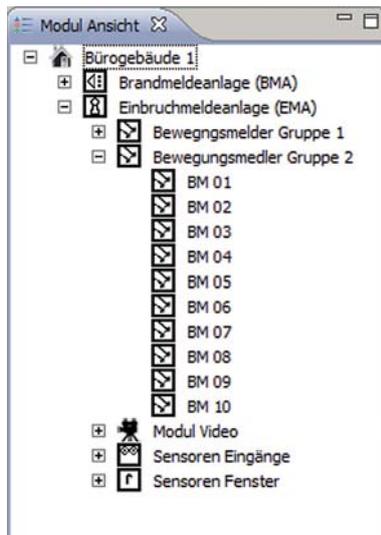


Abb. 5: Modulansicht

Die im Dialog *Element-Konfiguration* erstellten Maßnahmepläne werden im Nachrichtenmodus angezeigt, wenn ein bestimmter Melder in einen definierten Zustand wechselt. So kann dem Nutzer ein Maßnahmenkatalog angezeigt werden, wenn ein bestimmter Melder (z. B. Rauchmelder) ein Alarmsignal sendet. Ähnlich sind auch die *Folgeaktionen* zu betrachten, die im Gegensatz zu den Maßnahmeplänen keine direkten Handlungsanweisungen für den Nutzer darstellen, sondern Aktionen, die durch das Wotan-System automatisch ausgeführt werden. *Folgeaktionen* sind dabei beliebige Aktionen, die durch das Wotan-System ausgeführt werden sollen. Dies können Schaltbefehle von angeschlossenen Anlagen, das Öffnen oder Drucken von bestimmten Dokumenten oder aber auch das Öffnen von Kamerabildern sein.

Eine mögliche Folgeaktion für das Alarmsignal eines Rauchmelders kann z. B. das Ausdrucken einer Feuerwehrlaufkarte sein, die der eintreffenden Feuerwehr den Weg zum Brandherd zeigt.

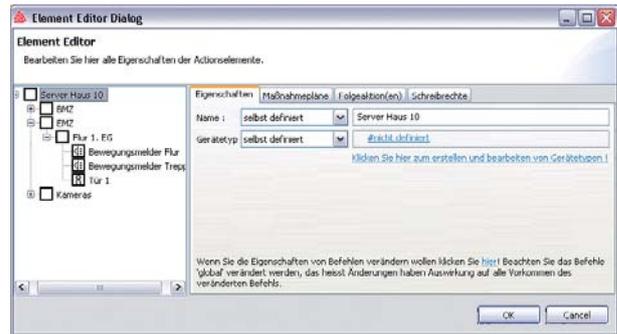


Abb. 6: Konfigurationsdialog für Wotan-Elemente

Der Nachrichtenmodus besitzt die Möglichkeit, auch in einem *Vollbildmodus* zu starten. In diesem Modus werden alle GUI-Elemente, wie Menüleiste oder Statusleiste, ausgeblendet, sodass nur die Ansicht der Lagepläne auf dem Bildschirm sichtbar ist. Durch spezielle *Funktions-Buttons*, die auf den Lageplänen positioniert werden können, ist es auch möglich, die Anwendung als Touch-Screen-Applikation zu nutzen. Abbildung 7 zeigt die Anwendung im Vollbild Nachrichtenmodus. Dargestellt ist dort eine Lageplanübersicht des Erdgeschosses eines Gebäudes mit den verschiedenen Meldern. Über die *Funktions-Buttons* kann zwischen den einzelnen Lageplänen der Gebäudeetagen navigiert werden.

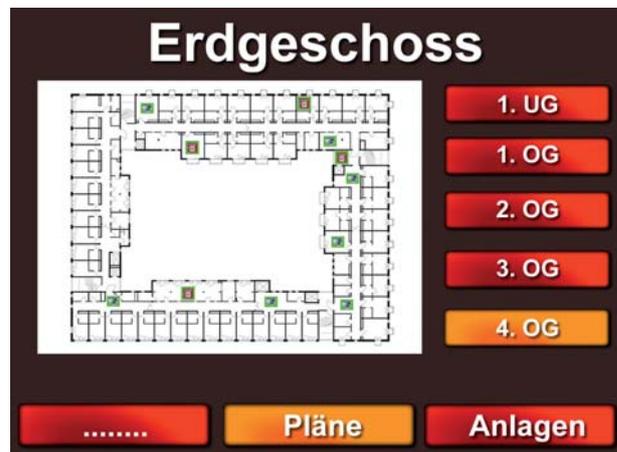


Abb. 7: Clientanwendung im Vollbildmodus

Der Vollbildmodus wird oft bei Terminals eingesetzt, bei dem der Benutzer nicht die zugrunde liegende Windows-Anwendung sehen soll, sondern nur ein Bedienpanel. Einen weiteren Use-Case für den Vollbildmodus stellen Installationen des Wotan-Systems in Privathäusern dar. Hier dienen die Funktions-Buttons nicht primär zum Navigieren zwischen verschiedenen Lageplänen, sondern zum Öffnen der einzelnen Kameradialoge

der Überwachungskameras des Gebäudes. Abbildung 8 zeigt den geöffneten Kamera-Dialog, der sich in ein Bild- und ein Steuerungsteil aufteilt. Der Bildteil des Kamera-Dialoges passt sich automatisch der Bildgröße der Überwachungskamera an. Über die Pfeilbuttons des Kamera-Dialoges kann die Kamera gesteuert werden. Möglich sind je nach Kameramodell auch Zoomfunktionen und Fokussierung. Einige Kameramodelle unterstützen auch voreingestellte Kamerapositionen (*Presets*). Da diese *Presets* im Wotan-System auch als Folgeaktionen gespeichert werden, ist es möglich, ein Kamerabild mit einer voreingestellten Zoom- und Schwenkeinstellung zu öffnen. Ein häufiger Use-Case dieser Funktion in Privathäusern ist z. B. das Öffnen des Bildes der Kamera des Vorderhauses, wenn an der Haustür geklingelt wird. Die Kamera schwenkt dann automatisch auf den Eingangsbereich der Haustür, sodass die klingelnde Person auf dem Display der Wotan-Anwendung dargestellt wird. Der Benutzer kann danach entscheiden, ob er die Tür über die Wotan-Anwendung öffnet oder den Klingelruf abweist.

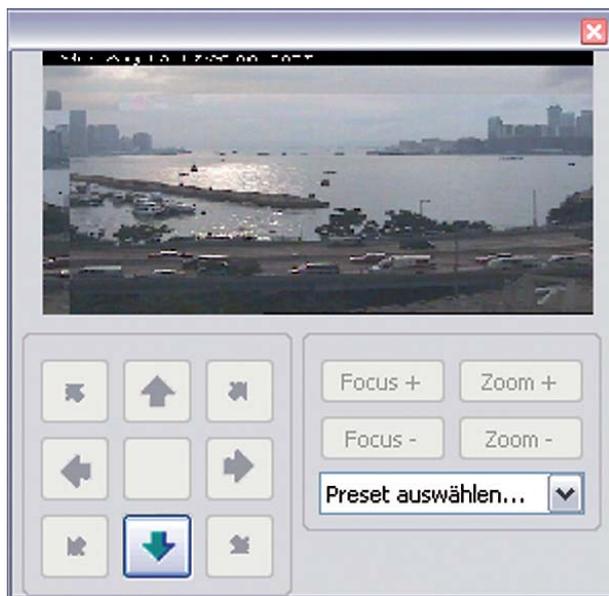


Abb. 8: Kamera-Dialog

6 Fazit

Das vorgestellte Wotan-System ist eine Gebäudemanagementsoftware mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Bereichen. Die entwickelte Lösung ist herstellerneutral und hebt sich dadurch von den meisten am Markt verfügbaren Produkten ab. Ein großer Vorteil der Software ist die modulare Struktur

auf Basis der Eclipse Rich-Client-Plattform und dem OSGi-Standard. Diese Architektur ermöglicht die flexible Erweiterbarkeit des Systems, ohne bestehende Komponenten anpassen zu müssen. Dadurch können bestehende Funktionen separat erweitert werden oder neue Module und Geräte in das Gesamtsystem integriert werden. Die erstellte Softwarelösung ist so konzipiert, dass sich durch entsprechende Konfigurationen sehr unterschiedliche Anwendungsfälle von Kunden realisieren lassen, die das Facility Management im Rahmen des Gebäudemanagements unterstützen.

Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie GEFMA 100-1. <http://www.gefma.de/definition.html>.
- [2] Eclipse Wiki. Eclipse Foundation. http://wiki.eclipse.org/index.php/Rich_Client_Platform.
- [3] OSGi Homepage. OSGi Alliance. <http://www.osgi.org>.
- [4] NASA Uses Eclipse for Interplanetary Operations. <http://www.eclipse.org/community/casestudies/NASAfinal.pdf>.
- [5] Kistel, Th. (2007): Erfassung und Fernvisualisierung von Informationen bei Patientenmonitoren; Masterarbeit, TFH Wildau.
- [6] Gamma, E./Beck, K. (2004): Eclipse erweitern. Prinzipien, Patterns und Plug-Ins, München: Addison-Wesley.
- [7] Vandenhouten, R./Behrens, Th./Selz, M. (2006): Multi-Telemontoring: Datenerfassung und Aufzeichnung von Vitalparametern und Primärsignalen auf dem PC oder PDA. In: Themenspecial Telematik im Gesundheitswesen, Competence Site/BITKOM.
- [8] Vandenhouten, R./Behrens, Th. (2004): Ein Gatewaysystem für telematikbasiertes Gerätemonitoring (A gateway system for telematics-based device monitoring). In: Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau, Heft 2004.
- [9] Vandenhouten, R. (2003): Qualitäts- und Ressourcenmanagementsystem für die Produktion auf der Basis von WWW und WAP, Innovationskatalog 2003, BMWA.

Autoren

Prof. Dr. rer. nat. Ralf Vandenhouten
 Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Fachgebiet Telematik
 Tel. +49 3375 508-359
ralf.vandenhouten@tfh-wildau.de

Thomas Kistel, M. Eng.
 Tel. +49 3375 508-615
thomas.kistel@tfh-wildau.de

Zu Bewertungsproblemen immaterieller Vermögenswerte als eine Grundlage für die Innovationsfinanzierung von Technologieunternehmen

Lothar Brunsch

Zusammenfassung

Häufig leisten die immateriellen Ressourcen einen größeren Beitrag zur Wertsteigerung des Unternehmens als die materiellen Ressourcen. Die immateriellen Ressourcen umfassen das angehäuften organisatorische Wissen sowie das Vertrauen und das System von Beziehungen, das das Unternehmen mit seinen Stakeholdern entwickelt hat. Jedes Unternehmen verfügt über immaterielle Ressourcen, aber nicht jedes Unternehmen kann diese Ressourcen in strategische umsetzen. Nur die erfolgreiche Umsetzung dieser Ressourcen führt zu Wettbewerbsvorteilen, die zu einer dauerhaften Wertsteigerung führen. Die Erfassung und Darstellung der immateriellen Ressourcen im Vermögen des Unternehmens erfolgt gegenwärtig nicht einheitlich und vollständig. So gibt es immaterielles Vermögen, das bilanziell erfasst ist, anderes, das nicht erfasst ist und das intellektuelle Kapital. Alle diese drei Wertkategorien »stehen idealisiert in einer zeitlichen Vorlaufwirkung zueinander.« [1] Die Akzeptanz der erfolgreich umgesetzten immateriellen Ressourcen im Unternehmen als eine Basis für Finanzierungsentscheidungen ist in der Theorie und Praxis der Betriebswirtschaft sehr wenig erforscht und entwickelt. In den folgenden Ausführungen werden dazu ausgewählte Aspekte theoretisch analysiert.

Abstract

Intangible resources quite often account for a larger share of a company's betterment (increase in value) than tangible resources. The former comprises the accumulated organisational knowledge of a company as well as the trust in and the system of relationships that an enterprise has developed with its stakeholders. Although every company does have intangible resources not all of them can actually make strategic use of it. Yet only successful use of it leads to competitive advantages. Recording and Accounting intangible resources in the assets of companies takes place neither consistently nor completely. Intangible resources as base of financing decisions have so far not been much in the focus of research in business economics. The following text seeks to analyse some of the aspects of intangible resources.

1 Einleitung

In den letzten 20 Jahren vollzog sich eine wesentliche Veränderung im Umgang mit der Ressource Wissen. Wurden zu Beginn der 80er Jahre im vergangenen Jahrhundert von 100.000 US\$ ca. 62.000 US\$ für die materiellen Vermögenswerte (der Bergbau- und Industrieunternehmen) investiert, so waren es 10 Jahre später noch 38.000 US\$. Mehr als die Hälfte werden demnach in Intangible Assets (Immaterielles Vermögen) investiert. Diese immateriellen Werte tauchen aber zum Teil nicht in der Handels- und Steuerbilanz in Deutschland auf. Es kann daraus geschlossen werden, dass die Ressource

Wissen an Bedeutung gewinnt und die physischen Produktionsfaktoren an Gewicht abnehmen.

Anfang des 21. Jahrhunderts nehmen die Intangible Assets eine zentrale Rolle als wirtschaftlicher Wert und Wachstumsgenerierer ein.[2] Die Intangible Sichtweise ist als nicht materiell ressourcenbegründete Perspektive zu verstehen. Hier wird das einzelne Unternehmen als Kombination von Beständen oder Transformation von Beständen verstanden. Dabei üben die nicht materiellen Ressourcen einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg einer Unternehmung aus. Daraus resultieren die Fragen, welchen Wert Wissen sowie die damit verbundenen Vermögensbestandteile eines Unternehmens haben, wie

der Wert der Intangible Assets gemessen wird und wie ein entsprechendes Management aussehen muss.

In diesem Punkt werden die aus dieser Thematik vorgegebenen Schlüsselbegriffe Wissen, Intangible Assets und intellektuelles Kapital sowie ihre Beziehungen untereinander auf der Basis der aktuellen Literatur behandelt. Anschließend werden die modernen, zur Verfügung stehenden Managementkonzepte und Messmethoden für immaterielle Vermögensgegenstände und sich daraus ableitende Entwicklungen für die Unternehmensführung behandelt sowie Schlussfolgerungen für die weitere wissenschaftliche Arbeit gezogen.[3]

2 Definition

2.1 Wissen

Wissen ist nicht gleichzusetzen mit Information, obwohl beide auf Immaterialität abstellen. Wissen kann als Vernetzung von Informationen angesehen werden. Es erlaubt dem Träger, spezifisches Handlungsvermögen aufzubauen und in Gang zu setzen. Damit ist es erfahrungsabhängig und an den Menschen gebunden. Um als Know-how im Unternehmen zu zählen, reicht Wissen als Ansammlung und Interpretation von Informationen nicht aus. Wissen hat aus ökonomisch wertorientierter Betrachtung nur Sinn, wenn es die Fähigkeit zur Anwendung und Verwertung besitzt und somit die Chance in sich trägt, positive Kapitalwerte zu erzeugen.[4]

Die Nutzung von Wissen im Unternehmen muss zur Wertschöpfung bzw. zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen beitragen. Somit kann es als Aktivposten eines Unternehmens angesehen werden. Daraus entsteht die Frage nach der Behandlung dieses Vermögensgegenstandes im Rahmen des betrieblichen Know-hows.

Wissen gehört zum in- und externen Informationssystem des Unternehmens und wird durch seine Immaterialität charakterisiert. Es stellt somit immaterielles Vermögen dar, das häufig in Deutschland mit dem Begriff Intangible Assets gleichgesetzt wird.

2.2 Intangible Assets

Dieser Begriff kommt aus dem anglo-amerikanischen Raum und wird als immaterieller Wert definiert, der nicht als Vermögensgegenstand im materiellen Besitz oder in Beteiligungen enthalten, aber für das Unternehmen von Wert ist. Typischerweise handelt es sich um

langfristige Werte, deren geldlicher Ausdruck erst vollständig durch den Verkauf des Unternehmens sichtbar wird. Das kaufende Unternehmen führt diesen Wert unter der Bilanzposition »derivativer Geschäftswert«. Durch die permanente Zunahme der Bedeutung des immateriellen Vermögens für die Unternehmen im Allgemeinen und im Besonderen für die technologieorientierten, innovativen Unternehmen sieht sich die betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis bei dieser Thematik zwei wesentlichen Herausforderungen gegenübergestellt.

Zum einen ist eine zeitgemäße, der wachsenden Bedeutung entsprechende Darstellung der immateriellen Vermögenswerte in dem externen Rechnungswesen (FASB, IFRS und HGB) vorzunehmen. Zum anderen benötigen die Unternehmen ein aktives Management für das immaterielle Vermögen, denn Intangible Assets sind betriebliche Ressourcen, die erhebliche Wettbewerbsvorteile bringen können. Zur Erschließung dieser Ressourcen benötigt das Unternehmen entsprechendes Kapital. Investoren werden dieses Kapital zur Verfügung stellen, wenn sie ihre Investitionen wirtschaftlich einschätzen bzw. bewerten können. Der Wert der Intangible Assets wird auch maßgeblich durch das Wissensmanagement des Unternehmens bestimmt. Das Ergebnis des Wissensmanagements wird wesentlich in der Größe »intellektuelles Kapital« sichtbar.

2.3 Intellektuelles Kapital

Intellektuelles Kapital umfasst Wissen, Informationen und Erfahrungen, d. h. alles, was zur Erzeugung von Wohlstand und Werten im Unternehmen eingesetzt werden kann.

Oder: »Intellektuelles Kapital« ist als die nicht finanziellen und physisch vorhandenen Ressourcen definiert, die ein Unternehmen verwendet – es ist Wissen, das in Profite und Unternehmenswerte umgewandelt werden kann.

Demzufolge besteht es aus Menschen und kodifiziertem Wissen. Kodifiziertes Wissen besteht aus intellektuellem Vermögen und Intellectual Property. Intellectual Property beinhaltet das intellektuelle Vermögen, das gesetzlich geschützt ist, wie z. B. Patente, Marken usw. Die OECD hat 1999 das intellektuelle Kapital im Rahmen der Kapitalkomponenten des Marktwertes definiert (vgl. Abb. 1).

Nach der Definition dieser drei Begriffe ist zu klären, wie sie zueinander stehen, ob Widersprüche, Synergien oder Überschneidungen existieren.

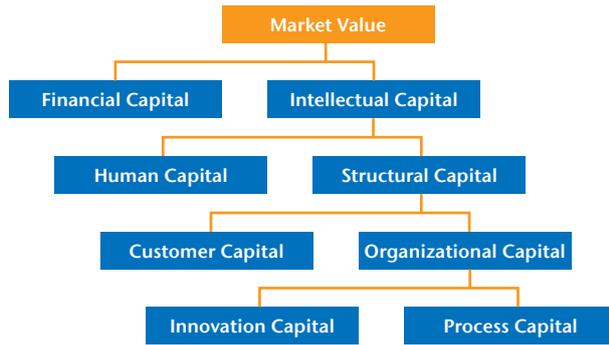


Abb. 1: Kapitalkomponenten des Marktwertes

3 Abgrenzung der Begriffe

Wie dargestellt, befinden sich alle Begriffe auf unterschiedlicher Abstraktionsebene und in unterschiedlicher Beziehung zum Unternehmen. Wissen befindet sich auf der höchsten Abstraktionsebene und kommt ohne Unternehmensbezug aus. Intangible Assets und intellektuelles Kapital werden sehr häufig synonym verwendet. Im Folgenden wird Intangible Assets als umfassendster Begriff verstanden, der das intellektuelle Kapital einschließt. Nicht alle Intangible Assets sind gleich intellektuelles Kapital. So ist z. B. das Ansehen eines Unternehmens Intangible Assets, aber kein intellektuelles Kapital. Intangible Assets sind die immateriellen Vermögenswerte (Ressourcen) eines Unternehmens. Davon ausgehend kann das immaterielle Vermögen wie folgt charakterisiert werden:

- Immaterielle Vermögen sind kein rivalisierendes Vermögen. Sie können zur gleichen Zeit unterschiedlich eingesetzt werden.
- Sie besitzen grundsätzlich hohe Fixkosten und geringe variable Kosten und haben einen steigenden Return of Scale.
- Es ist schwierig, das alleinige Eigentum am immateriellen Vermögen zu gewährleisten (Verlustgefahr).
- Immaterielle Vermögen profitieren häufig von Netzwerkeffekten.
- Innovationen (Investitionen) in immaterielles Vermögen sind hochriskant und haben gleichzeitig ein hohes Potenzial zur Unternehmenswertsteigerung.
- Für den Handel von immateriellem Vermögen gibt es häufig keinen Markt.
- Die Sicherheit des alleinigen Eigentums an Intangible Assets ist oft schwierig.[5]

Von sich aus schaffen immaterielle Vermögenswerte keinen Wert und erzeugen kein Wachstum im Unternehmen. Um Wert bzw. Wachstum zu generieren,

sind sie mit anderen Produktionsfaktoren zu kombinieren. Ist diese Kombination im Unternehmen nicht erfolgreich, so ist der Wert des immateriellen Vermögens sehr schnell abnehmend, schneller als dies bei materiellen Sachanlagen der Fall ist. Das externe und interne Rechnungswesen mit seinem Planungs- und Steuerungsinstrumentarium muss diese Entwicklung der gesamten Wertschöpfungskette eines Unternehmens so erfassen und abbilden, dass die Wirkung der einzelnen Produktionsfaktoren in ihrer Kombination sichtbar wird. Nur so können das Management steuernd eingreifen und die Investoren den Erfolg oder Misserfolg beurteilen.

Traditionelle, ausschließend Rechnungswesen-basierte Informationssysteme können diese entsprechenden Informationen nicht allein zur Verfügung stellen. Deshalb sind geeignete Managementkonzepte zu entwickeln.

4 Managementkonzepte

Erfolgreiches Management des intellektuellen Kapitals ist als kombinierte Kapitalbindung des Humankapitals und des Strukturkapitals zu begreifen. Ein effizientes intellektuelles Kapitalmanagement entsteht in mehreren Schritten. Dazu gehören die Fähigkeit zur Erkennung der Wertschöpfungs- und Wertextraktionsbereiche, die Kapitalisierung des Wertes und die Schaffung eines Unternehmenswissenspools, um aus diesem Prozess Kapital zu gewinnen.

Das Management muss sich der Entwicklung des intellektuellen Kapitals widmen und den Bewertungsprozess zum Überdenken der Organisation des Unternehmens mit ihren Stärken und Schwächen nutzen. Das eigentliche Management kann aber seine Aufgabe erst beginnen, wenn die vorhandenen Intangible Assets identifiziert und bewertet sind. Dazu bedarf es entsprechender Messsysteme.[6]

5 Messsysteme

Die Schwierigkeit der Messung der Intangible Assets liegt in ihrer Natur selbst. Trotzdem gibt es zahlreiche Methoden, die versuchen, diese Hindernisse zu bewältigen. Im Grunde lassen sich vier verschiedene Kategorien von Methoden zur Messung des intellektuellen Kapitals unterscheiden.

- Die direkten IC-Methoden (DIC). Diese konzentrieren sich auf die direkte Messung des intellektuellen Kapitals.
- Die Marktkapitalisierungsmethoden (MCM). Sie leiten den Wert des intellektuellen Kapitals von der Marktkapitalisierung ab.
- Die Return-on-Assets-Methoden (ROA). Hier wird der Wert anhand der Kennzahl ROA bestimmt.
- Die Scoreboard-Methoden (SC). Hier wird versucht, den Wert des intellektuellen Kapitals durch die Überprüfung der verschiedenen Unternehmensstrategieaspekte zu ermitteln.[7]

Eine allgemein anerkannte Bewertung in monetären Werten erscheint zurzeit nicht erreichbar. Die starken Interdependenzen zwischen Potenzialaufbau, Potenzialnutzung und der zum Teil schnelle und überraschende Potenzialabbau entlang der Zeitschiene machen den Aufbau eines Regelwerkes komplex und unsicher.

Deshalb sind regelmäßig Analysen und Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Ausprägungen und ihre gezielte Verfolgung umso notwendiger. Hierauf lassen sich künftige Korrelationen zu den finanzwirtschaftlichen Zielstellungen herstellen.

Besonderheiten der Messung des intellektuellen Kapitals:

- Die Messmethoden und das Management des intellektuellen Kapitals werden schwerpunktartig von der Dienstleistungsindustrie definiert, diese Methoden können nicht ohne Weiteres auf die produktiven Unternehmen übernommen werden.
- Das intellektuelle Kapital wird schwerpunktmäßig auf der strategischen Ebene gemessen. Das Herunterbrechen auf die operative Ebene bereitet erhebliche Schwierigkeiten.

Davon ausgehend können folgende Anforderungen an die Messung der immateriellen Vermögensgegenstände gestellt werden:

- Es ist nachzuweisen, dass die materiellen und immateriellen Vermögenswerte des Unternehmens für alle seine Stakeholder wertschöpfend wirken können.
- Es sind die jeweiligen Aktivitäten laufend zu verbessern und weiterzuentwickeln, die einen effektiven Einsatz des immateriellen Vermögens gewährleisten.
- Es ist die Effizienz, mit der die immateriellen Vermögenswerte zur Wertschöpfung genutzt werden, effektiv einzusetzen.
- Es sind der Wert des Vermögens und die Attraktivität des Unternehmens für die Stakeholder zu erhöhen und für mehr Transparenz zu sorgen.

6 Schlussbemerkungen, offene Forschungsfelder

Die Qualität der Kombination aller Produktionsfaktoren wird von der organisatorischen Infrastruktur des Unternehmens und den geschäftlichen Abläufen bestimmt. Der Gradmesser für das dabei erreichte Niveau sind die erzielten Cashflows und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.

Diese organisatorische Infrastruktur ist das wichtigste immaterielle Vermögen eines Unternehmens. Zur organisatorischen Infrastruktur gehören Managementprozesse, Humane Ressourcen, Controlling, Qualitäts- und Prozessmanagement, organisatorische Blaupausen, Incentives und Kontrollsysteme (Corporate Governance). Eine effektive betriebliche organisatorische Infrastruktur kann einen Überschuss aus dem investierten Kapital erzeugen. Die Messung der organisatorischen Infrastruktur und des intellektuellen Kapitals gehört zu den wichtigsten zukünftigen Aufgaben der Theorie und Praxis. Die Messmethoden müssen Veränderungen und Tendenzen zuverlässig erfassen, denn »nur so können Organisationen aus der Messung ihrer immateriellen und materiellen Performance echten Nutzen ziehen«[8].

Die gemeinsame Forschung sollte sich auf die organisatorische Infrastruktur als wichtiger erfolgskritischer Vermögenswert und auf die neu zu entwickelnden Ansätze zur Leistungs- und Performance-Messung von Intangible Assets ausrichten.[9] Aus der Literaturanalyse ist erkennbar, dass eine Standarddefinition für die Begriffe Intangible Assets und intellektuelles Kapital fehlt. Die weitreichendsten Klassifizierungsversuche sind die Ansätze des Financial Accounting Standards Board (FASB) und die des Arbeitskreises »Immaterielle Werte im Rechnungswesen« der Schmalenbach-Gesellschaft für Betriebswirtschaftslehre. Diese beiden Definitionen sollten Ausgangsbasis für weitere Forschungen sein.

Weiterhin ist zu beachten, dass es bei der Forschung eine unterschiedliche Informationslage der internen und externen Interessengruppen gibt. Dies gilt es bereits bei der Ausrichtung der Forschung zu definieren, denn entscheidend ist, welches Ziel verfolgt wird. Dazu zählen Empfehlungen für Investitionen in Intangible Assets. Die Intangible Assets sind soweit fassbar zu machen, dass sie in Investitionsrechenmethoden einbezogen werden können, damit das Management gesamt-haftige Investitionsentscheidungen fällen kann.

Externe als auch interne Interessenten dringen das Management dazu, ihre Intangible Werte zu messen und aktiv zu gestalten. Sie werden zunehmend veranlasst, diese Unternehmenswerte zu beachten und in ihre Planung einzubeziehen. Mit zunehmendem Wettbewerb und der Zugänglichkeit und Erreichbarkeit von Märkten vor einem globalen Hintergrund ist die Messung und Bewertung von Wissen und Kernkompetenzen für jede Organisation von Relevanz, um die Anschlussfähigkeit zu den Mitwettbewerbern und eine Unternehmenswertsteigerung zu ermöglichen.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Bewertung der einzelnen immateriellen Vermögenswerte nicht ausreicht und nur in ihrer Kombination und Verbindung mit den Produktionsfaktoren eine sinnvolle Bewertung ergibt. Deshalb schließt die Bewertung des immateriellen Vermögens und Managements die Bewertung des gesamten Unternehmens ein, insbesondere dann, wenn der Anteil des immateriellen Vermögens wächst oder von Natur aus wie bei den Technologieunternehmen sehr hoch ist.

Es gibt einen hohen Bedarf nach Informationen über den »Wert« vom immateriellen Vermögen über ihren Beitrag zur Produktivität, zur Rentabilität, zur Wettbewerbsfähigkeit oder – allgemeiner – zum Unternehmenswert.[10]

Anmerkungen

- [1] Coenberg (2005), S. 1.134.
- [2] Lev/Dawn (2004).
- [3] Vgl. Müller (2006), S. 3 ff.
- [4] Vgl. Hayek (1952), S. 107.
- [5] Vgl. Müller (2006), S. 9-10.
- [6] Vgl. Edvinsson/Brünig (2000), S. 51 ff.
- [7] Vgl. Müller, Claudia (2006), S. 13, S. 18-21.
- [8] Neely et al. (2003), S. 129.
- [9] Vgl. Gstraunthaler (2006), S. 89-102; Reinhardt/Bornemann (2006), S. 205-230; Coenberg (2005), S. 143-152, S. 1133-1138.
- [10] Blachfellner/Bornemann (2006), S. 134.

Literatur

- Blachfellner, M./Bornemann, M. (2006) in: Matzler, K. u. a., Immaterielle Vermögenswerte – Handbuch der intangible Assets, Berlin, S. 134.
- Coenberg, A. G. (2005): Jahresabschluss und Jahresabschlussanalyse, 20. Auflage, Stuttgart.
- Edvinsson, L./Brünig, G. (2000): Aktivposten Wissenskapital, Gabler, Wiesbaden.
- Gstraunthaler, T. (2006) in: Matzler, K. u. a. (Hrsg.), Immaterielle Vermögenswerte – Handbuch der intangible Assets, Berlin, S. 89-102.
- Hayek, F. A. (1952): Individualismus und wirtschaftliche Ordnung. Eugen Rentsch Verlag, Erlenbach-Zürich.
- Lev, B./Daum, J. H. (2004): Intangible Assets: Neue Ansätze für Unternehmenssteuerung und Berichtswesen. In: Horvath, P./Gleich, R. (Hrsg.), Neugestaltung der Unternehmensplanung, Stuttgart, S. 33-49.
- Müller, Claudia (2006) in: Matzler, K. u. a. (Hrsg.), Immaterielle Vermögenswerte – Handbuch der intangible Assets, Berlin, S. 3-22.
- Neely, A./Marr, B./Roos, G. et al. (2003): Towards the Third Generation of Performance Measurement. In: Controlling, März/April 2003, S. 129-135.
- OECD. Organisation for Economic Co-Operation and Development (1999): »Guidelines and Instructions for OECD Symposium«, International Symposium Measuring Reporting Intellectual Capital: Experiences, Issues, and Prospects. June, Amsterdam, Paris.
- Reinhardt, R./Bornemann, M. (2006) in: Matzler, K. u. a. (Hrsg.), Immaterielle Vermögenswerte – Handbuch der intangible Assets, Berlin, S. 205-230.

Autor

Prof. Dr. rer. oec. habil. Lothar Brunsch
 Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Tel. +49 3375 508-558
 lothar.brunsch@tfh-wildau.de

Eine Heuristik für quadratische 0-1-Probleme

Matthias Forster

Zusammenfassung

Eine neue Modellformulierung für kombinatorische Optimierungsprobleme wird vorgestellt. Auf der Grundlage des quadratischen 0-1-Problems ohne Nebenbedingungen wird ein vorteilhafter Typ kombinatorischer Optimierungsprobleme eingeführt. Eine einfache Heuristik, die sog. RII-Methode (randomized iterative improvement), erlaubt es, diesen Modelltyp effizient zu lösen. Die Flexibilität des Ansatzes wird an der Modellierung des K-Färbungsproblems gezeigt. Es werden Rechenergebnisse für Färbungsprobleme aus der Literatur präsentiert. Wendet man Randomized Iterative Improvement auf den neuen Modelltyp an, können diese Testprobleme effizient gelöst werden.

Abstract

A new model formulation for combinatorial optimization problems is presented. Based on the unconstrained quadratic program (binary quadratic program), a favourable type of combinatorial optimization problems is introduced. A simple heuristic method, i.e. randomized iterative improvement (RII), permits to solve this type of model efficiently. Modelling of the K-colouring problem shows the flexibility of the approach. Computational results on data sets from the literature about vertex colouring are reported. These benchmark problems are shown to be solved efficiently using randomized iterative improvement and the new type of model.

1 Einleitung

Kombinatorische Optimierungsprobleme findet man in fast allen Teilgebieten der Betriebswirtschaftslehre. Zu den Anwendungen zählen bestimmte Fragen der Produktionsplanung, komplizierte Fälle der Projektplanung, Fragestellungen aus dem Bereich Investition und Finanzierung, Finanzmanagement, viele Problemstellungen der Logistik, Stundenplanung usw. Zuerst wird der Begriff »Kombinatorische Optimierung« definiert und eine Lösungsmethode angegeben. Dann wird ein wichtiger Modelltyp der kombinatorischen Optimierung behandelt, das quadratische 0-1-Problem. Diese Modelle umfassen zahlreiche Probleme der betrieblichen Praxis. Am Beispiel des K-Färbungsproblems soll ein neuer, verbesserter Lösungsansatz entwickelt werden.

Bei einem kombinatorischen Optimierungsproblem (combinatorial optimization problem, COP) ist eine Funktion f gegeben, die jedem Element s einer Menge S eine reelle Zahl zuordnet. S ist eine endliche Menge. Wählt man die Formulierung als Minimierungsproblem, dann ist

$$(\text{COP}) \min f(s) : s \in S, \quad \text{wobei } |S| \in \mathbb{N}$$

S bezeichnet die Menge der zulässigen Lösungen des Optimierungsproblems. f ist die Zielfunktion. Die Aufgabe besteht darin, ein Minimum $f(s^*)$ der Funktion f zu finden unter der Bedingung, dass das Argument s^* in der Menge S enthalten ist. Die Aufgabe der Minimumsuche stellt keine Beschränkung der Allgemeinheit dar, da jedes Maximierungsproblem in ein äquivalentes Minimierungsproblem verwandelt werden kann. Das Problem scheint auf den ersten Blick trivial zu sein, weil S eine endliche Menge ist. Es ist aber zu bedenken, dass S bei realen Problemen i. d. R. sehr viele Elemente enthält (typisch 10^{50} und mehr). Daher scheidet die Untersuchung aller zulässigen Lösungen (Vollenumeration) aus. Man benötigt intelligente Suchverfahren, die den tatsächlichen Aufwand der Minimumsuche wesentlich reduzieren. In der Praxis ist oft sogar ein kleiner Anteil tatsächlich zu betrachtender Lösungsfälle so groß, dass sich das wahre Optimum nicht finden lässt. In diesem Falle muss man sich mit einer Näherungslösung zufrieden geben. Im besten Falle ist es dann möglich, eine Schranke für den Abstand vom wahren Minimum anzugeben. Ein Rechenverfahren, das mit vertretbarem Aufwand eine gute Lösung für ein schwieriges, kombinatorisches Optimierungsproblem liefert, nennt man Heuristik.

2 Ein Verbesserungsverfahren

Eine gebräuchliche Lösungsmethode für (COP) ist das RII-Verfahren (randomized iterative improvement). Eine detaillierte Darstellung findet der Leser in Hoos/Stütze [1], S. 72 ff.

Abb. 1 zeigt das Flussdiagramm dieses Verbesserungsverfahrens: Sei $S = \{1, \dots, K\}^n$ und $K, n \in \mathbb{N}$. Dann beginnt man mit einer Startlösung $s \in S$, die im einfachsten Falle zufällig gewählt werden kann. Oft lässt sich im konkreten Anwendungsfall eine gute Startlösung konstruieren. Es folgt die iterative Verbesserung der Startlösung, bis ein sinnvolles Endekriterium erfüllt ist (z. B. Ende nach 10^7 Iterationen oder Ende, wenn 10^4 Iterationen keine Verbesserung gebracht haben o. ä.). In jeder Iteration wird entweder ein Zufallsschritt (a) oder ein Verbesserungsschritt (b) durchgeführt:

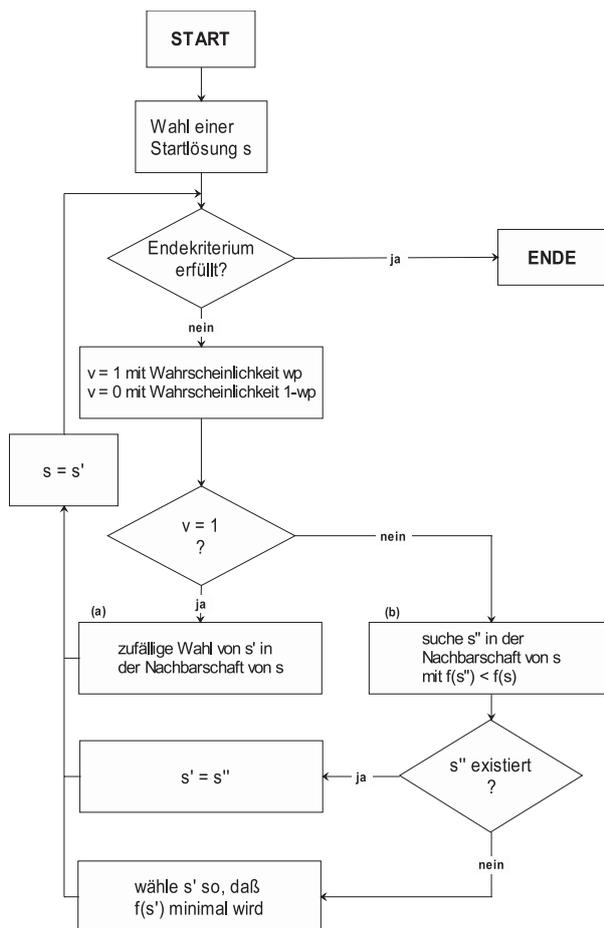


Abb. 1: Flussdiagramm

- (a) Einer Komponente von s zufällig einen neuen Wert geben (Komponente wählen, Wert wählen)
- (b) Suche einer besseren Lösung s'' in der Nachbarschaft von s .

Zur Nachbarschaft von s gehören alle Lösungen, die sich in genau einer Komponente von s unterscheiden. Es sind also nacheinander für s_1, s_2, \dots, s_n alle Elemente aus $\{1, \dots, K\}$ einzusetzen. Findet man so keine bessere Lösung als $f(s)$, dann nimmt man das Minimum dieser Versuche, das dann aber i. d. R. zu einer Verschlechterung führt, zumindest keine Verbesserung bewirkt. Der Zufallsschritt (a) bewirkt, dass der Algorithmus theoretisch jedes lokale Minimum wieder verlassen kann. Die Entscheidung, ob Zweig (a) oder (b) durchlaufen wird, erfolgt zufällig: Die Variable v wird mit Wahrscheinlichkeit w_p (walk probability) gleich 1 gesetzt. $v=1$ bedeutet, dass ein Zufallsschritt auszuführen ist. Ist $v=0$, dann wird ein Verbesserungsschritt ausgeführt. Jede Iteration erzeugt eine neue Lösung s' . Diese wird dann zur aktuellen Lösung $s=s'$. Wegen $0 < w_p < 1$ findet der RII-Algorithmus ggf. nach sehr vielen Iterationen mit jeder vorgegebenen Wahrscheinlichkeit die Optimallösung von (COP).

3 Das quadratische 0-1-Problem

Ein wichtiger Vertreter der kombinatorischen Optimierungsprobleme ist das quadratische 0-1-Problem ohne Nebenbedingungen (binary quadratic program oder unconstrained quadratic program, UQP):

$$(UQP) \min x^T Q x : x \in \{0,1\}^n$$

Gesucht ist ein n -dimensionaler Vektor x , der nur aus Nullen und Einsen besteht, sodass die quadratische Funktion $x^T Q x$ ein Minimum annimmt. Die Menge $\{0,1\}^n$ ist endlich, daher handelt es sich hier um ein (COP). Von Kochenberger/Glover et al. [3] wurde dieses Problem vorgeschlagen, um viele praktisch relevante Fragestellungen aus allen Bereichen der Betriebswirtschaftslehre und Logistik zu behandeln. Viele der in [3] aufgelisteten Probleme können jedoch vorteilhaft so formuliert werden:

$$(P) \min x^T Q x : Ax = \mathbf{1}, x \in \{0,1\}^n,$$

wobei $m, n \in \mathbb{N}$; $A \in \mathbb{R}^{m,n}$; $Q \in \mathbb{R}^{n,n}$ eine symmetrische Matrix ist. Die Matrix A hat in jeder Spalte genau eine 1, alle anderen Elemente jeder Spalte von A sind 0; $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1)^T \in \mathbb{R}^m$. Das Problem (UQP) ist allgemeiner als (P), da sich (P) in ein quadratisches 0-1-Problem ohne Nebenbedingungen transformieren lässt (siehe [3]). Unter Ausnutzung der Nebenbedingungen kann man (P) aber wesentlich schneller lösen als das quadratische 0-1-Problem ohne Nebenbedingungen. Im folgenden Abschnitt wird Randomized Iterative Improve-

ment unter Verwendung der Form (P) genutzt, um das K-Färbungsproblem zu lösen. Ähnlich lassen sich alle Probleme der Form (P) mit Randomized Iterative Improvement lösen.

4 Das K-Färbungsproblem

Sei $G=(V,E)$ ein ungerichteter Graph mit n Knoten und der Knotenmenge $V=\{1,2,\dots,n\}$. Die nichtleere Menge E ist die Kantenmenge, wobei $ij \in E$ genau dann gilt, wenn eine Verbindung zwischen $i \in V$ und $j \in V$ ($i \neq j$) existiert. Aus Gründen der Eindeutigkeit sei o. B. d. A. $i < j$ angenommen. Abb. 2 zeigt einen Graphen mit $n=5$ Knoten und 8 Kanten. Die Aufgabe besteht darin, jedem Knoten genau eine Farbe zuzuordnen. Dabei ist jedoch folgende Restriktion zu beachten: Zwei Knoten, die durch eine Kante verbunden sind, müssen unterschiedlich gefärbt sein. Abb. 3 zeigt eine zulässige Lösung mit $K=3$ Farben (B:blau, R:rot und G:grün). Der Knoten 2 ist in dieser Lösung blau, der Knoten 4 grün. Beide Knoten haben unterschiedliche Farben, da sie durch eine Kante verbunden sind. Knoten 2 und Knoten 5 haben die gleiche Farbe. Das ist zulässig, da sie nicht durch eine Kante verbunden sind. Bei einem K-Färbungsproblem sind die Anzahl K der erlaubten Farben und der Graph G vorgegeben. Gesucht ist eine zulässige Färbung bzw. das Er-

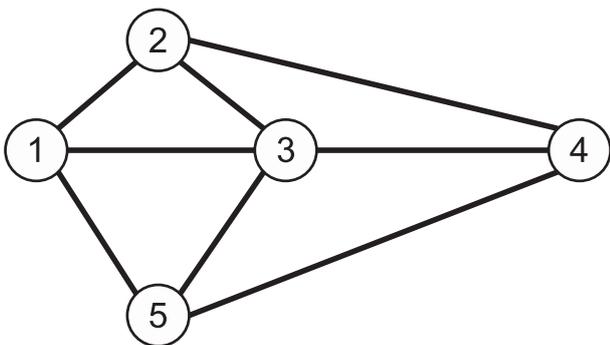


Abb. 2: Graph

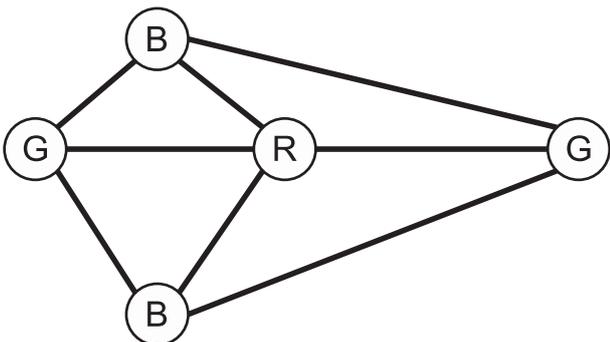


Abb. 3: zulässige Lösung

gebnis, dass eine Färbung mit K Farben nicht möglich ist. Es ist sinnvoll, die Farben zu nummerieren. Dann ist jedem Knoten eine Farbe aus der Menge $C=\{1,2,\dots,K\}$ der möglichen Farben zuzuordnen, wobei K eine vorgegebene natürliche Zahl ist. Die dem Knoten $i \in V$ zugeordnete Farbe sei mit $s_i \in C$ bezeichnet. Der Vektor s ist dann eine Färbung der Knotenmenge V . s ist zulässig, wenn für alle $i, j \in V$ mit $i < j$ folgende Bedingung zutrifft: Aus $ij \in E$ folgt $s_i \neq s_j$. Wird diese Bedingung für mindestens eine Kante $ij \in E$ verletzt, dann ist s unzulässig. Kurz: Die durch Kanten verbundenen Knoten sind unterschiedlich zu färben, wobei höchstens K verschiedene Farben verwendet werden dürfen. Graphenfärbungsprobleme findet man in der Verkehrslogistik, in der Stundenplanung und in komplizierteren Situationen der Projektplanung. Auch bei technischen Fragestellungen spielen Graphenfärbungsprobleme eine Rolle (Sendern Frequenzen zuweisen, Design elektronischer Schaltungen, Registeroptimierung im Zielcode).

Das K-Färbungsproblem kann man leicht in die Form (P) bringen: Die Variablen x_{ih} sind Binärvariablen für alle $i \in V$, $h \in C$, d. h. sie dürfen nur die Werte 0 oder 1 annehmen. Falls Knoten i mit Farbe h gefärbt wird, ist $x_{ih} = 1$, sonst $x_{ih} = 0$. Im Beispiel der Abb. 2, wo $K=3$ vorausgesetzt ist, haben wir $5 \cdot 3 = 15$ Variablen x_{ih} . $x_{12} = 1$ würde bedeuten, dass Knoten 1 die Farbe 2 erhält. $x_{12} = 0$ würde bedeuten, dass Knoten 1 nicht Farbe 2 bekommt, sondern eine andere. Da jeder Knoten zu färben ist, muss die Bedingung

$$(1) \sum_{h=1}^K x_{ih} = 1 \text{ für alle } i = 1, \dots, n \text{ erfüllt sein.}$$

Bedingung (1) sorgt dafür, dass jedem Knoten i genau eine Farbe zugewiesen wird. Denn für jedes i muss genau eine der Variablen x_{ih} gleich 1 sein, damit die Summe den Wert 1 annimmt.

Außerdem müssen je zwei Knoten i und j , die durch eine Kante verbunden sind, unterschiedliche Farben bekommen: Der Ausdruck $x_{ih} \cdot x_{jh}$ nimmt dann und nur dann den Wert 1 an, wenn beide Variablen gleich 1 sind. In allen anderen Fällen ist mindestens eine der beiden Variablen gleich 0 und somit das Produkt $x_{ih} \cdot x_{jh}$ ebenfalls gleich 0. Das Produkt wird genau dann gleich 1 sein, wenn sowohl Knoten i als auch Knoten j die Farbe h erhalten. In der Gleichung

$$(2) z = \sum_{ij \in E} x_{ih} \cdot x_{jh}$$

gibt z die Häufigkeit unzulässiger Farbkombinationen an. In jeder zulässigen Färbung des Graphen G ist $z=0$.

Gleichung (2) stellt die quadratische Zielfunktion des Problems (P) dar, wobei z der Zielfunktionswert ist. Gleichung (1) entspricht den Nebenbedingungen des Problems (P). Das K-Färbungsproblem ist daher

$$(P') \min z = \sum_{ij \in E} x_{ih} x_{jh} : \sum_{h=1}^K x_{ih} = 1 \text{ für alle } i \in V, \\ x_{ih} \in \{0,1\} \text{ für alle } i \in V \text{ für alle } h \in C$$

Löst man (P') mit dem Ergebnis $z=0$, dann hat man eine zulässige Färbung gefunden. Das K-Färbungsproblem ist dann für den gegebenen Graphen G lösbar. Ist im Optimum $z>0$, dann existiert keine Färbung des Graphen G mit maximal K Farben. Im nächsten Abschnitt wird die neue Lösungsmethode für das K-Färbungsproblem auf der Basis des Modells (P) bzw. (P') mit Hilfe von Randomized Iterative Improvement (RII) vorgestellt.

5 Ein neuer Lösungsansatz für das K-Färbungsproblem

Der in Abschnitt 2 eingeführte Lösungsvektor s lautet im Falle des K-Färbungsproblems $s = (s_i)_{i=1..n}$ mit $s_i \in C = \{1, \dots, K\}$ für alle $i = 1, \dots, n$. Für jeden Knoten i des Graphen G hat s eine Komponente, welche die Farbe des Knotens i angibt. s kann zulässig oder unzulässig sein. Die Gleichung (1), nach der jeder Knoten genau eine Farbe bekommt, ist erfüllt, da s_i ein eindeutiger Wert ist. Für alle Knoten i besteht der Zusammenhang: $s_i = h$ bedeutet $x_{ih} = 1$ und $x_{ik} = 0$ für alle $k \neq h$. Somit ist $f(s) = z$ entsprechend Gleichung (2) zu berechnen. Die Lösungsmethode wurde nach dem Flussdiagramm der Abb. 1 in der Programmiersprache Delphi implementiert (Win32-Compiler Delphi 2006). Delphi ist eine Weiterentwicklung der bekannten Sprache Pascal. Sie unterstützt die objektorientierte Programmierung. Das Programm, mit dem die Tests durchgeführt wurden, hat eine Länge von 350 Zeilen. Wegen der Nutzung objektorientierter Programmieretechniken kann es an alle Modelle angepasst werden, die sich in die Form $(P) \min x^T Q x : Ax = \mathbf{1}, x \in \{0,1\}^n$ bringen lassen. Für die Tests wurde der Code aus Gründen der Effizienz für die sehr schnelle Evaluierung von $x^T Q x$ optimiert. Der Hauptanteil der Rechenzeit geht tatsächlich in die Bestimmung der Zielfunktionswerte. Daneben hat der Parameter w_p (walk probability) großen Einfluss auf die Rechenzeit. In den Tests wurde $w_p = 0,2$ verwendet, da dieser Wert eine recht gute Performance liefert. In 20 % aller Iterationen wird daher ein Zufallsschritt

ausgeführt, in 80 % der Iterationen erfolgt ein Verbesserungsschritt. Folgende Tabelle enthält die Ergebnisse für zehn Testprobleme P1 bis P10 aus der Literatur. Die 2./3. Spalte gibt die Anzahl der Knoten/Kanten des Problems an. In Spalte 4 sind die Rechenzeiten aus [2] zusammengestellt. Für mehrere dieser Probleme wurde in [2] nur angegeben: Zeit $< 1,0$ s. In Spalte 5 sind die Rechenzeiten des neuen Lösungsansatzes zusammengestellt. Die Probleme wurden auf einem 3,19-GHz-PC gelöst. (Die Angaben in Spalte 4 wurden umgerechnet, sodass sie mit Spalte 5 vergleichbar sind.) Für die Probleme P1 bis P3 ist die Rechenzeit praktisch 0; die Dauer war für die Zeitmessung zu kurz. Die anderen Zeitangaben sind die gerundeten Werte von 20 Versuchen:

Name	Knoten	Kanten	Rechenzeit TS mit (UQP) [s]	Rechenzeit RII mit (P) [s]
P1	25	160	< 1,0	< 0,1
P2	36	290	< 1,0	< 0,1
P3	49	476	< 1,0	< 0,1
P4	64	728	< 1,0	2,9
P5	74	301	1,1	0,5
P6	80	254	< 1,0	2,4
P7	87	406	38,9	4,6
P8	95	755	< 1,0	2,8
P9	138	493	25,1	6,4
P10	191	2360	< 1,0	15,2

Zu Spalte 4 der Tabelle: Kochenberger/Glover et al. [2,3] lösen das Problem (UQP) mit einer aufwändigen Heuristik. Sie verwenden eine anspruchsvolle Implementation des Tabu-Search-Verfahrens (TS). Die Rechenzeiten sind in der Tabelle in Sekunden angegeben. Zu Spalte 5 der Tabelle: Unter Ausnutzung der Modellformulierung (P') lassen sich K-Färbungsprobleme aus [2] oft in wesentlich kürzeren Rechenzeiten mit Hilfe der recht einfachen RII-Heuristik lösen. Bei P4, P6 und P8 ist die RII-Heuristik schlechter, aber vergleichbar mit TS. P10 ist das einzige Problem in der Tabelle mit wesentlich längerer Rechenzeit des RII-Verfahrens. Ergebnis: In Anwendungen kann oft die Modellformulierung (P) genutzt werden. Die Tests zeigen, dass Modell (P) der Formulierung (UQP) überlegen ist, denn Tabu Search (TS) ist wesentlich leistungsfähiger als Randomized Iterative Improvement (RII). Mit Tabu Search wären die Ergebnisse in der 5. Tabellenspalte sicher besser als mit RII.

6 Ausblick

Viele kombinatorische Optimierungsprobleme, die sich als quadratische 0-1-Probleme ohne Nebenbedingungen formulieren lassen, sollte man unter algorithmischen Aspekten besser in die Form des hier vorgestellten Modells bringen. Selbst eine einfache Heuristik auf der Basis der hier vorgeschlagenen Problemformulierung liefert oft bessere Ergebnisse als ein aufwändiges Verfahren für das quadratische 0-1-Problem ohne Nebenbedingungen. Anspruchsvolle Heuristiken, wie z. B. Tabu Search oder Scatter Search, sollten daher weit bessere Ergebnisse liefern. Auf die effiziente Berechnung von $x^T Q x$ ist stets zu achten, da die Zielfunktion sehr oft zu evaluieren ist.

Literatur

- [1] Hoos, H./Stützle, Th. (2005): Stochastic Local Search: Foundations and Applications, San Francisco: Elsevier/Morgan Kaufmann.
- [2] Kochenberger, G./Glover, F./Alidaee, B./Rego, C. (2003): An unconstrained quadratic binary programming approach to the vertex coloring problem, working paper, University of Colorado at Denver.
- [3] Kochenberger, G./Glover, F./Alidaee, B./Rego, C. (2004): An unified modeling and solution framework for combinatorial optimization problems, OR Spectrum 26, pp. 237-250.

Autor

Prof. Dr. rer. pol. Matthias Forster
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
Tel. +49 3375 508-529
matthias.forster@tfh-wildau.de

Das demokratische Potenzial des Internets

Maika Büschenfeldt

Zusammenfassung

Weblogs und komplexe Diskurs-Plattformen repräsentieren ganz unterschiedliche Ausprägungen elektronischer Demokratie. Im Unterschied zu den monolithischen, top-down moderierten Diskurs-Plattformen knüpfen typische Web 2.0 Anwendungen wie Weblogs an die *many-to-many*-Kommunikationsstruktur des Internets an. Das demokratische Potenzial der Web 2.0 Anwendungen gründet in den Prinzipien der Selbstorganisation aus den frühen Tagen des Internets. Durch Gestaltungsprinzipien wie Offenheit, Einfachheit, bottom up, Nutzerpartizipation, Konsensorientierung und nicht-hierarchischer Organisation werden Web 2.0 Anwendungen zu Manifestationen der Urideen und Konzepte des Cyberspace.

Durch die Fokussierung auf die Interaktion zwischen Software und Nutzern kann die Debatte um die Digitale Spaltung der Gesellschaft eine neue Wendung bekommen: Unter der Annahme, dass Software die Form politischer Auseinandersetzung regelt, liegt das demokratische Potenzial des Webs nicht nur in den Fähigkeiten oder Unfähigkeiten der Nutzer, sondern auch im Design technischer Architekturen.

Abstract

Weblogs and complex designed discourse-platforms represent different types of E-Democracy. In contrast to the monolithic, top-down moderated discourse-platforms typical web 2.0 applications like weblogs are connected to the *many-to-many* communication structure of the internet. The democratic potential of web 2.0 applications is based on the principles of self-organisation deriving from the early days of the internet. Web 2.0 applications become manifestations of the origin ideas and concepts of the cyberspace by design principles such as openness, simplicity, bottom up, user participation, consensus and non hierarchical organisation.

Focusing on the interaction between software and users the dispute about the digital divide of society might take a different turn: Assuming that software rules the form of political debates, the web's democratic potentials and risks are not only bound to abilities or inabilities of users but also to the design of technical architectures.

1 Einleitung

Auf der Website des Bundesinnenministeriums wird E-Demokratie als Sammelbegriff definiert, der alle Maßnahmen zusammenfasst, »bei denen Internettechnologien eingesetzt werden, um Bürgerinnen und Bürgern zusätzliche demokratische Mitbestimmungs- und Gestaltungsmöglichkeiten einzuräumen.«[1] Diese Definition legt nahe, das Interesse vordringlich auf Angebote der E-Partizipation zu richten, somit auf Verfahren, die darauf abzielen, die Beteiligungsmöglichkeiten der Bürger und Bürgerinnen mit dem Ziel zu erweitern, eine neue Qualität in das Verhältnis von Regierenden und Regierten zu bringen. Im Feld elektronischer Partizipation hat sich vor allem das Konzept »online-moderierter Verfahren« etablieren können. Bürgerbeteiligung wird hier über komplexe Diskursplattformen in moderierten

Online-Dialogen umgesetzt [2]. Zum Einsatz kommt dieser Verfahrenstyp in Visions- und Leitbildprozessen, in formellen Verfahren in der Stadtplanung sowie in informellen Verfahren zur Verteilung von Ressourcen, Anlagen und Einrichtungen. E-Partizipation steht hier für eine Beteiligungspraxis, in der das politisch-administrative System den Bürgern den Auftrag erteilt, sich zu vorgegebenen Themen Gedanken zu machen (Märker 2007, S. 254 f).

Mit diesem Verfahrenstypus ist es zwar einerseits gelungen, ein praktikables Konzept der E-Partizipation zu etablieren, andererseits zeigen sich in den komplizierten Verfahren der Entscheidungsfindung sowie der aufwändigen und teuren Qualitäts- und Ergebnissicherung auch die Schwächen dieses Konzeptes. Hinzu kommt, dass die Auftraggeber bislang wenig Willen gezeigt haben, Kontrolle abzugeben, und bürokratische Vorgaben

wenig Raum für Innovation lassen. Die zur Beteiligung aufgeforderten Bürger haben in der Regel weder Einfluss auf die Wahl der Themen, noch auf die Umsetzung der entwickelten Ideen und Verfahren. Darüber hinaus haben die Ergebnisse der öffentlichen Diskurse weder Rechtswirksamkeit, noch sind diese institutionell verankert [3]. Christoph Dowe, Geschäftsführer des Vereins poldi.net, fasst diese Schwächen pointiert zusammen:

»Keine Website wird veröffentlicht, bevor nicht alle Eventualitäten kalkuliert wurden. Experimente werden nicht gemacht, da sie die Möglichkeit des Scheiterns beinhalten. Ein Modellprojekt kann nur genehmigt werden, wenn es bereits ohne Auffälligkeiten erfolgreich erprobt wurde (und damit kein Modellprojekt mehr ist); ein Modellprojekt darf nur begrenzt neue Wege gehen; ein Modellprojekt darf die Macht der Institutionen nicht in Frage stellen, um sie zu verbessern. Affirmation statt Dialog steht im Vordergrund. Kein guter Nährboden für innovative neue Wege der politischen Kommunikation.« (Dowe 2007, S. 212)

In bürokratischen Vorgaben und der Orientierung an den Verfahren der Offline-Welt mag der Grund liegen, warum sich die innovativeren Beispiele politischer Kommunikation eher jenseits online-moderierter Verfahren und jenseits der offiziellen Förderung durch staatliche Auftraggeber finden lassen. Die visionären Ideen, Techniken und Tools der Online-Kommunikation sind in der Regel nicht speziell für die politische Kommunikation entwickelt worden und haben dennoch in der Diskussion um die demokratischen Potenziale des Internets große Aufmerksamkeit erregt. Das gilt insbesondere für Anwendungen, die dem Themenkreis Web 2.0 zugeordnet werden und ganz besonders für eine, im Vergleich zu den aufwändigen Diskurs-Plattformen, sehr einfache Software, den Weblog. Weblogs (oder kurz Blogs) zählen neben Wikis zu den Personal Publishing Systemen und sind Beispiel für eine dezentrale Struktur der Erzeugung von nutzergenerierten Webinhalten (user generated content). Obwohl der absolute Anteil politischer Blogs an deren Gesamtzahl vergleichsweise gering ist, wird die politische Wirksamkeit der politischen Blogosphäre[4] dennoch für so beachtlich gehalten, dass sich mit der Weblogforschung ein eigener Forschungszweig herausgebildet hat, der sich mit der Einbettung von Weblogs in den politischen Prozess befasst. Dem Blogging wird dabei, über die Blogger-Szene hinaus, Bedeutung als politischer Akteur zuerkannt. Mit dieser Kennzeichnung

wird die Blogosphäre »zu einer relevanten politischen Teilöffentlichkeit bzw. zu einem festen Bestandteil der massenmedialen Öffentlichkeit« (Coenen 2005). Positiv gewertet werden insbesondere die Tendenzen des partizipatorischen Journalismus. Blogs werden damit zu Werkzeugen der politischen Kommunikation, die auf eine Verbesserung der »politischen Selbstverständigung der Bürgerschaft« und auf ein Gegengewicht zum kommerziellen System der Massenmedien mit seiner Meinungsmacht hoffen lassen (Coenen 2005).

Die einfachen Weblogs und die recht komplexen Diskurs-Plattformen repräsentieren ganz unterschiedliche Ausprägungen elektronischer Demokratie. Worin diese Unterschiede bestehen, möchte dieser Artikel in einem Rekurs auf die grundlegenden Ideen und Gestaltungsoptionen des Internets verdeutlichen. Mit Blick auf die Anwendungen und Praktiken des Web 2.0 soll dabei der Frage nachgegangen werden, ob sich in den grundlegenden Designprinzipien des Internets nicht nur die entscheidenden Hinweise auf die demokratischen Potenziale des Internets verbergen, sondern darüber hinaus auch Hinweise auf innovative Wege in der konkreten Ausgestaltung elektronischer Demokratie.

2 Das demokratische Potenzial des Cyberspace

Um zu verstehen, worin die demokratischen Potenziale des Internets bzw. die besondere demokratietheoretische Faszination des Internets liegt, lohnt ein Blick auf die Grundideen, die sowohl die Architektur als auch das technische Selbstreglement des Internets bestimmen haben. Faszinierend ist dabei besonders die Zeit des technischen Regimes, also jene Zeit, in der die technische Entwicklung und Verwaltung der Infrastruktur des Internets noch in den Händen einer informellen Gruppe akademisch geprägter Techniker lag. Im Mittelpunkt des Interesses steht das Internet in seiner Wahrnehmung als Cyberspace, d. h. als Struktur, die sich als ein Kommunikations- und Interaktionsraum begreifen lässt, der außerhalb der Ordnungslogik staatlicher Institutionen und des internationalen Staatensystems liegt. Im virtuellen Raum, der als Sphäre reinen Geistes keine physische Körperlichkeit kennt, spielen abgrenzbare Herrschaftsverbände mit territorialen Grenzen und einem staatlichen Gewaltmonopol keine Rolle. Die Besonderheit des Cyberspace liegt damit in der Abwesenheit von staatlicher Herrschaft (Bendrath 2007, S. 30). Diese be-

sondere Unabhängigkeit weist auf den Bruch mit klassischen Macht- und Entscheidungsstrukturen hin, die sich bereits in der Um- und Durchsetzung technischer Standards und Gestaltungsprinzipien zeigen. Dave Clark vom Internet Architecture Board brachte diese Haltung mit zwei Sätzen auf den Punkt: »We reject kings, presidents, and voting. We believe in rough consensus and running code.« Die Sicherung der technischen Grundlagen des Internets erfolgt zwar durch internationale Organisationen wie die Internet Engineering Task Force (IETF), die Internet Numbers Authority (IANA) oder das W3C, im Unterschied zu traditionellen Regierungen und Standardisierungsgremien setzen diese Einrichtungen jedoch auf offene Standards, denen freiwillig gefolgt wird. Die Legitimation dieser eher informellen Organisationen ohne Rechtsstatus beruht dabei im Wesentlichen auf der technischen Expertise ihrer Mitglieder und der Transparenz der Entscheidungsvorgänge. Das Besondere dabei: Die Entscheidungen und verabschiedeten Standards der Internet-Organisationen konnten sich nur durchsetzen, weil deren Nutzen erkannt und der Organisation vertraut wurde. Mit dem Fehlen jeglicher Sanktionsmittel beruht die technische Organisation des Internets somit auf der Fähigkeit, einen Konsens über technische Standards und Regeln herzustellen. Die Standards und Regeln sind dabei im Netz selbst entstanden, ohne aktive Einmischung der Politik und ohne eine zentrale Instanz (Ahlert 1996). Zu den wichtigsten Besonderheiten dieser Art des Selbstreglements zählen Offenheit, Einfachheit, Inklusion, Bottom Up, Konsensorientierung und Dezentralität. Alle Betroffenen dürfen an der Ausgestaltung des Netzes mitwirken und nur den im Konsens getroffenen Entscheidungen wurde eine reelle Chance auf Durchsetzbarkeit eingeräumt (Hoffmann 2005, S. 10). Die Prinzipien dieser Art der *Self-Governance* finden in der technischen Architektur des Internets ihre Entsprechung: So liegt dem Internet ein radikal dezentralisiertes und minimalistisches Netzwerkkonzept zugrunde, das im Kern nur aus einer Sammlung offener, rechtlich nicht geschützter Protokolle besteht, die festlegen, wie Computer miteinander kommunizieren (Hoffmann 2005, S. 5). Charakteristisch ist das end-to-end Prinzip, d. h. eine Richtlinie die festlegt, dass ein Netzwerk nur für die Übermittlung von Daten zu sorgen habe, sodass an deren Enden eine beliebige Anwendung laufen kann. Die Internetprotokolle konstituieren damit ein Netz autonomer Netze ohne zentrale Steuerung, das die Kontrolle des Datenflusses an die Endnutzer delegiert (Hoffmann 2005; Sandvig 2003).

Diese dezentrale Netzwerkstruktur bildet die technische Grundlage für die kommunikative Vernetzung von Menschen in einer polyzentrischen, netzwerkartigen Struktur. Das demokratische Potenzial des Internets hat damit seine Grundlage in der horizontalen und offenen Netzwerkarchitektur. Howard Rheingold hat die darauf gedeihende Kommunikationsstruktur als *many-to-many*-Kommunikation bezeichnet, d. h. als Kommunikation von jedem mit jedem in virtuellen Communitys (Rheingold 1993). Es ist gleichsam die Grundlage, die das Internet als ein modernes und effizientes Kommunikationsmedium auszeichnet. Die Effizienz der Online-Kommunikation macht das Publizieren nicht nur billiger und schneller, sondern auch demokratischer, weil es prinzipiell jedem ermöglicht zu publizieren. Wird das Internet als modernes Massenmedium begriffen, ist in dieser Struktur verheißungsvoll verwirklicht, was bereits Berthold Brecht in seiner Radiotheorie forderte: Die Demokratisierung des Rundfunks durch seinen Wandel vom Distributions- zum Kommunikationsapparat, d. h. dem Vermögen, »den Zuhörer nicht nur hören, sondern auch sprechen zu machen und ihn nicht zu isolieren, sondern ihn in Beziehung zu setzen.«[5]

Es ist vor allem diese Besonderheit des Internets in seiner Eigenheit als ein sich selbst regulierender Raum, der den Visionen und Mutmaßungen über die Potenziale des Internets als ein Organ der »Demokratisierung von unten« den Grundstoff liefert und dabei auch die Frage aufwirft, ob die technische Selbstregulation des Internets Modell künftiger demokratischer Beteiligungsformen sein kann. Welcher Ort scheint geeigneter als ein in diesem Sinne herrschaftsfreier Raum für Jürgen Habermas Vision einer diskursiven Öffentlichkeit und dessen Zentralelement, dem rationalen, herrschaftsfreien Diskurs?[6] Vor diesem Hintergrund verwundert es wenig, dass sich mit der Entwicklung der ersten Computernetzwerke auch die Idee der Cyberdemokratie herausbildete. Diese in den 80er Jahren in den Vereinigten Staaten geborene Idee wurde von der Hoffnung getragen, dass durch die Bildung virtueller Gemeinschaften die Grundlage für einen demokratischen Aufbau der Gesellschaft gelegt werden könne. Das Modell war die elektronische Agora als Ort nicht-hierarchischer und freier Webkommunikation unter Freien und Gleichen. Ähnlich wie im Selbstreglement der technischen Architekturen des Internets dominiert auch hier die Ablehnung zentralistischer Regierungsformen und die Vorliebe für Konzepte der Selbstorganisation (Barbrook und Cameron 1997).

3 Das demokratische Potenzial des Web 2.0

Die vielbeschworene *many-to-many*-Struktur ist auf der Ebene des Internets als Programmierplattform nichts anderes als ein Potenzial möglicher *many-to-many*-Vernetzungen. Die konkrete Umsetzung der Kommunikationsstruktur manifestiert sich erst in den Webanwendungen. Erst auf dieser Ebene zeigt sich die konkrete Ausformung von Geschäftsprozessen oder Sozialpraktiken. So lassen sich die Grundprinzipien der Selbstregulation aus den frühen Tagen des Internets, wie Offenheit, Einfachheit, Bottom Up, Nutzerpartizipation, Konsensorientierung und Dezentralität wohl in der netzwerkartigen Kommunikationsstruktur der Blogosphäre finden, jedoch weniger auf den monolithischen, top-down moderierten Diskursplattformen.

In der Beschaffenheit der Kommunikationsstruktur liegt der wesentliche Unterschied zwischen den Anwendungen des Web 1.0 und des Web 2.0. Die Bezeichnung Web 2.0 [7] wird mit einer ganzen Reihe technologischer und sozialer Trends verbunden, die in den letzten Jahren zu einer neuen Dynamik des Internets geführt haben. Dazu zählen zum einen neue Softwaretypen wie Blogs und Wikis, aber auch Visualisierungs-, Erschließungs- und Vernetzungstechniken von Webinhalten, wie Social Tagging, Recommendation-Systeme oder RSS-Feeds. Zum anderen bezieht sich dieser Begriff auf die Beobachtung einer sich grundlegend verändernden Nutzungspraxis des Internets, die insbesondere durch das Auftauchen neuer Akteurs- und Organisationstypen gekennzeichnet ist. Das Web 2.0 steht damit auch für den aktiven Internetnutzer, der als Prosument (Toffler 1989) oder professioneller Amateur (Leadbeater und Miller 2004) in selbstorganisierten Communitys zur Unterhaltung, Information, Aufklärung, Produktentwicklung und Meinungsbildung beiträgt. Obwohl das Web 2.0 durchaus auch für die technologische Weiterentwicklung des Internets steht, bezieht sich dieser Begriff weniger auf eine spezifische Technologie oder Innovation, sondern auf die konsequente Nutzung bereits bekannter Technologien und eines veränderten Nutzungsverständnisses. Das Web 2.0 ist in diesem Sinne, wie es der Blogger Ian Davis recht treffend formuliert hat, eine Haltung und keine Technologie [8].

Der Schlüssel zum Verständnis dieses Phänomens liegt im Wandel des Menschenbildes verborgen, in der Veränderung der Wahrnehmung, die Internetnutzer nicht nur als amorphe und tendenziell inkompetente

Masse erscheinen lässt, sondern als intelligentes Potenzial, das erst durch den konsequenten Einsatz von Kommunikationstechnologien zur vollen Blüte gelangen kann. Howard Rheingold spricht von Smart Mobs (Rheingold 2002), James Surowiecki von der Weisheit der Vielen/The Wisdom of Crowds (Surowiecki 2007) und Tim O'Reilly von kollektiver Intelligenz (O'Reilly 2005). Vor dem Hintergrund dieser Visionen eines Zeitalters vernetzter Intelligenz wird deutlich, dass sich hinter dem Begriff Web 2.0 im Kern die Durchsetzung einer Sozialpraxis verbirgt, die auf offener und dezentraler Kooperation beruht. Diese Praxis, die im Vertrauen auf soziale Netzwerkeffekte und damit auf kollektive Intelligenz setzt, lässt sich als Bruch mit der Tradition formal rationaler Organisation deuten. Wie radikal dieser Bruch ist, wird deutlich, wenn die man die Visionen und Ideen des Web 2.0 mit dem Ideal bürokratischer Organisation kontrastiert. Der Soziologe Max Weber hat die Leistungsfähigkeit bürokratischer Organisation noch idealtypisch als maschinenhaften bzw. regelgeleiteten Mechanismus beschrieben (Weber 1976):

»Ein voll entwickelter bürokratischer Mechanismus verhält sich zu diesem genau wie die Maschine zu den nicht mechanischen Arten der Gütererzeugung. Präzision, Schnelligkeit, Eindeutigkeit, Aktenkundigkeit, Kontinuierlichkeit, Diskretion, Einheitlichkeit, straffe Unterordnung, Ersparnisse an Reibungen, sachlichen und persönlichen Kosten und bei streng bürokratischer, speziell: monokratischer Verwaltung durch geschulte Einzelbeamte gegenüber allen kollegialen oder ehren- und nebenamtlicher Formen auf das Optimum gesteigert. Sofern es sich um komplizierte Aufgaben handelt, ist bezahlte bürokratische Arbeit nicht nur präziser, sondern im Ergebnis oft sogar billiger als die formell unentgeltliche ehrenamtliche.«

In der hier beschriebenen Regelhaftigkeit bürokratischer Verwaltung lokalisiert Weber deren herausragende technische Überlegenheit und den entscheidenden Grund für den Siegeszug der Bürokratie. Webers Beschreibung enthält, was vielen immer noch als Garant effizienter Organisation gilt: hierarchische Ordnung, mechanische Präzision, Eindeutigkeit, Vermeidung von Reibungsverlusten, straffe Unterordnung, professionelle Tätigkeit. Das Web 2.0 lässt sich als Gegenentwurf zum Verständnis formaler Rationalität, hierarchischer Organisation und professionalisierter Arbeit begreifen: An die Stelle zentralistischer und hierarchischer Organisationsstrukturen treten dezentrale

und selbstorganisierte Zusammenhänge, aus dem hierarchischen Top-Down Modell wird das Netzwerk.

Mit Rückblick auf die Frühphase des Internets fehlte dem Web 1.0 nicht die freiheitlich gestaltete Basisarchitektur, sondern die partizipative Praxis eines selbstorganisierten »Mitmach-Webs«, die nicht nur die Welt technikversierter Visionäre erfasst, sondern auch den weniger technikversierten Menschen zugänglich wird. Das Web 2.0 erscheint dabei weniger als Marketingidee, sondern als Umsetzung der Urideen und Konzepte des Cyberspace auf die Ebene der Webanwendungen.

4 Zur Einschätzung der demokratischen Potenziale des Internets

Die von den Visionären eines Web 2.0 beschworene Kraft gemeinschaftlich entfalteter Vernunft, die sich auf der Grundlage moderner Kommunikationstechnologien herausbilden kann, ist keinesfalls unumstritten. Kritische Gegenpositionen zeigen sich in der Diskussion um die Digitale Spaltung der Gesellschaft und im generellen Zweifel an der Fähigkeit virtueller (Laien-) Gemeinschaften Sinnvolles zu produzieren.

Die Ideen und Ideale der Cyberdemokratie wurden bereits Ende der 1990er Jahre von den Soziologen Richard Barbrook und Andy Cameron als »Kalifornische Ideologie« kritisiert. Kritikwürdig erschien ihnen vor allem die Annahme, dass der Zugang zu Informationen automatisch zur Ablösung traditioneller demokratischer Institutionen und zur Verlagerung der politischen Willensbildung in den virtuellen Raum führen werde. Dieser Ideologie werfen sie einen naiven Technikdeterminismus vor, der blind mache, für die anwachsende soziale Kluft zwischen den »Information Rich« und den »Information Poor« bzw. für die Gefahren einer »Digitalen Spaltung« der Gesellschaft (Barbrook und Cameron 1997). Die international geführte Diskussion um die Risiken der Digitalen Spaltung ist von der Sorge getragen, dass die Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien soziale Ungleichheit und gesellschaftliche Konflikte nicht entschärft, sondern verschärfen könnte. Als Indizien dafür werden der ungleich verteilte Zugang zum Internet, gravierende Ungleichheiten in den kommunikativen Fähigkeiten sowie der Medien- und Technikkompetenz herangezogen.

Empirische Befunde belegen, dass die Nutzung des Internets immer noch von Faktoren wie Geschlecht, Alter,

formale Bildung, Einkommen und Berufstätigkeit abhängig ist (Hoecker 2002, Eurostat 2005, TNS-Infratest 2007, Initiative D21 2006). Mit den Anwendungen des Web 2.0 ist dieser Trend keinesfalls aufgebrochen. Die Diskrepanz von aktiver und passiver Nutzung pflanzt sich in den nutzergenerierten Inhalten (user generated content) fort. Gerade in der Bereitschaft und Fähigkeit, eigene Inhalte in das Netz zu stellen, wird deutlich, dass der aktive Netznutzer auch im Web 2.0 eine Minderheit (9 %) darstellt. Die meisten Menschen, insbesondere die älteren, einkommensschwachen und formal weniger gebildeten, nutzen das Internet nach wie vor passiv (TNS-Infratest 2007). Empirische Studien zeigen auch, dass die Qualität der Beiträge in Online-Diskursen zu wünschen übrig lässt (Hoecker 2002, Fuchs 2006) und ein einfacher Streifzug durch das *Mitmach-Web* macht offensichtlich, dass hier nicht nur Gutes, sondern auch viel Banales, sachlich Falsches, Geklautes, Diskriminierendes, Pornografisches, Kriminelles und Rassistentes zu finden ist.

Die empirischen Studien zeigen in der Tat, dass die Potenziale der *many-to-many*-Kommunikation nicht alle Netznutzer gleichermaßen einschließt. Die Studien können aber nicht belegen, ob dieser Befund tatsächlich die Schlussfolgerung zulässt, dass moderne Kommunikationstechnologien zu einer Verschärfung gesellschaftlicher Konflikte führen. Sowohl in der These von der Digitalen Spaltung als auch in den empirischen Untersuchungen, die diese These zu untermauern scheinen, präsentiert sich eine sehr verkürzte Sicht auf die Gefahren und Potenziale des Internets. Wovon konkret die Rede ist, das Internet in seiner Gesamtheit, seine Basisarchitektur oder ein bestimmter Anwendungstyp bleibt zumeist schwammig. Die eingesetzte Technik erscheint dabei in der Regel als gegeben und vermeintlich neutral. Verkürzte Sichtweisen fallen aber auch in den Positionen der zumeist technikversierten Visionäre einer Cyberdemokratie auf, die zumeist die Dynamik des gesellschaftlichen Kontextes unterschätzen. Obwohl sich die Cyberdemokraten auf die gesellschaftlichen Auswirkungen des Cyberspace beziehen, erscheint die Gesellschaft nur als Außenwelt, die automatenhaft auf technische Entwicklungen reagiert. In der Techniksoziologie werden die Folgen verengter Sichtweisen als Risiko technik-deterministischer Fehlschlüsse und technokratischer Sichtweisen thematisiert (Schwark 2003, Degele 2002). Technikdeterministische Positionen folgen in ihrer optimistischen Version der Annahme, dass sich bei hinreichender Durchsetzung einer Technolo-

gie die gewünschten Änderungen im sozialen Kontext quasi automatisch einstellen würden. Die Weiterentwicklung der Demokratie wird damit als Automatismus technischer Innovation begriffen (Schwark 2003).

Die Debatte um Segen und Fluch des Internets bekommt jedoch eine neue Wendung, wenn das Zusammenwirken von technischen Architekturen und menschlichem Handeln herausgestellt wird. Der amerikanische Rechtsgelehrte Lawrence Lessig stellt mit seiner These, dass der Code das Gesetz des Cyberspace sei (*Code is Law*), einen Zusammenhang von rechtlichen Normen und technischen Architekturen her. Der Code des Cyberspace, so seine These, entfalte als Regulationsinstanz mit ähnlicher Kraft wie Recht, Markt oder soziale Normen verhaltenssteuernde Wirkung. Die Architektur des Internets lässt sich in diesem Sinne als eine von Menschen geschaffene, sozial wirksame Umwelt begreifen, in der die in Code gefassten Architekturentscheidungen darüber bestimmen, welche Nutzungsweisen das Internet bietet und welche Nutzungsweisen es ausschließt (Lessig 2001). Ähnlich argumentiert Reidenberg, der in Anlehnung an die *Lex Mercatoria* des Handelsrechts von der *Lex Informatica* spricht. Wie Lessig geht auch Reidenberg davon aus, dass Recht und Regulierungspraktiken nicht als einzige Quelle der Verregelung zu betrachten sind, sondern dass technische Architekturen wie Recht wirksam werden und bestimmte Handlungsweisen erzwingen oder ausschließen (Reidenberg 1998). Mit der Betonung der normsetzenden Kraft technischer Architekturen rückt zunächst ins Bewusstsein, dass Software, ebenso wie die Protokolle des Internets, sozialen Ursprungs sind. Sie sind nicht aus dem Nichts entstanden, sondern werden von Menschen gemacht. In ihrer Gemachtheit spiegelt Software immer auch die kulturellen Vorstellungen ihrer Auftraggeber und Entwickler. Das heißt, es sind immer auch die Rationalitätsvorstellungen, Stereotype und Handlungsnormen von Menschen, die in die Designentscheidungen von Software einfließen. Software ist in diesem Sinne sozial und nicht neutral (Krempf 2001).

Wenn technische Architekturen sozial sind und über normsetzende Kraft verfügen, bleibt die Frage nicht aus, inwieweit Software bzw. technische Architekturen auch politisch sind (Krempf 2001; Winner 2004). Sie lassen sich in diesem Sinne ähnlich wie Recht als Steuerungsinstrument einsetzen. Sie können somit immer auch bewusst geschaffenes Mittel der Verhaltenssteuerung sein und zur Verwirklichung sozialer Ziele dienen. Da-

mit wird deutlich, dass sich die demokratischen Potenziale des Internets nicht stillschweigend als unumstößlich voraussetzen lassen. Der Ruf nach Regulation und Änderungen im Netzdesign, insbesondere der Versuch, das end-to-end Prinzip des Internets aufzugeben (Lutterbeck 2005), stellen somit immer auch das Internet als freie Infrastruktur in Frage. Damit stehen auch die demokratischen Potenziale des Internets zur Disposition, die jederzeit dem Sicherheitsdenken oder partiellen ökonomischen Interessen geopfert werden können.

5 Fazit: Wer bestimmt die Form der E-Demokratie?

Die Betonung der Bedeutung technischer Artefakte als Mittel der Steuerung und Interessendurchsetzung birgt allerdings auch das Risiko technik-deterministischer Fehlschlüsse, solange angenommen wird, dass bewusst gewählte Gestaltungsoptionen direkte Wirkung im Anwendungsfeld zeigen. Hier liegen auch die Verlockungen technokratischer Ansätze im Sinne eines *technological fix*, d. h. der Vorstellung, dass sich soziale Probleme technisch lösen lassen (Degele 2002, S.25; Etzioni und Remp 1972). Die Betonung der Gemachtheit, der normsetzenden Wirkung und der politischen Qualität technischer Architekturen eröffnet aber auch den Blick auf interessante Ansätze und Fragen, die in der Diskussion um die demokratischen Risiken und Potenziale des Internets ausgespart bleiben.

Wenn sich Sozialität in Webanwendungen zeigen kann, wenn in diese soziale Regeln eingeschrieben sind, die Einfluss darauf ausüben, wer mit wem auf welche Art und Weise kommunizieren kann, wenn sich Newsgroups, Chats, Diskussionsforen, moderierte Diskursplattformen, Wikis oder Blogs als mögliche, aber nicht zwingende Varianten der *many-to-many*-Struktur des Internets begreifen lassen, wirft das die grundsätzliche Frage auf, wer denn legitimerweise die Form demokratischer Praxis bestimmt. Wer legt fest, wer miteinander kommunizieren kann, wer oder was vernetzt wird und wie die internetvermittelte Demokratie konkret aussieht? Neben der offenen Frage, wer die Form der E-Demokratie bestimmen soll, bleibt vor allem offen, wie es denn zur Praxis elektronischer Demokratie kommen kann oder mit anderen Worten, was E-Demokratie überhaupt ist. Wer legt fest, in welche Richtung sich die E-Demokratie entwickeln wird, was sie einschließt und was sie ausschließt? Woher beziehen die Entwickler ihre

Modelle für die »innovativen Software-Lösungen«, die im Feld elektronischer Demokratie eingesetzt werden? Falls diese Modelle – wie so häufig – in den bekannten Praktiken der Offline-Welt gesucht werden, greift die Kritik des Medienwissenschaftlers Alexander Roesler, der sich darüber verwundert, dass die »utopische Dimension neuer Technik« so häufig im Vergangenen gesucht wird (Roesler 1997, S. 172). Soll diese Suche nach neuen Lösungen und Praktiken jedoch in einer bestenfalls schemenhaft erkennbaren Zukunft zu suchen sein, ist die Anwendungsdomäne E-Demokratie vor allem dadurch gekennzeichnet, dass künftige Entwicklungen noch weitestgehend im Dunkeln liegen. In Roeslers Kritik deutet sich bereits an, dass sich die Wirkung einer neuen Technologie auf die demokratische Praxis nicht im Vorwege abschätzen lässt, mehr noch, dass einer neuen Kommunikationstechnologie, wenn sie sich nicht nur rückwärtsgewandt gebärdet, schlichtweg die konkrete Praxis fehlt, die sich dann verteuflern oder bejubeln lässt. Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht verwunderlich, dass sich in der Literatur immer wieder Hinweise auf das Fehlen konkreter Handlungsansätze und Erfahrungen in der Umsetzung elektronischer Demokratie finden (Friedrichs, Hart, und Schmidt 2002; Kollbeck, Fazlik, und Ewert 2003).

Damit deutet sich ein erweitertes Verständnis elektronischer Demokratie an: E-Demokratie wird in diesem Sinne nicht nur als demokratische Auseinandersetzung entlang bestimmter Inhalte und Themen begriffen, sondern thematisiert auch die Ausgestaltung der Beteiligungspraxis selbst. Damit würde ein grundsätzlich anderer Weg beschritten werden als in der Entwicklung moderierter Diskursplattformen, die bereits die Form der demokratischen Auseinandersetzung vorwegnehmen. Konsequenterweise müsste dann versucht werden, die zivilgesellschaftlichen Akteure in die konzeptionelle Gestaltung der durch Software unterstützten demokratischen Praxis hineinzunehmen. Die Frage nach der Zukunft elektronischer Demokratie wäre damit auch eine Frage der Softwareentwicklung. Wenn das Web 2.0 als Demokratisierung der Medieninhalte zu begreifen ist, geht es hier um die Demokratisierung der Softwareentwicklung.

Anmerkungen

- [1] Diese Definition findet sich im »BMI – Lexikon der Innenpolitik« auf der Homepage des Bundesinnenministeriums: www.bmi.bund.de.
- [2] Die bislang bekanntesten Systeme sind die von der Firma TuTech Innovation GmbH entwickelte DEMOS Plattform und die von der Firma Binary Objects GmbH entwickelte Discourse Machine.
- [3] Zur Kritik an den öffentlich finanzierten Online-Diskursen vgl. auch Dowe 2007 und Märker 2007.
- [4] Der Begriff Blogosphäre bezeichnet die Gesamtheit der miteinander vernetzten Blogs und deutet auf die Wahrnehmung, dass Blogs durch ihre Vernetzungen Communitys bilden bzw. ein soziales Netzwerk repräsentieren.
- [5] Grundlage für Brechts Radiotheorie bieten die folgenden Schriften: Der Rundfunk als Kommunikationsapparat. Rede über die Funktion des Rundfunks (1932/33), Vorschläge für den Intendanten des Rundfunks (1928/29), der Aufsatz »Radio – eine vorsintflutliche Erfindung?« (1927/28) und das Hörstück »Der Flug der Lindberghs. Ein Radiolehrstück für Knaben und Mädchen« (1929).
- [6] In diesem Diskurs, der alle betroffenen Interessen berücksichtigt und nur das rationale Argument zum Zuge kommen lässt, sieht Habermas das wirksamste Mittel gegen die Demokratiedefizite repräsentativer Demokratien (Habermas 1999).
- [7] Der Begriff Web 2.0 tauchte erstmalig im Jahre 2004 als Name einer Konferenzreihe (Web 2.0 Conference) auf, die von Tim O'Reilly (O'Reilly Media Verlag) und Craig Cline (MediaLive) initiiert wurde.
- [8] »Web 2.0 is an attitude not a technology.« <http://iandavis.com/blog/2005/07/talis-web-20-and-all-that>

Literatur

- Ahlert, Ch. (1996): The Party is over: Vom selbstregierenden Internet zum regierten Cyberspace. In: Telepolis, Heise Zeitschriften Verlag, 07.07.2000, www.heise.de/tp/r4/artikel/8/8340/1.html [zugesgriffen: 20.10.2007].
- Barbrook, R./Cameron, A. (1997): Die kalifornische Ideologie: Wiedergeburt der Moderne? www.heise.de/tp/r4/artikel/1/1007/1.html [zugesgriffen: 31.08.2008].
- Bendrath, R. (2007): Demokrtiemaschine Internet? Das Netz als Projektionsraum politischer Utopien – und was daraus wurde. FIF-Kommunikation 03/07, S. 30-33.
- Coenen, Ch. (2005): Weblogs als Mittel der Kommunikation zwischen Politik und Bürgern. Neue Chancen für E-Demokratie? In: Schmidt, J./Schönberger, K./Stegbauer, Ch. (Hrsg.), Erkundungen des Bloggens. Sozialwissenschaftliche Ansätze und Perspektiven der Weblogforschung. Sonderausgabe, [kommunikation@gesellschaft](mailto:kommunikation@gesellschaft.de), Jg. 6.
- Degele, Nina (2002): Einführung in die Techniksoziologie. München: UTB Wilhelm Fink Verlag.
- Dowe, Ch. (2007): Legitimationsschwund in der Politik. In: Stiftung Mitarbeit (Hrsg.), E-Partizipation. Beteiligungsprojekte im Internet, Bonn, S. 194-213.
- Etzioni, A./Remp, R. (1972). Technological »Shortcuts« to social change. In: Science 175, S. 31-38.
- Eurostat (2005): Die digitale Kluft in Europa. Online-Publikation, eurostat.cec.eu.int [zugesgriffen: 25.10.2006].

- Friedrichs, S./Hart, Th./Schmidt, O. (2002): Balanced E-Government. Visionen und Prozesse zwischen Bürgernähe und Verwaltungsmodernisierung. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte B 39-40/2002*.
- Fuchs, Ch. (2006): ePartizipation Research: A Case Study on Political Online Debate in Austria. In: *ICT&S Research Paper Series No 1*. Salzburg: ICT&S Center. www.icts.sbg.ac.at/content.php?id=1380&m_id=1011&ch_id=1379. [zugegriffen: 20.10.2007]
- Habermas, J. (1999): Die Einbeziehung des Anderen. Studien zur politischen Theorie. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1. Auflage.
- Hoecker, B. (2002): Mehr Demokratie via Internet? Die Potenziale der digitalen Technik auf dem empirischen Prüfstand. Online-Publikation, www.bpb.de [zugegriffen: 14.07.2006].
- Hoffmann, J. (2005): Internet Governance: Eine regulative Idee auf der Suche nach ihrem Gegenstand. In: Schuppert, F. (Hrsg.): *Governance-Forschung – Vergewisserung über Stand und Entwicklungslinien, Schriften zur Governance-Forschung*, Baden-Baden: Nomos Verlag.
- Initiative D21, TNS Infratest (2006): (N)Onliner Atlas 2006. Eine Topographie des Digitalen Grabens durch Deutschland. Online Publikation, www.nonliner-atlas.de [zugegriffen: 04.11.2007].
- Kollbeck, J./Fazlik, N./Ewert, B. (2003): E-Demokratie. Stand, Chancen und Risiken. In: Schulzki-Haddouti, Ch. (Hrsg.): *Bürgerrechte im Netz*. Bonn, S. 227-260.
- Krempf, St. (2001): TP: Soziale Software schreiben. In: *Telepolis*, www.heise.de/tp/r4/artikel/4/4893/1.html [zugegriffen 18.07.2008].
- Leadbeater, Ch./Miller, P. (2004): *The Pro-Am Revolution. How enthusiasts are changing our economy and society*. Demos Publications, www.demos.co.uk/publications/proameconomy [zugegriffen: 21.08.2007].
- Lessig, L. (2001): *Code und andere Gesetze des Cyberspace*. Berlin (Originalausgabe New York, 1999).
- Lutterbeck, B. (2005): Infrastrukturen der Allmende – Open Source, Innovation und die Zukunft des Internets. In: Lutterbeck, B./Gehring, R. A./Bärwolff, M. (Hrsg.): *Open Source Jahrbuch 2005*, Berlin: Lehmanns Media, S. 329-346.
- Märker, O. (2007): Evaluation von E-Partizipation – am Beispiel online-moderierter Verfahren. In: *Stiftung Mitarbeit (Hrsg.), E-Partizipation – Beteiligungsprojekte im Internet*, Bonn.
- O'Reilly, T. (2005): What is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html.
- Reidenberg, J. (1998): Lex Informatica: The Formulation of Information Policy Rules Through Technology. In: *Texas Law Review* 76(3): 553-584. http://reidenberg.home.sprynet.com/lex_informatica.pdf [zugegriffen: 05.09.2008].
- Rheingold, H. (2002): *Smart Mobs. The Next Social Revolution*. Cambridge: Perseus.
- Rheingold, H. (1993): *The Virtual Community: Homesteading on the Electronic Frontier*. New York: HarperPerennial.
- Roesler, A. (1997): Bequeme Einmischung. Internet und Öffentlichkeit. In: Münker, St./Roesler, A. (Hrsg.), *Mythos Internet*, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 171-192.
- Sandvig, C. (2003): Shaping Infrastructure and Innovation on the Internet: The End-to-End Network that isn't it. In: Guston, D./Sarewitz, D. (Eds.), *Shaping Science and Technology Policy: The Next Generation of Research*. Madison: University of Wisconsin Press. Draft version, available at www.spcomm.uiuc.edu/csandvig/research/Communication_Infrastructure_and_Innovation.pdf. [zugegriffen: 25.09.2006].
- Schwark, S. (2003): Politische Macht und das Internet. In: Rogg, A. (Hrsg.), *Wie das Internet die Politik verändert – Einsatzmöglichkeiten und Auswirkungen*, Opladen, S. 97-103.
- Surowiecki, J. (2007): *Die Weisheit der Vielen – Warum Gruppen klüger sind als Einzelne*. München: C. Bertelsmann Verlag, 1. Auflage.
- TNS-Infratest (2007): *User Generated Content*. TNS-Infratest, Media Research.
- Toffler, A. (1989): *The Third Wave. The Classic Study of Tomorrow*. Random House Inc.
- Weber, M. (1976): *Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie*. Tübingen.
- Winner, Langdon (2004): Do Artifacts have Politics? In: *The Whale and the Reactor. A Search for Limits in the Age of High Technology*, Chicago: University of Chicago Press, S. 19-39.

Autor

Dipl. Soz. Maika Büschenfeldt

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht

Tel. +49 3375 508-379

maika.bueschenfeldt@tfh-wildau.de

Sicherer IT-Einsatz im kommunalen Bereich SAP R/3 beim LWL-Bau- und Liegenschaftsbetrieb

Bertil Haack, Georg Fehlauer

Zusammenfassung

Der Bau- und Liegenschaftsbetrieb LWL-BLB ist eine eigenbetriebsähnliche Einrichtung des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe (LWL) mit Betriebssitz in Münster, Nordrhein-Westfalen. Er führt den Immobilienbestand des LWL. Hierzu nutzt er das auf SAP R/3 basierende IT-System PROMOS.CITY der PROMOS consult GmbH, einem Kooperationspartner der TFH Wildau.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, die von den Autoren initiierte und maßgeblich durchgeführte Entwicklung des IT-Sicherheits- und insbesondere des Berechtigungskonzeptes des LWL-BLB im Zusammenhang mit dem Einsatz von PROMOS.CITY zu skizzieren. Zunächst werden der LWL-BLB vorgestellt sowie die Rahmenbedingungen erklärt, denen das IT-Sicherheitskonzept genügen muss. Danach wird auf die Realisierung, Dokumentation und Einführung des Berechtigungskonzeptes eingegangen. Abschließend werden notwendige weitere Schritte aufgezeigt, um das Sicherheitskonzept aktuell zu halten.

Abstract

The Bau- und Liegenschaftsbetrieb LWL-BLB, based in Münster, Nordrhein-Westfalen is an own establishment of the Landschaftsverband Westfalen-Lippe LWL. The LWL-BLB administrates the LWL real estate inventory using PROMOS-CITY. This is a SAP R/3 business solution developed by the PROMOS consult GmbH – a cooperation partner of the University of Applied Sciences Wildau.

The intention of this paper is to sketch the development of the LWL-BLB security and authorization concept concerning PROMOS.CITY initiated and significantly realized by the authors. At first we introduce the LWL-BLB and the general conditions with respect to the ict security concept. In the next step we describe the realization, documentation and implementation of the authorization concept. At least we discuss some steps which are necessary to keep the security concept up-to-date.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Der LWL-Bau- und Liegenschaftsbetrieb (LWL-BLB)

Der Landschaftsverband Westfalen-Lippe arbeitet als Kommunalverband mit 13.000 Beschäftigten für die 8,5 Millionen Menschen in der Region. Mit seinen 35 Förderschulen, 19 Krankenhäusern, 17 Museen und als einer der größten deutschen Hilfezahler für behinderte Menschen erfüllt der LWL Aufgaben im sozialen Bereich, in der Behinderten- und Jugendhilfe, in der Psychiatrie und in der Kultur, die sinnvollerweise westfalenweit wahrgenommen werden. Die neun kreisfreien Städte und 18 Kreise in Westfalen-Lippe sind die Mitglieder des LWL. Sie tragen und finanzieren den Landschaftsverband, den ein Parlament mit 100 Mitgliedern aus den Kommunen kontrolliert.

Der LWL-BLB mit Betriebssitz in Münster, Nordrhein-Westfalen, ist eine eigenbetriebsähnliche Einrichtung

des LWL, arbeitet als Dienstleister für den Verband und bestimmt Standardvorgaben im Bau- und Liegenschaftsbereich für den LWL. Der LWL-BLB hat 125 Beschäftigte unterschiedlicher Berufssparten – Ingenieure/innen, Architekten/innen, Betriebswirte/innen, Juristen/innen, Immobilien- und Verwaltungsfachleute, die für die Immobilien des Verbandes planen, bauen und diese bewirtschaften.

Der Immobilienbestand des LWL ist nicht an einer Stelle konzentriert, sondern über das gesamte Verbandsgebiet mit einer Fläche von etwa 21.400 km² verteilt. Er wird im LWL-BLB als Sondervermögen geführt und an den LWL im Vermieter/Mieter-Modell vermietet. Hierbei handelt es sich u. a. um die Verwaltungsgebäude am Standort Münster, um Schulen und um Gebäude und Liegenschaften aus dem Kulturbereich im Verwaltungsgebiet. Nicht zum Sondervermögen des LWL-BLB gehört der Gebäude- und Liegenschaftsbe-

stand der Krankenhäuser im LWL. Dieser befindet sich im Sondervermögen des jeweiligen Krankenhauses. Gleichwohl plant und baut der LWL-BLB hierfür und hält diesen Gebäude- und Liegenschaftsbestand nach. Die zusätzliche Anmietung von Objekten für LWL-Aufgaben oder die Vermietung von Objekten, die nicht mehr zur Aufgabenerfüllung des LWL benötigt werden, werden ebenfalls durch den LWL-BLB vorgenommen.

Randbedingungen für das Projekt

»IT-Sicherheitskonzept«

Der LWL-BLB stand vor der Aufgabe, innerhalb von drei Monaten Liegenschaften mit rund 250 Gebäuden (Bürogebäude, Schulen, Museen) verteilt in Westfalen-Lippe in sein Sondervermögen zu übernehmen, im Rahmen eines Vermieter/Mietermodells zu bewirtschaften, ein kaufmännisches Rechnungswesen zu implementieren und den Beschäftigten den Weg von der Behörde zu einem kommunalen Dienstleister zu ebnen. All diese Forderungen wurden Schritt für Schritt realisiert. Zu einem festgelegten Stichtag waren dabei der Finanzfluss für die Soll- und Habenseite des Betriebes zu gewährleisten, die Immobilien in den Geschäftsverkehr (Mietverhältnis) zu bringen und die Beschäftigten für die neue Aufgabe fit zu machen.

Zur Unterstützung dieser Aufgaben des LWL-BLB wurde auf Grundlage eines Vergabeverfahrens die SAP R/3-basierte immobilienwirtschaftliche Anwendung PROMOS.CITY des IT-Unternehmens PROMOS consult aus Berlin eingeführt. Die Software liegt auf einem Server außerhalb des LWL-BLB und wird extern betreut. Hierfür war ein maßgeschneidertes Sicherheitskonzept zu realisieren, wobei zu jeder Zeit im Projekt die erforderliche Sicherheit der Finanz- und Mietbuchhaltung zu gewährleisten war. Dazu wurde zeitnah zur Softwareeinführung ein Projekt »IT-Sicherheitskonzept« aufgesetzt. Dessen Idee bestand darin, das bereits existierende IT-Sicherheitskonzept des LWL-BLB schrittweise zu optimieren und am Einführungsstand von PROMOS.CITY auszurichten. Somit konnte und kann in jedem Moment die bestmögliche IT-Sicherheit gewährleistet werden.

Ziel und Aufbau des Beitrages

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, die von den Autoren initiierte und maßgeblich durchgeführte Entwicklung des IT-Sicherheits- und insbesondere des Berechtigungskonzeptes des LWL-BLB im Zusammenhang mit der Nutzung von PROMOS.CITY zu skizzieren. Im Einzelnen werden dazu der LWL-BLB vorgestellt sowie die

Rahmenbedingungen erklärt, denen das IT-Sicherheitskonzept genügen muss (Kapitel 2). Danach werden die Arbeitsschritte (Projektstufen) erörtert und es wird auf die Realisierung, Dokumentation und Einführung des endgültigen Berechtigungskonzeptes eingegangen (Kapitel 3). Kapitel 4 fasst die wesentlichen Überlegungen dieses Papiers kurz zusammen und zeigt notwendige weitere Schritte auf, um das Sicherheitskonzept aktuell zu halten.

2 Das Projekt »IT-Sicherheitskonzept«

Grundüberlegungen zu IT-Sicherheitsstandards

Für jeden Betrieb oder jede öffentliche Einrichtung stellt es eine Herausforderung dar, einen passenden Sicherheitsstandard für die Abwicklung datentechnisch gestützter zahlungs- und betriebsrelevanter Vorgänge zu finden. Kommt dieser Betrieb aus dem öffentlichen Bereich, sind zudem besondere haushalts- und kassenrechtliche Vorschriften zu berücksichtigen. Ziel ist es unbestritten, hier ein Höchstmaß an Sicherheit gegen Manipulationen und kriminelle Handlungen zu erreichen. Jedoch ergeben sich aus der Praxis vielfältige Fragen. Werden optimierte betriebliche Abläufe durch überhöhte Sicherheitsvorgaben gehemmt? Wie viel Sicherheit ist gefordert? Wie sinnvoll sind die getroffenen Maßnahmen? Welche Kosten entstehen? Wohl nicht umsonst gibt es wegen dieser Fragestellungen eine Menge an Sicherheitsempfehlungen und viele theoretische Abhandlungen zu verschiedenen Teilbereichen. – Wie gestaltet sich aber die Praxis? Einen einheitlichen, umfassenden Sicherheitsstandard zu definieren ist schwierig, weil z. B. für einen kaufmännisch orientierten Betrieb, in dem der monetäre Zahlvorgang im Vordergrund steht, ein zu erarbeitendes Sicherheitskonzept anders ausgerichtet sein muss als z. B. für ein Unternehmen aus dem Gesundheitsbereich, bei dem es beispielsweise um schutzwürdige Patientendaten geht. Entsprechende Sicherheitskonzepte und auch die dafür notwendigen Kontrollen und Prüfungen sind daran anzupassen. Zudem ist immer die Eigenart des Betriebes mit zu berücksichtigen. Aufgaben, Organisation und das eingesetzte Personal sind zusätzliche Faktoren, die ein Sicherheitskonzept beeinflussen.

Risikopotenziale

Risikopotenziale und damit Ansatzpunkte für das IT-Sicherheitskonzept sind insbesondere in den Regelungen, ihrer Dokumentation und transparenten Durchfüh-

rung zu nachfolgenden Themen der IT-Arbeitsabwicklung zu sehen:

- Zugriffsberechtigungen,
- Customizing,
- Programmentwicklungen und -änderungen,
- Test- und Freigabeverfahren,
- Releasewechsel.

Diese Komplexe können in zwei Gruppen zusammengefasst werden: Einerseits betreffen sie die Nutzung einer vorhandenen IT-Lösung, andererseits deren Veränderung. Entsprechend muss das Sicherheitskonzept zwei wesentliche Bausteine umfassen: zum einen ein Zugriffsberechtigungskonzept sowie zum anderen ein Change Management-Konzept mit den verbleibenden Teilbereichen Customizing, Programmentwicklungen und -änderungen, Test- und Freigabeverfahren und Releasewechsel.

Aus dem zeitlichen Ablauf der Implementierung einer IT-Anwendung in einem Unternehmen ergibt sich, dass Fragen der Zugriffsberechtigung in der Regel zunächst eine höhere zeitliche Priorität besitzen als Fragen der Änderung dieser Software. Im ersten Schritt geht es ja genau darum, die vorhandene Anwendung betriebsbereit zur Verfügung zu stellen und diese tatsächlich zu nutzen. Aus dem täglichen Umgang mit der Software, aufgrund gesetzlicher oder technischer Anforderungen oder aber auch weil die Anwendung seitens des Herstellers weiterentwickelt wurde, können sich dann zu späteren Zeitpunkten Änderungsanforderungen ergeben, die ein angemessenes Change Management erfordern.

Der LWL-BLB hat hierauf reagiert, indem die Erarbeitung und Einführung des Sicherheitskonzeptes in zwei Projektstufen vorgesehen wurden:

- Stufe I zur Entwicklung und Einführung des Zugriffsberechtigungskonzeptes,
- Stufe II zur Entwicklung und Einführung des Change Management-Konzeptes.

Projektphasen in Stufe I »Zugriffsberechtigungskonzept«

Allen Beteiligten war bewusst, dass die kurze Zeit zur Einführung einer Finanz- und Mietbuchhaltung (s. o.) ein Vorgehen in geeigneten Phasen auf Basis geeigneter grundlegender Regelungen erforderte. Der LWL-BLB hat sich für ein Vorgehen in drei Phasen entschieden: Einführungsphase, Feinabstimmung und Optimierung. Die Sicherheitseinstellungen der Finanz- und Mietbuchhaltung wurden jeweils an die bestehenden

Notwendigkeiten zum jeweiligen Einführungsstand der Software angepasst.

In der **Einführungsphase (Phase 1)** wurde von folgenden Basiskomponenten ausgegangen:

- ein am Einführungsstand orientiertes, mitwachsendes Berechtigungs- und Rollenkonzept (in einer Excel-Datei geführt),
- eine personalisierte Rechnerstruktur (pro PC-Kennung eine Userzuweisung),
- eine durchgängige automatisierte Zugriffsdokumentation (jeder Tastendruck wird automatisiert und nachvollziehbar dokumentiert) und
- eine laufende Dokumentation der einzuführenden Software.

Das Zusammenspiel dieser Basiskomponenten erlaubt im Rahmen einer Einführungsphase ein prüfungsfestes Sicherheitskonzept. Zudem war es notwendig, dass wegen der kurzen Einführungsphase die Zugriffsmöglichkeiten weiter gefasst sein mussten, ohne einen ausreichenden Sicherheitsanspruch zu vernachlässigen.

Nach der Einführungsphase folgte die **Feinabstimmung (Phase 2)**. Hier wurden die organisatorischen und betrieblichen Abläufe auf die immobilienbewirtschaftende Software detailliert angepasst. In vielen Fällen war es einfacher und wirtschaftlicher, die Organisation auf die Software abzustimmen als umgekehrt. Die Verantwortlichkeit wurde sukzessiv auf mehrere so genannte Key User mit klar abgegrenzten Bereichen und an der abgestimmten Aufgabe orientiert verlagert. An dieser Stelle wurde vom LWL-BLB eine unabhängige Prüfung des IT-Verfahrens durch eine Wirtschaftsprüfungsgesellschaft beauftragt. Ziel war es, die nunmehr abgestimmten Prozesse und das für die Einführung vorhandene Sicherheitskonzept durch die Prüfungsergebnisse für den Betrieb zu optimieren und an Abläufe zu koppeln. Die Prüfung schloss mit einem Maßnahmenkatalog der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft ab, der für den Betrieb vorhandene gesetzliche Regelungen und Vorschriften mit abdeckt.

Dieser Maßnahmenkatalog wurde zum Zweck der **Optimierung (Phase 3)** in zwei Aufgabenbündel geteilt, die im laufenden Betrieb neben dem Tagesgeschäft umgesetzt werden konnten. Das erste Paket befasst sich mit der Optimierung des Zugriffs- und Berechtigungskonzeptes und den damit verbundenen Abläufen (Stufe I des Projektes). Das zweite Paket beschäftigt sich mit der Dokumentation für das Änderungsmanagement im Softwarebetrieb und des Verfahrens des Gesamtbetriebes (Stufe II des Projektes). Das Gesamte

soll zudem nicht statisch aufgebaut sein, sondern sich dynamisch an Änderungen im Betrieb entwickeln lassen. Darüber hinaus ist die Forderung gestellt worden, eine möglichst allgemein verständliche Beschreibung zum Verfahren zu erhalten. Hintergrund dessen war das unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvolle Outsourcen von sehr fachspezifischen DV-gestützten Betriebsabläufen. Es muss hierbei jedoch die Kontrolle der Verfahren beim LWL-BLB sichergestellt sein, ohne dass dafür tiefgehendes Spezial-Know-how seitens des LWL-BLB erforderlich ist.

Projektstufe II »Change Management-Konzept«

Veränderungen am beim LWL-BLB eingesetzten IT-System PROMOS.CITY können vier verschiedene Ausprägungen haben:

1. Änderungen in den Zugriffsberechtigungen,
2. Realisierung von Änderungsanforderungen an PROMOS.CITY,
3. Releasewechsel,
4. Einspielen von Support Packages.

Die Regelungen, Verfahrensweisen und Hilfsmittel zu 1. sind Resultate der Stufe I des Projektes »IT-Sicherheitskonzept« LWL-BLB und als solche im Berechtigungskonzept dokumentiert (s. o.).

Demgegenüber liefert Projektstufe II alle Regelungen, Verfahrensweisen und Hilfsmittel zur Bearbeitung von Veränderungen des IT-Systems PROMOS.CITY gemäß 2. bis 4. Diese sind im Change Management-Konzept des LWL-BLB dokumentiert. Hierauf soll im vorliegenden Beitrag nicht detailliert eingegangen werden.

3 Überblick über das Zugriffsberechtigungskonzept

Anforderungen an ein Berechtigungskonzept im kommunalen Umfeld

Das Berechtigungskonzept ist ein wesentliches Merkmal der Betriebssicherheit. Es regelt die Handlungen von Personen mit der Software. Es erlaubt Handlungen und schränkt diese ein und ist auf die Organisation des Betriebes abzustimmen. Für ein Berechtigungskonzept im kommunalen Bereich sind zudem nicht nur sicherheitsrelevante Vorgaben zu berücksichtigen, sondern auch interne Regelungen, Vereinbarungen mit anderen Abteilungen der kommunalen Einrichtung und der Personalvertretung. So erfolgt z. B. in diesem die eigentliche Zahlung nicht beim LWL-BLB, sondern nach den

Rahmenregelungen des Verbandes in der LWL-Finanzabteilung. Hierfür musste ein eigenständiges Verfahren entwickelt werden, welches ebenfalls im Berechtigungskonzept einzuarbeiten war. Im öffentlichen Bereich ist zudem nicht nur die eigentliche originäre Sicherheit des Systems gefordert, sondern in erhöhtem Maße auch eine im öffentlichen Blickfeld stehende nachvollziehbare Korruptionsprävention. Der LWL-BLB hat hierfür eine strukturierte Verfahrens- und Ablaufdokumentation erarbeitet. Es wurde Wert darauf gelegt, dass nicht nur eine einmal aufgestellte statische Verfahrensdokumentation erarbeitet, sondern eine modifizierbare und handhabbare Dokumentation konzipiert wurde. Einzelne Dokumentationsbausteine wurden personalisiert. Das bedeutet, Personen sind verantwortlich mit der Weiterentwicklung der Dokumentation betraut. So wird sichergestellt, dass die Dokumentation bei Systemerweiterungen und -änderungen immer auf dem aktuellen Stand bleibt.

Aufbau des Berechtigungskonzeptes

Das Berechtigungskonzept setzt sich aus technischen, die Parameter der Software betreffenden Festlegungen sowie aus organisatorischen, die Arbeitsprozesse betreffenden Regelungen zusammen. Die technischen Festlegungen spiegeln sich in den Standard-Mechanismen von SAP R/3 zur Berechtigungsvergabe und in den speziellen Features von PROMOS.CITY wider. Die organisatorischen Regelungen führen zu spezifischen Arbeitsprozessen und spezifischen Werkzeugen wie etwa Formulare und Checklisten.

Seitens der Software R/3 steht eine Vielzahl von **Standard-SAP-Mechanismen zur Berechtigungsvergabe** und damit zur IT-konformen Absicherung der Betriebsplattform SAP zur Verfügung. Da dieser Beitrag im Wesentlichen die *spezielle* Nutzung von Standard-SAP-Mechanismen im Kontext des kommunalen Bereichs darstellen soll, wird auf eine umfangreiche Wiedergabe von *generellen* Aspekten des SAP-Berechtigungskonzeptes verzichtet. Hierzu sei auf die umfangreiche Literatur zu SAP-Berechtigungsthemen verwiesen (s. Literaturverzeichnis). Exemplarisch seien die folgenden Berechtigungsthemen genannt:

- Benutzerverwaltung (Kennwortrichtlinie, Usertypen etc.),
- Berechtigungskonzept mit Rollen/Profilen.

Die Benutzerverwaltung der SAP ERP Central Component (SAP ERP ECC) verwendet die durch den SAP NetWeaver Application Server für ABAP angebotenen

Mechanismen wie Benutzertypen und Kennwortkonzept. Die SAP ERP Central Component verwendet das Berechtigungskonzept des SAP NetWeaver Application Servers. Daher gelten für SAP ECC die Sicherheitsempfehlungen und -richtlinien für Berechtigungen, wie sie im Sicherheitsleitfaden des SAP NetWeaver Application Servers für ABAP beschrieben sind.

Mit Hilfe von Berechtigungen können Sie den Zugriff der Benutzer auf das System einschränken und somit Transaktionen und Programme vor unberechtigtem Zugriff schützen.

Grundlegend für die Berechtigungsmechanismen in einem SAP-System sind folgende Bausteine, die konkret festzulegen sind:

- Rollen,
- Berechtigungen,
- Berechtigungsobjekte,
- Berechtigungsprofile.

Neben diesen Berechtigungsmechanismen besteht für Administratoren im System die Möglichkeit, über eine Vielzahl von Mandanten-, Parameter- und System-einstellungen den Zugriff und die Veränderung von DB-Tabellen zu protokollieren. Diese Protokollierung kann auf Einzeltabellen, wie z. B. buchhalterischen Tabellen, festgelegt und über Audit-Reports ausgewertet werden. Damit kann vom Administrator jederzeit der Zugriff auf

sensible Bereiche eines SAP-Systems protokolliert oder sogar gänzlich eingeschränkt werden.

Die immobilienwirtschaftliche Anwendung PROMOS.CITY ist eine branchenspezifische Lösung auf Basis SAP R/3. Sie setzt auf den angesprochenen Standard-SAP-Mechanismen zu Berechtigungen auf und bietet ein revisionssicheres Berechtigungskonzept. Die wesentlichen **PROMOS.CITY-Mechanismen zu Berechtigungen** sind:

- SAP-Systemparameter,
- Mandanteneinstellungen,
- Repository/Tabellen,
- Benutzerverwaltung,
- Rollen und Berechtigungen,
- Berechtigungsvergabe,
- Notfallkonzept,
- System-Dokumentation.

Generell erfolgte die konkrete Ausprägung dieser Komponenten – beispielsweise die Einstellung der SAP-Systemparameter für den LWL-BLB – bei der Umsetzung des Projektes. Durch eine zentrale Protokollierung während der Einführungsphase wurden alle Einstellungen zusammengefasst und dokumentiert.

Die **organisatorischen Abläufe** zur Umsetzung des LWL-BLB-Berechtigungskonzeptes wurden in fünf Etappen entwickelt:

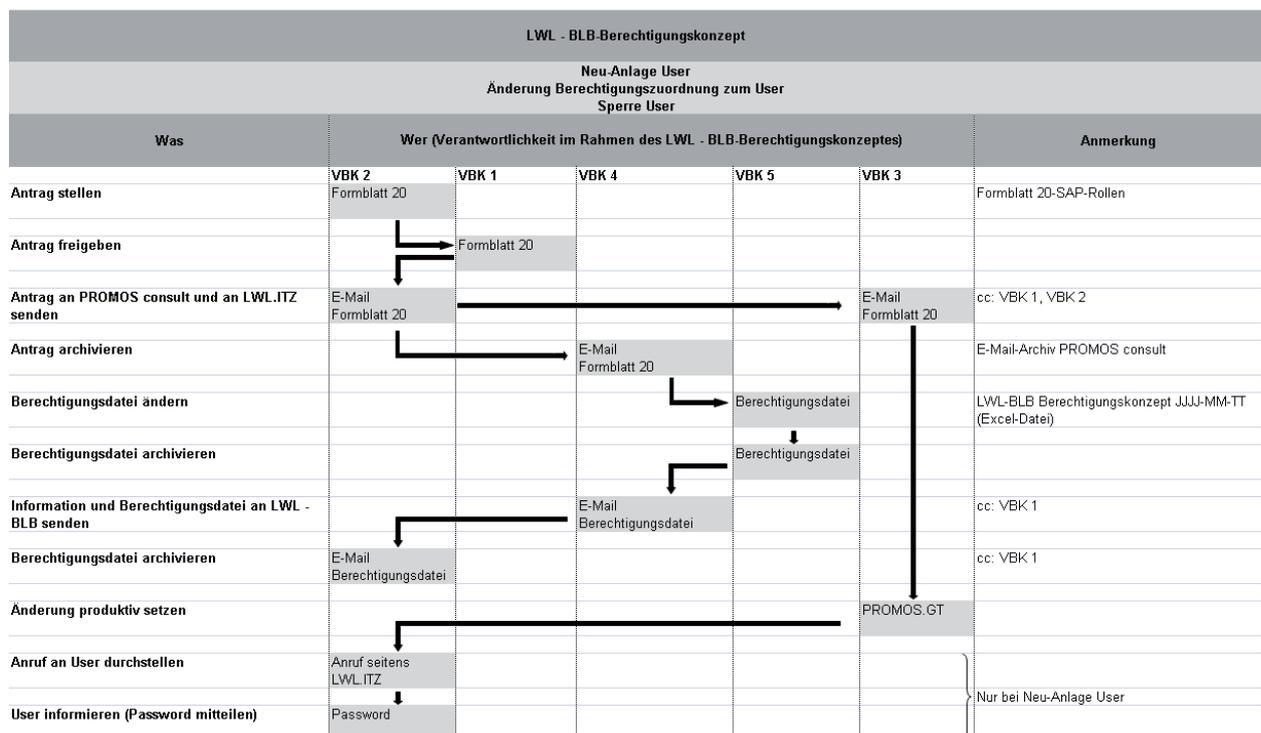


Abb. 1: Ausgewählte Prozesse im Berechtigungskonzept

- Analyse der Ist-Situation und Aufbereitung der Ergebnisse,
- Beschreibung der zukünftigen Arbeitsprozesse im Rahmen des Berechtigungswesens des LWL-BLB,
- Abstimmung und Überarbeitung der Arbeitsprozesse,
- Freigabe der Arbeitsprozesse,
- Einweisung der Mitarbeiter in das Berechtigungswesen (speziell: in die Arbeitsprozesse).

Am Ende des Projektes stand eine vollständige Beschreibung aller Aufgaben im Rahmen des LWL-BLB-Berechtigungswesens zur Verfügung. Es war damit festgelegt, wer wann welche Aufgabe im Berechtigungswesen wahrzunehmen hat.

Als Beispiel sei der Prozess in Abbildung 1 genannt. Er beschreibt, in welcher Weise die Aktionen

- Neuanlage User,
- Änderung Berechtigungszuordnung zum User,
- Sperre User

durchzuführen sind. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass die **Verantwortlichkeiten** für die einzelnen Prozessschritte durch ein auf Rollenkonzept geregelt werden, d. h. dass das Berechtigungskonzept auf Rollen

basiert, die von den jeweils zuständigen Mitarbeitern/innen wahrgenommen werden müssen. Im vorliegenden Fall sind dies insgesamt fünf Rollen, VBK1 bis VBK5 (VBK = Verantwortliche/r für das Berechtigungskonzept):

- VBK1 besitzt die Gesamtverantwortung für das Zugriffsberechtigungskonzept (Beispiel: Antrag Neuanlage User freigeben).
- VBK2 besitzt die fachliche Verantwortung für das Zugriffsberechtigungskonzept (Beispiel: Antrag Neuanlage User stellen).
- VBK 3 besitzt die Verantwortung seitens LWL.ITZ für die Durchführung von Berechtigungszuweisungen (Neuanlage User im System durchführen).
- VBK 4 besitzt die Gesamtverantwortung für das Zugriffsberechtigungskonzept seitens PROMOS consult (Beispiel: Änderungen Berechtigungsdatei bei Neuanlage User initiieren).
- VBK 5 besitzt die technische Verantwortung für das Zugriffsberechtigungskonzept seitens PROMOS consult (Beispiel: Änderung Berechtigungsdatei bei Neuanlage User durchführen).

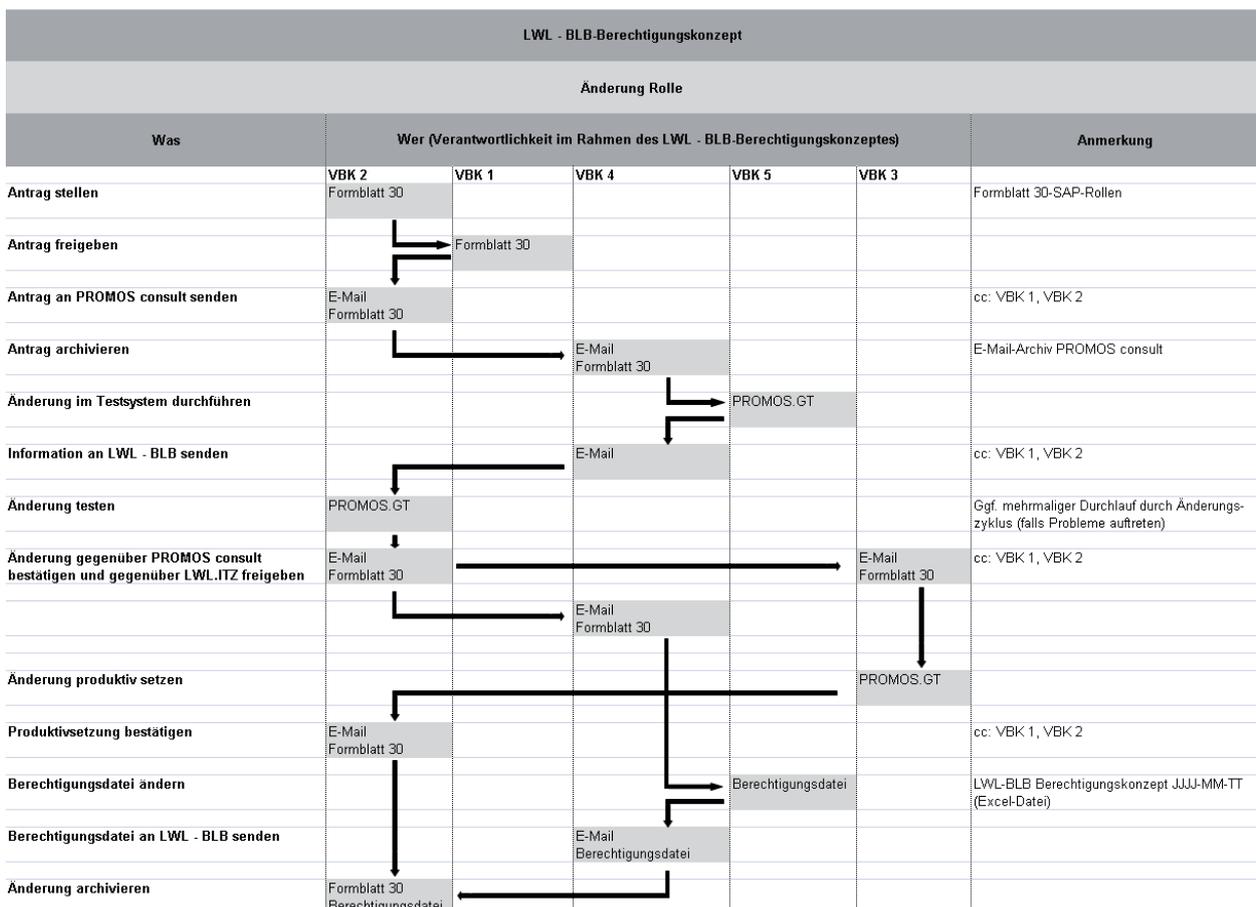


Abb. 2: Änderung von Rollen im SAP-System

Diese Verantwortlichkeiten kommen auch im Prozess in Abbildung 2 zum Tragen. Dieser legt fest, wie Änderungen an den im SAP-System gültigen Rollen (z. B. Mietbuchhalter) durchzuführen sind.

4 Fazit und weitere Schritte

Im vorliegenden Beitrag werden zentrale Überlegungen hinsichtlich des IT-Sicherheitskonzepts eines kommunalen Eigenbetriebes beschrieben. Ausgangssituation für die hier dargestellte Arbeit ist die Einführung der Software für die Immobilienbewirtschaftung PROMOS.CITY im LWL-Bau- und Liegenschaftsbetrieb. Im Zusammenhang damit wurde ein IT-Maßnahmenkatalog für den LWL-BLB entwickelt. Dieser kann als Basisdokument im Rahmen der IT-Sicherheitskonzeption des LWL-BLB betrachtet werden. Aus ihm wurde das IT-Sicherheitskonzept des LWL-BLB mit den Komponenten Berechtigungskonzept und Change Management-Konzept abgeleitet. Die einzelnen Positionen des Maßnahmenkataloges wurden hierfür im Verlauf der hier dargestellten Arbeitsschritte erledigt und damit das IT-Sicherheitskonzept in der gewünschten Weise realisiert.

Indem anschließend alle Positionen des Maßnahmenkataloges daraufhin betrachtet wurden, ob es sich um einmalige oder regelmäßig zu wiederholende Aufgaben handelt, wurde aus dem Maßnahmenkatalog zu guter Letzt eine To Do-Liste mit Verantwortlichkeiten und Terminvorgaben der Aktivitäten hergeleitet, die in Zukunft nachgehalten werden müssen, um das IT-Sicherheitskonzept und damit PROMOS.CITY jederzeit auf dem notwendigen aktuellen Stand zu halten. Maßgabe dabei ist, dass der LWL und der LWL-BLB jederzeit alle Grundlagen der ordnungsgemäßen Buchhaltung (GoB) erfüllen und damit insbesondere den Anforderungen des Wirtschaftsprüfers genügen müssen und wollen.

Das skizzierte Vorgehen kann und soll keine Allgemeingültigkeit für sich beanspruchen. Dessen ungeachtet liefert es Anregungen und gleichsam Rezepte für Unternehmen speziell im kommunalen Umfeld, die ebenfalls vor der Frage stehen, ein passendes Sicherheitskonzept für IT-gestützte zahlungs- und betriebsrelevante Vorgänge zu erarbeiten und sicherzustellen. Die einzelnen Vorschläge stammen aus der Praxis für die Praxis und zeichnen sich daher durch ihre Einfachheit, Effektivität und Effizienz aus. Zwischenzeitlich sind sie in ergänzter Fassung als Buch erschienen (s. Literatur).

Literatur

- Fehlauer, G./Haack, B./Schulz, V./Wollenhaupt, H. (2008): IT-Sicherheitsstandards im kommunalen Bereich – Das Sicherheitskonzept des LWL – Bau- und Liegenschaftsbetriebes, Berlin: PROMOS press.
- IBM Business Consulting Services (2006): SAP-Berechtigungswesen – Design und Realisierung von Berechtigungskonzepten für SAP R/3 und SAP Enterprise Portal, Bonn: Galileo Press (3. Nachdruck).
- Linkies, M./Off, F. (2006): Sicherheit und Berechtigungen in SAP-Systemen, Bonn: Galileo Press.
- Kösegi, A./Nerding, R. (2005): SAP-Änderungs- und Transportmanagement, Bonn: Galileo Press (2. aktualisierte und erweiterte Auflage).

Autoren

Dipl.-Ing. Georg Fehlauer

Projektverantwortlicher beim Landschaftsverband Westfalen-Lippe (LWL) – Bau- und Liegenschaftsbetrieb (BLB)
georg.fehlauer@lwl.org

Prof. Dr. Bertil Haack

Technische Fachhochschule Wildau
Dekan des Fachbereichs Wirtschaft, Verwaltung und Recht
bertil.haack@tfh-wildau.de
www.goals-strategies.com/haack

COMBLE: European Community of Integrative Blended Learning Experts

Christian Niemczik, Elke Brenstein, Margit Scholl

Zusammenfassung

Mit dem Comble-EU-Projekt entsteht ein neues innovatives Modell für die Anwendung von Blended Learning in verschiedenen Weiterbildungskontexten. Dafür werden mehrere Produkte für die Ebenen einer Weiterbildungsinstitution entwickelt. Basierend auf einem durch Anwendungspartner evaluierten Referenzmodell für Blended Learning soll ein Blended Learning Readiness Check entwickelt werden, der es Entscheidungsträgern ermöglicht zu erfahren, ob ihre Lerninstitution für die Implementation von Blended Learning bereit ist. Der Readiness Check wird als webbasiertes Tool erstellt und zusammen mit einer Beratung durch einen Experten angeboten. Auch auf der Ebene der Lehrenden soll ein europaweiter Austausch gefestigt werden. Hierzu wird eine europaweite »Methopedia« Community (www.methopedia.eu) aufgebaut, in der ähnlich wie bei Wikipedia gemeinsam Inhalte erstellt und gepflegt werden. Um Trainer in ihren methodischen und technologischen Fähigkeiten zu unterstützen wird ein Expertenkurs für Blended Learning entwickelt, der auf der Community-Seite zur Verfügung stehen wird. Der Kurs soll durch die Community frei veränderbar und damit für aktuelle Entwicklungen anpassbar sein. Auf der Ebene der Lernenden soll vor allem die Akzeptanz gefördert werden. Die European Blended Learning Driver's License soll Lernenden grundlegende IKT-Fähigkeiten vermitteln und sie in die Nutzung von Blended Learning Tools und Methoden einführen (Online-Konferenzen, VOIP, MindMaps, Application Sharing etc.), sodass lebensbegleitendes Lernen tatsächlich integraler Bestandteil ihrer lebenslangen Bildung werden kann.

Abstract

The COMBLE project defines new and innovative models for the use of Blended learning in different educational backgrounds (vocational training, enterprises, universities, public bodies). To use the potentials of Blended learning a European wiki-based community called Methopedia will be established. By contributing to the development of Blended learning COMBLE supports ICT relevant methods that are indispensable for lifelong learning in Europe. Moreover, COMBLE will address to management-level, learners and trainers at the same time.

We will develop a number of products - an applied reference model of Blended Learning, an expert course for trainers, and a European Blended Learning Driver's Licence within the overall frame of the Methopedia. These products support the development of a community for best practices and the use of Blended Learning to be used in all educational contexts. Moreover, the quality of education and training in Europe will be enhanced by improving innovative Blended Learning concepts.

COMBLE supports the successful implementation of Blended learning methods and strategies in the formal learning context of Vocational training, Continued Professional Development and Higher education systems. By working closely with application partners COMBLE develops practical, situated and innovative Blended Learning methods.

»We learn anywhere, anytime, anyplace; there are opportunities to learn all around us everyday. We learn in the home, office, on the road. Likewise, educational content can be shaped to fit all kinds of useful delivery media that is convenient, user-friendly, and (most important) serves the educational need of members without the content being shortchanged or trivialized.« (Smith, J., 2001)

1 Pitfalls of Blended Learning

Elliot Masie, in an Epic White Paper, answered the question »What is Blended Learning?« as follows: »It is the use of two or more distinct methods of training. This may include combinations such as: blending classroom instruction with online instruction, blending online instruction with access to a coach or faculty member,

blending simulations with structured courses, blending on-the-job training with brown bag informal sessions, blending managerial coaching with e-learning activities.«

Blended learning has been found to be a viable and effective approach to deliver high-quality, up-to-date, on-demand learning solutions in the face of diminishing education budgets in higher education, further education or business education (Thorne, 2003). Blended learning makes up the »fastest growing use of technologies in learning – much faster than the development of online courses.« (Alvarez, 2005). However, experience has also shown that blended learning solutions often do not live up to the potential of the approach or fail to produce the intended results because administrators, instructors and learners are lacking the relevant technical, methodological or organisational knowledge and experience (McLaughlin, M. & Mitra, D., 2001; Dirckinck-Holmfeld, 2002).

At the institutional/administrative level, administrators/managers may fail to realize the extent to which planning, implementing, evaluating, and maintaining blended learning solutions requires enforcing and supporting in-depth cultural and organisational change. To achieve sustainable high-quality learning outcomes, it is not enough to set up technical structures and educate trainers. Administrators/managers have to actively engage in change and acceptance management.

A successful blended learning strategy needs to take contextual factors such as the prevailing learning culture into account and address and deal with possible resistance to change on the part of all stakeholders (McPherson & Nunes, 2006; Koper, Rusman & Sloep, 2005; D'Antoni & Mugridge, 2004).

At the instructional level, educators and trainers coming from a traditional teaching background often find it difficult to integrate ICT and expand their methodological repertoire to meaningfully combine learning activities during face-to-face, live e-learning, and self-paced learning (Welker & Berardino, 2005; Schlager, M. S., & Fusco, J., 2004). They tend to resist changing established and proven instructional patterns unless they have experienced the possibilities of alternative methodologies for themselves. Often, the chosen »blend« merely consists of alternating traditional e-learning and instructor-led classroom components and does not accommodate the special needs of new forms of learning, e.g. self-organisation and online collaboration.

The choice of tools and methods is frequently driven by technological constraints rather than pedagogical requirements and learning activities are not integrated. The challenge is how to integrate virtual and face-to-face learning, and how to integrate the idea of communities of practice, professional development and problem and project based learning (Barab, S. A. & Duffy, T., 2000).

At the learner level, it has been shown that end users are not always equipped to handle the technical, psychological and organisational challenges of blended learning approaches. Learners, mainly accustomed to instructor-centred teaching methods in the classroom, do not acquire the necessary skills for self-organised, collaborative learning, which they need for distance learning (Sorensen & Takle, 2002).

2 Potential of Blended Learning

Blended learning has been shown to be an effective tool in public as well as corporate educational settings. In the Thomson Job Impact Study (2003, http://www.delmarlearning.com/resources/job_impact_study_whitepaper.pdf), researchers wanted to determine if blended learning increased the overall learning in a number of areas. The findings based on a survey of 128 participants from a number of corporate and academic organizations, including Lockheed-Martin, Utah State University, National Cash Register, and the University of Limerick in Limerick, Ireland support the effectiveness of blended learning. The results showed that the blended learning group »significantly« out-performed the traditional and e-learning group and they took less time to complete the real-world tasks than did the e-learning group. Overall, the blended learning classroom achieved a performance improvement of 30 percent.

Thus one of the most important advantages for business applications is its cost-effectiveness. Blended learning helps reduce expenditures related to traditional instructor-led training by reducing the amount of time needed for face-to-face instruction (Alvarez, 2005).

The benefits of using blended learning have been supported by research. The question remains how best to use the tools of blended learning to meet the goals of administrators, instructors and students. Therefore we create a model »Integrated Blended Learning«. The main principles are:

Integrated Blended Learning – Key Characteristics

- **Practice what you preach:** It is important that instructors use the methods that they want students to work with during teaching or when interacting with each other
- **Active learning:** Instruction still largely follows a receptive paradigm, knowledge is often absorbed without actively engaging with the content. When learning steps are supplemented with activities where learners have to question, restructure or discuss the content, superior learning results will ensue.
- **Blended Settings:** In many blended learning settings, face-to-face meetings are held traditionally without the use of computers. When interacting with the computer is part of in-class instruction, instructors can model the use of technology and students can practice and receive support when encountering problems. Thus they are less likely to run into problems and be discouraged when working on their own.
- **Open and Collaborative Learning Methods:** Learning is more effective when results can be worked out and discussed with co-learners. Many methods used in seminar and workshop settings can supplement traditional teaching methods for better effect.
- **Chaining learning activities:** Often times with modular learning solutions, activities are performed in isolation. This can be in-effective and demotivating. When results from one learning activity are used in the next activity, learning becomes more meaningful and motivating.
- **Accountability:** It is important that students are held accountable for their learning results.

IBL Success Factors

- The introduction of Blended Learning is supported by administration/management
- The organisation/institution expects more than cost reduction from introducing IBL
- Blended Learning is introduced gradually
- Early Adopters use the approach and can demonstrate its functionalities and the effectiveness
- Trainers/Instructors are involved in the implementation from the beginning
- Instructors and learners have basic computer and internet skills and access to the required infrastructure
- Instructors and learners have baseline knowledge of blended learning tools, methods and skills: collaboration in online conferences, writing texts online,

communicate via voip, brainstorming with mind maps in an application sharing etc.

- Instructors and learners are already used to activating and collaborative Methods
- Instructors and learners receive technical and didactical support
- Formative evaluation and quality control involves all stakeholders

3 The COMBLE Project – Foster Blended Learning

The overall objective for the COMBLE project funded by the EACEA Lifelong Learning ICT Programme is to improve the quality of Blended Learning in higher, further and business education by providing administrators, instructors and learners with knowledge, training, and consulting with regard to technical, didactic, organisational, and personal factors which may have an impact on the success of blended learning solutions. By including applications partners from three areas of education: higher education, vocational and further education as well as business education, practical considerations arising in different contexts are being explicitly considered.

The project is conducted by German, Danish, Polish and Estonian partners, taking primary responsibility for the following main objectives:

1. To assist administrators/managers in determining what is needed to implement successful learning outcomes in blended learning scenarios. To this effect, a Reference Model of Blended Learning Readiness is being developed, applied, and evaluated, lead by the German team at the University of Applied Sciences at Wildau, based on the theoretical and practical knowledge of the project partners and their application partners in all three areas of education and surveys and in-depth interviews with independent BL experts. Based on this reference model, the Blended Learning Readiness-Check, a procedure for the assessment of blended learning readiness at the level of the administrator, instructor and learner is being developed to support strategic planning, change management and the evaluation of BL scenarios at the institutional level.
2. To create a living community of Blended Learning Experts for instructors/trainers to share knowledge and experience regarding the implementation and evalu-

ation of blended learning methodologies. Methopedia, a European wiki-based community site, is being set up by the German and Estonian partners from the University of Tartu for interactive access to Blended Learning methods, information on blended learning related ICT software and the Reference Model of Blended Learning Readiness, and the Blended Learning Readiness-Check.

3. To improve educator's/trainer's ICT and method competence for interactive and collaborative learning. To this end, a Blended Learning Train-the-Trainer Course will be set up, led by the Danish partner from the E-learning lab at Aalborg University, with special focus on the integration of face-to-face and virtual learning methods with special emphasis on the use of innovative didactical approaches to foster self-organised and collaborative learning.
4. To empower learners for using BL by providing them with a standardized baseline knowledge of blended learning tools, methods, and skills. A Blended Learning Course to be certified as »European blended learning driving licence« is being developed to familiarize learners with the basic technologies, tools and methods for Blended Learning by the Polish partner at the Maria Curie Skłodowska University in Lublin. The course is modular allowing for the substitution of alternative (localized) methods and technical implementations to be added later by members of the community.

3.1 The Blended Learning Readiness Framework

Blended Learning Readiness will be a model to check if an institution is ready for learning with new learning technologies and collaborative methods. It will support institutions, which want to implement blended learning taking into account organisational, technical, methodical and psychological aspects. Therefore we will create a Reference model of blended learning. It will be developed applied in order to identify success factors of blended learning implementation. The reference model will be based and evaluated on the theoretical and practical knowledge of the project partners, the contextualized knowledge and experience of associated Application Partners and surveys for further institutions. Each project partner will collaborate with application partners (see Section D, table of application partners) who currently use blended learning solutions, to assess the effectiveness of strategies, tools and methods and to get detailed context information. The Reference Model as well as the Blended Learning Readiness-Check will be available and editable via the Methopedia community.

The reference model will be publicly available to the Blended Learning expert community in wiki form. It will initially be based on the knowledge and experience of the project participants, but can later be continually refined and extended by the members of the Methopedia community, depending on their contextualized knowledge and experiences.



Image: The main outcomes of the COMBLE project.

3.2 Methopedia

Learning technologies developed in recent years have a creative potential for improving quality of learning. However, this potential will only unfold if institutions implement suitable methodologies and learning cultures, and if instructors become able to integrate active learning by choosing fitting activities. As effects of assessments like Pisa show, learning institutions and educators want to benefit from the different learning cultures existing in Europe (Geller et al., 2007). To develop the Methopedia community for blended learning discussions and to share knowledge, methods and designs we wish to provide a wiki, as well as a connected social network. From the technical point of view the main product of the COMBLE project is therefore the development of Methopedia.

For trainers who already deal with blended learning related questions there have to be a platform for sharing detailed information's on methods. Therefore we want to build up a European wiki-based community called »Methopedia«, which will be set up by the German partners. The target group of Methopedia are mainly the managers and the trainers – first of all the trainers of the application partners and the connected networks.

To choose a suitable technology, we created a requirement profile by searching for similar projects and also by evaluating different wiki engines. There are already many resources about e-learning and blended learning on the Internet and we have already mentioned some of the interesting collections of activities (e. g. <http://www.learn-line.nrw.de/angebot/methodensammlung/liste.php>). In order to gain an overview of some of the existing solutions, find inspiration and elicit some preliminary requirement we have also viewed and evaluated a number of other sites e. g.:

- <http://www.uni-duesseldorf.de/ttt/?id=91&kat=b15>
- http://lehrerfortbildung-bw.de/kompetenzen/projektcompetenz/methoden_a_z/

Our general impression was that many of the collections were quite static, without possibilities to rate, discuss, change or add new activities. From the outset we wanted Methopedia to be an active community/network for sharing and creating; something which is also very important to engage partners and other practitioners in the process of developing a framework for shareable learning designs. Therefore, we have created the following tentative requirement list, which we expand on in the following sections:

Need to have	Nice to have
General: <ul style="list-style-type: none"> ■ Open Source ■ Big Developer Community ■ Languages Interfaces Wiki techniques: <ul style="list-style-type: none"> ■ XML-Interface (for export) ■ ACL-Rights-Management ■ Visually Customisable ■ Spam protection ■ Social support (connecting social software) User functionality: <ul style="list-style-type: none"> ■ WYSIWYG ■ Template support (Templates for: Approaches, Methods, Course designs) ■ Page History ■ Conflict resolution ■ Embedded multimedia ■ Possibility to comment/rate resources ■ Social bookmarking ■ Discussions 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Top contributors ■ Top topics ■ New at Wiki ■ Visual overview (like concept map or mind maps) ■ »Top rated« box

In order to identify the appropriate wiki we used »wiki matrix« (<http://www.wikimatrix.org/>) for a pre-evaluation. Based on our list we found that the best tool for our requirements is the MoinMoin wiki (<http://moinmoin.wikiwikiweb.de>).

Apart from the technical requirements there are a number of socio-technical requirements that need to be addressed in order to create, sustain and nurture a living community. Although, we are aware that social interaction does not emerge automatically by providing people with certain functionalities, we focus, in this paper, on outlining some envisioned functionalities of Methopedia, rather than discussing in depth the 'social drivers' that need to be in place for a community to flourish.

According to (Wenger, 1998) communities of practice are characterised by: a joint enterprise, mutual engagement and a shared repertoire, whereas the idea of a network is characterised by weaker common or shared motives: »Network members share a marginal sense of commitment to each other, but are typically induced to contribute to the network as a means to increase their personal reputation and to collectively create a resource that has greater value than individual or group contribution and perspective (Zarb, 2006). Reward mechanisms for contribution to networks include peer review/ranking and other forms of both formal and informal contribution recognition.« (Dron & Anderson

2007, p. 2461). In this sense the social drivers may differ and change depending on the social architecture and composition of the participants. Also the drivers may vary for different user groups within the Methopedia-context.

3.3 Blended Learning Driver's Licence

The »European Blended Learning Drivers Licence« will be an online course including a certification. It will be developed to foster the learner's blended learning related ICT learning and collaboration competence. Trainers could use the course for their trainings, but also learners e. g. from (online) universities, European wide companies or members of the government. The course will be modular allowing the substitution of alternative methods and technical implementations. It will be downloadable as a SCORM package in Methopedia community. The course will be available in English and in the languages of the project partners. The Methopedia community will have the possibility to translate the course into further languages. Successful learners receive the »European Blended Learning Drivers Licence« certification by the University of Lublin, which guarantees the quality standards of the course and learners' competences in ICT and learning.

3.4 The Blended Learning Expert Course

The aim of the BL Expert Course is the development and testing a blended learning, certificated expert training course. The course will be based on the tailoring of »off-the-shelf products«, and an appropriation of Problem Based learning (PBL) approach. The development will take point of departure in a needs analysis of the application partners, and the tailoring of modules in relation to the Master program for professionals on ICT and Learning (MIL). Successful expert trainers receive a certificate issued by COMBLE Community and Aalborg University/Master in ICT and Learning, which guarantees the quality standards of the course and students' competences in ICT and learning. Furthermore the course will foster the integration of face-to-face methods and self-regulated as well as collaborative methods in order to enhance the learning ability of the learners. The course will be available in English and in the languages of the project partners. The course will be included as SCORM into the Methopedia community, which will be able to translate the course into further languages.

4 Outcome and Benefits of the COMBLE Project

The COMBLE project takes a **holistic and integrative view of the blended learning** in that it addresses issues related to the successful implementation of alternative forms of teaching and learning at *three levels*: the institutional, the instructional and the learner level. At the same time it addresses *different domains* by including technical, didactic, organisational and personal factors, which will be researched and represented in the reference model. Finally, by including applications partners from *three areas of education*: higher education, vocational and further education as well as business education it will be assured that practical considerations arising in different contexts are being considered.

Use of innovative didactical approaches: Equal emphasis will be placed on the use of open learning methods in classroom and distance learning in order to foster self-organised and collaborative learning. Based on the *Integrated Blended Learning Approach*, developed by the German partners, instructors will learn to design learning solutions where learning activities are not presented in isolation but interlaced and chained across instructional units. This has been shown to be a key factor for successful blended learning scenarios as it keeps learners active and motivated. It is also very effective as materials are re-used and recycled in different stages of the educational process. The principles will be documented on the Methodpedia site and applied in the Blended Learning Expert Course as well as the European Blended Learning Drivers Licence.

Literature

- Alvarez, S. (2005). Blended learning solutions. In: Encyclopedia of Education Technology, ed. B. Hoffman. <http://coe.sdsu.edu/eet/articles/blendedlearning/index.htm>.
- Barab, S. A./Duffy, T. (2000): From practice fields to communities of practice. In: Jonassen, D./Land, S. M. (Eds.): *Theoretical Foundations of Learning Environments* (pp. 25-56). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- D'Antoni, S./Mugridge, I. (2004): Virtual universities and transnational education: Policy issues: What are they? And whose are they? Internet discussion forum 19 January – 20 February, IIEP/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. Retrieved May 20, 2005, from http://www.unesco.org/iiep/virtualuniversity/forums2.php?queryforums_id=1&querychapter=1
- Dirckinck-Holmfeld, L. (2002): Designing Virtual Learning Environments Based on Problem Oriented Project Pedagogy. In: Dirckinck-Holmfeld, L./Fibiger, B.: *Learning in Virtual Environments* Frederiksberg C, Samfundslitteratur Press.
- Dron, J./Anderson, T. (2007): Collectives, Networks and Groups in Social Software for E-Learning. In: Richards, G. (Ed.): *World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2007*, AACE, Quebec City, Canada, pp. 2460-2467.
- Koper, E. J. R./Rusman, E./Sloep, P. (2005): Effective Learning Networks. *Lifelong learning in Europe*, 1, pp. 18-27.
- McLaughlin, M., & D. Mitra. (2001). Moving deeper and broader with theory-based change *Journal of Educational Change*, 3(1), pp. 301-323.
- McPherson, M. A./Nunes, J. M. (2006): Organisational Issues for e-Learning: Critical Success Factors as Identified by HE Practitioners. *International Journal for Educational Management*, 20(7), pp. 542-558.
- Schlager, M. S./Fusco, J. (2004): Teacher professional development, technology, and communities of practice: Are we putting the cart before the horse? In S. Barab, R. Kling, and J. Gray (Eds.), *Designing Virtual Communities in the Service of Learning*. Cambridge University Press.
- Scholl, M./Dressler, T./Niemczik, Ch./Brenstein, E. (2006): eBusiness + eGovernment + eLearning: Technologiestützter After Sales Services in KMU, Workshop, 3. Fernausbildungskongress der Bundeswehr, Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr, Hamburg, September 2006.
- Sorensen, E. K./Takle, E. S. (2002): Collaborative knowledge building in web-based learning: assessing the quality of dialogue. *The International Journal on E-Learning* 1, No.1, pp. 28-32.
- Thorne, K. (2003). *Blended Learning: How to Integrate Online and Traditional Learning*. London: Kogan Page Limited.
- Welker, J./Berardino, L. (2005): Blended Learning: Understanding the Middle Ground between Traditional Classroom and Fully Online Instruction. *Journal of Educational Technology Systems*. vol. 34. no. 1:33-55.
- Wenger, E. (1998): *Communities of Practice – Learning, Meaning, and Identity*, Cambridge University Press, New York.

Authors

Christian Niemczik (Projektmitarbeiter)

Prof. Dr. Margit Scholl

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 christian.niemczik@sudile.com
 margit.scholl@tfh-wildau.de

Dr. Elke Brenstein

Learning & Development Consultant, Trainer & Coach
 Dotconex
 Elke.Brenstein@dotconex.com

Das EU-Projekt MOPEM – europaweite Nutzung elektronischer Lernpfade in der Marketing-Weiterbildung

Margit Scholl, Ulrike Tippe

Zusammenfassung

Im Projekt »Marketing Online – Path to Enter New Markets« wollen sieben Partnereinrichtungen aus fünf Ländern der defizitären europäischen Online-Ausbildung im Bereich des fortgeschrittenen Marketings begegnen. Die Lernkurse zum fortgeschrittenen Marketing für Europäische Märkte sollen anhand von Fallstudien praxisorientiert die kulturellen Unterschiede berücksichtigen, modularartig separierbar und wiederverwendbar sowie unabhängig vom konkreten Bildungssystem aufgebaut sein, sodass sie bei beliebigen Bildungsträgern einsetzbar sind und den Bedürfnissen der am Markt agierenden Unternehmen Rechnung tragen. Dabei nimmt der Einsatz der »neuen« Medien weiterhin in allen Bereichen stark zu und führt zu permanenten Veränderungen im Anforderungsprofil der Beschäftigten. Neben Technik, Organisationsaspekten und ökonomischer Dimension ist bei deren Einführung insbesondere auf die Didaktik der Online-Lernprozesse und deren betriebliche Verzahnung zu achten, um einen wirklichen Wissenszuwachs zu erhalten. Das Projekt MOPEM ist für die TFH Wildau ein wichtiger Baustein in der Profilstärkung, erfolgreiches Online-Lernen mit selbstorganisierten Projektstudien anbieten und einsetzen zu können.

Abstract

The project »Marketing online – path to enter new markets« is a response to the scarcity of the online marketing training offer for the company workers in the countries participating in the project. The universities offering courses include solely the basics of marketing. Advanced modules are often not available or not in the necessary quality. Moreover, academic training vaguely corresponds to the needs of company workers who need to deal with practical marketing dilemmas on a daily basis. Therefore the cooperation for the project consists in partners from 5 European countries (Poland, Germany, Portugal, Denmark, Italy) willing to create modules and specialisation paths dealing with advance marketing on European market. On the content-related basis and educationally independent attention is paid to training needs of the developing companies' workers. This article shows well-chosen, first results especially of the German contribution to the project and treats the question how we can use such results in our university in future.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Das Projekt **MOPEM** steht für »Marketing Online – Path to Enter new Markets« und ist ein von der polnischen Banken-Bildungsstätte TEB Education Corporation (Towarzystwo Edukacji Bankowej SA) in Poznań bei der EU [1] beantragtes Projekt, das mit einer Fördersumme von 349.595,- Euro von Juni 2007 bis März 2009 mit Partnern aus Polen, Deutschland, Dänemark, Portugal und Italien durchgeführt wird. Die Technische Fachhochschule Wildau ist der deutsche Partner in diesem Projekt. Mit unserem Artikel möchten wir ausgewählte erste Ergebnisse speziell des deutschen Beitrags zum Projekt eingebettet in den Gesamtzusammenhang,

darstellen, das gewählte didaktische Konzept erläutern und der Frage nachgehen, wie wir uns zukünftig eine umfassende Nutzungsmöglichkeit der Projektergebnisse an unserer Hochschule vorstellen.

Ausgangssituation ist die defizitäre europäische Online-Ausbildungsmöglichkeit im Bereich des *fortgeschrittenen* Marketings. Zwar sind Marketing- und Marktkenntnisse in allgemeiner Form elektronisch durchaus zugänglich, doch sind sie meist wenig spezifisch für die Fragestellungen der Unternehmensmitarbeiter ausgearbeitet und konkretes Spezialwissen fehlt im Online-Lernprozess. Dem möchten die **MOPEM**-Partner aus den genannten fünf europäischen Ländern durch folgende Zielsetzung [2] begegnen:

- Entwicklung von Lernmodulen, die gleichermaßen für Unternehmensmitarbeiter und Studierende geeignet und auf unterschiedliche Lernplattformen einsetzbar sind. Kurse zum fortgeschrittenen Marketing für Europäische Märkte sollen anhand von Fallstudien praxisorientiert die kulturellen Unterschiede berücksichtigen, modularartig separierbar und wiederverwendbar sowie unabhängig vom konkreten Bildungssystem aufgebaut sein, sodass sie bei beliebigen Bildungsträgern einsetzbar sind und den Bedürfnissen der am Markt agierenden Unternehmen Rechnung tragen.
- Beispielhafte Definition von zwei spezifischen Lernpfaden durch die entwickelten Kurse bzw. Lernmodule, die anhand eines methodischen Konzeptes die Lerninhalte optimal ausnutzen und den Lernenden in Aus- und Weiterbildung mit E-Learning oder Blended Learning die spezialisierten Marketingkompetenzen erfolgreich vermitteln helfen. Das Konzept solcher Spezialisierungspfade ermöglicht den lernenden Teilnehmern eines Kurses, den Lernprozess zu individualisieren und nach den eigenen Bedürfnissen zu regulieren.
- Nachhaltige Nutzung der interaktiven, multimedialen Lernkomponenten durch leichte Übertragbarkeit und europaweite Wiederverwendbarkeit unter Ausnutzung von technischen Standards und konkretisierten didaktischen Methoden.
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Erstellung von E-Learning-Modulen durch Schaffung der Möglichkeit der Wiederverwendung der verschiedenen Lernmodule in unterschiedlichen Kontexten wie z. B. in verschiedenen »Lernpfaden« bzw. Lernumgebungen oder »Content Pools« (s. Abschnitt 2).

Mit dieser Zielsetzung ist das Projekt **MOPEM** eine Antwort auf die derzeitige Knappheit des online zur Verfügung stehenden Lehr- und Lernangebots zum praxisorientierten Spezialwissen eines fortgeschrittenen Marketings insbesondere für Unternehmensmitarbeiter in Europa. In Deutschland dürfte das entwickelte Angebot vor allem für Mitarbeiter in am europäischen Markt agierenden kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) von Interesse sein. Der untersuchten Nachfrage entsprechend sollen die Mitarbeiter konkrete Problemlösungen durch qualitativ hochwertige Inhalte erhalten, die mit praktischen Aspekten und Handlungsanweisungen verflochten sind. Dabei zielt das Projekt **MOPEM** keineswegs nur reines Faktenwissen, sondern auch auf den Wissensprozess

und das Umfeld, wodurch die individuellen und organisatorischen Rahmenbedingungen, die entsprechenden Lernprozesse und didaktischen Methoden von besonderer Bedeutung sind. Die von den Nutzern dieses Projektes unter dem Aspekt eines lebensbegleitenden Lernens gewonnenen spezifischen Sachkenntnisse werden gleichzeitig helfen, ihre Beweglichkeit auf dem europäischen Arbeitsmarkt zu vergrößern.

Insgesamt werden zwölf Kurse, zwei Lernpfade und 14 Fallstudien erarbeitet. Folgende zwölf Themen fortgeschrittener Marketingkurse wurden vereinbart, die jeweils aus drei bis fünf Modulen (= Kapitel) bestehen sollen:

- Public Relations in the Communication of an Enterprise,
- Marketing Planning and Managing Process,
- E-Commerce,
- Advertisement as a Marketing Tool,
- Market Research,
- Services Marketing,
- Marketing: an European Perspective,
- Relationship Marketing and Customer Loyalty,
- Strategic International Marketing,
- Internet Marketing,
- Customer Relationship Management Systems,
- Business Communication and Event Marketing.

Zurzeit der Fertigstellung des Artikels (November 2008) sind 60% der Projektmanagementaufgaben vollendet. Es verbleiben u. a. noch das Begleiten der Tests beim praktischen Einsatz der Kurse und ihre Bewertungen, die Analyse und die Umsetzung der Ergebnisse sowie die Entwicklung eines Geschäftsmodells für die anstehende Kommerzialisierung der Lernkurse.

2 Qualitätssicherung in MOPEM

Als ein erstes Ergebnis hat sich in **MOPEM** gezeigt, dass eine »lineare Verantwortlichkeit« zwischen Autor und Methodologe, wie es Abb. 1 suggerieren mag, **nicht** funktioniert. Vielmehr müssen beide bei allen Lernzielen direkt und eng ihre Kompetenzen austauschen. Ihre Arbeit wird im Projekt durch weitere Partner unterstützt, die zum einen auf die Kursproduktion und zum anderen auf die Qualitätssicherung aller Prozesse fokussiert sind.

In einem solchen interkulturellen Projekt, wie es **MOPEM** darstellt, geht es mit sehr unterschiedlichen Vorstellungen und Arbeitsweisen auch um die Bedeutung und Definition von Begrifflichkeiten, wie z. B. die Frage,

MOPEM learning goals	Responsibility
Increasing knowledge, self-confidence and intercultural competence in international markets	Author – realization by preparing proper source materials
Obtain highly specialized knowledge	
Have competence in advanced marketing	
Increase mobility on the labor market	
Problem solving and problem formulation	Methodologist – realization by choosing proper set of activities
Self-direct learning: Learning to learn.	
Team working	
Collaborative	

Abb. 1: Definierte Verantwortlichkeiten zwischen Autoren und Methodologen laut Zwischenbericht, [3, S. 10].

was ist ein *Kurs* und was ist ein *Modul*? Oder was versteht man unter einem *multimedialen* Kurs und mit welchen Hilfsmitteln erstellt man Multimedialkomponenten?

Aufgrund dieser und ähnlicher Erkenntnisse liegt das besondere Augenmerk im den Kurserstellungsprozess von Beginn an begleitenden aktiven Qualitätsmanagement. Die Qualitätskontrolle wird nach dem GARI-Modell realisiert. **GARI** steht für **G**oals and contents, **A**ctivities, **R**esources und **I**nfrastructure. Die Verwendung dieses Modells erfolgt in vier Schritten:

- Die Lernziele (goals) klar formulieren und mit den zielgruppenorientierten Inhalten (content) in Übereinstimmung bringen.
- Die Online-Tätigkeiten so spezifizieren, dass sie zu klaren Aktivitäten (activities) führen, die die ausgewählten Lernziele unterstützen.
- Das Spezifizieren von Online-Hilfsmitteln (resources), die erforderlich sind, um die ausgewählten Tätigkeiten durchführen und die Lernziele erreichen zu können.
- Das Benennen der notwendigen Infrastruktur (infrastructure) für Lehrende und Lernende, um die ausgewählten Ressourcen, Aktivitäten und Lernziele zu unterstützen.

Seit August 2008 werden die Testphasen der erstellten Kurse vorbereitet, die im Verlaufe des Wintersemester 2008/2009 mit Studierenden in Fern- oder Direktstudiengängen sowie mit Mitarbeitern aus Unternehmen oder in Weiterbildungsveranstaltungen durchgeführt werden. Grundlage bildet die in Abb. 2 dargestellte Teststrategie. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass die inhaltliche Ausrichtung und die Zielorientierung der Kurse insbesondere durch pädagogische Tests und Fragestellungen überprüft werden sollen. Die Erkenntnisse werden in die Endfassung der Kurse einfließen, die sowohl in der Sprache des entwickelnden Partnerlandes als auch für alle Partner in Englisch existieren werden.

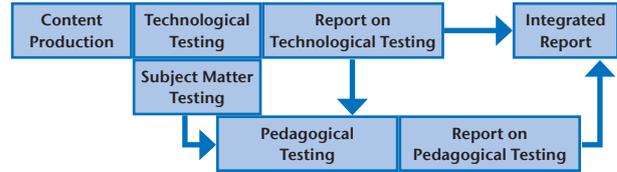


Abb. 2: Test-Strategie zur umfangreichen Überprüfung des Kursmaterials, entwickelt von der der dänischen MOPEM-Qualitätsgruppe der Aalborg-Universität [4].

3 Didaktisches Konzept

3.1 Didaktik in der Erwachsenenbildung

Bildung gilt heute neben Boden, Kapital und Arbeit als vierte Produktivkraft und die Wissensarbeit selbst stellt mittlerweile einen eigenen Wirtschaftszweig dar, sodass von einer »Ökonomisierung der Pädagogik« gesprochen wird [5]. Diese und andere Änderungen im politischen, technischen und gesellschaftlichen Umfeld machen eine Neubestimmung des Begriffes *Didaktik* erforderlich. Denn während über Jahrhunderte Schule, Ausbildung und Studium in der Jugend bzw. im jungen Erwachsenenalter platziert wurden und Überlegungen zur Didaktik in der Regel in immer gleich gearteten Vorträgen und Seminaren in Bildungseinrichtungen mündeten, stellt sich nun die Frage, wie Lernumgebungen gestaltet werden müssen, die den immer schneller stattfindenden Veränderungen im Leben Rechnung tragen. Damit einher gehen die Integration von Weiterbildung in das Arbeitsleben und deren Anpassung an verschiedene Lebensphasen (»lebenslanges« bzw. »lebensbegleitendes Lernen«) sowie die Hinwendung zu mehr und mehr individuellen, selbst gesteuerten Lernprozessen.

Diese Veränderung der Perspektiven – weg von der institutionalisierten Wissensvermittlung, hin zur selbstgesteuerten Aneignung von Wissen und Kompetenzen – ist zunächst einmal komplett unabhängig vom Lernmedium zu sehen: Ob Bücher, Vorträge oder elektronische Medien genutzt werden, ist dabei nicht entscheidend. Inwiefern jedoch Lernen via Internet oder auf E-Learning-Plattformen dieser Änderung des Lernverhaltens neue Chancen bietet, wird an dieser Stelle zunächst einmal zurückgestellt. Es sei lediglich festgehalten, dass sich didaktisches Handeln mehr und mehr auf den Bereich des *Bildungscoachings*, d. h. auf die Kontextgestaltung, Beratung und Lernhilfe konzentriert und weniger den traditionellen Unterricht im Blick hat. Nach Siebert [5, S. 12] erfährt der Didaktik-

begriff somit eine Art »Entschulung« und wendet sich einem weiteren Wirkungsfeld zu, das nicht zuletzt auch häufig mit dem Managementbegriff verbunden wird. Schlagworte sind daher Wissensmanagement, Selbstmanagement, Informationsmanagement usw., die verstärkt wieder mehr an das traditionelle *autodidaktische* Lernen anknüpfen.

Diese Entwicklung wird gestützt durch die Theorie des (*radikalen*) *Konstruktivismus*, der u. a. auf modernen neurophysiologischen und biochemischen Untersuchungen basiert: Der dabei zugrunde liegende Ansatz ist der, dass der Mensch die Welt nicht so erkennt »wie sie ist«, sondern er sich seine Wirklichkeit konstruiert, indem er alle seine Sinne, Gedanken und Gefühle nutzt [6]. Dieses Modell steht im krassen Gegensatz zum erkenntnistheoretischen Modell, in dem die Lehre objektive Wahrheiten abbildet und das damit verbundene organisierte Lernen eine Widerspiegelung des Gelehrten darstellt.

Insbesondere auf das Thema *Erwachsenendidaktik* bzw. *Erwachsenenpädagogik* bezogen lassen sich aus dem konstruktivistischen Ansatz interessante Aspekte ableiten bzw. erkennen. Zum Beispiel mögen es Erwachsene eher nicht, *belehrt* oder *instruiert* zu werden. Sie haben buchstäblich ihren *eigenen Kopf*, eigene Lernmethoden und bewerten Erklärungen durchaus unterschiedlich: Der eine reagiert darauf mit Unverständnis und Ablehnung, für den anderen ist es die lang ersehnte verständliche Erläuterung. Weiterhin sind Lernprozesse durchaus *nicht-lineare* Prozesse, die mit Rückbezügen arbeiten und neues Wissen mit Hilfe von altem Wissen generieren. Siebert bezeichnet in [5] dies als so genanntes »Anschlusslernen«, in dem Erwachsene stets an das »andocken«, was sie in ihrem früheren Leben gelernt haben und eine Vorliebe für den Lernstoff entwickeln, der ihnen wichtig ist und für ihr weiteres Leben bedeutsam scheint. Daher wird bei Techniken der Stoffreduzierung [7] gerne von der Darstellung der »Ankerbegriffe« als Detaillierungen in einer *Fachlandkarte* gesprochen, aus der Zusammenhänge und Schwerpunkte für die Lernenden sofort visuell erkennbar sind. Statt von *Landkarte* spricht man heutzutage gerne von dem Aufbau eines *advanced organizer* [8], der den Lernenden eine visuelle Übersicht des Lernstoffs gibt, in der sie sich ihrem Erfahrungsstand entsprechend wiederfinden können [9].

Darüber hinaus integriert das konstruktivistische Modell den individuellen Charakter des Lernprozesses, in dem der Lernende mit seinem Lernstoff sehr

eigenständig umgeht. Es lassen sich noch weitere didaktische Perspektiven finden, doch sollte man nicht vergessen, dass auch der radikale Konstruktivismus nur ein Modell ist, das seine Grenzen hat und nicht alle Phänomene erklären kann. Zum Beispiel gibt er keine Antwort darauf, wie man Begeisterung bei Lernenden für einen bestimmten Lernstoff wecken kann. Festhalten wollen wir in Anlehnung an Arnold [10], dass die Abkehr von der »Belehrungsdidaktik« hin zu einer »Ermöglichungsdidaktik« der entscheidende Schritt ist, um Prozesse der selbstständigen Wissenserschließung und Wissensaneignung zu ermöglichen, die insbesondere in Kombination mit Online-Methoden und -Instrumenten zu beachtlichen Erfolgen insbesondere in der Erwachsenenbildung führen *kann*. In diesem Sinne fließen Ideen des Konstruktivismus in das Projekt **MOPEM** ein und werden bei der Anwendung der Lernkurse umgesetzt.

3.2 E-Learning und Didaktik

»Good teaching may overcome a poor choice in the use of technology, but technology will never save bad teaching.« (Tony Bates, 1995)

Mitte der 1990er Jahre kam bei den Pädagogen die Diskussion auf, ob es in Anbetracht der Entwicklung der *Neuen Medien* nicht angebracht sei, eine passende *Online-Pädagogik* zu entwickeln, die sich dann in die Liste der »Bindestrich-Pädagogiken«, wie Sozialpädagogik, Medienpädagogik, Erwachsenenpädagogik usw. einordnen ließe. Zunächst stellt sich die Frage, was man unter »Online-Lernen« bzw. elektronischem Lernen (»E-Learning«) versteht bzw. verstehen kann. Nach Euler und Seufert [11] bedeutet E-Learning, dass der Lernende zwei wesentliche Komponenten nutzt:

- *Multimedial aufbereitete Lerngegenstände* in Form von Simulationsprogrammen, Lernprogrammen (»Drill-Practice«), E-Learning-Modulen, Tests, elektronischen Zeitschriften, Tutorials usw.
- *Möglichkeiten der Kooperation und Kommunikation* via E-Mail, Foren, Chats usw. Die Möglichkeiten des Web 2.0 eröffnen weitere Chancen der kooperativen Lernprozesse zur Wissensgenerierung und -erweiterung.

Eine geeignete Lernplattform bzw. ein Learning Management System stellt alle Lerninhalte und Kommunikationsinstrumente zur Verfügung. »Gestaltung einer Lernumgebung« bedeutet nun, dass der technische Rahmen in einen didaktischen Anwendungszusammenhang eingeordnet wird [11]. Eine intensive Beschäftigung mit didaktischen Fragestellungen in diesem

Zusammenhang ist nicht nur legitim und vernünftig, sondern zwingend notwendig, will man Online-Lernen erfolgreich anwenden. Neben elektronischen Lehrmaterialien und Werkzeugen können natürlich weiterhin traditionelle Medien genutzt werden (z. B. Overheadfolien, Tafel), die ebenfalls in den Lernprozess integriert werden. Diese Mischung aus traditionellen und »neuen« Medien bzw. Unterrichtsformen wird »Blended Learning« genannt und im Abschnitt 3.3 verdeutlicht.

Es gab zu Beginn der »E-Learning-Bewegung« nicht nur positive bis nahezu euphorische Meinungen zu diesem Thema, sondern auch Skeptiker, die u. a. vor der »Macht der Technologien« [12, S. 12] und vor einem starken Auseinanderdriften der Gesellschaft hinsichtlich des Bildungsstandes warnten. Gemäß dem von H. Spinner im Jahr 1998 beschriebenen »Phasenzyklus der Technikeinführung« folgte dieser recht konträr diskutierten »Reaktionsphase« die »Responsephase«, in der konstruktiv nach Lösungen von anstehenden Problemen gesucht wurde bzw. wird, wenngleich nach wie vor die Meinungen zum Thema E-Learning sehr unterschiedlich sind. Immer noch befinden wir uns in dieser Responsephase, die hinsichtlich der Pädagogik und Didaktik insbesondere die folgenden Fragestellungen aufwirft (s. a. [12]):

- Wie kann man die Potenziale der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sinnvoll und begründet nutzen?
- Wie bewertet man die Qualität und Relevanz des digital verfügbaren Wissens?
- Wie werden Lehr- und Lernprozesse in technologiebasierten Lernumgebungen erfolgversprechend gestaltet?
- Wie kann man die Medienkompetenz der Lehrenden und Lernenden fördern?

Alle Fragen sind nach wie vor äußerst aktuell. Hierauf deuten auch die Ergebnisse des Studienqualitätsmonitors 2007 der HIS GmbH hin, in dem knapp 22.000 Studierende an 150 Hochschulen auch zum Thema E-Learning befragt wurden: Etwa 2/3 der Befragten gaben an, dass sie Online-Angebote zur *Unterstützung des Selbststudiums* als sehr wichtig einschätzen, doch 27 % der Befragten sehen sich nicht in der Lage, das Onlineangebot zu beurteilen. Allerdings lag das daran, dass in den meisten Fällen kein Angebot vorhanden war oder zu wenig beworben wurde [13], sodass hier durchaus Aufholbedarf besteht.

Wollen wir erfolgreiches Online-Lernen durchführen, so haben wir es mit einem vierdimensionalen Kon-

glomerat von Fragestellungen zu tun, die sich darüber hinaus auch gegenseitig beeinflussen (s. Abb. 3): Zunächst die bereits behandelte *didaktische Dimension* (s. auch [11]), die sich mit der Gestaltung der Lerninhalte und Lernphasen im Sinne des schon beschriebenen GARI-Modells beschäftigt, sodass Fragen zur Kursorganisation, zu den Kommunikationswerkzeugen und zu Betreuungssystemen zwangsläufig folgen. Dementsprechend muss die *organisatorische Dimension* Antworten zur Gestaltung der Strukturen und Prozesse in Bildungsorganisationen geben. Die *technologische Dimension* behandelt die technische Bereitstellung einer Lernplattform und Hilfswerkzeuge. Die *ökonomische Dimension* muss den effektiven und effizienten Ressourceneinsatz sicherstellen. Wir haben es somit mit äußerst komplexen Lernbedingungen zu tun. Die Fragestellungen der vier Dimensionen müssen für das konkrete Unternehmen, die konkrete Bildungseinrichtung oder die konkrete Verwaltung mit ihren spezifischen Rahmenbedingungen gelöst werden. Auch im Projekt MOPEM, das auf die didaktische Dimension fokussiert ist, müssen Fragestellungen aus den anderen Dimensionen und bei kulturellen Unterschieden geklärt werden, seien es die technische Übertragbarkeit der Lernkurse auf verschiedene Lernplattformen, die organisatorischen Rahmenbedingungen zur Durchführung der Aktivitäten der Lernkurse oder die Entwicklung eines gemeinsamen Geschäftsmodells für die Nutzung und den Vertrieb der Lernkurse.

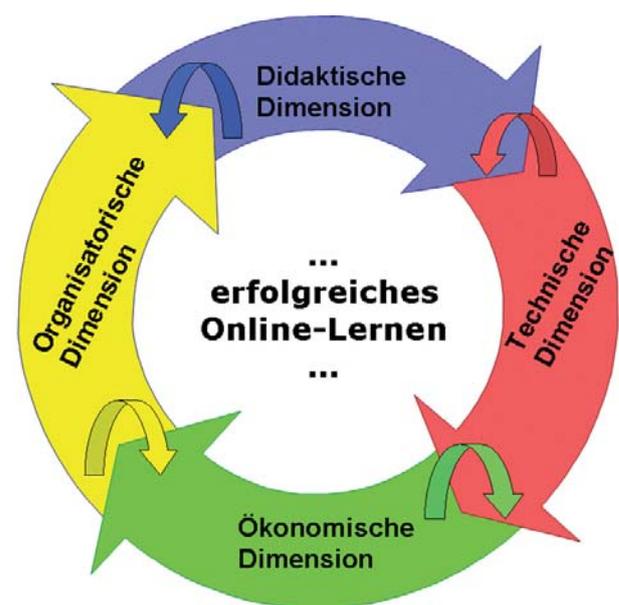


Abb. 3: Schematisch dargestelltes vierdimensionales Konglomerat von Fragestellungen, die sich gegenseitig beeinflussen und für ein erfolgreiches Online-Lernen konkret gelöst werden müssen.

3.3 Blended Learning

Beim Einsatz von Online-Lernen ist nach wie vor nachzuweisen, dass es mindestens genauso effektiv und effizient wie traditionelle Wissensvermittlung und Wissensaneignung ist. Akzeptanz und nachhaltige Nutzung wird in Bildungseinrichtungen dann zu erreichen sein, wenn neue Qualitäten des Lernens und Lehrens aufgezeigt werden können. Nachdem reines E-Learning seit 2000/2001 in der eher technisch definierten Form als gescheitert gilt, da auf das komplexe Ineinandergreifen der aufgezeigten vier Dimensionen (s. Abb. 3) nicht adäquat (re-)agiert wurde, entwickelte sich seit dem Jahr 2003 *Blended Learning* als Mischform von Präsenz- und Online-Lernen mit der Idee, die Vorteile der Präsenzphasen sowie die technologischen Vorteile der Online-Kommunikation und Online-Zusammenarbeit zu nutzen, um höhere Lernerfolge zu erzielen. Das große Potenzial von Blended Learning liegt dabei in den kreativen Gestaltungsmöglichkeiten des Lernens und berücksichtigt die Erkenntnisse etlicher Untersuchungen, dass insbesondere der Bereich des *informellen* Lernens für Lernende von besonderer Bedeutung ist. Wie Euler u. a. ausführen, beeinflussen dabei externe Rahmenbedingungen sehr wohl ob und wie solche Lernprozesse angeregt werden bzw. stattfinden, so dass »sich der Blick von der Gestaltung didaktischer Lehr-Lernsituationen im engeren Sinne zu lernförderlichen Rahmenbedingungen im gesamten organisatorischen Kontext und deren Beitrag zu Kompetenzentwicklung [weitert]« [14, S. 154]. Im positiven Sinne steht Trainern ein umfangreiches Repertoire aus Tools und Methoden zur Verfügung, um das Lernen aktiv und innovativ zu arrangieren, sodass Lernende sich ihre Lernprozesse selbst gestalten können. Doch auch beim Blended Learning stellt sich die Frage: Wie werden diese Möglichkeiten genutzt? Eine von der Universität Stuttgart in Europa und den USA online durchgeführte, neue Befragung wird derzeit gerade unter dem Titel *Blended Learning@University* ausgewertet [15]. Die Technische Fachhochschule Wildau stellt sich diesen Aspekten in dem bis Dezember 2009 bewilligten EU-Projekt **COMBLE** (= **Community of Integrated Blended Learning in Europe**) [16]. Wir halten fest: Das Ziel einer Qualitätssteigerung durch Blended Learning in der Aus- und Weiterbildung sowie in der Hochschulbildung kann sicherlich nur erreicht werden, wenn bei ihrem Einsatz die vier Dimensionen Didaktik, Organisation, Technik und Ökonomie integrativ verstanden und unterstützt werden.

3.4 Die Idee der »Lernpfade« und der didaktische Ansatz im Projekt

Innerhalb des Projektes **MOPEM** besteht Einigkeit darüber, dass zum einen alle Module selbstständig für sich stehen können und somit auch als *stand-alone-Lösung* ein sinnvolles Lernangebot darstellen sollten. Darüber hinaus sind alle Module so konzipiert, dass sie in ein Blended Learning-Konzept integriert werden können. Weiterhin spielt der konstruktivistische Aspekt eine zentrale Rolle, der es den Lernenden erlauben soll, in Abhängigkeit vom individuellen Wissensstand einen so genannten »Lernpfad« zu durchschreiten. Dabei stellt ein Lernpfad eine spezielle Form der aus dem Schulunterricht bekannten Methode *Stationenlernen* dar. Lernpfade unterscheiden sich untereinander lediglich darin, ob eine festgelegte Reihenfolge bzw. Richtung vorgesehen ist oder ob die Lernenden sich selbstständig auf die zur Verfügung gestellten Stationen aufteilen sollen. Im vorliegenden Projekt erschien es aufgrund der Vielzahl von verschiedenen Inhalten und Partnern zu komplex, den Lernenden »einfach auf den Weg zu schicken« und selbstständig seinen Pfad bestimmen zu lassen. Um einen sinnvollen Übergang von einem Thema zum nächsten zu ermöglichen, müssen nämlich sowohl die fachlichen Niveaus, die verwendeten Fachausdrücke und Definitionen abgestimmt, als auch die Inhalte so abgesprochen werden, dass keine Doppelungen bzw. Widersprüche entstehen. Dies erschien insbesondere der Projektleitung zu aufwändig, sodass man sich für zwei spezielle Lernpfade entschieden hat. Ein Lernpfad wird schematisch in Abb. 4 verdeutlicht. Wir könnten uns als Fortsetzung des Projektes vorstellen, dass weitere Lernpfade anhand des konkreten Kenntnisstandes des Lernenden und/oder anhand des zu erzielenden Abschlusses bzw. Zertifikats zumindest teilautomatisiert entwickelt werden sollten.

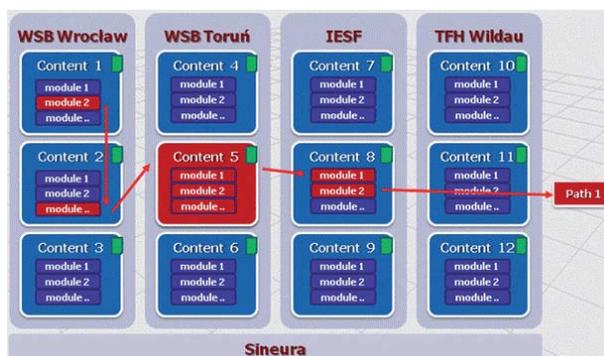


Abb. 4: Schematische Darstellung der Definition eines Lernpfades unter Nutzung einzelner Lernmodule oder ganzer Lernkurse

4 Praktische Umsetzung

Hinsichtlich der Ausgestaltung der didaktischen Dimension und der praktischen Umsetzung werden die in 3.1 beschriebenen konstruktivistischen Ansätze genutzt. Dies ist insbesondere dann erstrebenswert, wenn es sich nicht um das »bloße Eintrichtern« von Faktenwissen nach dem »Drill & Practice-Prinzip« handelt, sondern das selbstständige, selbstbestimmte Lernen gefördert werden soll. Außerdem spricht der folgende Aspekt für einen derartigen Ansatz: Wenn die Lerninhalte und die Tutoren so ausgerichtet bzw. eingestellt sind, dass sie lediglich neben einer soliden theoretischen Grundlage Anregungen zum Weiterlernen geben und beratend zur Seite stehen, haben sie im Vergleich zu Lerninhalten, die alle Fakten vorgeben bzw. vorgeben wollen/sollen, den großen Vorteil, dass sie nicht zu schnell »veralten« und so an Aktualität verlieren. Man denke nur an ein Thema wie Online-Marketing, das im Projekt MOPEM umgesetzt wurde: Die Entwicklungen verlaufen hier so schnell, dass ein Modul nach kurzer Zeit droht, nicht mehr zeitgemäß zu sein und tendenziell belächelt werden könnte. In Anbetracht der nach wie vor nicht zu unterschätzenden Entwicklungskosten ist das sicherlich nicht erwünscht. Nutzt man hingegen die Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen Tutoren/Dozenten und Studierenden mit interaktiven Übungen/Tests und darüber hinaus die aus dem Web 2.0 bekannten Möglichkeiten der Wissensgenerierung, entstehen so auf Grundlage eines *Basiskurses* stets aktuelle und auch individuell erarbeitete Inhalte.

Im Projekt MOPEM verliefen die Erstellung der Lehrinhalte und die zugehörige Qualitätssicherung unter Anwendung des GARI-Modells nach dem folgenden Prinzip: Bereits während der Inhaltserstellung des Kurses durch die Autoren wurde Wert darauf gelegt, nicht nur ein Script zu erstellen, sondern Hinweise zum selbstständigen, ergänzenden Studium zu geben. Dies kann in Form von praktischen Arbeitsaufträgen oder entsprechenden Links auf aktuelle Webseiten bzw. weiterführende Literatur geschehen, die von den Studierenden auch dann sinnvoll bearbeitet werden können, wenn der Kurs weder in ein Blended Learning-Konzept noch in eine speziell aufbereitete Lernumgebung eingebettet ist. Anschließend haben die Autoren gemeinsam mit dem Methodenteam der Projektgruppe weitere Aufgaben und Fragen konzipiert, die eine weiterführende Bearbeitung durch die Studierenden ermöglichen und diese daher aktivieren. Diese Aufgaben setzen zum Teil

eine Begleitung durch einen Tutor/Dozenten sowie eine Integration der Studierenden in eine Lerngruppe voraus und können ein sinnvolles Element eines Blended Learning-Konzeptes darstellen. Abschließend wurden die passenden technischen Hilfsmittel definiert und die Kurse multimedial aufbereitet. Zum internen Testen wurden die Lernkurse zuerst in die Lernplattform SUDILE integriert [17].

Die Nachhaltigkeit der Modulnutzung wird mit einem Komponenten-Repository unterstützt, wobei möglichst zukünftige Probleme des Gebrauchs der Module und Kurse mitberücksichtigt werden sollen. Ein solches Repository dient als elektronischer Behälter, in dem der Autor den Kursinhalt einbringen kann und andere Autoren Verzweigungen schaffen, um den Originalkurs modifizieren zu können, ohne ihn im Ursprung zu verändern. Diese Umsetzung unterstützt die Technische Fachhochschule Wildau mit eigenen Entwicklungen eines Content Pools (s. Abb. 5), der zukünftig auch für weitere Projekte von Bedeutung sein wird.



Abb. 5: Unterstützung eines Komponenten-Repository anhand der Entwicklung eines entsprechenden Content Pools durch Peter Koppatz im Auftrag der TFH Wildau, Stand Mai 2008.

4.1 Die Beispielkurse *Online-Marketing* und *Customer-Relationship-Management-Systeme*

Der E-Learning-Kurs *Online-Marketing* besteht aus den folgenden Modulen:

- Was ist Online-Marketing?
- Banner-Werbung,
- Affiliate Marketing,
- E-Mail Marketing,
- Keyword Advertising,
- Suchmaschinenoptimierung,
- Online Marketing mit Web2.0.

Nach dem Öffnen des Kurses erscheint eine Mind Map, die die verschiedenen Module anzeigt und den Studierenden vor die Wahl stellt, welche Inhalte er erlernen möchte. Im Sinne des konstruktivistischen Ansatzes ist es nicht zwingend erforderlich, alle Module nacheinander durchzuarbeiten, da sie inhaltlich in sich abgeschlossen sind. Es ist somit ohne weiteres möglich, eine spezielle Auswahl zu treffen und auch Teile einfach auszulassen. Lediglich die Einführung (Was ist Online-Marketing?) ist für alle empfehlenswert.



Abb. 6: Aufbau des Kurses Online-Marketing

Die einzelnen Module sind dann so konzipiert, dass Unterkapitel ausgesucht werden können, Inhalt und Lernziel jeweils erklärt und Handlungsanweisungen formuliert werden. Die Lehrstoffvermittlung innerhalb des Moduls findet in Form von Text, Grafiken und Filmen statt.

Abb. 7: Das Modul Affiliate-Marketing mit Unterkapiteln

Abb. 8: Handlungsanweisungen (Aufgaben) im Modul Affiliate-Marketing

Für den Fall, dass die Studierenden in eine Lernumgebung integriert sind, die ihnen die typischen Werkzeuge zur Zusammenarbeit bereitstellt (Foren, Wiki, Chat, E-Mail), werden alle Lernergebnisse dort festgehalten.

Konzeptionell ist der Kurs Customer-Relationship Management-Systeme analog aufgebaut. Inhaltlich besteht er aus den Modulen

- Einführung (Grundlagen und Ziele des CRM),
- Technologie und Funktionen,
- Konzeption von CRM-Systemen,
- CRM-Projekte.

Im Vergleich zum Kurs Online-Marketing bauen hier einerseits die Module etwas mehr aufeinander auf und sind somit nicht ganz so unabhängig voneinander. Andererseits ist es auch nicht erforderlich, alle Module zu bearbeiten. Zum Beispiel würde es für einen ersten Überblick durchaus reichen, sich auf die ersten beiden Module zu beschränken.

4.2 Individualisierte Lernpfade anhand der Beispielkurse

An dieser Stelle sei noch einmal auf die *Idee der Lernpfade* eingegangen. Bereits durch die beiden genannten Kurse werden insgesamt sieben Module angeboten, die je nach Lernumgebung allein oder in einer Lerngruppe bearbeitet werden können. Es ist nun eine Vielzahl von individuellen Lernpfaden denkbar. Ein durchaus sinnvoller Weg wäre z. B., wenn ein Studierender sich zunächst entschließt, Grundlegendes über CRM-Systeme zu erfahren und dann feststellt, dass ihn das – inhaltlich nicht sehr weit entfernte – Thema Online-Marketing doch mehr interessiert. Dort verzichtet er aber auf einige Module und legt für sich den folgenden Lernpfad fest:

1. Grundlagen und Ziele des CRM (Kurs CRM-Systeme),
2. Technologie und Funktionen (Kurs CRM-Systeme),
3. Affiliate Marketing (Online-Marketing),
4. Onlinemarketing mit Web2.0 (Online-Marketing).

Im Rahmen der beiden dargestellten Kurse sind insbesondere aufgrund der Variabilität innerhalb des Kurses Online-Marketing durchaus auch weitere Kombinationen bzw. Lernpfade denkbar, sodass die Idee des selbstbestimmten Lernens hier bereits umgesetzt ist. Da zur Zeit die Kurse der Projektpartner noch nicht zur Verfügung stehen, ist hinsichtlich der globalen Umsetzung der Idee der Lernpfade bzw. des geplanten Lernpfades noch keine konkrete Aussage möglich.

5 Nutzungsmöglichkeiten und Ausblick an der TFH Wildau

Der Einsatz der »neuen« Medien nimmt weiterhin in allen Bereichen stark zu. Für Unternehmen führt dies zu einer kontinuierlichen, sich aber zeitlich immer weiter verkürzenden Veränderung im Anforderungsprofil der Beschäftigten. Neben sich permanent verkürzenden Lebenszyklen von IKT-Systemen ist das Augenmerk sowohl auf Technik, Organisation und ökonomischer Dimension, aber insbesondere auf die Didaktik der Online-Lernprozesse zu legen, denn ohne eine didaktisch-integrative Etablierung solcher Lernprozesse in den Alltag wird kein wirklicher Wissenszuwachs entstehen. Diese Lernprozesse werden für die Beschäftigten in Weiterbildungsmaßnahmen und für die Studierenden in der Hochschulausbildung gleichzeitig zunehmend selbstorganisiert ablaufen müssen.

Es ist geplant, alle zur Verfügung stehenden Marketingkurse gezielt in einem internen Pilotprojekt **learn@wildau** im Bereich Fernstudium einzusetzen. Darüber hinaus ist der Aufbau eines **Virtual Campus** der TFH Wildau vorgesehen. Das Projekt **MOPEM** ist somit für die TFH Wildau ein wichtiger Baustein in der Profilstärkung, erfolgreiches Online-Lernen mit selbstorganisierten Projektstudien letztlich in allen Studiengängen und in Weiterbildungsveranstaltungen anbieten und einsetzen zu können. Mit den im Projekt entwickelten Lernkursen zum *fortgeschrittenen* Marketing, in denen die praxisorientierten Erfahrungen und Kenntnisse von europäischen akademischen Einrichtungen, Dienstleister und Betrieben eingehen, können wir den Unternehmen und modernen Verwaltungen unserer Region ab Mitte 2009 ein interessantes Angebot bieten, das eigene Know-how zu überprüfen und zu ergänzen.

Danksagung

Wir danken den polnischen Projektinitiatoren, der TEB Education Corporation, die TFH Wildau als Projektpartner in **MOPEM** aufgenommen zu haben. Darüber hinaus möchten wir insbesondere unserem deutschen Team als fleißige Partner und Helfer sehr herzlich danken, die alle verabredeten Zeiten einhielten, mit ihrem unermüdlichen Engagement die Autoren unterstützten und die Qualität der Kurse gerade unter didaktischen Aspekten sicherstellten. Unserem Rechenzentrum danken wir für die vielfältige Unterstützung.

Abkürzungen

MOPEM	Modular Object Oriented Development Learning Environment
Sudile	Supported distance learning
SCORM	Sharable Content Object Reference Model
PHP	Hypertext Preprocessor« (ursprünglich »Personal Home Page Tools«) ist eine Skriptsprache, die hauptsächlich zur Erstellung von dynamischen Webseiten oder Webanwendungen verwendet wird.
MySQL	Ein relationales Open Source Datenbakmanagementsystem
Moodle	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment: Ein Open Source Learning-Management-System
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol ist ein Anwendungsprotokoll, das Abfragen von Informationen eines Verzeichnisdienstes über ein TCP/IP-Netzwerk ermöglicht.
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik

Anmerkungen

- [1] LEONARDO DA VINCI, Community Vocational Training Action Programme, Second Phase. EDUCATION AND CULTURE.
- [2] TEB Education Corporation, MOPEM Projektantrag, EU-Programm LEONARDO DA VINCI, Community Vocational Training Action Programme, Version 2006; TEB Education Corporation und Partner: MOPEM Zwischenbericht, Juni 2008.
- [3] MOPEM-Methodenteam, Beitrag »Teaching methodology and e-learning functionality« zum Zwischenbericht, Work-Package 3, Juni 2008.
- [4] Aalborg University Quality Group, Testing Strategy, MOPEM paper, Juni 2008.
- [5] Siebert, H. 2006.
- [6] Nachzulesen beispielsweise in den Wissenschaftlichen Beiträgen 2005 der TFH Wildau im Artikel von Margit Scholl: »Einführung von eLearning am Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht – Konsequenzen und Ausblick« und in dem Heft 2006 im Artikel von Ulrike Tippe und Bertil Haack: »Theorie und Praxis erfolgreicher Blended Learning-Konzepte«.
- [7] Döring, K. W./Rittler-Mamczek, B. 1999.
- [8] Herold, M./Landherr, B. 2005.
- [9] Ein prominenter Wegbereiter dieser Theorie war bereits u. a. Immanuel Kant in seiner »Kritik der reinen Vernunft« aus dem Jahr 1787.
- [10] Arnold, R. 1993.
- [11] Euler, D./Seufert, S. 2005
- [12] Lehmann, B./Bloh, E. 2002.
- [13] <http://www.e-teaching.org/materialien/studien/> [abgerufen am 08.09.2008].
- [14] Euler, D. u. a. 2006.
- [15] Näheres kann in den Wissenschaftlichen Beiträgen 2004 der TFH Wildau im Artikel von Margit Scholl nachgelesen werden: »IT-Didaktik: Selbstorganisiertes Lernen in der IT-Ausbildung und eLearning«.
- [16] Informationen sind über Prof. Dr. M. Reiss und D. Steffens zu beziehen: lehrstuhl.organisation@bwi.uni-stuttgart.de.
- [17] <http://www.sudile.com>; <http://www.sudile.com/tfh-wildau>.

Literatur

- Aalborg University Quality Group (2008): Testing Strategy, MOPEM paper, Juni 2008.
- Arnold, R. (1993): Natur als Vorbild, Frankfurt a. M.
- Döring, K. W./Rittler-Mamczek, B. (1999): Lehren und Trainieren in der Weiterbildung, Beltz Deutscher Studien Verlag, 7. Auflage.
- Euler, D./Seufert, S. (Hrsg.) (2005): E-Learning in Hochschulen und Bildungszentren, Oldenbourg.
- Euler, D., u. a. (2006): Handbuch der Kompetenzentwicklung für E-Learning Innovationen. Eine Handlungsorientierung für innovative Bildungsarbeit in der Hochschule, Verlag Hans Huber.
- Herold, M./Landherr, B. (2005): SOL – Selbstorganisiertes Lernen. Ein systematischer Ansatz für Unterricht, 2 Bände, Hohengehren: Schneider Verlag.
- Lehmann, B./Bloh, E. (2002): Online-Pädagogik.
- MOPEM-Methodenteam (2008): Beitrag »Teaching methodology and e-learning functionality« zum Zwischenbericht, Work-Package 3, Juni 2008.
- Siebert, H. (2006): Didaktisches Handeln in der Erwachsenenbildung – Didaktik aus konstruktivistischer Sicht, Ziel Verlag.
- TEB Education Corporation (2006): MOPEM Projektantrag, EU-Programm LEONARDO DA VINCI, Community Vocational Training Action Programme, Version 2006.
- TEB Education Corporation und Partner (2008): MOPEM Zwischenbericht, Juni 2008.

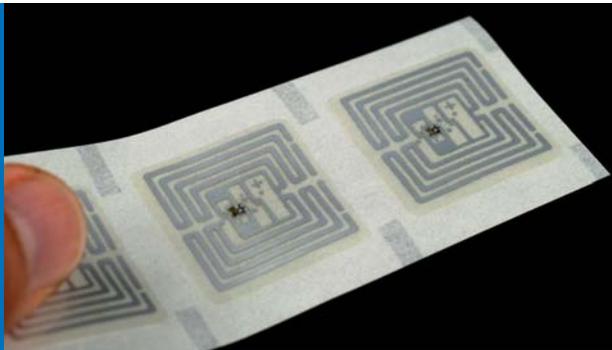
Autoren

Prof. Dr. Margit Scholl

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht
 Labor für medienintegrierende Verwaltungsinformatik (100-122)
 Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik
 Tel. +49 3375 508-570 , -917
 margit.scholl@tfh-wildau.de

Prof. Dr. Ulrike Tippe

Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Betriebswirtschaft/Wirtschaftsinformatik
 Labor für E-Learning und Angewandte Mathematik (100-115)
 und Fernstudienbeauftragte
 Tel+49 3375 508-556
 ulrike.tippe@tfh-wildau.de



TFH Wildau
Bahnhofstraße
15745 Wildau
www.tfh-wildau.de