

FORSCHUNGS FORUM

PADERBORN



Paderborner Universitätsmagazin

6-2003

DIE UNIVERSITÄT DER INFORMATIONSGESELLSCHAFT



Jean de Mandeville

Gibt es Leben im All?

Schmerz – Fluch und Segen

Ändert der Computer den Unterricht?

Erziehung nach Auschwitz

Electronic Commerce – Ein Sturm im Wasserglas?

Defekte in Festkörpern: Ein Geschenk der Natur

Ultraschall-Zerstäubung von Fluiden

Sportmedizin hat Golfsport entdeckt

IMPRESSUM

Herausgeber

Prof. Dr. Wolfgang Weber
Rektor der Universität Paderborn

Konzeption und Redaktion

Ramona Wiesner
Leiterin des Referats Hochschulmarketing
und Universitätszeitschrift
Warburger Str. 100, 33098 Paderborn
Tel.: 05251/60 2553, 3880
E-Mail: wiesner@zv.uni-paderborn.de
<http://hrz.uni-paderborn.de/hochschulmarketing>

ForschungsForum Paderborn (ffp) im Internet

<http://www.uni-paderborn.de/ffp/>

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Gitta Domik
Prof. Dr. Wilfried B. Holzapfel
Prof. Dr. Jörg Jarnut
Prof. Dr. Klaus Meerkötter
Prof. Dr. Winfried Reiß
Prof. Dr. Jürgen Voß
Prof. Dr. Jörg Wallaschek

Drucklegung

Januar 2003

ISSN (Print) 1435-3709

Layout

PADA-Werbeagentur
Heierswall 2, 33098 Paderborn

Druck und Anzeigenverwaltung

Media-Print, Informationstechnologie GmbH
Postfach 1833, 33048 Paderborn

Auflage

5 000

Titel

Kopflose Menschen mit Gesichtern auf der Brust (Paris, Bibliothèque nationale de France, ms. français 2810, Bl. 194v).



Editorial

Wir alle sind auf der Suche nach Hilfsmitteln, die uns das tägliche Leben erleichtern. Unsere Haushalte sind mit einer Vielzahl von Geräten ausgerüstet, die uns Arbeiten abnehmen. Den sprechenden und aufs Wort gehorchenden Roboter, der alle anfallenden Tätigkeiten übernehmen kann, gibt es bisher nur in Science Fiction Romanen.



Ramona Wiesner
Referentin für Öffentlichkeitsarbeit

Doch Forscher arbeiten an Technologien, die uns diesem Traum ein Stück näher bringen. So machen es Spracherkennungssysteme heute schon möglich, dass der PC einen Redeschwall automatisch in geschriebenen Text umzusetzen vermag, oder dass das Mobiltelefon auf Zuruf eines Namens die dazugehörige Nummer wählt, während man Auto fährt. Auch das Telefon, das Anrufe interpretiert und automatisch „die richtige Antwort“ liefert gibt es bereits. Es wird z.B. in Call Centern eingesetzt. Was mag die automatische Spracherkennung wohl als nächstes ermöglichen? Einen aufschlussreichen Überblick über den neuesten Stand der Technik in diesem Bereich liefert Prof. Dr. Reinhold Häb-Umbach in seinem Beitrag „Auf ein Wort“ (siehe Seite 68).

Auf ganz andere Weise fesselnd ist der Beitrag „Schmerz – Fluch oder Segen“ (siehe Seite 56) von Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Risch und Dr. Beatrix Merla. Denn jeder kennt und fürchtet ihn – den Schmerz. Ob er sich im Kopf, im Rücken oder in den Gliedern bemerkbar macht, starker, vergehender oder sogar chronischer Natur ist – wir könnten getrost ohne ihn auskommen. Darüber sind wir uns einig. Über den Umgang mit und die Behandlung von Körperqualen gibt es jedoch viele Meinungen, Urteile und Vorurteile. Eine Schmerztherapie mit Opium beispielsweise muss nicht zwangsläufig in die Abhängigkeit führen, wie allgemein angenommen wird. Darüber und über weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Schmerzbehandlung mit Opium berichten Prof. Risch und Dr. Merla.

Die 6. Ausgabe des Wissenschaftsmagazins der Universität Paderborn bietet insgesamt 14 Beiträge aus allen Fakultäten, die Einblicke in zukunftsweisende Projekte gewähren. Die Herstellung des ForschungsForums wurde auch in diesem Jahr durch Anzeigen getragen. Diese finanzielle Unterstützung gibt uns die Möglichkeit, den interessierten Leserinnen und Lesern die Vielfalt der Forschungsthemen an der Universität Paderborn in anspruchsvoller Form darzubieten. Wir danken daher allen Firmen und Organisationen, die unser Projekt unterstützt haben.

Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, wünsche ich beim Studium der vorliegenden sechsten Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins wieder viele neue Erkenntnisse.

Ihre Ramona Wiesner

Seite 6

Jean de Mandeville

Überlieferungs- und

Gattungsstrukturen europäischer Reiseliteratur

Prof. Dr. phil Ernst Bremer, Alexandra Nusser M. A.

Fakultät für Kulturwissenschaften



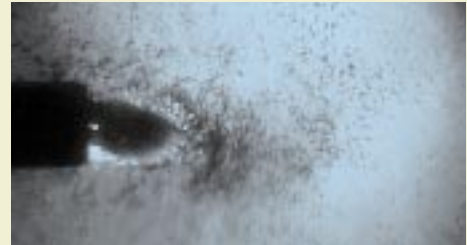
Seite 14

Ultraschall-Zerstäubung von Fluiden

Prozessoptimierung in der Lackiertechnik

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Warnecke, PD Dr. rer. nat. Dieter Bothe, Prof. Dr. rer. nat. Jan Prüß, Dipl. Chem. Oliver Reipschläger, Dipl. Chem. Jörn Vestweber

Fakultät für Naturwissenschaften, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik



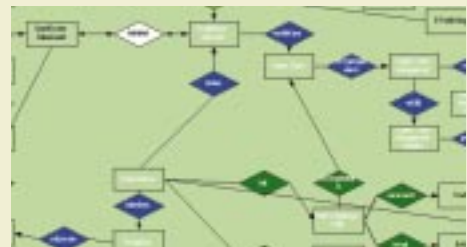
Seite 20

Electronic Commerce – Ein Sturm im Wasserglas?

Fällt die „erwartete Revolution“ der Geschäftsprozesse aus oder kommt sie langsam, aber gewaltig?

Prof. Dr. rer. pol. Joachim Fischer

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften



Seite 26

Defekte in Festkörpern: Ein Geschenk der Natur

Über den Nutzen und die Struktur kristalliner Fehlstellen

Prof. Dr. rer. nat. Johann-Martin Spaeth,

PD Dr. rer. nat. Siegmund Greulich-Weber

Fakultät für Naturwissenschaften



Seite 32

Sportmedizin hat Golfsport entdeckt

Golf im Fokus sportmedizinischer Forschung

Dr. med. Holger Herwegen

Fakultät für Naturwissenschaften



Seite 38

Pentacen – Kunststoff für Transistoren

Neuartige Halbleiter Gegenstand intensiver Forschung

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hilleringmann, Dipl. Phys. Christoph Pannemann

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik



Seite 44

eLearning-Plattformen für die Hochschule

Bedarfsgerechte Bestimmung der Anforderungen

Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels, Dipl.-Inform. Jan Hendrik Hausmann,

Dipl.-Inform. Marc Lohmann

Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

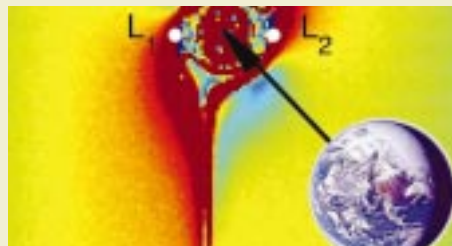


Seite 50

Gibt es Leben im All?

Untersuchungen zum Formationsflug von Raumfahrzeugen

Dr. rer. nat. Oliver Junge, Dr. rer. nat. Robert Preis
Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik

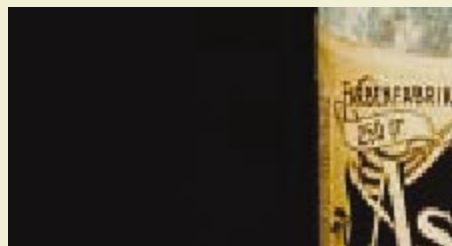


Seite 56

Schmerz – Fluch und Segen

Welchen Beitrag kann die Chemie in diesem komplexen System leisten?

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Risch, Dr. Beatrix Merla
Fakultät für Naturwissenschaften

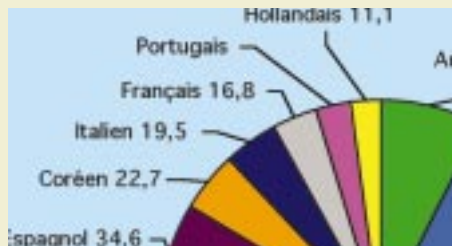


Seite 62

El español en la sociedad de la información

Die Bedeutung der spanischen Sprache in der Informationsgesellschaft

Prof. Dr. phil. Jutta Langenbacher-Liebgott
Fakultät für Kulturwissenschaften

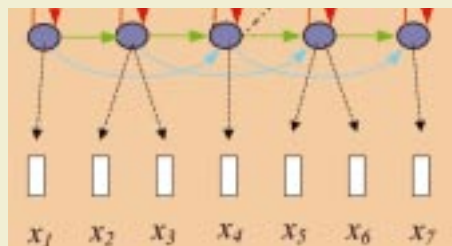


Seite 68

Auf ein Wort

Möglichkeiten und Grenzen der automatischen Spracherkennung

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Häb-Umbach
Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik



Seite 74

Ändert der Computer den Unterricht?

Erste Ergebnisse empirischer Forschung zum Lehren und Lernen mit neuen Medien

PD Dr. phil. Sigrid Blömeke
Fakultät für Kulturwissenschaften



Seite 80

Erziehung nach Auschwitz

Erinnern an den Holocaust als pädagogische Aufgabe

Prof. Dr. phil. Wolfgang Keim
Fakultät für Kulturwissenschaften



Seite 86

Flüssigkristalline Dendrimere

Neue Materialien für Display- und Speichertechnologien?

Prof. Dr. rer. nat. Heinz-Siegfried Kitzerow,
PD Dr. rer. nat. Bernhard Westermann,
Fakultät für Naturwissenschaften





Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Universität Paderborn wandelt sich in einem Tempo, das ihr wahrscheinlich nur wenige zugetraut haben. Mit der neuen Grundordnung wurden Anfang 2002 die Fächer in fünf Fakultäten neu geordnet. Damit ist die vor zwei Jahren begonnene Neustrukturierung vorläufig abgeschlossen. Die Weichen für den weiteren Weg sind gestellt.

Mitte November 2002 haben wir das 30-jährige Jubiläum der Universität Paderborn gefeiert. Die Schar der Gratulanten war groß und die weitere Entwicklung unserer Universität wird von vielen guten Wünschen begleitet. Doch wie wird sich die Universität weiter entwickeln?

Die Zukunft der Universität hängt natürlich zuerst ganz wesentlich davon ab, was wir selbst tun, um unsere Hochschule weiter voran zu bringen. Darum ist mir nicht bange, an Kraft und Initiative hat es uns in den letzten Jahren nie gefehlt. Die Zukunft wird aber auch entscheidend von politischen Rahmenbedingungen geprägt. Für die Forschung sind insbesondere die Einführung der Juniorprofessur und die Neuerungen bei der Patentverwertung von Bedeutung.

Die Juniorprofessur soll dem wissenschaftlichen Nachwuchs früher als bisher die Möglichkeit zur selbstständigen Forschung und Lehre eröffnen. Die Berufung auf eine Juniorprofessur ist direkt nach der Promotion möglich und im Idealfall kann – entsprechende Qualifikation vorausgesetzt – direkt im Anschluss an die auf zwei mal drei Jahre befristete Juniorprofessur die Überführung in eine Lebenszeitprofessur, ähnlich dem amerikanischen Tenure-Track-Modell, erfolgen. Auch unsere Universität beteiligt sich an dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Förderprogramm zur Einführung der Juniorprofessur. Allerdings sind noch viele Fragen ungeklärt.

Für die Neuerungen bei der Patentverwertung durch die Hochschulen standen – wie so oft auch hier – US-amerikanische Erfahrungen Pate. Die an den Hochschulen entstehenden Erfindungen sollen wirtschaftlich verwertet werden und zur Finanzierung der Forschung beitragen. Mit diesem Verwertungskonzept dürfen allerdings zumindest in den ersten Jahren keine allzu großen Hoffnungen verknüpft werden. Wir sehen die sich neu ergebenden Chancen eher nüchtern.

Die Liste der Reformen und Reformversuche im Hochschulbereich ist lang. Ob sich die jeweils erhofften Erfolge all dieser Neuerungen einstellen werden ist zumindest fraglich. Was können wir daraus lernen? Welche Konsequenzen sollen wir daraus ziehen?

Ich meine, wir sollten nicht darauf warten, dass die Politik sich unserer Probleme annimmt. Wir kennen unsere Probleme und wissen in der Regel wie man ihnen begegnen kann. Es ist äußerst spannend, den Blick nach vorn zu richten und zu überlegen, welche Möglichkeiten sich unserer Universität zukünftig bieten.

Voraussetzung zu einer sinnvollen Entwicklungsplanung ist zunächst einmal eine nüchterne Bestandsaufnahme. Und dabei fällt auf, dass wir unserem Ziel, nicht nur eine leistungsstarke Forschungsuniversität zu sein, sondern auch als Forschungsuniversität wahrgenommen zu werden, deutlich näher gekommen sind. Die Eröffnung des Instituts zur Erforschung des Mittelalters und seines Nachwirkens im Januar, die Einrichtung des Sonderforschungsbereiches „Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus“ im Sommer, die Eröffnung der „International Graduate School of Dynamic Intelligent Systems“ im November, die Berufung von Professor Hartmut Steinecke in die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und nicht zuletzt die weltweite Aufmerksamkeit, die unserer Universität dadurch zuteil wurde, dass es dem Mathematiker Dr. Preda Mihailescu gelungen ist, die Catalan'sche Vermutung zu beweisen, sind nur einige Meilensteine, die im letzten Jahr erreicht wurden.

Auch in der Lehre konnten wir wichtige Ziele erreichen und zukunftsweisende Projekte wie die Notebook-University, die eine einzigartige IT-Infrastruktur bereitstellt, erfolgreich starten.

Damit haben wir insgesamt gute Voraussetzungen für die Erfüllung der Kernaufgaben einer Universität in der Forschung und in der Lehre. Wir dürfen dabei die wichtigste Leitidee für die Universität nicht vergessen: Die Universität ist die Institution in unserer Gesellschaft, die frei von politischen und wirtschaftlichen Interessen nur der Wahrheit und der Erkenntnis verpflichtet handeln muss. Welche andere Institution könnte dieses Alleinstellungsmerkmal für sich in Anspruch nehmen? Wir müssen auch diesen Auftrag der Universität klar und deutlich kommunizieren. Diese Ausgabe des ForschungsForums enthält wieder eine Reihe von Beiträgen, die für dieses Anliegen der Universität stehen. Ich wünsche Ihnen im Namen des Wissenschaftlichen Beirats des ForschungsForums eine interessante Lektüre.

Ihr Jörg Wallaschek, Prorektor für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs

Jean de Mandeville

Überlieferungs- und Gattungsstrukturen europäischer Reiseliteratur

Als der Müller Domenico Scandella aus dem Friaul, genannt Menocchio, 1584 vor einem Inquisitionsgericht seine Meinungen über Himmel und Erde, Gott und die Welt kundtat, nannte er im Verhör über die ‚Quellen‘ seines Irrglaubens an erster Stelle die italienische Version der *Reisen* von Jean de Mandeville.

Carlo Ginzburg, der diesen Fall sozialhistorisch entfaltet, stellt lapidar fest, dass neben der Reformation ein zweites historisches Ereignis Menocchios Schicksal beeinflusste: „Der Buchdruck gab ihm die Möglichkeit, die Bücher der mündlichen Tradition, in der er aufgewachsen war, gegenüberzustellen, und er gab ihm die Worte, um den Knäuel von Ideen und Phantasien, die er in sich selbst bemerkte, aufzulösen.“

Es bleibt bemerkenswert, dass der Bewohner eines kleinen friaulischen Bergdorfes im Inquisitionsprozess erwähnt, er habe elf Bücher gekannt und verwendet, was vor der Erfindung des Buchdrucks wohl kaum möglich gewesen wäre. Menocchio



Prof. Dr. phil. Ernst Bremer ist Professor für Ältere deutsche Sprache und Literatur an der Universität Paderborn, einer der Direktoren des *Instituts zur Interdisziplinären Erforschung des Mittelalters und seines Nachwirkens* (IEMAN), einer der Sprecher des Paderborner MittelalterKollegs *Kloster und Welt* und Mitglied des Graduiertenkollegs *Reiseliteratur und Kulturanthropologie*. Er leitet die Mandeville-Arbeitsstelle und das Projekt *Repertorium der deutschen und niederländischen Pilgerreisen des Mittelalters und der Frühen Neuzeit*.

benutzte einen Mandeville-Text in italienischer Übersetzung; diese beruht auf jener Version in französischer Sprache, die der Originalfassung am nächsten steht. Um was für ein Buch handelt es sich, dessen Lektüre einerseits mit zu der 1599 vom Papst veranlassten Hinrichtung Menocchios führte, das andererseits –



Kopflose Menschen mit Gesichtern auf der Brust (Paris, Bibliothèque nationale de France, ms. français 2810, Bl. 194v).



Der Beginn einer kontinentalfranzösischen Mandeville-Handschrift: Mandeville in Rittertracht bei der Abfassung der *Reisen* (Paris, Bibliothèque nationale de France, ms. nouv. acq. fr. 4515, Bl. 1r).

zieht man den in einer frühen Interpolation geschilderten Papstbesuch des Autors hinzu – von der gleichen Instanz zweieinhalb Jahrhunderte zuvor approbiert worden war?

Das Werk

Ein frühes Indiz für die bis ins 19. Jahrhundert immer wieder bezweifelte Imagination der *Reisen* des Jean de Mandeville findet sich darin, dass der Autor im ersten Teil des Werkes verschiedene Ausgangspunkte und mehrere mögliche Reiserouten nach Jerusalem beschreibt.

Zahlreiche Exkurse und ‚Abwege‘ lassen zudem die traditionelle Itinerarstruktur zurücktreten und belegen die narrative Struktur der *Reisen* gegenüber ihren Quellen. Erst am Ende eines zweiten Weges gelangt der Leser an das vorläufige Ziel der Reise und zu den anderen Heiligen Stätten.

Im ersten Teil des Textes folgt Mandeville den topographischen Beschreibungen seiner Hauptquelle, dem *Itinerarius* des Wilhelm von Boldensele. Erzählkompositorisch löst er sich jedoch von seiner Vorlage, indem er deren Linearität in der Beschreibung der Wege zum Heiligen Land durch Exkurse ständig unterbricht und das Ziel der Reisebewegung – Jerusalem – als kompositorische Mitte seiner Erzählung neu gestaltet. Fallen Reiseziel und narrativer Beschluss des Berichtes für Boldensele noch zusammen, so ist Jerusalem bei Mandeville nicht nur die geographische Mitte



Der Ritter Mandeville reitet in Begleitung aus (Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana, Reg. Lat. 750, Bl. 1r).

der Welt, sondern steht auch im Zentrum seiner Erzählung. Diese kompositorische Neuorientierung impliziert jedoch nicht die Festlegung auf christlich-ideologische Dogmen: Gerade der Toleranzgedanke gegenüber Andersgläubigen durchzieht das Werk, die Darstellung ritueller und theologischer Besonderheiten der griechisch-orthodoxen Kirche, sonstiger christlicher Lehren, des Islam, der Glaubensinhalte und religiöser Gebräuche zahlreicher Völker sind ein wesentliches Charakteristikum.

Beinahe übergangslos kündigt der Autor sodann den zweiten Teil seiner Reise an: Er beabsichtige nun in den Orient zu fahren. Entsprechend der Hauptquelle dieses Textteiles, der Reisebeschreibung des Odoricus de Pordenone, schildert Mandeville zunächst die Reise von Venedig nach Trapezunt, dann über Armenien, Amazonien, Äthiopien nach Indien, China und in das Reich des Priesters Johannes.

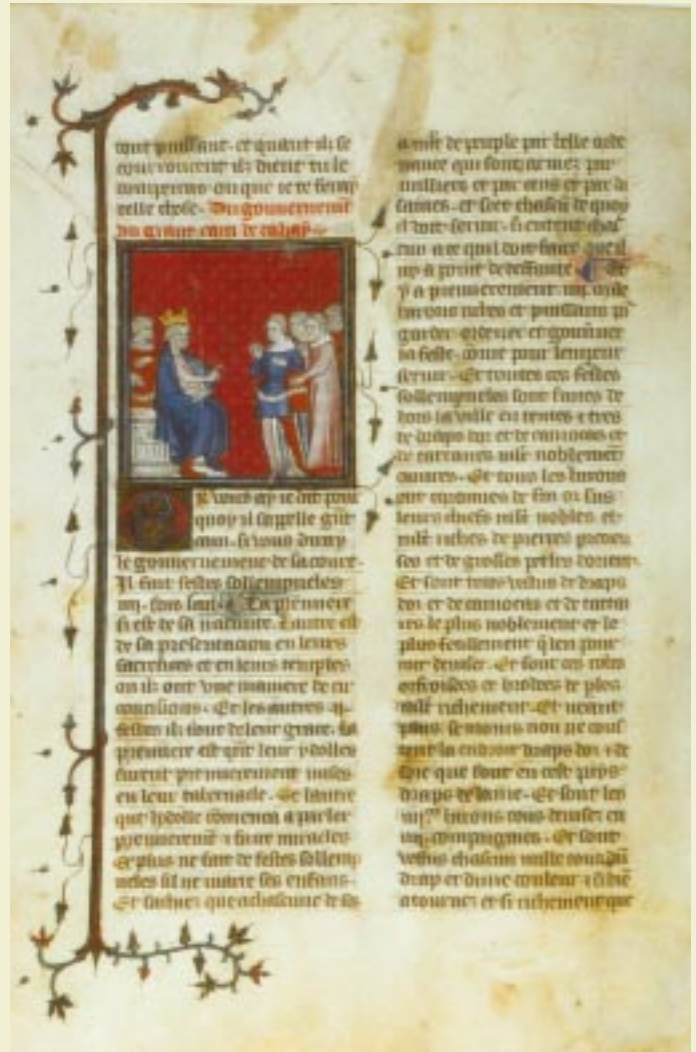
Beginnend mit der Beschreibung der Amazonen wird ein z.T. bereits in antiken Quellen präsentenes Kaleidoskop anthropologischer Mutationen und fabelhafter Wunderwesen entfaltet. Er berichtet von Menschen mit einem großen Fuß, der ihnen – auf dem Rücken liegend – Schatten zu spenden vermag, von kopflosen Menschen, die ihre Augen in den Schultern tragen, von Menschen mit Gesichtern ohne Nase und Mund bis zu Greifen – halb Adler, halb Löwe. Vom heißen Äthiopien wandert der Erzähler in seinen topographischen Vorstellungen zum benachbarten Indien, um nach dem Bericht über die angebliche Kälte



Dem Auftraggeber Adolphe de Clèves wird eine Mandeville-Handschrift überreicht (Amiens, Bibliothèque municipale, ms. fonds l'Escalopier 95 E, Bl. 1r).

dieses Landes zu einer Abhandlung über Edelsteine zu gelangen. „Modern“ muten nicht nur die naturwissenschaftlichen Exkurse über den südlichen Sternenhimmel und die Kugelgestalt der Erde an, sondern auch die ethnographisch distanzierende Schilderung exotischer Realität und Glaubensformen. Nach der Inselwelt Indiens ist das Ziel des zweiten Teils der *Reisen* das Reich des Großen Khan – in etwa das heutige China. Auch hier hält sich der Autor inhaltlich eng an die Quellen, z.B. an den Bericht Marco Polos; es differieren jedoch die narrativen Strukturen, die Perspektive der Erzählhaltung und die erzähltechnische Umsetzung des Stoffes: Der pragmatischen, fernhandelsorientierten Darstellung Marco Polos steht die ausschweifende literarische Schilderung Mandevilles gegenüber.

Geographische Exkursionen über die Grenzen Chinas hinaus bereiten die Weiterreise in das Land des Priesters Johannes vor, dessen phantastische Züge in schillernden Farben konturiert werden. Erzählerischer Höhepunkt dieses zweiten Teils des Romans ist die Wanderung Mandevilles durch das Teufelstal, die durch die Schilderung des irdischen Paradieses, des auch topographisch höchsten Ortes der Welt, kontrastiv eingeleitet wird. Gerade in dem Szenarium des Schreckens im Teufelstal entfaltet der Autor gegenüber den Quellen seine erzählerischen Möglichkeiten in vielfältigen Pointierungen literarischer Gestaltung. Nach Bestehen der Gefahren des Teufelstales verliert sich die Erzählung in der Vielfalt und Endlosigkeit der Inselwelten des



Mandeville besucht den Großen Khan (Città del Vaticano, Biblioteca Apostolica Vaticana, Reg. Lat. 750, Bl. 59v).

Priesters Johannes. Die Fiktion einer authentischen Reise findet ihren Beschluss im Epilog: Wegen einer Krankheit bricht der Erzähler seine Reise ab und beginnt mit der Abfassung des Werkes.

Der Autor

Jean de Mandeville

Die Identität des Verfassers und der Ort der Niederschrift des Werkes sind ebenso mysteriös wie ungeklärt. Im Prolog der autornächsten – der kontinentalfranzösischen – Version berichtet der Erzähler, dass er, der Ritter Jean de Mandeville, in St. Albans in England geboren und am St. Michaelstag des Jahres 1322 ausgefahren sei, um die in der Folge aufgezählten Länder und Orte zu besuchen. Im Epilog der gleichen Version teilt er uns mit, dass er nach seiner Rückkehr an einem nicht näher bezeichneten Ort 1356 das Werk niederschrieb. Weitere Angaben zu Ort und Umständen der Entstehung des Werkes bietet der Epilog der späteren Lütticher Version, nach der ein in Lüttich praktizierender populärer Arzt, Jean de Bourgogne, Mandeville behandelt und ihn zur Abfassung der *Reisen* bewogen habe.

Der hier vorgenommenen Unterscheidung zwischen Mandeville dem Erzähler und Jean de Bourgogne dem Arzt widersprechen jedoch historiographische Quellen, die eine Identität zwischen beiden behaupten. Mandeville habe zwar in Lüttich unter dem Namen Jean de Bourgogne gelebt, sei aber in Wirklichkeit jener

Engländer des Prologs der *Reisen* gewesen. Eine Erklärung für diesen fiktiven Namen bietet allein der Bericht des Lütticher Chronisten Jean d'Outremeuse um 1400, wonach Mandeville wegen eines Totschlags England verlassen musste; d'Outremeuse berichtet weiter, dass sich Mandeville als Naturforscher, Philosoph und Arzt in Lüttich niedergelassen habe und dort am 12. November 1372 unter dem Namen Jean de Bourgogne gestorben sei.

Als einigermaßen gesichert kann heute gelten, dass Mandeville von Geburt Engländer war und aus nicht näher bestimmtem Anlass die Insel verlässt, um in Lüttich unter anderem Namen zu leben; in einem Werk französischer Sprache gibt er 1356 Herkunft und Namen preis, verschweigt aber den Ort der Niederschrift. Die Hypothese, der Autor hätte mit Wissen und Amusement einer kleinen literarischen Gesellschaft Lüttichs seine Person verdoppelt, ermöglicht die Zusammenfügung sich widersprechender Traditionen und unterstellt dem Autor gleichzeitig eine travestierende Behandlung der eigenen Identität.

Die europäische Verbreitung der *Reisen*

Der Reisebericht Mandevilles kann zu den meistgelesenen Büchern des späten Mittelalters gezählt werden, wovon nicht nur über 300 erhaltene Handschriften in fast allen europäischen Nationalsprachen, sondern auch zahlreiche Druckauflagen der Inkunabelzeit Zeugnis ablegen.

Heute wird fast übereinstimmend davon ausgegangen, dass von den drei französischsprachigen Ausgangsversionen des Textes die Kontinentale die älteste und dem Autortext am nächsten stehende ist; eine kritische Edition dieser primären Textfassung stellt

jedoch noch ein großes Desiderat der Mandeville-Forschung dar. Der älteste datierte Repräsentant dieser Version – gleichzeitig der gesamten Mandeville-Überlieferung – wird 1371 für den französischen König Karl V. geschrieben. Vor 1393 ging aus dieser Fassung Michel Velsers Südtiroler deutsche Übertragung hervor. Die gleichfalls bisher nicht edierte Lütticher Version erreicht trotz ihres Lokalkolorits eine erstaunliche Rezeption auf dem Kontinent. Unter anderem ist sie Quelle einer weiteren deutschen Übersetzung durch Otto von Diemeringen, dessen redaktionelle Umarbeitung des Textes zwischen 1356 und 1396 in Lüttich erfolgt sein muss.

Der beinahe ausschließlich negativen wissenschaftlichen Beurteilung der Umarbeitung der *Reisen* in der Lütticher Version steht die traditionsbildende Wirkung dieser Fassung gegenüber. Zwar ist die Überlieferungsdichte relativ gering, auch scheint das lokalhistorische Kolorit dieses Textes einer Rezeption im Frühdruck im Wege gestanden zu haben, jedoch erfährt diese Textfassung offenbar unter veränderten literatursoziologischen Voraussetzungen in Bearbeitungen und Übersetzungen ins Lateinische, Deutsche, Tschechische und Dänische auf europäischer Ebene eine Verbreitung, die diejenige der beiden anderen französischen Ausgangsversionen bei weitem übertrifft.

Die dritte französischsprachige Fassung, die sogenannte Insulare Version, entsteht vor 1375 in England und hat nur auf der Insel traditionsbildend gewirkt. Sie ist überlieferungs- wie textgeschichtlicher Ausgangspunkt mehrerer Übersetzungen ins Lateinische, Englische und Irische.

Die größte Überlieferungsdichte erreicht der Text der *Reisen* mit über 100 Handschriften in den deutschen und niederländischen Fassungen. In bis heute 41 Handschriften vom Ende des 14. Jahrhunderts bis in die zweite Phase der Frühdruckzeit hinein ist



Das Teufelstal (Paris, Bibliothèque nationale de France, ms. français 2810, Bl. 215r).

die Velser-Übersetzung erhalten, die Anton Sorg 1480 in Augsburg zum ersten Male druckt. Die bislang in 46 handschriftlichen Textzeugen überlieferte Übertragung des Otto von Diemeringen gelangt 1480/81 bei Bernhard Richel in Basel zum Druck, dem vier weitere in Straßburg folgen. Die ältesten Handschriften der niederländischen Übersetzung und der darauf basierenden niederdeutsch-mitteldeutschen Übertragungen mit insgesamt 19 Handschriften datieren ebenfalls vom Ende des 14. Jahrhunderts.

Das Mandeville-Projekt

Eine die gesamteuropäische Situation einbeziehende Text- und Überlieferungsanalyse stand und steht im Zentrum des Projektes. Dieser mussten überlieferungsgeschichtliche Analysen vorausgehen, die weniger das Augenmerk auf die editionswissenschaftliche Textkritik als vielmehr auf den Text in seiner jeweiligen Rezeptionsform im Hinblick auf ein neues Text- und Literaturverständnis richten.

Zu einer solchen Perspektivierung des Themas bedurfte es einer interdisziplinären Aufgeschlossenheit, die im Rahmen des Projektes gewährleistet ist. So konnte mit finanzieller Unterstützung des Landes und der Universität eine Aufbereitung der europäischen Überlieferung von Mandevilles *Reisen* abgeschlossen und zur Drucklegung vorbereitet werden; einen besonderen Schwerpunkt bildete die Untersuchung der Überlieferungssymbiosen des Mandeville-Textes.

Die Untersuchung der in Sammelbänden mitüberlieferten deutschen Texte dient als Quelle zur Bestimmung der historisch nachweisbaren Gebrauchsfunktion volkssprachlicher Reise- und Pilgerliteratur-Überlieferung, auf deren Grundlage auch Aussagen zur Gattungstypologie spätmittelalterlicher Reiseliteratur möglich sind. Im Zentrum des untersuchten Corpus steht der faszinierendste Repräsentant, der Reisebericht Mandevilles in seinen deutschsprachigen Bearbeitungen, dazu treten die Werke Ludolfs von Sudheim, Hans Tuchers, Hans Schiltbergers, Bernhards von Breydenbach, Konrad Grünenbergs und die schmale Überlieferung des deutschen Marco Polo-Textes.

Die einzelnen mitüberlieferten Texte werden nach Beziehungen zur Reiseliteratur und die Sammelhandschriften nach den die Zusammenstellung der Texte motivierenden übergeordneten Prinzipien untersucht – zu welchen Werktypen tendiert Reiseliteratur bzw. welche Werktypen werden von Reiseliteratur angezogen? In welchen Gebrauchszusammenhängen stehen die Textzeugen, welches Gebrauchsinteresse lassen sie erkennen und welche Rückschlüsse lassen sich daraus für das historische Bewusstsein der mit der Reiseliteratur in Zusammenhang stehenden Werke und für eine Funktionsbestimmung der Reiseliteratur ziehen?

Durch die Analyse der gesamten Mitüberlieferung nach quantitativen und typologischen Kriterien wird sichtbar, dass die Zahl der Texte aus den Objektbereichen Geschichte und Religion neben Texten aus dem engeren Umfeld der Reiseliteratur selbst eindeutig überwiegt. Juristische Texte sind nur vereinzelt überliefert, während die lehrhafte Literatur, zum großen Teil noch in gebundener Form, gegenüber der Fach- und Gebrauchsprosa dichter überliefert ist.

Es lassen sich auf diesem Hintergrund bestimmte Symbiosemuster bestimmen – in der Kombination etwa von Mandeville, Marco Polo und Schiltberger scheint eine Konstellation vorzuliegen, die dem Begriff eines „gattungstypologischen Magnetfeldes“



Ein Kapitelverzeichnis in Registerform (Tours, Bibliothèque municipale, ms. 947, Bl. 67r).

nahe kommt. Der Impuls zum Aufbau eines solchen Feldes von Reiseliteratur wird wahrscheinlich vom Mandeville-Text ausgegangen sein. Dieser ist typologisch sowohl gegenüber der Pilgerreise als auch der Welt- und Orientreise offen und weist sogar zu ausschließlich pragmatisch orientierten Texten wie Pilger- und Reiseführer Affinitäten auf.

Ein weiterer Kollektionstyp ist die Verbindung von Werken der Reiseliteratur mit Chroniktexten und pseudohistorischen Romanen. Insbesondere die Mitüberlieferung der *Reisen* Mandevilles, daneben jedoch auch die des Marco Polo- und des Ludolf-Textes in oberdeutscher Übersetzung lassen diese Textsymbiose erkennen. Im Rahmen einer noch weitgehend als unproblematisch empfundenen Verschränkung von Dichtung und Historiographie kommt dem eine besondere Qualität zu. Der Mandeville-Text ist mit dem Aeneas-, dem Alexander- und auch mit dem Troja-Stoff überliefert, der seit der Antike von der Aura besonderer historischer Glaubwürdigkeit profitierte.

Die gemeinsame Überlieferung der Reiseliteratur mit chronistischen Werken und pseudohistorischen Prosaromanen antikisierenden Inhalts zeugt von einer Rezeptionshaltung, in der ein fließender Übergang der Typen Historiographie und Dichtung als selbstverständlich betrachtet wird. Andererseits wird der Werktyp Reiseliteratur in die Bewertung solcher Texte einbezogen, die traditionell als Beispiel eines geschichtlichen Diskurses galten und denen im besonderen Maße das Attribut historischer

Glaubwürdigkeit zugewachsen war. Wie sehr die Reiseliteratur einer solchen Rezeptionshaltung entgegenkommt, zeigt z.B. die ständige Berufung ihrer Autoren auf Augenzeugenschaft und persönliche Erfahrung.

Ergebnisse

Trotz des Spektrums von strukturell und funktional sehr unterschiedlichen Texten wird die Reiseliteratur auch in der jüngeren Literaturgeschichtsschreibung scheinbar problemlos der Fachliteratur im engeren Sinne zugewiesen. Nicht selten wird unter dem Begriff nur die quantitativ dominierende Pilgerliteratur gefasst, die auf die traditionellen Pilgerziele mittelalterlicher Fernwallfahrt – Jerusalem, Santiago de Compostela und Rom – ausgerichtet ist. Eine große Gruppe von Prosatexten wird auf diese Weise im Kanon mittelalterlicher Fachliteratur abgelegt, ohne dass sämtliche Werke bisher auch nur bibliographisch und überlieferungsgeschichtlich erschlossen sind oder ihr literarischer Stellenwert bestimmbar wäre.

Die Untersuchung von Textsymbiosen in spätmittelalterlicher Reiseliteratur spezifiziert das historische Bewusstsein dieses Werktyps als Bewusstsein von thematischen Beziehungen verwandter Werktypen. Die Komplementarität von räumlicher und zeitlicher Distanzerfahrung kann hier aus den Überlieferungsmustern bzw. aus zeitgenössischem Rezeptionsbewusstsein nachgewiesen werden.

Die Affinität der Reiseliteratur – vor allem des Mandeville-Textes – in der Überlieferung zur Chronikliteratur, aber auch zu den ersten Prosaromanen historischen Inhalts legt insgesamt die Frage nahe, ob nicht dieser Werktyp in die Diskussion um die Entwicklung und Herausbildung des frühen Prosaromans einzubeziehen ist, wie dies für die Historiographie, als die allen übrigen erzählenden Typen in Prosaform vorausgehende Gattung, bereits geschehen ist. Verbindungslinien zum frühen historisierenden Prosaroman ergeben sich nicht nur durch die hier wie dort in Anspruch genommene historische Faktenwahrheit, die nicht selten als Augenzeugenschaft des Erlebten figuriert, sondern auch dadurch, dass in der Reiseliteratur die verschiedenen Wissensbestände mit der Gegenwart in Beziehung gesetzt und damit perspektiviert werden – sei es durch Wunscherfüllungen oder Kompensationen von restriktiver Alltagsrealität und Sozialerfahrung im fiktionalen Raum, sei es durch grenzüberschreitende identifikatorische Handlungskonzepte oder Projektionen idealer gesellschaftlicher Zustände. Die Überlieferung legt nahe, die Reiseliteratur als ‚historisierende‘ Gattung im Sinne einer Vermittlungs- und Deutungsinstanz verschiedenster Wissensbestände zu bewerten.

Die Erzählkomposition des Textes legt eine solche Deutung als personenbezogenes außergewöhnliches und auch historisches Ereignis durchaus nahe: Der Erzähler, der sich Mandeville nennt, ist im gesamten Werk von einer solch auktorialen Präsenz, dass die schon zeitgenössische Bewertung seiner Person als exzentrischem Lügner und größtem Entdecker aller Zeiten nachvollziehbar wird.

Literatur:

Bennett, Josephine Waters: The rediscovery of Sir John Mandeville, New York 1954.

Bremer, Ernst: Mandeville, Jean de (John, Johannes von). In: Verfasserlexikon Bd. 5 (1985), Sp. 1201-1214.

Bremer, Ernst: Jean de Mandeville in Europa, Bd. 1: Überlieferungsgeschichte. Bearb. v. Ernst Bremer und Randall Herz, München 2003 [im Druck].

Deluz, Christiane: Le livre de Jehan de Mandeville, une „géographie“ au XIV^e siècle, Louvain-La-Neuve 1988.

Deluz, Christiane: Jean de Mandeville: Le livre des Merveilles du Monde, Paris 2000.

Nusser, Alexandra: Jean de Mandevilles Reise von der Handschrift in den Druck: Wandlungen, Kontinuitäten und Brüche in Text und Gestalt unter medialen und überlieferungsgeschichtlichen Aspekten [in Vorbereitung].

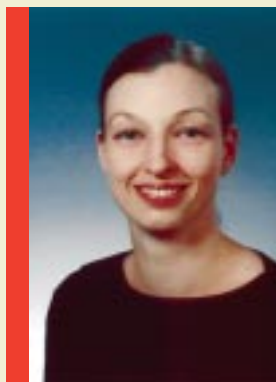
Ridder, Klaus: Jean de Mandevilles „Reisen“: Studien zur Überlieferungsgeschichte der deutschen Übersetzung des Otto von Diemerigen, München/Zürich 1991.

Röhl, Susanne: Der *livre de Mandeville* im 14. und 15. Jahrhundert. Untersuchungen zur handschriftlichen Überlieferung der kontinentalfranzösischen Version, München 2003 [im Druck].

Seymour, Michael C.: English Writers of the Late Middle Ages: Sir John Mandeville, Aldershot/Brookfield 1993.

Zitat aus:

Ginzburg, Carlo: Der Käse und die Würmer. Die Welt eines Müllers um 1600, Frankfurt/Main 1983, S. 20.



Alexandra Nusser M. A. ist Stipendiatin am Paderborner MittelalterKolleg *Kloster und Welt* des IEMAN und promoviert über Textveränderungsprozesse in der Überlieferung der *Reisen* des Jean de Mandeville.

Ultraschall-Zerstäubung von Fluiden

Prozessoptimierung in der Lackiertechnik

In der Lackierindustrie stellt die Entwicklung und Optimierung neuer Techniken eine große Herausforderung dar. Neben der hierfür notwendigen experimentellen Untersuchung von Lackherstellungs- und Applikationsverfahren bietet die Computersimulation solcher Prozesse eine zeit- und kostengünstige Alternative. Die Variation von betrieblichen Parametern am Computer liefert wesentliche Hinweise zur Optimierung des Verfahrens. Einer rechnerischen Vorhersage geht jedoch eine adäquate Modellbildung und die Wahl geeigneter Simulationsmethoden voraus. Dies ist Gegenstand eines vom MSWF-NRW im Rahmen der innovativen Spitzenforschung geförderten Projekts der Universität Paderborn zur Optimierung der Ultraschall-Stehwellenzerstäubung. Dieses Verfahren kann zur effizienten Herstellung von Pulverlacken und zur Applikation hochviskoser Lacksysteme angewandt werden.

Zunehmend strengere Auflagen seitens der Umweltgesetzgebung erfordern die Entwicklung neuer Lacke und Lackiertechniken, welche ressourcenschonend arbeiten und die Emission von Lösemitteln vermindern. Die so genannte Pulverlackiertechnik kann diesen Anforderungen im Wesentlichen gerecht werden. Bei diesem Verfahren wird ein pulverförmiges Polymersystem, bestehend aus Harz, Härter, Pigmenten und Additiven, elektrostatisch aufgeladen und auf das Werkstück appliziert. In einem anschließenden Brennprozess schmelzen die Pulverpartikel und reagieren zu einer äußerst widerstandsfähigen Oberflächenbeschichtung. Die Pulverlackiertechnik bietet als umweltschonendes Applikationsverfahren eine praktisch völlige Vermeidung von Lösemittel- und Abwasseremissionen sowie eine Abfallreduzierung durch Rückgewinnung von nicht genutztem Material. Aus diesen Gründen konnte die Pulverlackiertechnik in den letzten Jahren deutliche Zuwachsraten verzeichnen.

Den ökologischen Vorzügen dieser Technologie stehen eine Reihe von ökonomischen und qualitätsbezogenen Nachteilen entgegen. Hoher Energiebedarf und Abfälle bei der Herstellung von Pulverlacken, hohe Schichtdicken zur Sicherung der Lackqualität, ungenügendes Verlaufsverhalten und eine weiter zu optimierende Applikationstechnik verhindern derzeit die prinzipiell mögliche Verdrängung herkömmlicher Lackiertechniken.

Die genannten Schwierigkeiten sind durch die derzeit verwendeten Produktionsverfahren von Pulverlacken bedingt. Pulverlack wird bisher durch energieaufwändiges Vermahlen von Polymeren hergestellt. Die dadurch erhaltenen Partikel weisen unregelmäßige, scharfkantige Formen auf, was zu einigen der angeführten Mängel führt. Ziel gegenwärtiger Bemühungen ist es daher, die Herstellung und Applikation von Pulverlacken hinsichtlich



Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Warnecke ist seit 1998 Professor für Technische Chemie und Chemische Verfahrenstechnik an der Universität Paderborn.



PD Dr. rer. nat. Dieter Bothe leitet als habilitierter Mathematiker seit 1999 die Abteilung „Modellierung und Simulation“ dieses Faches.

Die gemeinsamen Forschungsschwerpunkte liegen in der Intensivierung ein- und mehrphasiger technisch-chemischer Prozesse durch mathematische Modellierung, Analyse und numerische Simulation sowie experimentelle Untersuchungen.

ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte zu optimieren und die Qualität der Lackbeschichtungen zu verbessern.

Ultraschallzerstäubung als Alternative

Die Ultraschall-Stehwellenzerstäubung, im Folgenden kurz USZ genannt, stellt eine innovative Alternative zu konventionellen Herstellungs- und Applikationstechniken dar. Der prinzipielle Aufbau einer USZ-Anlage besteht aus zwei annähernd axial angeordneten Schallschwingern (Sonotroden), die ähnlich einem Lautsprecher elektrische Spannungen in mechanische Schwingungen umwandeln. Die erzeugte Frequenz liegt dabei knapp über der Hörschwelle des menschlichen Ohres bei etwa zwanzigtausend Hertz. Durch die gegenüberliegende Anordnung der Sonotroden wird ein Resonanzfeld sehr hoher Energiedichte erzeugt. Zur Pulverlackherstellung mittels USZ wird eine Polymerschmelze zunächst in einem Extruder homogenisiert. Die so erhaltene Polymerschmelze wird von einer Düse kontinuierlich in das Ultraschallfeld eingebracht (Abbildung 1). Durch die Schallkräfte, die auf die Flüssigkeitsoberfläche der Schmelze wirken, erfolgt eine Zerstäubung des Strahls in Polymertröpfchen. Diese nehmen aufgrund von Oberflächenspannung sehr schnell Kugelform an, erstarren während des Flugs durch die Luft und ergeben so den Pulverlack.

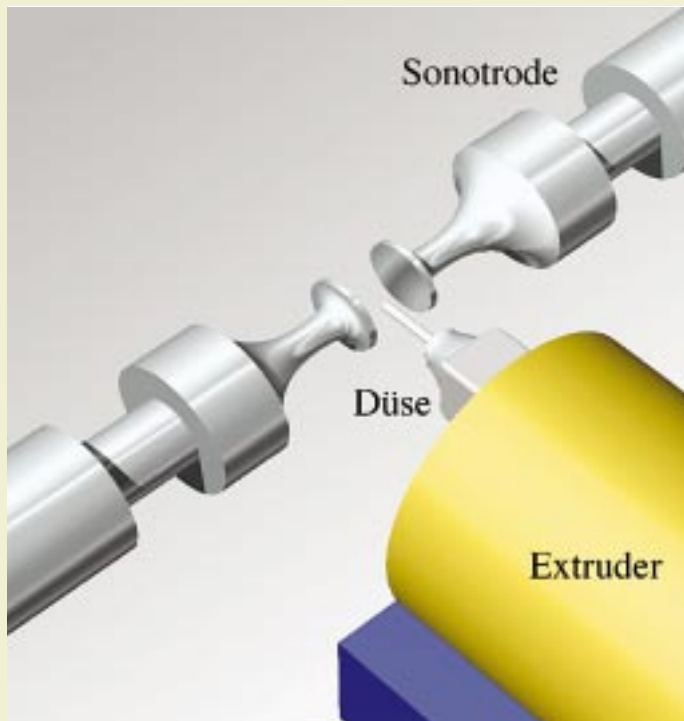


Abb. 1: Schema der Ultraschall-Stehwellenzerstäubung zur Herstellung von Pulverlacken.

Um die industrielle Anwendbarkeit der USZ zu erreichen, ist eine Optimierung des Verfahrens notwendig. Dabei soll eine Verbesserung bezüglich Kriterien wie insbesondere Durchsatz, ein möglichst geringer Energiebedarf bei optimaler Zerstäubung, Sicherstellung der Produktqualität und die Erzeugung einer definierten Partikelverteilung erzielt werden. Hierfür ist ein fundamentales Verständnis der Zerstäubungsprozesse im Ultraschallfeld zwingend erforderlich. Zu diesem Zweck werden einerseits experimentelle Untersuchungen an USZ-Testanlagen vorgenommen. Parallel dazu wird ein auf kontinuumsmechanischer Modellierung und numerischer Strömungssimulation basierendes Werkzeug entwickelt, mit dem die Berechnung der Fluidzerstäubung im Ultraschallfeld möglich ist. Die numerische Simulation am Computer bietet den Vorteil, Geometrie-, Betriebs- und Stoffparameter direkt verändern zu können, um deren Einfluss sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erfassen. Für solche Variationsrechnungen muss der Aufwand bezüglich Rechenzeit jedoch in einem praktikablen Rahmen bleiben.

Experimentelle Untersuchungen

Abbildung 2 zeigt eine während des Zerstäubungsvorgangs aufgenommene Blitzlicht-Fotografie. Der eingedüste Flüssigkeitsstrang ist durch die auftretenden Schallkräfte sichtbar zu einer Lamelle zusammengepresst, welche an ihrem Rand in feine Tropfen zerfällt. Die Größe der Tropfen schwankt dabei zwischen 5 und 120 Mikrometern, wobei die Größenverteilung der entstehenden Partikel eine wichtige Zielgröße bei der Optimierung des Verfahrens darstellt: das Auftreten zu großer oder zu kleiner Partikel vermindert die Güte des Pulverlacks. Hier haben experimentelle Untersuchungen gezeigt, dass die mittels USZ erzeugten kugelförmigen Partikel gegenüber den durch Vermahlen hergestellten, unregelmäßig, scharfkantig geformten Teilchen bessere Applikationseigenschaften besitzen und einen gleichmäßigeren Beschichtungsverlauf auf der Oberfläche ergeben.



Abb. 2: Blitzlicht-Fotografie der Zerstäubung eines Flüssigkeitsstrangs im Ultraschallfeld.

Grundlagen der Modellierung

Der Zerstäubungsvorgang im Ultraschall-Stehwellenfeld lässt sich auf Basis der Kontinuumsmechanik beschreiben. Das Fundament der Modellierung sind die Bilanzen für Masse, Impuls und gegebenenfalls Energie der strömenden Fluide. Diese grundlegenden Beziehungen sind durch konstituierende Gesetze zur Berücksichtigung des Materialverhaltens zu ergänzen. Im Fall einer einphasigen Fluidströmung unter isothermen Bedingungen mit linearer Spannungs-Scherungs-Relation liefern diese die bekannten Navier-Stokes-Gleichungen. Da dieses Gleichungssystem stark nichtlinear ist, lassen sich explizite Lösungen nur in einigen Spezialfällen angeben. Die Berechnung komplexer Strömungsvorgänge erfolgt daher näherungsweise mit Hilfe numerischer Verfahren, wobei in der Regel die Diskretisierung sowohl des durchströmten Gebietes durch Zerlegung etwa in quaderförmige Volumenelemente, als auch der relevanten Zeitspanne zugrunde liegt.

Bei der USZ handelt es sich um ein zweiphasiges Strömungsphänomen mit kompressibler Gasphase. Dabei stellt die Phasengrenzfläche zwischen Gas und Flüssigkeit einen so genannten freien Rand dar, dessen Lage und Form aufgrund der gewünschten Zerstäubung der Polymerschmelze massiven Veränderungen unterliegt. Dies erfordert die Verwendung eines numerischen Verfahrens, welches zusätzlich zur Lösung der Massen- und Impulsbilanz auch die Phasengrenzfläche berechnet.

Eine besondere Schwierigkeit ergibt sich aus der Tatsache, dass die physikalischen Phänomene der USZ sowohl auf unterschiedlichen Zeit- als auch Größenskalen stattfinden. Eine Computersimulation der Zweiphasenströmung mit kompressibler Gasphase unter gleichzeitiger Berücksichtigung der vollständigen Wechselwirkung über die variable Phasengrenze ist daher nur mit einem extrem hohen numerischen Aufwand realisierbar. Dieser äußert sich hauptsächlich in einem sehr hohem Bedarf an Speicherplatz und Rechenzeit. Die angestrebte Optimierung des Verfahrens durch Variation von Stoff- und Betriebsparametern kann daher durch diese Art der numerischen Beschreibung ohne weitere Vereinfachungen nicht realisiert werden.

Aus diesem Grund wird eine Entkopplung bezüglich der numerischen Behandlung in einzelne Teilprozesse vorgenommen.

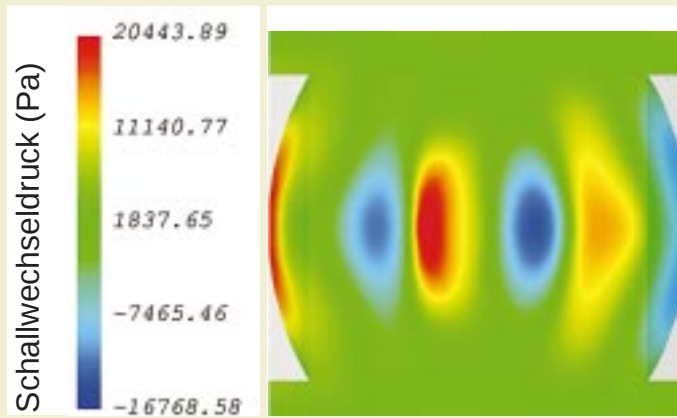


Abb. 3: Numerisch berechnete Druckverteilung zu einem bestimmten Zeitpunkt für eine Resonator-Anordnung mit zwei konkaven Sonotroden.

Konkret bedeutet dies die getrennte Berechnung einerseits der einphasigen, kompressiblen Strömung des Ultraschallfelds, und andererseits der Zerstäubung und Tropfendynamik als inkompressibles Strömungsproblem mit freier Oberfläche. Der Kraft-eintrag durch die kompressible Gasphase wird dabei in der inkompressiblen Rechnung durch Quellterme an der Phasengrenze berücksichtigt. Jeder Teilprozess kann so mit einem für den jeweiligen Typ des Strömungsproblems spezialisierten numerischen Verfahren bearbeitet werden. Dabei werden Rückwirkungen der flüssigen Phase auf das Schallfeld zunächst vernachlässigt.

Numerische Berechnung des Zerstäubungsvorgangs

Im ersten Schritt erfolgt die Berechnung des Ultraschallfelds durch numerische Lösung der kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen mit einer kommerziellen „Computational-Fluid-Dynamics“(CFD)-Software. Hierbei ist neben den Bilanzen für Masse und Impuls zusätzlich die Energiegleichung zu berücksichtigen, da die zur USZ notwendigen großen Schallintensitäten zu starken Temperaturschwankungen innerhalb der Gasphase führen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es mit relativ geringem Aufwand Veränderungen des geometrischen Aufbaus der Schall-schwinger zu simulieren. Ziel ist es, diejenige Sonotrodenform zu ermitteln, die zu möglichst hohen Energiedichten im Zentrum des Schallfelds führt.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Simulationsrechnung für eine in der Praxis verwendete Anordnung aus zwei Schallschwingern mit konkaver Ausfräsung der Stirnflächen. Dargestellt ist eine typische Druckverteilung zwischen den Sonotroden, wobei die blauen und orangefarbenen Bereiche Gebiete hohen bzw. niedrigen Drucks und damit die Schallbäue des Resonanzfelds kennzeichnen.

Im zweiten Schritt wird die Zerstäubung der Polymerschmelze behandelt. Zur Berücksichtigung der freien Grenzfläche erfolgt die numerische Berechnung mit dem so genannten „Volume of Fluid“(VOF)-Verfahren. Die Grundidee dieser Methode liegt in der impliziten Erfassung der Phasengrenze zwischen flüssiger und gasförmiger Phase durch Bilanzierung des Volumenanteils der Flüssigkeit. Diese zusätzliche Volumenanteilsfunktion hat also den Wert 1 in Zellen, die ganz mit Flüssigkeit gefüllt sind und den Wert 0 in solchen, die vollständig in der Gasphase liegen. Dadurch können die unterschiedlichen Dichten und Viskositäten beider Fluide in der Strömungsberechnung berücksichtigt werden. In allen Zellen, die Phasengrenzflächen enthal-

0.69	0.16	0	0	0	0
1	0.97	0.29	0	0	0
1	1	0.87	0.06	0	0
1	1	1	0.38	0	0
1	1	1	0.72	0	0

Abb. 4: Beispiel einer möglichen Verteilung der Volumenanteilsfunktion in Rechenzellen bei einer VOF-Simulation.

ten, besitzt die Volumenanteilsfunktion einen Wert zwischen 0 und 1. Aus der gesamten Verteilung der Volumenanteile können sowohl Lage und Orientierung der Phasengrenze als auch die Krümmung der Grenzfläche näherungsweise berechnet werden. Letzteres ist zur korrekten Simulation extrem wichtig, da die aus der Grenzflächenspannung resultierenden Kräfte proportional zur Krümmung sind. Diese Kräfte bewirken – ähnlich wie bei Seifenblasen – eine Minimierung und dadurch Glättung der Grenzfläche, die letztlich zu kugelförmigen Tropfen führt.

Für eine ausreichende Auflösung der freien Phasengrenze während des Zerstäubungsprozesses müssen sehr feine Rechengitter mit bis zu 20 Millionen Zellen verwendet werden. Zur effizienten Durchführung solcher Simulationen werden daher Parallelrechner und massiv parallele Rechentechniken genutzt.

Zur Verwendung des VOF-Verfahrens in dem hier beschriebenen entkoppelten Ansatz wurde der Algorithmus zur Berechnung der Grenzflächenphänomene um zusätzliche Quellterme erweitert, welche die Kräfte des Ultraschalls auf die Phasengrenzfläche der flüssigen Phase berücksichtigen. Als Input für diese Quellterme dienen die aus vorangegangenen Schallfeldberechnungen erhaltenen gemittelten Druck- und Geschwindigkeitsfelder.

Abbildung 5 zeigt ein typisches Ergebnis der numerischen Simulation des Zerstäubungsvorgangs eines Flüssigkeitsstrangs im Ultraschallfeld. Die Sonotroden sind dabei vor und hinter der Papierebene angeordnet. Durch die Auswertung solcher Simulationen können Vorhersagen über die resultierenden Partikelgrößenverteilungen gewonnen werden, die einen wichtigen Optimierungsparameter darstellen.

Die bei der Ultraschallzerstäubung eingesetzten Polymerschmelzen und Lacksysteme weisen nichtnewtonsches Verhalten auf.



Abb. 5: Simulation der Zerstäubung eines kontinuierlichen Flüssigkeitsstrangs in einem resonanten Ultraschallfeld.

Die Beschreibung von nichtnewtonschem Verhalten von Flüssigkeiten basierend auf einem modifizierten Ostwald-de-Waele-Ansatz ist Gegenstand derzeitiger Untersuchungen. Dabei werden numerische Simulationen von binären Tropfenkollisionen an experimentellen Aufnahmen mit einer nichtnewtonschen, inelastischen CMC-Wasser-Lösung validiert. Das implementierte Modell steht dann auch für die Simulation der USZ zur Verfügung.

Zielorientierte Kooperationen

Die Durchführung des Forschungsvorhabens verläuft in enger Kooperation mit dem Fachgebiet Chemie und Technologie der Beschichtungsstoffe (CTB). Hier werden die experimentellen Untersuchungen an USZ-Testanlagen durchgeführt.

Für die numerische Simulation des Zerstäubungsvorgangs kommt der am Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt (ITLR) der Universität Stuttgart entwickelte, nicht-kommerzielle VOF-Code FS3D zur Anwendung. Das Programm ist für die Verwendung auf parallelen Rechensystemen optimiert, die im Paderborn Center for Parallel Computing – PC² für Simulationsrechnungen genutzt werden. Zusammen mit diesen Partnern wird das numerische Verfahren weiterentwickelt. An der Modellierung ist das Institut für Analysis der Universität Halle-Wittenberg beteiligt.

Als Partner aus der Industrie sind die Volkswagen AG und die UCB Chemie vertreten.

Literatur

O. Reipschläger: Desintegrationsprozesse im Ultraschallfeld: Modellbildung, Simulation, Experiment. Dissertation Paderborn 2002.

O. Reipschläger, D. Bothe, B. Monien, J. Prüss, B. Weigand, H.-J. Warnecke: Modelling and simulation of the disintegration process in ultrasonic standing wave atomizers, 18th Annual Conference on Liquid Atomization & Spray Systems ILASS EUROPE 2002.

O. Reipschläger, D. Bothe, H.-C. Broecker, B. Monien, J. Prüss, H.-J. Warnecke, B. Weigand, K. Wielage: Modellierung und Simulati-

on zur Optimierung des Zerstäubungsprozesses in einem Ultraschall-Stehwellenfeld, pp. 563-568 in Frontiers in Simulation, ASIM Fortschrittsberichte Simulation, 15. Symposium Simulationstechnik, Paderborn 2001.

J. Vestweber, J. Reiter, A. Goldschmidt: Die Ultraschallstehwellenzerstäubung. Schriftenreihe VILF-Vorträge. Es muß nicht immer flüssig sein! – Vom Pulverlack bis zum Trockenmörtel, Band 2, S.34-42, VILF 1999.



Von links: **Prof. Dr. rer. nat. Jan Prüss**, Fachbereich Mathematik und Informatik Institut für Analysis, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Warnecke, Fakultät für Naturwissenschaften, Fachgebiet Technische Chemie und Chemische Verfahrenstechnik, Universität Paderborn.

PD Dr. rer. nat. Dieter Bothe, Fakultät für Naturwissenschaften, Fachgebiet Technische Chemie und Chemische Verfahrenstechnik, Universität Paderborn.

Dipl. Chem. Oliver Reipschläger, Fakultät für Naturwissenschaften, Fachgebiet Technische Chemie und Chemische Verfahrenstechnik, Universität Paderborn.

Dipl. Chem. Jörn Vestweber, Fakultät für Naturwissenschaften, Chemie und Technologie der Beschichtungsstoffe, Universität Paderborn.

Electronic Commerce – Ein Sturm im Wasserglas?

Fällt die „erwartete Revolution“ der Geschäftsprozesse aus oder kommt sie langsam, aber gewaltig?

„Electronic Commerce“ war ein Modewort und gleichzeitig ein Motor des Börsenbooms der vergangenen Jahre. Die „Seifenblase“ ist geplatzt, doch nach wie vor vermutet man im E-Commerce beachtliche betriebs- und volkswirtschaftliche Potenziale! Doch um diese Potenziale wie z.B. höhere Markttransparenz und geringere Transaktionskosten zu realisieren, gilt es aus Schlagworten Aufgaben zu identifizieren, Lösungsalternativen in organisatorischer und technischer Hinsicht zu erarbeiten und diese zu bewerten. Daran arbeitet eine Forschergruppe der Wirtschaftswissenschaften.

Schlagworte und Realität

Datenfernübertragung, Electronic Data Interchange (EDI), Electronic Commerce – mit vielen Schlagworten wurde versucht, die Kommunikation von Unternehmen und Verbrauchern mit Hilfe elektronischer Medien zu beschreiben. Vieles hat sich in den letzten Jahren getan: Handy, E-Mail und das World Wide Web haben die private und geschäftliche Kommunikation weltweit erleichtert. Während man früher bei Reisen mühsam in Fahr- und Stadtplänen herum blätterte, Hotelverzeichnissen hinterher telefonierte und Reiseführer studierte, sucht man heute komfortabel und schnell vom heimischen PC aus nach den Reiseinformationen und findet weit mehr als früher. Doch im Internet kaufen tun bisher nur wenige, nur bei einigen Produkten (z.B. AMAZON bei Büchern) oder bei elektronischen „Flohmärkten“ (z.B. e-bay) hat E-Commerce sich als „Renner“ gezeigt; der von vielen erwartete große Boom beim Konsumenten ist jedoch ausgeblieben. Auch im „Business to Business“-Bereich sind nicht alle Blütenträume gereift, nur einige elektronische Einkaufsmärkte großer Konzerne (z.B. im Automobilbereich) weisen bemerkenswerte Umsätze aus. Insgesamt haben große Konzerne und junge „start ups“, Konsumenten und Kapitalgeber beim E-Commerce viel Lehrgeld zahlen müssen; offensichtlich wurden die Produktivitätswirkungen über- und die technischen und organisatorischen Schwierigkeiten unterschätzt.

Volkswirte, Betriebswirte und Wirtschaftsinformatiker der Universität Paderborn suchen gemeinsam nach den Ursachen für das Ende des Booms und nach weiteren Potenzialen des E-Commerce. Zum einen sollen die wirtschaftlichen Voraussetzungen für das E-Commerce geklärt werden:

- Welche Güter und Dienstleistungen eignen sich für das E-Commerce? Welche technischen und organisatorischen Investitionen erfordert E-Commerce?
- Haben nur etablierte Unternehmen wie große Versandhändler



Prof. Dr. rer. pol. Joachim Fischer ist seit 1989 Professor für Wirtschaftsinformatik, Betriebswirtschaftliche Informationssysteme an der Universität Paderborn.

das geschäftliche und organisatorische know how und die finanzielle Kraft für E-Commerce? Schlägt „brick und click“ das reine „click“-Unternehmen? Oder können neue Unternehmen durch eine intelligente Organisation den etablierten Paroli bieten?

- Welche Auswirkungen hat E-Commerce auf die Zahlungssancen in Deutschland und damit auf das Bankensystem? Welche Zahlungssysteme werden angeboten und wie eignen sich diese für E-Commerce?

Zum zweiten sollen die volkswirtschaftlichen Konsequenzen von E-Commerce durchleuchtet werden, zum Beispiel mit folgenden Fragen:

- Fördert E-Commerce die Markttransparenz und damit letztlich die Handelskonzentration oder den Wettbewerb?
- Welche Wirkungen auf die Zahl der Mitarbeiter und deren Qualifikationen hat E-Commerce? Welche Mitarbeiter werden im E-Commerce benötigt? Öffnet E-Commerce die (oft beschworene) Schere zwischen den niedrig (z.B. bei Logistikdienstleistern) und den hoch qualifizierten Mitarbeitern (z.B. in der Informationstechnologie)?

Letztendlich ist die verfügbare Technik die Basis jedes E-Commerce Ansatzes. Dabei bleiben folgende Fragen:

- Wie verändern sich im E-Commerce die Aufgaben für Informationssysteme? Welche Verfahren für geschäftliche Transaktionen sind notwendig? Wie lassen sich diese konfigurieren und programmieren?
- Sind die technischen Voraussetzungen für E-Commerce im Internet überhaupt gegeben? Um welche Elemente muss das Internet dafür erweitert werden? Wie müssen die herkömmlichen Informationssysteme der Unternehmen modifiziert werden?

Arbeitsgruppe	Arbeitsthema	Fragen
Prof. Gries; Wachstums- und Konjunkturtheorie	Gesamtwirtschaftliche Wirkungen elektronischer Informations- und Geschäftsbeziehungen	Wie verändert EC die Güter- und Finanzmärkte? Wird der Wettbewerb intensiviert, die Konzentration erhöht? Schafft EC Wirtschaftswachstum und Arbeitsplätze (welcher Art)?
Prof. Dietl/Dr. Royer; Organisation und Internationales Management	Effiziente Formen der EC- Wertschöpfungsorganisation	Wie lassen sich Produkte im EC systematisieren? Welche Formen der Wertschöpfungsorganisation sind im EC effizient?
Prof. Rese; Marketing	Wettbewerbliche Konsequenzen von E-Procurement in OEM/ Zulieferer-Netzwerken	Wie lassen sich Leistungskataloge digitalisieren und welche Kosten verursacht dies? Welche Konsequenzen hat dies für den Wettbewerb? Was ist infolgedessen eine effiziente E-Procurement Lösung?
Prof. Rosenberg, Dr. Bock; Produktionswirtschaft	Echtzeitfähige Steuerung und Koordination eines Supply Net mit Hilfe von E-Technologien	Wie können Teilnehmer eines Liefernetzes effizient verzögerungslos zusammen arbeiten? Wie sollten sie bei Störungen reagieren? Welche Informationen sind dazu auszutauschen?
Prof. Dangelmaier; Wirtschaftsinformatik	Klassifikation von Modellen und Verfahren für das Supply Chain Management	Wie lassen sich Aufgaben und Verfahren für das Supply Chain Management modellieren? Wie lassen sie sich klassifizieren, um das richtige Verfahren für eine Aufgabe zu finden?
Prof. Fischer; Wirtschaftsinformatik – Betriebswirtschaftliche Informationssysteme	Implementierungsrahmen für EC-Netzwerke	Welche Alternativen existieren für EC-Systeme? Aus welchen Elementen bestehen diese? Wie können mit diesen Elementen einsatzfähige EC-Systeme generiert werden?

Abb. 1: Arbeitsgruppen und deren Forschungsthemen.

Electronic Commerce – Wo hat es bisher Erfolg?!

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass E-Commerce für bestimmte Arten von Gütern und Dienstleistungen und für einige Geschäftsmodelle besser geeignet ist als für andere. Im „Business-to-Consumer-Bereich“ floriert der Bücherhandel, während sich Bekleidung anders als z.B. im Versandhandel offensichtlich kaum vertreiben lässt. Die Schnäppchenjagd lässt sich mittels Auktionen weiter anheizen (z.B. E-bay), während sich Einkaufsgemeinschaften (so genanntes Powershopping) kaum bilden lassen. Im „Business-to-Business“-Geschäft wird das Internet zunehmend für die Beschaffung (E-Procurement) von Standardteilen und Büromaterialien (operating inputs) genutzt. Auch

an der Zusammenarbeit von Lieferanten und Kunden in der Lieferkette (Supply Chain Management) wird gearbeitet, aber von durchgreifenden Erfolgen wird bisher nur im Marketing von IT-Herstellern berichtet.

Für das Banken- und Finanzwesen gilt die bedrohliche Aussage von Bill Gates aus dem Jahre 1997: „Banking is essential, banks are not“. Es wird erwartet, dass der kostenintensive Umweg über traditionelle Banken bei Anlage- und Kreditgeschäften über direkte, das Internet intensiv nutzende Geschäftsmodelle ersetzt wird und dadurch günstigere Anlage- oder Kreditmöglichkeiten entstehen.

Empirisch zu beobachten ist bisher, dass Privatleute die Informationsmöglichkeiten des Internets bei Geld- und Börsengeschäften

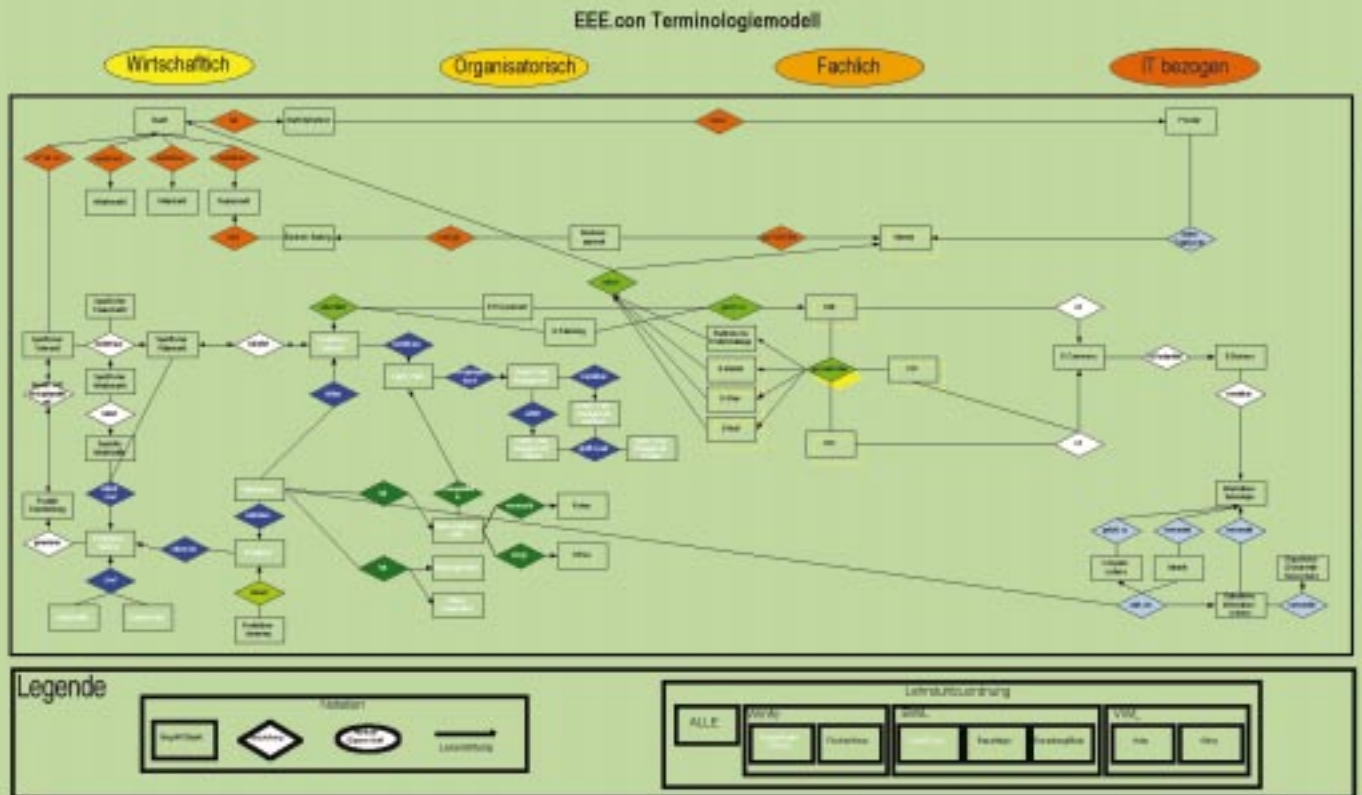


Abb. 2: Aktueller Stand des EEE.con-Begriffskatalogs.

intensiv nutzen. Doch neue Geschäftsmodelle haben bisher weit weniger Erfolg als erwartet: Reine Direktbanken konnten sich bisher nicht durchsetzen, sondern „schlüpfen“ bei den großen Bankenkonzernen unter und diese nutzen dann deren Internet-Erfahrung, um ihr Filialnetz und ihr Personal auszudünnen.

Markttransparenz durch E-Commerce?! – Ein zweischneidiges Schwert !?

Dass sich im Web schnell günstige Anbieter für fast alle Güter und Dienstleistungen finden und kontaktieren lassen, ist wohl die Erfahrung aller Internet-Nutzer. Die Hilfen sind vielfältig: Suchmaschinen wie Google, Portale wie Lycos oder Auktionen wie e-bay helfen auch bei ausgefallenen Wünschen. Viele Verbraucher haben sich daher angewöhnt, vor größeren Anschaffungen oder Reisen erst einmal im Internet die Angebote zu vergleichen. Weit weniger häufig wird allerdings dort gekauft. Man vertraut dem heimischen Händler mehr als dem fernen Anbieter im Internet, die Lieferwege sind zu unbequem, die Zahlungsmöglichkeiten sind einem zu unsicher. Die Gründe für die Kaufabstinenz sind vielfältig.

Dennoch erhoffen sich die Wirtschaftswissenschaftler von der durch das Internet erhöhten Markttransparenz viel. In der Marktwirtschaft scheint das Ideal des vollkommenen Marktes per Internet greifbar. Allerdings ist diese vermeintlich höhere Markttransparenz ein zweischneidiges Schwert. Einige Lieferanten leben im Schatten der Intransparenz sehr gut und versuchen dies im Web zu verschleiern. Viel mehr Lieferanten kompensieren jedoch Preisnachteile beim Kauf durch Servicevorteile während der Nutzungszeit eines Produktes, ohne dass diese Vorteile auf den Web-Seiten des Anbieters sofort transparent werden. Dass weiß jeder Fahrradkäufer, der zwischen dem „Schnäppchen“ im Supermarkt und dem Angebot eines Fach-

händlers zu vergleichen hat; aber weiß dies auch jeder Käufer eines Laptop, einer Digitalkamera im Web? Berücksichtigt auch ein DV-Programm, das Angebote und Lieferanten vergleicht, die Ersatzteilverfügbarkeit und den Service über viele Jahre?

Volkswirtschaftlich könnte die vermeintlich höhere Markttransparenz die Konzentration fördern, den mittelständischen Fachhandel und das Handwerk weiter zurückdrängen, mangels preiswerter Reparaturen die Wegwerfgesellschaft oder die „Schwarzarbeit“ weiter stärken.

Transaktionskosten ersparen – Aber wie?

Jeder Gütertausch zwischen Wirtschaftssubjekten ist mit außerordentlich hohen Transaktionskosten verbunden, die unter anderem aus den notwendigen oder rechtlich vorgeschriebenen Belegen, Begleitpapieren, Erklärungen etc., deren Verarbeitung, Transport und Speicherung resultieren. Von den Verfechtern des E-Commerce wurde angenommen, dass mit Hilfe des Internets die notwendigen Kommunikationsprozesse schneller, kostengünstiger und reibungsloser erfolgen könnten. Allerdings verursacht der Transport selbst nur einen geringen Teil der Transaktionskosten, viel kostenintensiver ist das Erstellen und Verarbeiten sowie die Ablage der Papierbelege. Dies erfordert nach wie vor viel teures Personal. Um dieses Personal durch Computersysteme zu ersetzen, sind zum einen erhebliche Investitionen in die notwendige Hard- und Software, zum anderen aber auch in die Renovierung der organisatorischen Abläufe notwendig. DV-Investitionen und Organisationsveränderungen erfordern neben Geld fachkundige und engagierte Mitarbeiter, die an der Automatisierung ihrer Arbeiten interessiert sind, d.h. unter anderem keine Angst um ihre Arbeitsplätze haben. Kann man das in Deutschland voraussetzen?

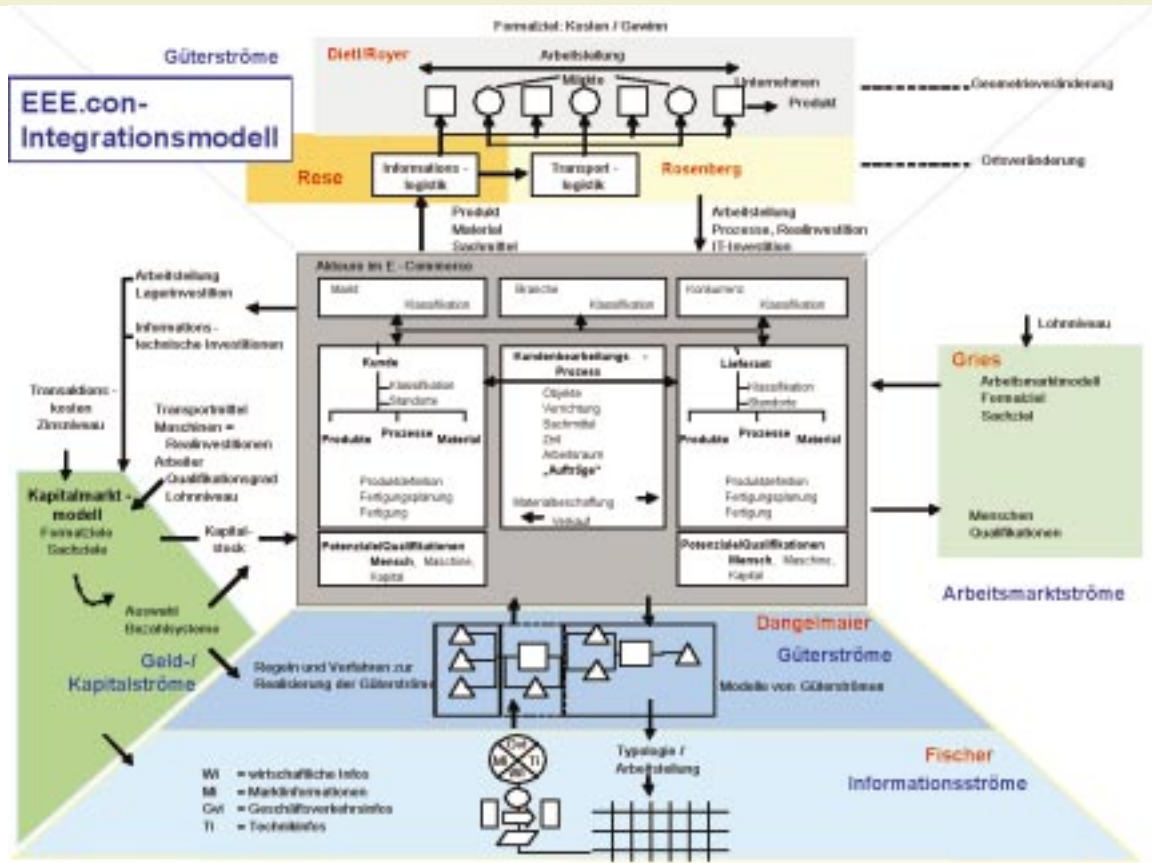


Abb. 3: Aufbau des angestrebten EEE.con-Integrationsmodells.

Als dritte Voraussetzung müssen sich die beteiligten Unternehmen und Behörden auf eine computerverarbeitbare Sprache einigen, mit der die vielen Papierbelege jetzt ersetzt werden sollen. Wer einmal eine Steuererklärung ausgefüllt hat, weiß wie schwer es schon dem Normalbürger fällt, das entsprechende Formular und die vom Fiskus verwendete Sprache zu verstehen. Und solche Aufgaben sollen jetzt Computer übernehmen?! Kostenvorteile entstehen erst durch eine Computer-Computer-Kommunikation, bei der nicht Sachbearbeiter Belege interpretieren, Ausnahmen erfassen oder Fehlerlisten überprüfen müssen. Fachleute sprechen von einer medienbruchfreien, rechnerbasierten und daher weitgehend automatisierten Bearbeitung der Geschäftsprozesse (Thome (2002)).

Electronic Commerce – eine Sisyphosaufgabe?!

Das Streben nach einer medienbruchfreien, rechnerbasierten und automatisierten Bearbeitung von Geschäftsprozessen ist so alt wie die elektronische Datenverarbeitung. Datenfernübertragung (DFÜ), Electronic Data Interchange (EDI) waren die entsprechenden Schlagworte der siebziger Jahre, doch aufgrund der damals verfügbaren Technologie blieben diese Ansätze auf die großen Unternehmen beschränkt. Zuerst versuchten deren Verbände entsprechende DV-lesbare Sprachen (z.B. SEDAS im Handel, ODETTE in der Automobilwirtschaft) zu entwickeln; die großen Konzerne entwickelten jeweils eigene Dialekte für ihre Bedürfnisse. Um diesen „babylonischen Sprachwirrwarr“ zu überwinden und die verschiedenen nationalen Sprachen zu integrieren, wurde im Rahmen der UN das Informationsaustauschformat EDIFACT (Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport) entwickelt. Ein Hauptförderer war und ist die Europäische Union, um mit Hilfe der DV die

Sprachhürden zwischen den Mitgliedsländern im Geschäftsleben zu überwinden. Auch bei diesem Austauschformat entstanden branchenspezifische Dialekte, dennoch ist bis heute EDIFACT die am besten ausgearbeitete Sprache für den elektronischen Geschäftsverkehr.

Mit der Verbreitung des Internets im privaten und geschäftlichen Bereich waren plötzlich neben den großen auch mittelständische Unternehmen und „Otto Normalverbraucher“ am elektronischen Geschäftsverkehr interessiert; das Internet und die benötigten Geräte waren preiswert, einfach zu bedienen und die Vorteile waren einleuchtend. Will der Mittelstand jedoch die Möglichkeit globaler Marktpresenz im Verkauf und Einkauf effizient nutzen, sind dessen Geschäftsprozesse entsprechend zu überarbeiten und zu automatisieren. Doch dafür fehlt nach wie vor eine praktikable Sprache für den elektronischen Geschäftsverkehr. Die neueste Hoffnung richtet sich auf XML (eXtended markup language), in der die für Web-Seiten übliche Auszeichnungssprache HTML so erweitert wird, dass Inhalte besser durch Programme identifizierbar und verarbeitbar sind.

Neben technischen Anstrengungen sind für das Electronic Commerce organisatorische Abläufe zu überarbeiten. Dazu sind zum einen die Aufgaben im Informations-, Güter- und Geldfluss zu beschreiben und die Unterschiede zwischen dem herkömmlichen und dem E-Commerce Verfahren (z.B. hinsichtlich der erforderlichen Semantik, der Automatisierbarkeit) herauszuarbeiten.

Aber: Wo bisher erfahrene Disponenten den Einkauf mit den Lieferanten koordinieren, soll dies jetzt eine ausgefeilte Software steuern!? Und auf der Seite des Lieferanten soll ein fortgeschrittenes System die Bonität der Kunden prüfen und darauf Preise und Zahlungskonditionen abstellen?

Der Teufel liegt auch hier im Detail. Über Jahrzehnte gewachse-

ne Branchenusancen mit vielen technischen, kaufmännischen und juristischen Feinheiten sind hinsichtlich der Aufgaben und Verfahren formalisiert zu beschreiben, um sie dann in Programme „gießen“ zu können. Dafür bedarf es nicht nur entsprechender Methoden, sondern auch der Fachleute, die ihr Wissen bereitwillig mit den Software-Entwicklern teilen. Und die Branchen unterscheiden sich nicht nur ganz erheblich voneinander, sondern auch von Land zu Land in Europa.

Das

Paderborner Forschungsmodell

Aufbauend auf dem Leitbild der „Universität der Informationsgesellschaft“ und angesichts der vielen einschlägigen Erfahrungen in den Paderborner Instituten und in deren Umfeld gegründeter Unternehmen, lag es für die Forscher der Wirtschaftswissenschaften sehr nahe, sich mit dem Boom des Electronic Commerce und dessen Abklingen zu befassen.

Nachdem das übergreifende Forschungsziel „Effektivität und Effizienz des Electronic Commerce“ gemeinsam erarbeitet wurde, zogen sich die beteiligten Forschergruppen in ihre „Studierstübchen“ zurück und erarbeiteten ihre eigenen Forschungssichten und -aufgaben (vgl. Abbildung 1). Dabei wurde überraschend deutlich, wie unterschiedlich bei allen Gemeinsamkeiten das Verständnis des E-Commerce war.

Für den Volkswirt ist Informationstechnologie zwar ein wesentlicher Treiber des E-Commerce, doch die benötigten technischen Komponenten sind wie die zu realisierenden Geschäftsprozesse für ihn eine „black box“. Der Betriebswirt kennt die Geschäftsprozesse und die dort notwendigen Informationen, z.B. eine Bestellung oder einen Produktkatalog. Der Wirtschaftsinformatiker weiß, wie solche Informationen elektronisch realisiert werden können und kennt die notwendigen fachlichen und technischen Komponenten, sieht aber weniger deren Kosten und Investitionen. Auch hat er oft nur optimistische Vorstellungen darüber, in welchen Branchen und Sektoren sich die verbesserten Kommuni-

kationspotenziale besonders günstig auf Wirtschaftswachstum und Arbeitsplätze auswirken können.

Zwar haben Volks- und Betriebswirte sowie Wirtschaftsinformatiker die Wurzeln in der gleichen Disziplin, doch gemeinsame Forschungsprojekte sind eher die Ausnahme. Insbesondere dann, wenn diese drei Richtungen der Wirtschaftswissenschaften neue Phänomene der Realität durchleuchten wollen, ist es notwendig, zunächst einmal ein gemeinsames Verständnis der wesentlichen Begriffe und Zusammenhänge zu erarbeiten. Daher wurde als erster Schritt ein entsprechender Begriffskatalog, in der Informatik Ontologie genannt, erarbeitet (Abbildung 2).

Aufbauend auf dieser Ontologie wird von der Forschergruppe letztlich ein Modell angestrebt, das die Wirkungen alternativer Formen des Electronic Commerce auf die gesamtwirtschaftlichen Güter-, Finanz- und Arbeitsmärkte, die einzelwirtschaftliche Wertschöpfungsorganisation und die wirtschaftsinformatischen Informationssysteme transparent beschreibt. Ein solches Wirkungsmodell wäre wichtig

- für Unternehmen, um deren Investitionen in Informationstechnologie zu unterstützen,
- für Branchen und deren Verbände, um Chancen und Risiken verschiedener Geschäftsmodelle zu erörtern,
- für wirtschaftspolitische Gremien, um arbeitsmarkt- und strukturpolitische Wirkungen des Electronic Commerce abschätzen zu können und letztlich
- für Universitätsabsolventen, um diese bei ihren beruflichen und unternehmerischen Entscheidungen zu unterstützen.

Um möglichst fundierte Handlungsempfehlungen ableiten zu können, soll das Paderborner Integrationsmodell die Wirkungen nicht nur tendenziell beschreiben, sondern in alternativen Szenarien quantifizieren (Abbildung 3).

Literatur

Thome, R.: e-Business, in: Informatik Spektrum 25 (2002), 2, S. 151-153.

Defekte in Festkörpern: Ein Geschenk der Natur

Über den Nutzen und die Struktur kristalliner Fehlstellen

Es gibt eine ganze Reihe von „nützlichen“ Eigenschaften von Kristallen, die deren kommerzielle Verwendung ermöglichen: etwa die Farbe bei Edelsteinen oder die elektrische Leitfähigkeit, insbesondere auch ihre Temperaturabhängigkeit, welche die Basis aller elektronischen oder optoelektronischen Bauelemente ist, die uns heute so vielfältig umgeben. Weniger bekannt ist, dass diese Eigenschaften maßgeblich durch meist ganz geringe Konzentrationen an so genannten Fehlstellen bestimmt werden. Um „maßgeschneiderte“ Leitfähigkeiten oder Farben zu erhalten, muss man die mikroskopische Struktur der Fehlstellen kennen und ihre Erzeugung oder Vernichtung beherrschen. Beiträge hierzu liefert die Defektspektroskopie in der Festkörperphysik.

Defekte

in kristallinen Festkörpern

Der ungestörte atomare Aufbau kristalliner Festkörper kann auf vielfältige Weise gestört sein. Nehmen wir als Beispiel einen so

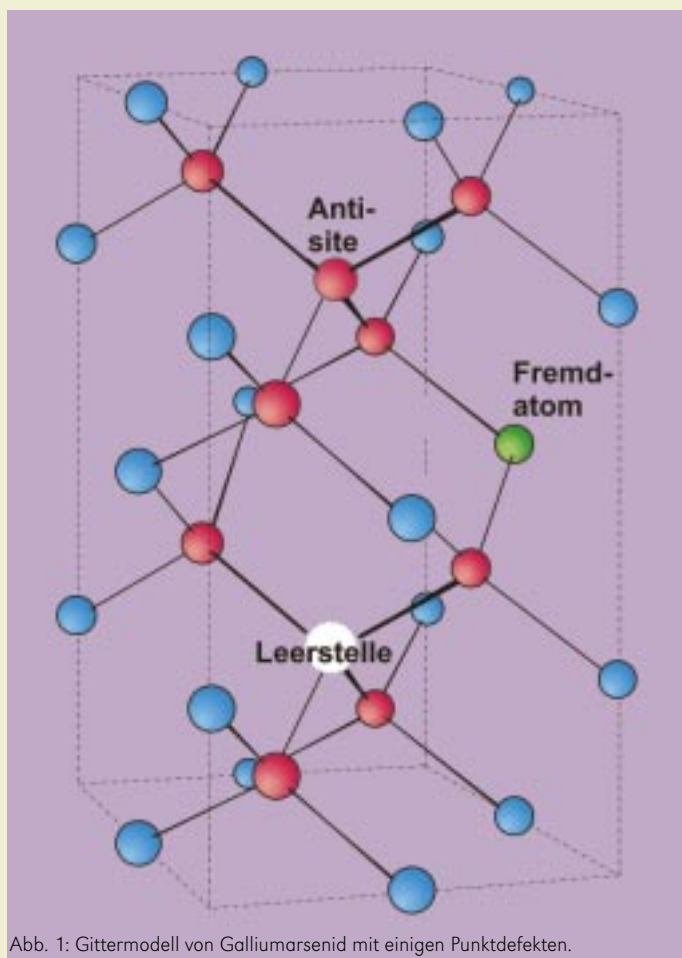
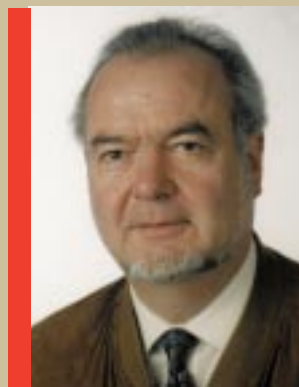


Abb. 1: Gittermodell von Galliumarsenid mit einigen Punktdefekten.



Prof. Dr. rer. nat. Johann-Martin Spaeth ist seit 1974

Professor für Experimentalphysik in der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn. Arbeitsgebiete sind Festkörperphysik, Festkörperspektroskopie, Magnetische Resonanzspektroskopie, Optische Spektroskopie und Kristallzüchtung.

genannten Verbindungshalbleiter wie das Galliumarsenid (GaAs), das heute für schnelle Mikroelektronik beim Mobilfunk eine wichtige Rolle spielt. Abbildung 1 zeigt ein Gittermodell dieses kubischen Kristalls, in welches einige Fehlstellen, („Punktdefekte“) eingezeichnet sind. So können Atome auf beiden Gallium-(Ga) und Arsen-(As) Untergittern fehlen (Leerstellen), es kann ein As-Atom auf Ga-Plätzen sitzen oder umgekehrt (so genannte „Antisite“ Defekte) oder es können „fremde“ Atome eingebaut sein.

Verunreinigungen gelangen leider „ungewollt“ beim Züchtungsprozess in die Einkristalle. Besonders in der Halbleiterphysik spielen Punktdefekte (oder auch kleine Aggregate von ihnen) eine eminent wichtige Rolle, da sie deren optische Eigenschaften und ihre elektrische Leitfähigkeit schon in aller kleinsten Konzentrationen entscheidend bestimmen. So genügt es meist, weniger als jeden millionsten Gitterbaustein zu entfernen bzw. zu verunreinigen, um die elektrischen Eigenschaften um Größenordnungen zu verändern. Die technologische Beherrschung dieser Defekte ist die Grundlage der modernen Mikro- und Optoelektronik. Ein Bauelement aus reinem Silizium würde nicht funktionieren; es muss geeignet dotiert, d.h. verunreinigt werden, um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten. Um generell solche Punktdefekte in kristallinen Festkörpern zu beherrschen, braucht man Methoden zur Bestimmung ihrer mikroskopischen Struktur und man muss lernen, sie entweder gezielt herzustellen oder zu vermeiden (defect engineering). Zur Bestimmung der mikroskopischen Struktur setzt man spektroskopische Verfahren ein, vor allem die verschiedenen Methoden der elektronenparamagnetischen Resonanz (EPR), die in Paderborn seit 1974 intensiv gepflegt werden und von denen eine ganze Reihe hier auch neu entwickelt wurde.

Die Bestimmung der Defektstruktur beruht auf der Tatsache, dass Elektronen wie auch viele Atomkerne ein kleines magnetisches Moment haben, also winzig kleine Magnete sind. Wer

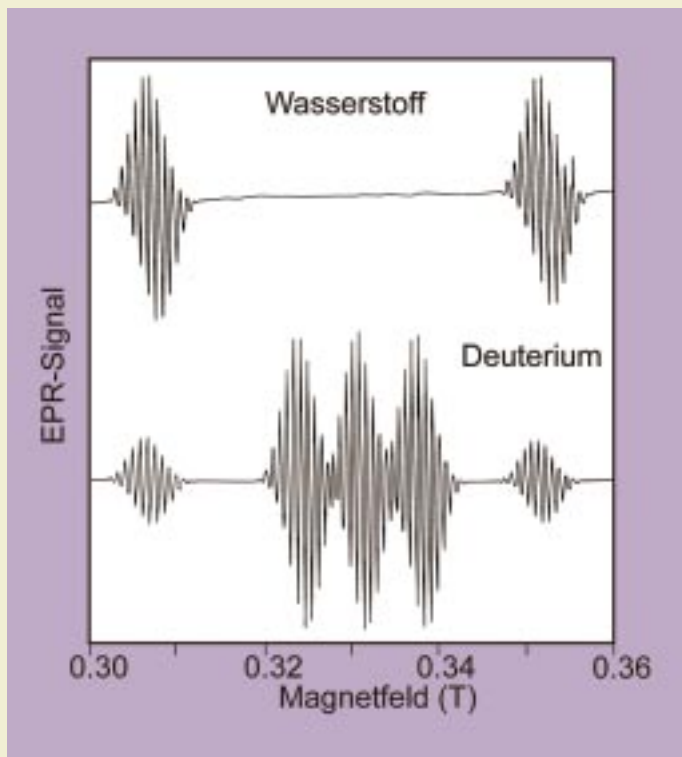


Abb. 2: Spektrum der elektronenparamagnetischen Resonanz von atomaren Wasserstoff- und Deuteriumzentren in Kaliumchlorid-Einkristallen.

schon einmal mit Stabmagneten gespielt hat, weiß, dass zwischen zwei Magneten Wechselwirkungskräfte herrschen, die von der relativen Lage von Nord- und Südpol und deren relativer Entfernung abhängen. Ein Punktdefekt wie z.B. ein Wasserstoff (H)-Atom im Zwischengitter in einem Kochsalzkristall (NaCl) hat ein relativ großes magnetisches Moment von dem einzigen (ungepaarten) Elektron am H-Atom und in der kubischen Gitterumgebung je 4 sehr viel kleinere (ca. 2000-fach so kleine) magnetische Momente von den umgebenden Cl- bzw. Na-Atomkernen. Die Nachbaratome des H-Atoms im NaCl sind Ionen mit einer geraden Anzahl von Elektronen in der Hülle, deren magnetische Momente sich nach den Gesetzen der Quantenphysik gerade kompensieren, d.h. gegenseitig aufheben, sodass nur der Magnetismus der Kerne übrig bleibt. Bringt man den Kristall in ein äußeres Magnetfeld, so richten sich alle Magnete nach der Feldrichtung aus, so wie eine Kompassnadel, die auch ein Magnet ist, im magnetischen Erdfeld nach Norden ausgerichtet wird. Will man sie aus dieser Richtung herausdrehen, benötigt man eine Kraft. Im atomaren Bereich kann man eine solche Kraft über die Magnetfeldkomponente kurzweiliger elektromagnetischer Strahlung „anlegen“. Dafür werden Mikrowellen von 3 cm Wellenlänge (Frequenz 10 GHz) oder kürzer verwendet, deren Absorption gemessen wird, wenn die so genannte Resonanzbedingung erfüllt ist: die Quantenenergie der Mikrowellen, welche durch die Frequenz bestimmt wird, muss so sein, dass sie ausreicht, einen der Elementarmagnete in einem gegebenen magnetischen Feld umzuklappen. Diesen Vorgang nennt man bei den Elektronen elektronenparamagnetische Resonanz (EPR). Wird ein Kernmagnet umgeklappt, handelt es sich um kernmagnetische Resonanz (NMR = Nuclear Magnetic Resonance).

Die Information über die Defektstruktur gewinnt man aus der Messung der Wechselwirkung zwischen dem magnetischen Moment der Elektronen und den magnetischen Momenten der

umgebenden Gitterkerne. Diese Wechselwirkungen beeinflussen die Resonanz der Mikrowellenenergie. Die Größe der magnetischen Kernmomente ist charakteristisch für jeden Kern, sodass daraus seine „chemische“ Natur ermittelt werden kann (d.h. zu welchem chemischen Element der Kern gehört). Als Beispiel ist in Abbildung 2 das EPR-Spektrum von atomarem Wasserstoff (H) und atomarem Deuterium (D) auf Zwischengitterplatz in Kaliumchlorid (KCl) gezeigt [1]. Aus technischen Gründen wird die Mikrowellenabsorption als Funktion des Magnetfeldes und nicht der Frequenz gemessen. Man sieht beim H-Zentrum zwei und beim D-Zentrum drei Gruppen diskreter Linien. Dabei spiegelt sich eine weitere Eigenschaft der Elementarmagnete wider: Nach den Gesetzen der Quantenphysik können sie nur ganz bestimmte Richtungseinstellungen bezüglich des Magnetfeldes einnehmen, welche von einer zusätzlichen Eigenschaft, die bisher nicht erwähnt wurde, dem so genannten „Spin“, einem Eigendrehimpuls, abhängt. So kann der H-Kern (Proton) nur zwei Einstellungen und das D-Atom drei Einstellungen bezüglich des Magnetfeldes haben, was sich hier in der Zahl der Liniengruppen widerspiegelt. Die Größe der Aufspaltung zwischen den Gruppen rührt von der Wechselwirkung zwischen dem elektronenmagnetischen Moment und dem Protonen- bzw. Deuteronen-Moment her. Die 13 Einzellinien in jeder der Gruppen kommen von den Kernmomenten bzw. Kernspins der vier nächsten Chlornachbarn. Aus ihrem Intensitätsverhältnis kann man auf ihre Anzahl schließen. Die K-Nachbarn haben eine kleinere Wechselwirkung, die im Spektrum nicht aufgelöst ist. Die Aufspaltung zwischen den Linien nennt man Hyperfeinaufspaltung. Ihre Analyse nach den Gesetzen der Quantenphysik ist der Schlüssel zur Bestimmung der mikroskopischen Struktur paramagnetischer Defekte [2].

Meist ist diese Hyperfeinwechselwirkung so klein, dass die temperaturbedingten Schwingungsbewegungen der Gitteratome die Messung der Ausrichtung der magnetischen Momente im Magnetfeld und der gegenseitigen Wechselwirkung unmöglich machen. Deswegen müssen fast alle Messungen bei tiefen Temperaturen durchgeführt werden. Die Probenkühlung erfolgt meist mit flüssigem Helium auf ca. -270°C in einem Kryostaten („Kühltopf“).

EPR-Spektroskopie gibt es seit nunmehr über 50 Jahren. Sie wird auch von Chemikern und Biologen eifrig zur Analyse von chemischen Verbindungen genutzt.

Doppelresonanzen von Elektronen und Kernen

In Festkörpern sind die Verhältnisse meist viel komplizierter als bei den schön aufgelösten EPR-Linien der Abbildung 2, aus denen man ein Strukturmodell für den Defekt ableiten kann. Insbesondere ist das dann der Fall, wenn sehr viele Linien da sind und sich diese zu einem unstrukturierten Spektrum überlagern. Die Breite einer Resonanzlinie ist proportional zum magnetischen Moment. Somit könnte man bei Kernresonanzen eine wesentlich höhere Auflösung erwarten, da deren magnetische Momente rund 2 000 mal kleiner sind als das des Elektrons. Mit Kernresonanz kann man in Festkörpern unter bestimmten Bedingungen eine hohe Auflösung erhalten, viel besser jedoch bei flüssiger Materie, was in Chemie und Biologie ausgiebig genutzt wird. Da die Hyperfeinwechselwirkung natürlich dieselbe ist, wenn sie von einem Kern aus gemessen wird,

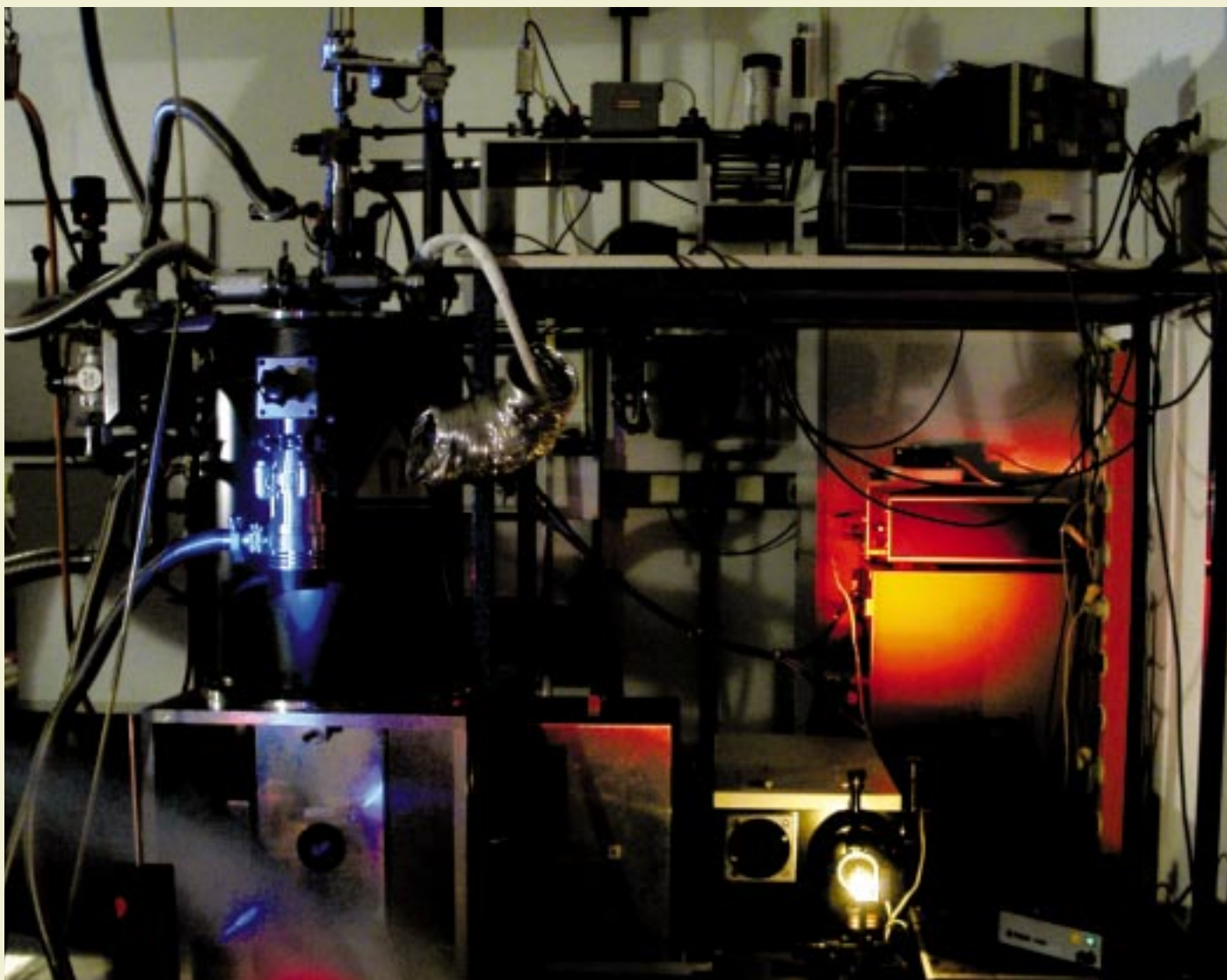


Abb. 3: Apparatur zum optischen Nachweis der elektronenparamagnetischen Resonanz. In dem blau beleuchteten Kryostaten befindet sich ein heliumgekühlter supra-leitender Magnet zur Erzeugung des statischen Magnetfeldes bis 5 Tesla.

d.h. über die NMR, stellt sich die Frage, ob man zur Defektstrukturbestimmung nicht lieber NMR betreiben sollte. Nur leider ist deren Empfindlichkeit im Vergleich zur EPR um ca. 9 Größenordnungen kleiner, so dass man bei den kleinen Defektkonzentrationen so keine Chance hat. Es gibt jedoch einen Trick, das Empfindlichkeitsproblem auch bei geringen Defektkonzentrationen zu lösen. Dazu bestrahlt man den Kristall zusätzlich zur Mikrowelle mit einer zweiten elektromagnetischen Strahlung, deren Energie so gewählt ist, dass jeweils ein Kernmoment umgeklappt wird. Einen solchen Vorgang merkt das Moment des ungepaarten Elektrons, da dann die Magnete von Kern und Elektron relativ zueinander anders orientiert sind. Dadurch verändert sich die EPR. Die Veränderung, die meist im Promille- bis höchstens Prozentbereich liegt, kann empfindlich gemessen werden. Die Methode heißt Elektron-Kern-Doppelresonanz (englisch ENDOR); Doppelresonanz weil eine Elektronenresonanz und eine Kernresonanz gleichzeitig induziert werden. Die Frequenzen der elektromagnetischen Strahlung für die NMR liegen im Radiowellenbereich (typischerweise von 1–300 MHz). Ein solches ENDOR-Spektrum besteht aus einzelnen meist gut aufgelösten NMR-Linien der magnetischen Kerne der Gitterumgebung des Defektes. Für die Strukturanalyse werden ENDOR-Spektren als Funktion der Kristallorientierung

bezüglich des Magnetfeldes gemessen. Es können für jedes Spektrum mehrere hundert Linien sein. Deswegen werden nicht nur die Experimente computergesteuert, auch deren Analyse erfordert den Einsatz von Rechnern.

Mehrfachresonanzen: Optischer und „elektrischer“ Nachweis von EPR/ENDOR

Für EPR/ENDOR braucht man für eine ausreichende Empfindlichkeit noch Kristallproben mit Dimensionen von ca. 10–20 mm³. In der modernen Halbleitertechnik werden jedoch hauptsächlich nur noch ganz dünne Schichten der Dicke bis zu 1 µm hergestellt und verwendet, d.h. bei gleich bleibender Defektkonzentration wird deren absolute Anzahl so klein, dass sie unter die EPR-Nachweisgrenze sinkt. Es müssen neue Wege beschritten werden, um einerseits die Empfindlichkeit zu erhöhen und um zum anderen auch eine direkte Korrelation von Defektstruktureigenschaften mit den interessierenden Eigenschaften wie Farbe, Lumineszenz, elektrischer Widerstand, etc. herzustellen.

Dabei handelt es sich um eine Erweiterung der Mehrfachresonanzen, in dem EPR und NMR nicht mehr über die Absorption von Mikrowellen-, bzw. Radiowellenstrahlung nachgewiesen werden, sondern über die optische Absorption und Emission

eines Defektes oder über die elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters. Man kann dabei mehrere Größenordnungen an Empfindlichkeit gewinnen. Ein Kristall, der einen Punktdefekt enthält, absorbiert oder emittiert oft eine andere Farbe bzw. Lichtwellenlänge als einer ohne diesen Defekt. So hat z. B. reines Aluminiumoxyd (Al_2O_3) keine Farbe, während eine geringfügige Verunreinigung mit Chrom (Cr^{3+}) ihn zu dem berühmten roten Rubin macht. Stellt man einen Kristall mit paramagnetischem Defekt in ein Magnetfeld und misst die optische Absorption mit (zirkular) polarisiertem Licht, stellt man fest, dass die Lichtpolarisation durch Mikrowellen-(Radiowellen)induzierte Umlapppvorgänge der magnetischen Elektronen (oder Kernmomente) messbar beeinflusst wird. Das kann man zum Nachweis von EPR/ENDOR nutzen. So kann eine direkte Korrelation zwischen optischen Eigenschaften und der Strukturinformation aus den Spektren hergestellt werden.

Bei der Apparatur zum optischen Nachweis der magnetischen Resonanz (ODMR) handelt es sich eigentlich um eine optische Apparatur, in die zusätzlich Mikrowellen oder Radiowellen eingebracht werden. Während EPR/ENDOR-Spektrometer kommerziell (für viel Geld) angeboten werden, sind die ODMR-Spektrometer nicht erhältlich und eigene Entwicklungen. Das äußere Magnetfeld wird dabei über einen heliumgekühlten, supraleitenden Magneten in einem Kryostaten (Kühltopf) erzeugt (Abbildung 3).

Unlängst ist es auch gelungen, hier in Paderborn in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. Holzapfel die EPR von Defekten in einer 1 μm dicken Galliumnitrid (GAN)-Schicht über die Lumineszenz unter hohem hydrostatischem Druck (bis zu 30 GPa) zu messen, wozu eine spezielle nichtmagnetische Diamantstempelzelle entwickelt wurde. Nur über diesen hohen Druck konnte gezeigt werden, dass die Leitfähigkeit von nominell undotiertem GaN in der Tat weitgehend von einer Sauerstoffverunreinigung herrührt (Sauerstoff auf Stickstoffplatz). GaN ist gegenwärtig von hochaktuellem Interesse, da man damit einen blauen Laser und blaue Laserdioden bauen kann.

Bei dem so genannten elektrischen Nachweis von EPR/ENDOR (EDEPR/EDENDOR) nutzt man aus, dass in Halbleitern die elektrische Leitfähigkeit, die bei tiefer Temperatur z.B. auch als Photoleitung mit Licht bestimmter Energie beeinflusst werden kann, von Ladungsträger-Rekombinationsvorgängen über bestimmte Dotierungen abhängt, deren Wahrscheinlichkeit im Magnetfeld von den mit der Dotierung verknüpften ungepaarten Elektronen bzw. ihren Spins bestimmt wird. Spin-Umlapppvorgänge bei der EPR verändern diese, was sich in einer Änderung der elektrischen Leitfähigkeit bemerkbar macht und so gemessen werden kann.

EDEPR/EDENDOR ist erst in jüngster Zeit durch Arbeiten in Paderborn viel besser verstanden und zu einer Spektroskopie ausgebaut worden [3,4]. Sie eröffnet auch die Möglichkeit zweidimensionaler orts aufgelöster Messungen. Obwohl sie wohl die empfindlichste EPR/ENDOR-Methode ist, insbesondere bei sehr kleinen Defektkonzentrationen in Halbleitern, und bei dünnen Schichten und elektronischen Bauelementen, ist sie aber nicht generell für alle Punktdefektsysteme anwendbar. Sie erfordert die Existenz der erwähnten Ladungsträger-Rekombinationsvorgänge (Donator/Akzeptor-Rekombinationen).

Theorie – ein unerlässlicher Bestandteil der Defektstrukturbestimmung

Die Analyse der Spektren liefert einen Satz von Wechselwirkungsparametern für jeden magnetischen Atomkern der Gitterumgebung sowie die Symmetrie des Defekts. Was jedoch das Experiment leider nicht liefert, ist eine Information darüber, wie die Größe der Wechselwirkungsparameter vom Abstand der Kerne vom ungepaarten Elektron, meist im Zentrum des Defekts, abhängt. Damit ist streng genommen noch keine Möglichkeit vorhanden, ein Strukturmodell aufzustellen, obwohl sich in vielen Fällen (z.B. bei Ionenkristallen) aus allgemeinen Erkenntnissen der Quantentheorie sagen lässt, dass die Wechselwirkungen mit dem Abstand vom Zentrum abnehmen. Aber das gilt nicht generell und kann, insbesondere in Halbleitern, zu falschen Zuordnungen der gemessenen Wechselwirkung zu bestimmten Kernen führen. Die magnetische Resonanzspektroskopie ist also kein Mikroskop. Dennoch liefert sie als einzige Methode detaillierte Informationen über die Struktur der Defekte. Glücklicherweise hat in den letzten Jahren die theoretische Physik der Vielteilchensysteme sehr große Fortschritte gemacht. So kann heute die elektronische Struktur von solchen Defekten vielfach mit hoher Verlässlichkeit mit „Local Density Approximation“ (LDA)-Methoden berechnet werden.

Prof. Harald Overhof von der theoretischen Physik in Paderborn ist derzeit weltweit führend bei der Berechnung der Hyperfeinwechselwirkungen von Punktdefekten. Solche Berechnungen sind die unerlässliche Ergänzung der spektroskopischen Arbeiten. Zusammen können das Experiment und die Theorie dann recht sichere Aussagen über die Defektstruktur machen [7].

Aktuelle Forschungsthemen

Die verschiedenen Methoden der magnetischen Resonanz können auf eine breite Palette von Festkörpern angewandt werden, nur nicht auf Metalle, weil da die Mikrowellenstrahlung nicht eindringen kann. In den letzten Jahren haben wir aktuelle Fragen an ganz unterschiedlichen Halbleitern und Ionenkristallen (Isolatoren) bearbeitet, die meist in engem Zusammenhang mit Anwendungen standen. Im Mittelpunkt der Halbleiterprojekte steht gegenwärtig die Untersuchung des Halbleiters Siliziumkarbid (SiC), der ungewöhnliche physikalische Eigenschaften hat, die ihn besonders für die Hochleistungselektronik, aber auch für schnelle Elektronik und als Substrate für die Herstel-



Abb. 4: Verschiedenfarbige Turmaline und der Kern des Punktdefektes, der für die gelbe Farbe verantwortlich ist. Mit gelber Farbe ist die Spindichteverteilung des ungepaarten Elektrons am Sauerstoff in der Dreiecksmitte angedeutet. Die roten Kugeln stellen Aluminiumionen (Al^{3+}) dar.

lung von GaN-Lasern hochinteressant machen. Ein wichtiges Problem für die Anwendung von SiC ist die Notwendigkeit, Dotierung per Ionenimplantation zu realisieren, was zu unerwünschten Strahlenschäden führt. In wie weit sich diese thermisch ausheilen lassen, welche Struktur sie haben und ob sie als elektrisch „aktive“ Defekte schädlich sind, versuchen wir herauszufinden. So haben wir zusammen mit den Paderborner Theoriergruppen herausgefunden, dass die einfache Silizium-Leerstelle weniger stabil ist als ein Kohlenstoff-Antisite Defekt neben einer Kohlenstoff-Leerstelle ($\text{C}_{\text{Si}}\text{-V}_{\text{C}}$ -Defekt) [5].

1998 haben wir in diesem Forum über unsere Arbeiten an so genannten Röntgenspeicherleuchtstoffen zur digitalen Röntgenografie berichtet [6]. Wir haben inzwischen entdeckt, dass bestimmte Nanokristallite in transparenten Glaskeramiken ähnliche Eigenschaften haben wie die früher beschriebenen feinkristallinen Speicherleuchtstoffe BaFBr:Eu^{2+} in Gelatineschichten, die jedoch wegen ihrer beliebigen Formbarkeit ganz neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen, insbesondere bei der Strahlentherapie als Dosimeter. Zusammen mit zwei Partnern in Neuseeland (Dr. Andrew Edgar, University of Wellington und Dr. Grant Williams, Industrial Research Institute) arbeiten wir an der Erforschung des Mechanismus und der Verbesserung der Speicher- und Ausleseigenschaften dieser Röntgenplatten.

Edelsteine mit verschiedenen Namen bestehen oft aus den gleichen Grundmineralien, haben aber verschiedene „Verunreinigungen“. Oft gibt es auch verschiedenfarbige Steine desselben Namens, z.B. grüner, gelber oder rosa Turmalin. Über die Ursache der Farbe bei Edelsteinen ist überraschend wenig gesichert bekannt. Unsere ODMR-Methoden sind für eine Untersuchung dieser Art optimal geeignet. So betreiben wir zusammen mit einem ehemaligen Paderborner Doktoranden, Prof. Klaus Krambrock, ein Projekt zusammen mit der Universidade Federal de Minas Gerais in Belo Horizonte in Brasilien, mit dem Ziel, einerseits den Ursprung der Farbe verschiedener Edelsteine herauszufinden und andererseits Methoden zu suchen, die vielen farblosen Minerale der Turmaline, Topase, Berylle etc., die man in der Provinz Minas Gerais in Brasilien findet und die so völlig wertlos sind, dauerhaft zu verfärben und zu Schmucksteinen zu machen. Die Abbildung 4 zeigt ein Beispiel: verschiedene lachsfarbene „Turmaline“, dabei ein gelber und ein farbloser Turmalin. Daneben die Struktur des Defektes, der für die gelbe Farbe

verantwortlich ist, wie wir unlängst herausgefunden haben. Durch γ -Bestrahlung (harte Röntgenstrahlung) wird farbloser Turmalin gelb. Dabei wird von einer OH-Gruppe des Gitters ein Wasserstoffatom abgespalten und zurück bleibt die gelbfärbende dreieckförmige Struktur des O-Al_3^{3+} Defektes. Ein ähnlicher Defekt entsteht durch ionisierende Strahlung sowohl in α -Alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) wie auch in Topas; dort ist sie wohl für eine graue Farbtönung verantwortlich.

Literatur:

- [1] J.M. Spaeth, phys. stat. sol. 34, 171 (1969).
- [2] J.M. Spaeth, J.R. Niklas, R.H. Bartram, Structural Analysis of Point Defects in Solids, Springer Series of Solid State Sciences, vol. 43, Springer Verlag 1992.
- [3] B. Stich, S. Greulich-Weber, J.M. Spaeth, J. Appl. Phys. 77, 1546 (1995).
- [4] B. Stich, S. Greulich-Weber, J.M. Spaeth, Appl. Phys. Lett. 68, 8 (1996).
- [5] Th. Lingner, S. Greulich-Weber, J.M. Spaeth, U. Gerstmann, H. Overhoff, E. Rauls, Z. Hajnal, Th. Frauenheim, Phys. Rev. B 64, 245212 (2001).
- [6] J.-M. Spaeth, S. Schweizer, ForschungsForum Paderborn 1/1998, S.16.
- [7] J.-M. Spaeth, H. Overhoff, Point Defects in Semiconductors Insulators, Springer Series of Materials Science, vol. 51, Springer Verlag 2003.



PD Dr. rer. nat. Siegmund

Greulich-Weber ist Privatdozent in der Fakultät für Naturwissenschaften. Seine Arbeitsgebiete sind Festkörperphysik, Festkörperspektroskopie, Magnetische Resonanzspektroskopie mit den Schwerpunkten Elektrisch nachgewiesene magnetische Resonanz, Siliziumkarbid und photonische Kristalle.

Sportmedizin hat Golfsport entdeckt

Golf im Fokus sportmedizinischer Forschung

Bisher standen ausdauerleistungsbestimmende Parameter im Mittelpunkt sportmedizinischer Trainingsbegleitung. Diese, vom Sportmedizinischen Institut der Universität Paderborn sehr intensiv und erfolgreich erforschten und angewandten Aspekte des Trainings (Saison 2002 z.B.: BVB Dortmund, Bayer Leverkusen, Hertha BSC Berlin, Deutsche Hockeynationalmannschaft), scheinen in ihrer Aussagekraft nicht mehr weiter steigerbar. Die Forschungszukunft liegt im Erkennen physiologischer Zusammenhänge von Gehirn und Muskel. Zentrales Interesse bildet der Bereich „Training und Gehirn“. In der dem Sportmedizinischen Institut angegliederten Golfakademie (Abbildung 1) wurde diese Problematik über die letzten drei Jahre verstärkt aufgegriffen. Dabei werden Aktivierungsgrade und -zeitpunkte sowie Einflussfaktoren auf das zentrale Nervensystem bei einer für die Forschungspraxis sehr vorteilhaften „lokalen“ Bewegung, dem Golfschwung, untersucht. Ergebnisse dieser der Grundlagenforschung zuzuordnenden Aktivitäten sollen in den Trainingsalltag aller Sportarten zurückfließen.

Analytische

Komponenten im Golfsport

Formen des Golfspiels sind aus dem asiatischen Raum bereits seit ca. 3 000 Jahren bekannt. Unter dem Namen Golf kann die



Dr. med. Holger Herwegen ist seit 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter des sportmedizinischen Institutes der Universität Paderborn. Ausbildung zum Sportlehrer und Chirurgen. Aufgabenschwerpunkte im Fachgebiet: Wissenschaftlicher Aufbau des Schwerpunktes Golf sowie Fitness- und Freizeitsport, Projekte zur präventivmedizinischen und rehabilitativen Untersuchung und Optimierung medizinischer Maßnahmen für den Bewegungsapparat.

Sportart auf eine beachtliche Tradition von ca. 500 Jahren auf dem europäischen Kontinent zurückblicken. Die Entwicklung des Golfsports zum Breitensport scheint sich auch in Deutschland zu vollziehen. Nicht nur die Akzeptanz zur Sozialisation entscheidet darüber, sondern auch, ob die Chance genutzt wird, die dadurch angeregte Weiterentwicklung des Golfspiels anzustreben. Der in unserer IT-Gesellschaft gestresste Mensch verlangt nach stressentlastenden und die Kreativität fördernden, motivierenden sportlichen Aktivitäten. Golf ist von allen Ballsportarten diejenige, deren Leistung am stärksten von der



Abb. 1: Golfakademie an der Universität Paderborn.

Leistungsbereitschaft und -fähigkeit des psycho-neuromuskulären Systems abhängig ist. Wie Joggen oder Schwimmen für das Herz-Kreislauf-System, so ist Golfen die Sportart für das Gehirn. Diese Erkenntnis und Verfügbarmachung für jedermann durch Erarbeitung einer differenzierten wissenschaftlichen Basis ist eine wesentliche Aufgabe, die sich die Golfakademie an der Universität Paderborn gestellt hat. Es gilt, aus sportmedizinischen und sportwissenschaftlichen Analysen und Studien Methoden und Verfahren zu entwickeln, die Golf zur Vorbeugung vor den Belastungen durch Umwelt, Medien, Leistungsanforderungen und Leistungsdruck im Beruf und in der Freizeit qualifiziert.

Die bislang übliche Diagnostik im Golfsport unterlag einzig dem „Golfpro“ (Golf-Professional), der über seine langjährigen Erfahrungen golfwilligen Sportlern Hinweise zur Durchführung dieser Sportart vermittelte. Im Training wurden ausschließlich visuelle Informationen, in seltenen Fällen auch kinästhetische Faktoren berücksichtigt. Die zunehmende Publizität sowie die Altersunabhängigkeit (Abbildung 2) dieser Sportart führte zwangsläufig zu einer Modifikation der Analyse des Schwungs und seiner leistungsbestimmenden Faktoren.

Die zwingende Integration gesundheitlicher Aspekte zur Verletzungsprophylaxe verlangte neue Parameter zur Charakterisierung dieser komplexen Bewegungsabläufe. Ständig steigende Mitgliederzahlen und höheres Spieleralter im Golfsport sowie die Entwicklung hochsensibler Messverfahren aktualisieren die Themen Bewegungsanalyse, Koordination und Gleichgewicht sowie Stressentwicklung beim Golfschwung immer wieder. Das Ziel des optimalen Golfschwungs liegt in der beschwerdefreien Durchführung bei optimaler Präzision und Schlagweite. In der Folge werden drei neue Untersuchungsverfahren über wissenschaftliche Studienergebnisse des sportmedizinischen Instituts dargestellt.

Einsatz der

Bewegungsanalyse als Teil der Golfdiagnostik

Der Golfabschlag ist eine sportliche Bewegung mit sehr hoher Bewegungsgeschwindigkeit. Es handelt sich dabei um einen nicht planaren Vorgang, der nur dreidimensional analysiert werden kann. Heutzutage ist die Videometrie als Element der Bewegungsanalyse in der Vermittlung des Golf und als Grundlage für eine spätere gezielte Leistungsoptimierung nicht mehr wegzudenken (Abbildung 3).

Ein Anwendungsbereich der Bewegungsanalyse findet sich nicht nur bei der zu trainierenden Bewegung, sondern auch in der Vorbereitung der speziellen sportlichen Aktivität. Welcher Golfspieler nimmt sich 20 Minuten vor seiner Golfrunde Zeit, sich adäquat aufzuwärmen? Das Bewegungsziel „weite und zielgenaue Schläge“ muss beliebig oft wiederholbar sein [1]. Eine Fülle von internen und externen Einflussfaktoren bestimmen diese Ziele. Die allgemeinen Wirkungen und Funktionen des Aufwärmens vor sportlicher Tätigkeit sind vielfach analysiert worden [2] (Abbildung 4).

Das Aufwärmen im Golfsport hingegen ist nur von wenigen Professionellen wie Palmer, Nicklaus oder Player erkannt worden. Der Breitensportler jedoch verkennt oder verdrängt diese Problematik völlig. Leistungsbestimmende und insbesondere gesundheitliche Faktoren des Aufwärmens stehen dabei wegen Unverständnis oder aus Zeitgründen meist hinten an. Die negati-



Abb. 2: Golf als Sport für jung und alt.



Abb. 3: Bewegungsanalyse.



Abb. 4: Wirkungen und Funktionen des Aufwärmens.



Abb. 5: Übungsbeispiel Aufwärmen vor dem Golf.

ven Aspekte des Golfsports sind vielfach auf den Mangel des ausbleibenden bzw. unzureichenden Aufwärmens zurückzuführen. Zur konsequenteren und besseren Vorbereitung auf das Golfspiel wurde die Effektivität eines einfachen golfspezifischen Aufwärmprogramms mittels Bewegungsanalyse und Interview untersucht (Abbildung 5).

Kinematische Aspekte und Rückenschmerzen erweisen sich als durch Aufwärmen erheblich beeinflussbare Parameter. Die golfspezifisch erwärmten Probanden ($n=33$) drehen im Rückenschwung die Schultern deutlich weiter und erzielen dadurch eine größere Verwindung zwischen Hüft- und Schulterachse als unaufgewärmt. Die Schlägerkopfgeschwindigkeit im Treffmoment zeigt bei der Versuchsgruppe um ca. 6 Prozent höhere Werte. In ihrer Tendenz nimmt auch die maximale Schlägerkopfgeschwindigkeit der Versuchsgruppe zu. Veränderungen des allgemeinen Schmerzzustandes während der Golfschwünge durch Aufwärmen – protokolliert durch Fragebogen – werden nicht beeinflusst. Dies gilt aber nicht für den beim Schwung stark beanspruchten Bereich der Wirbelsäule. Während sich die Rückenschmerzen bei Golfschwüngen ohne vorheriges Aufwärmen signifikant verschlimmern, tritt diese Schmerzzunahme nach Aufwärmen nicht auf. Dabei stellt sich die Lendenwirbelsäule als die Körperregion heraus, die am häufigsten von einer Zunahme der Schmerzen betroffen wird. Aufwärmen optimiert den Bewegungsablauf und schützt vor golfschwungverursachten Rückenschmerzen. Wer Zeit für eine 4-stündige 18-Loch-Runde hat, dem sollte seine Gesundheit zusätzliche 20 Minuten sinnvolles Aufwärmen wert sein.

Der häufigste Grund von Rückenschmerzen ist neben Über- und Fehlbelastungen häufig eine abgeschwächte Rumpfmuskulatur. Um die Wirbelsäule zu entlasten, sind eine kräftige Rücken- und Bauchmuskulatur notwendig. Rückenschmerzen führen zur



Abb. 6: Beim Golfschwung besonders stark beanspruchte Rückenmuskulatur.

Schonhaltung und damit zu Kompensationsbewegungen. Im Golfsport können sich diese negativ auf das Schlagergebnis sowie auch auf die Schmerzsymptomatik selbst auswirken [3]. Golfspieler besitzen in der Regel eine zu gering ausgeprägte Rumpfmuskulatur (Abbildung 6).

Eine gut ausgeprägte Rückenmuskulatur ist ein wichtiger Schutz für Golfspieler, Rückenschmerzen zu vermeiden [4]. Darüber hinaus liegt die Schlussfolgerung nahe, dass bei Golfern mit Rückenschmerzen ein gezieltes Muskelaufbautraining der Rumpfmuskulatur zu einer Senkung der Schmerzen beitragen kann. Durch die unzureichende Muskulatur und Kraftfähigkeit fehlt der Schutz des Körpers vor Überlastungen des Skelettsystems und weiteren Schmerzursachen. Golfspieler ohne Rückenschmerzen verwinden die Ebenen viel stärker gegeneinander, wodurch sie bei höherer Schlägerkopfgeschwindigkeit eine erhöhte Impulsübertragung auf den Ball freisetzen können und damit auch weiter schlagen. Aufgrund der geringen Kraftfähigkeit der Golfspieler mit Rückenschmerzen ist anzunehmen, dass diese Gruppe motorisch nicht in der Lage ist, die Konstanz in der Schwungebene zu gewährleisten. Daher kann die unterschiedliche Oberkörpervorneigung nur ein Erscheinungsbild der geringen Rumpfmuskulatur sein. Durch das Aufrichten des Oberkörpers kann der Spieler ebenfalls im Hüft- und Schulterbereich weiter rotieren. Golfspieler mit Rückenschmerzen stehen während des gesamten Golfschwungs aufrechter bei deutlicher Auf-Ab-Bewegung als Golfspieler ohne Rückenschmerzen. Prävention im Sinne zur Vermeidung von Rückenschmerzen während des Golfspiels kann dabei durch adäquates Aufwärmen und Techniktraining sowie Berücksichtigung einer Koordinations- und Kräftigungsschulung erreicht werden. Die Suche nach dem optimalen Golfschwung unter Berücksichtigung bewegungsanalytischer Aspekte bleibt offen.

Gleichgewichtsanalysen beim Golfschwung

Einen aktuellen Forschungsschwerpunkt der Golfakademie an der Universität Paderborn stellt die Untersuchung koordinativer Komponenten des Golfschwungs dar. Die Gleichgewichtsregulation als Element der Koordination zur Durchführung eines stabilen bzw. harmonischen Schwungs lässt sich über die Messung der Bodenreaktionskraft (BRK) darstellen. Hierzu werden die seitengetrenten vertikalen Bodenreaktionskräfte von Golfschwüngen unter Bewegungssynchronisation mittels simultaner 3-D-Videometrie aufgezeichnet.

Die vertikale Bodenreaktionskraft ist ein zuverlässiger Parameter zur Charakterisierung des vollen Golfschwungs und seiner markanten Schwungpositionen (Start, Voller Rückschwung, Treffmoment, Maximale Gewichtskraft links, Endposition). Sie ist vergleichbar mit der „Handschrift“ seines Golfers. Neben herkömmlicher Bildbetrachtung gewinnt die Analyse der vertikalen BRK zur Optimierung des Schwungablaufs immer mehr an Bedeutung. Die Forderung nach stabilen Merkmalen des Golfschwungs im Sinne einer „Handschrift“ des Golfers führte zur Untersuchung der vertikalen BRK beim vollen Golfschwung bei unterschiedlichem Leistungsniveau (Abbildung 7).

Die Beschreibung von Kraft-Zeit-Diagrammen und deren empirisch-statistisch leistungsrelevantem Bezug standen dabei im Vordergrund. Die beim Putten und teils beim Chippen (kurzes Spiel) aufgrund absoluter Präzision nicht wünschenswerte bzw. generell unbedeutende Gewichtsverlagerung zeigt sich beim vollen Schwung in Form eines typischen Rechts-Links-Shiftings [5]. In dieser Studie war der Rückschwung durch seitengleiche, der Ab- und Durchschwung durch seitenungleiche Kraftverteilung gekennzeichnet. Im Treffmoment zeigte sich das Gewichtsverhältnis des rechten Beines 55 Prozent zu links 40 Prozent. Dies ist unter Berücksichtigung biomechanischer Prinzipien zur optimalen Impulsübertragung (rechts 30 Prozent, links 70 Prozent) wenig ökonomisch. Interindividuell fanden sich teils deutliche Unterschiede bei jedoch intraindividuell hoher Konstanz. Die leistungsbezogene BRK-Analyse ergab deutliche Unterschiede zu einzelnen Schwungzeitpunkten [6], insbesondere zeigten die Kaderspieler (im vollen Rückschwung und zum Zeitpunkt des maximalen Kraftimpulses links) geringere Abweichungen. Somit sind sie in der Lage, diese mit leichten Nuancen, vergleichbar einer Handschrift, zu reproduzieren. Weitere Studien sollen die Beständigkeit der BRK-Messung im Einsatz golfschwungspezifischer Diagnostik untermauern.

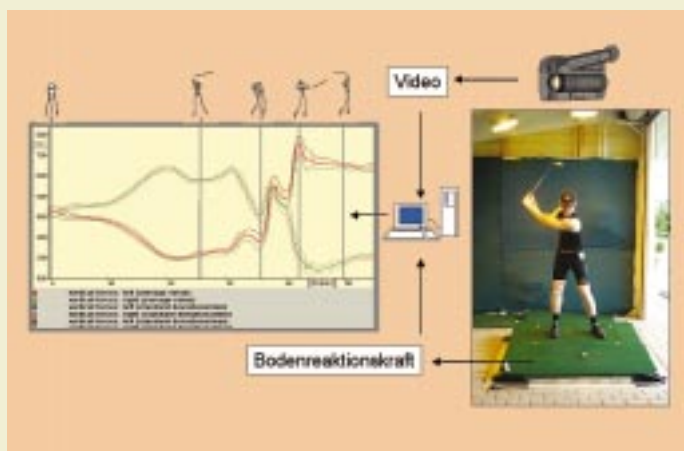


Abb. 7: Synchrone Bodenreaktionskraftmessung und Videometrie.

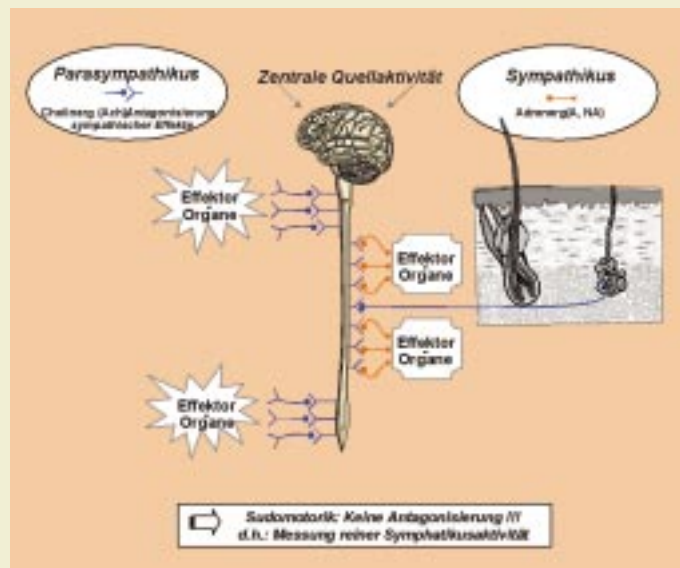


Abb. 8: Autonomes Nervensystem.

Neurophysiologische Forschung im Golf

Der Golfschwung stellt hohe Ansprüche an Physis und Psyche des Athleten. Gerade die Psyche der „Kopfsportart“ Golf bereitet der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung jedoch teils erhebliche Probleme. Zur objektiven Beurteilung der sportlichen – insbesondere mentalen – Beanspruchung beim Golfabschlag werden erstmals Hautwiderstandsmessungen mittels Elektrosympathikographie (ESG) eingesetzt. Elektrodermale Messungen mit Hilfe des Elektrosympathikographen [7] beschränken sich auf die Aktivität der sympathisch innervierten Schweißdrüsen. Durch Ausschluss einer direkten Hemmung durch parasympathische Nervenfasern stellt das Schwitzen somit die einzige Möglichkeit dar, Aussagen allein über sympathische Aktivität ohne parasympathischen Einfluss zu treffen (Abbildung 8).

Der Hautwiderstand verhält sich dabei indirekt proportional zum sympathischen Aktivitätsniveau. Einzelne Phasen des Golfschwungs und dessen Vorbereitung lassen sich nach Bildung von Indizes spezifischen Veränderungen der elektrodermalen Aktivität zuordnen. Die Grundlage dazu bilden die hohe intraindividuelle Konstanz sowie die charakteristischen ESG-Antworten auf den Golfschwung. Nach individuell unterschiedlichem Basis-Sympathikotonus ist in der Schlagvorbereitung ein leichter Aktivitätsanstieg im Sinne einer Aktivierung für die nachfolgende Aktion zu erkennen. Bei Beginn und auch nach Beendigung der eigentlichen Schlagbewegung fällt der Hautwiderstand deutlich ab und steigt dann langsam wieder an (Abbildung 9).

Der eigentliche Schlag wird also begleitet von einem starken elektrodermalen Sympathikusanstieg, welcher noch Sekunden über die eigentliche Bewegungsphase andauert. Dieses ESG-Tal konnte bei fast allen Probanden festgestellt werden. Möglicherweise ist die Reizstärke des Golfabschlags so hoch, dass eine Erholung des Sympathikus durch stark verzögerte Regulationsprozesse erst spät einsetzen kann. Erst nach dem ESG-Tal beginnt durch Normalisierung der Regulationsprozesse die eigentliche Erholung für die Probanden, die sich bis zur nächsten Schlagvorbereitung uneinheitlich fortsetzt. Die Dauer der Schlagvorbereitung sollte nicht wesentlich über 15 Sekunden hinaus gehen, da sich das Schlagergebnis mit längerer Vorstartdauer signifikant verschlechtert. Auch in der Phase der Regeneration zwischen den Schlägen, also dem elektrodermalen Akti-

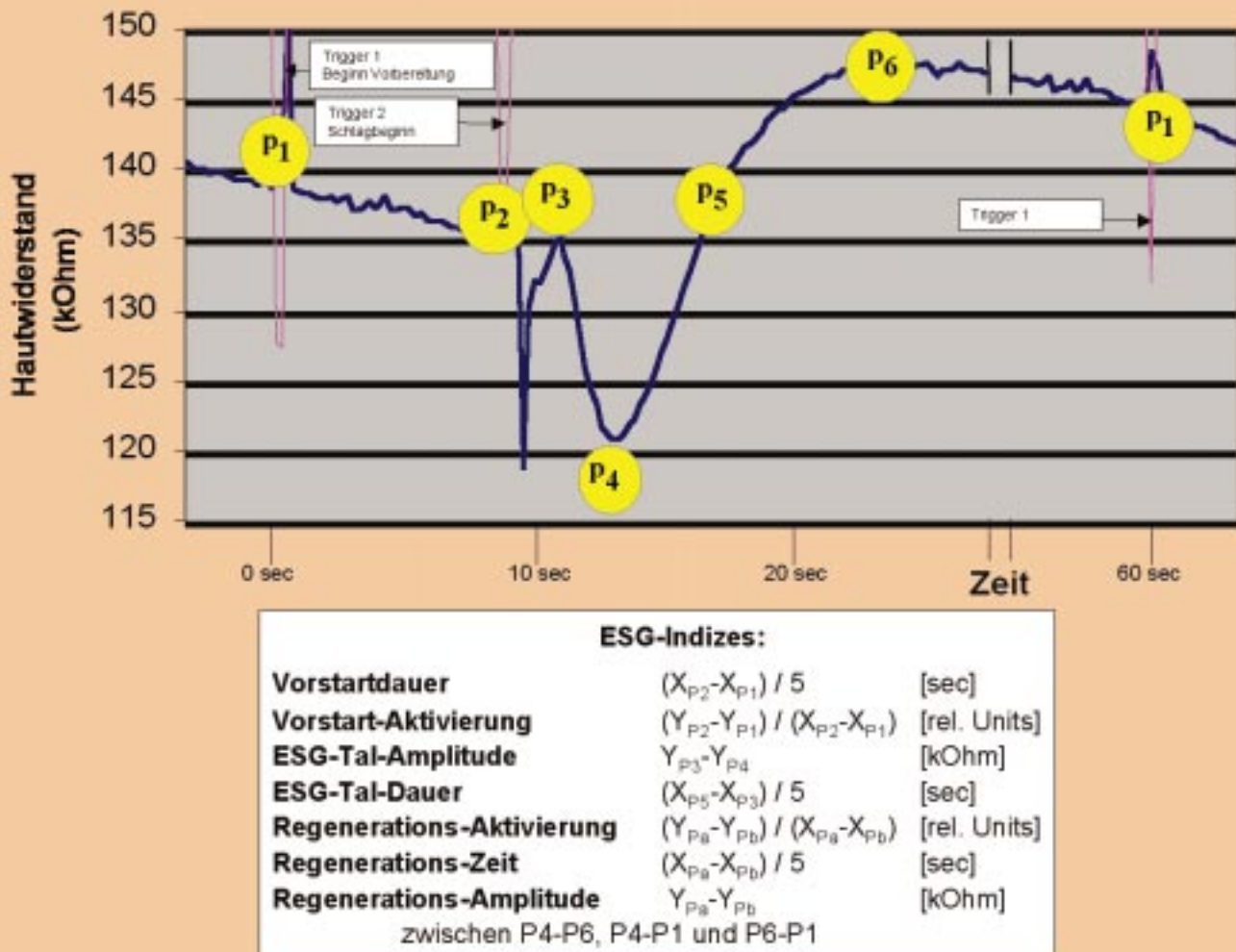


Abb. 9: ESG-Kurve und -Parameter.

vitätsniveau nach dem Schlag besteht ein Zusammenhang zwischen dem sympathischen Aktivitätsniveau nach dem Schlag und dem Score. Weitere Zusammenhänge konnten zwischen sympathischem Erregungsniveau in der Vorstartphase und Amplitude des ESG-Tals sowie zwischen sofortiger sympathodermaler Reaktion, also auch der Regeneration, dargestellt werden. Die Methode der Elektrosympathikographie bietet somit eine objektive Möglichkeit, nach Bildung von charakteristischen elektrodermalen Indizes, einzelne Phasen des Golfschwungs und dessen Vorbereitung zu analysieren. Die Golfakademie und das sportmedizinische Institut erwarten, über die neurophysiologische Analyse der Stressbelastung, in Zukunft exakte Aussagen über den Leistungszustand des Sportlers geben zu können.

Ausblick

Weiterentwicklungen im Sinne einer Verbesserung sportartspezifischer Diagnostik betreffen die Erarbeitung von entwicklungsangepassten Trainings- und Betreuungskonzepten, insbesondere die sportmedizinische und trainingswissenschaftliche Begleitung der Programme des Deutschen Golf Verbandes. Dabei steht der Aufbau individueller Datenbanken unter Nutzung medialer Informationssysteme im Vordergrund. Eine zusätzliche Herausforderung stellt der Start eines Internet-Portals „Golf und Gesundheit“ zur Förderung der wissenschaftlichen Entwicklung des Golfsports dar. Unser Ziel ist es, dem Golfsport eine wissen-

schaftliche Basis zu geben für den Breitensportler, zur Entlastung, Gesunderhaltung, zur Verbesserung der Lebensqualität und für den Leistungssport-Ambitionierten zur Optimierung seiner persönlichen Leistungsfähigkeit.

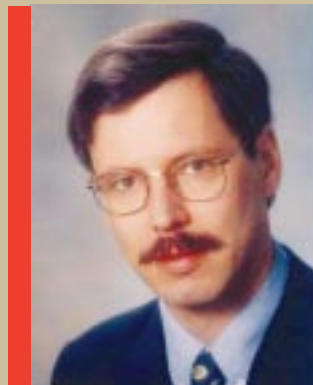
Literatur

- [1] HEULER, O. Der Schwung. Niedernhausen, 1994.
- [2] MAEHL, O., HÖHNKE, O. Aufwärmen. Ahrensburg bei Hamburg, 1988.
- [3] METZ, JP. Managing golf injuries. The Physician and Sports Medicine 1999; 7.
- [4] SHERMAN, CA., FINCH, CF. Preventing Injuries to competitive and recreational adult golfers: What is the evidence? J Science Med Sport 2000; 3 (1): 65-78.
- [5] ROBINSON, RL. A study of the correlation between swing characteristics and club head velocity, In: COCHRAN, AJ., FARALLY MR (eds). Science and Golf II. London: E & FN Spon, 1994: 84-90.
- [6] BARRENTINE, SW., FLEISIG, GS., JOHNSON, H. Ground reaction forces and torques of professional and amateur golfers. In: COCHRAN, AJ., FARALLY, MR. (eds). Science and Golf II. London: E & FN Spon, 1994: 33-39.
- [7] JANITZKI, A., VEDDER, N. Mehrkanal-Hautwiderstandsmessungen. Biomedizinische Technik 1987; 32:98-107.

Pentacen – Kunststoff für Transistoren

Neuartige Halbleiter Gegenstand intensiver Forschung

Spätestens seitdem der Chemie-Nobelpreis im Jahr 2000 an Alan J. Heeger für seine Arbeiten zur Erforschung organischer Halbleiter vergeben wurde ist die vormals als unwissenschaftlich bezeichnete Konkurrenztechnologie zu etablierten Siliziumprodukten in aller Munde. Lange Zeit ging man davon aus, dass alle Kunststoffe Isolatoren sein müssten, doch seit den späten 70er Jahren sind diese neuartigen Halbleiter Gegenstand intensiver Forschung. Besonders der hohe Kostendruck in der industriellen Fertigung elektronischer Schaltungen und Anzeigen legt die Verwendung preiswerter organischer Halbleiter wie Pentacen in Transistoren und Displays als logische Konsequenz nahe. Herkömmliche Siliziumprodukte werden heute noch mit aufwändigen und teuren Lithografie-, Hochtemperatur-, Vakuum- und Ätzprozeduren prozessiert. Gerade hier spielen die organischen Halbleiter ihren Vorteil gegenüber Silizium aus: Sie können bei Raumtemperatur und mit geringem technischen Aufwand verarbeitet werden. Da viele organische Halbleiter löslich sind, bieten sich kostengünstige Verarbeitungsverfahren



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hillebrand leitet seit 1999 das Fachgebiet Sensorik der Universität Paderborn. Hauptarbeitsgebiete sind die Entwicklung von Mikrosensoren auf der Basis der Silizium-Halbleitertechnologie sowie die Integration organischer Feldeffekttransistoren und Strahlungssensoren auf Kunststoffsubstraten.

ren wie Siebdruck, Spin-Coating (Aufschleudern eines dünnen Films durch Aufbringen einiger Tropfen der Flüssigkeit auf das rotierende Substrat) und Tintenstrahltechnik (aus der Lösung) an.

Zusätzlich ist ein Einsatz organischer Halbleiter auf flexiblen



Übertragung der Transistorstrukturen von einer Maske auf den mit Fotolack beschichteten Wafer mittels Fotolithografie. Nach der Entwicklung des Abbildes dient der auf dem Wafer verbliebene Fotolack als Maskierung für den folgenden Ätzprozess.

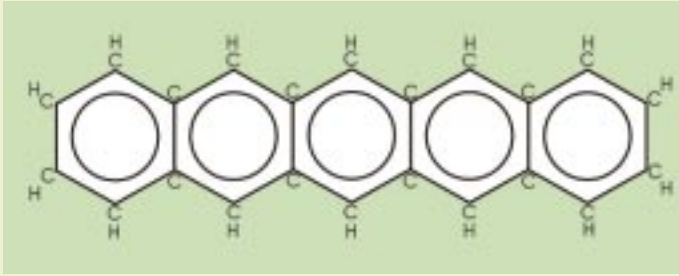


Abb. 1: Pentacen: Die Moleküle organischer Halbleiter wie das Pentacen bestehen zum größten Teil aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Der Transport der Ladungsträger erfolgt bei diesem Molekültyp über die überlappenden Kohlenstoff-Molekülorbitale dicht beieinanderliegender Moleküle gleichen Typs.

und kostengünstigen Substraten wie z.B. Kunststofffilmen (Polyethylenterephthalat, PET) denkbar. Damit eröffnen sich neben preiswerteren elektronischen Bauteilen weitere unzählige technologische Möglichkeiten: der Folienbildschirm als aufrollbare Zeitung, vom Satelliten per Funk mit den neuesten Nachrichten versorgt, oder Handys mit ausziehbarem Folienmonitor zur mobilen Internetnutzung. Zum einen kämen die organischen Halbleiter dabei in der lichtemittierenden Schicht der organischen Leuchtdioden (OLED) als aktive Substanz zum Tragen (z.B. das hocheffiziente Poly(para-phenylenvinyl), PPV), zum anderen in der Ansteuerelektronik, die aus organischen Feldeffekt-Transistoren (OFET) integriert wird. Hier soll in Zukunft das halbleitende Pentacen eine entscheidende Rolle spielen.

Gerade mit der organischen Substanz Pentacen (Abbildung 1) wurden in den letzten 10 Jahren vielversprechende Fortschritte erzielt, so dass inzwischen bemerkenswerte Ladungsträger-Mobilitäten über $2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ gemessen wurden [1]. Die Mobilität gibt an, wie schnell sich die Ladungsträger im Pentacen-Film bewegen können und ist damit ein Anhaltspunkt für die erreichbare Schaltgeschwindigkeit eines Pentacen-Transistors. Zusammen mit einer On-Off-Rate (Verhältnis der fließenden Ströme im Ein- und Aus-Schaltzustand) von acht Größenordnungen für den Source-Drain-Strom [2,3] ist eine Verwendung organischer Halbleiter in Transistoren als Ansteuerelemente nachgeschalteter Leuchtdioden denkbar. Hierbei wird jedes einzelne Pixel des Matrixdisplays von einem eigenen OFET mit Strom versorgt [4]. Ein gutes Schaltverhalten des OFET ist dabei Voraussetzung, jedoch werden dafür noch immer große Betriebsspannungen im Bereich von 50-100V benötigt [5].

Alle bisher veröffentlichten Konzepte zeigen allerdings auch eine deutliche Abhängigkeit der Betriebsparameter vom verwendeten Herstellungsprozess. Eine optimierte Prozessfolge in Verbindung mit neuen Konzepten für die Aktivschicht des Transistors verspricht daher eine deutliche Reduzierung der Betriebsspannung dieser Bauelemente. Aus der Herstellung der OLED ist bekannt, dass gerade das Elektrodenmaterial wesentlichen Einfluss auf die Einsatzspannung solcher Elemente hat [6]. Durch Wahl von Materialien mit geeigneter Austrittsarbeit lässt sich z.B. die Betriebsspannung integrierter OLED von über 20V auf weniger als 5V senken. Speziell die Grenzfläche Metall/organischer Halbleiter muss durch Wahl eines Elementes mit geeigneter Austrittsarbeit möglichst als ohmscher Kontakt ausgeführt werden. Eine hohe Austrittsarbeit des Metallkontaktes führt zu einer vereinfachten Injektion von Ladungsträgern in das organische Material [7]. Als gut zu verarbeitende Metalle mit entsprechender Austrittsarbeit kommen für diese Zwecke Gold (Au), Nickel (Ni), Palladium (Pd) und Titan (Ti) in Betracht.

Das Dielektrikum im OFET bestand bisher aus aufgesputtertem oder im Plasma abgeschiedenem Siliziumdioxid (SiO_2) oder Bariumzirkonat-Titanat (BZT). Ein Ziel unserer Arbeit ist es, für die weitere Verbesserung der OFET-Parameter bzgl. der Einsatzspannung, Steilheit und elektrischer Durchbruchfestigkeit neue geeignete dielektrische Materialien für niedrigere Betriebsspannungen auf ihre Verarbeitungsmöglichkeiten, Isolationsfestigkeit, mechanische Festigkeit und Langzeitstabilität zu untersuchen.

Der Aufbau

organischer Feldeffekttransistoren

Der prinzipielle Aufbau eines OFET ist in Abbildung 2 dargestellt. Die aktive Schicht wird in diesem Fall vom p-leitenden Halbleiter Pentacen im Bereich zwischen Source- und Drain-Kontakt gebildet. Source bezeichnet den Ladungsträger spendenden und Drain den Ladungsträger sammelnden Kontakt. Im Betrieb liegt zwischen den Source- und Drain-Anschlüssen die Drain-Source-Spannung UDS an. Zwischen dem so genannten Gate, in diesem Fall identisch mit dem Silizium-Substrat, als dritten Kontakt und dem Source wird gleichzeitig die Gate-Source-Spannung UGS angelegt. Sie ist die Ursache für ein elektrisches Feld in der aktiven Schicht des Transistors, das für eine Anreicherung von Majoritätsladungsträgern zwischen den Kontakten sorgt und durch diese leitende Verbindung zum Stromfluss zwischen Source und Drain führt. Im Fall des Sperrbetriebs sammeln sich keine Ladungsträger an, der leitfähige Pfad zwischen Source und Drain verschwindet, es fließt kein Strom mehr.

Der Nachteil dieser einfachen Bauform liegt in der gleichzeitigen Verwendung des Siliziums als Trägermaterial und als Elektrode zur Steuerung des Transistors. Das Silizium lässt sich zwar zur Erzeugung der dielektrischen Schicht zwischen der Gate-Elektrode und der halbleitenden organischen Verbindung sehr einfach

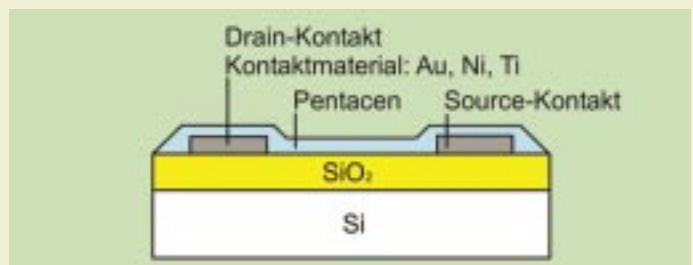


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Feldeffekt Transistors. Eine zwischen Silizium-Gate und dem Source-Kontakt angelegte Spannung erzeugt ein Feld, dass die Majoritätsladungsträger in der aktiven Pentacen-Schicht einen leitfähigen Kanal bilden lässt.

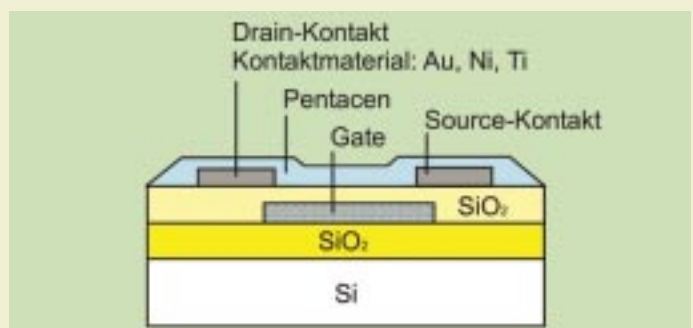


Abb. 3: Schematischer Querschnitt durch einen organischen Feldeffekt Transistor. Durch das einzeln strukturierte Titan-Gate sind die Transistoren selektiv ansteuerbar, einfache logische Schaltungen und Ringoszillatoren können integriert werden.

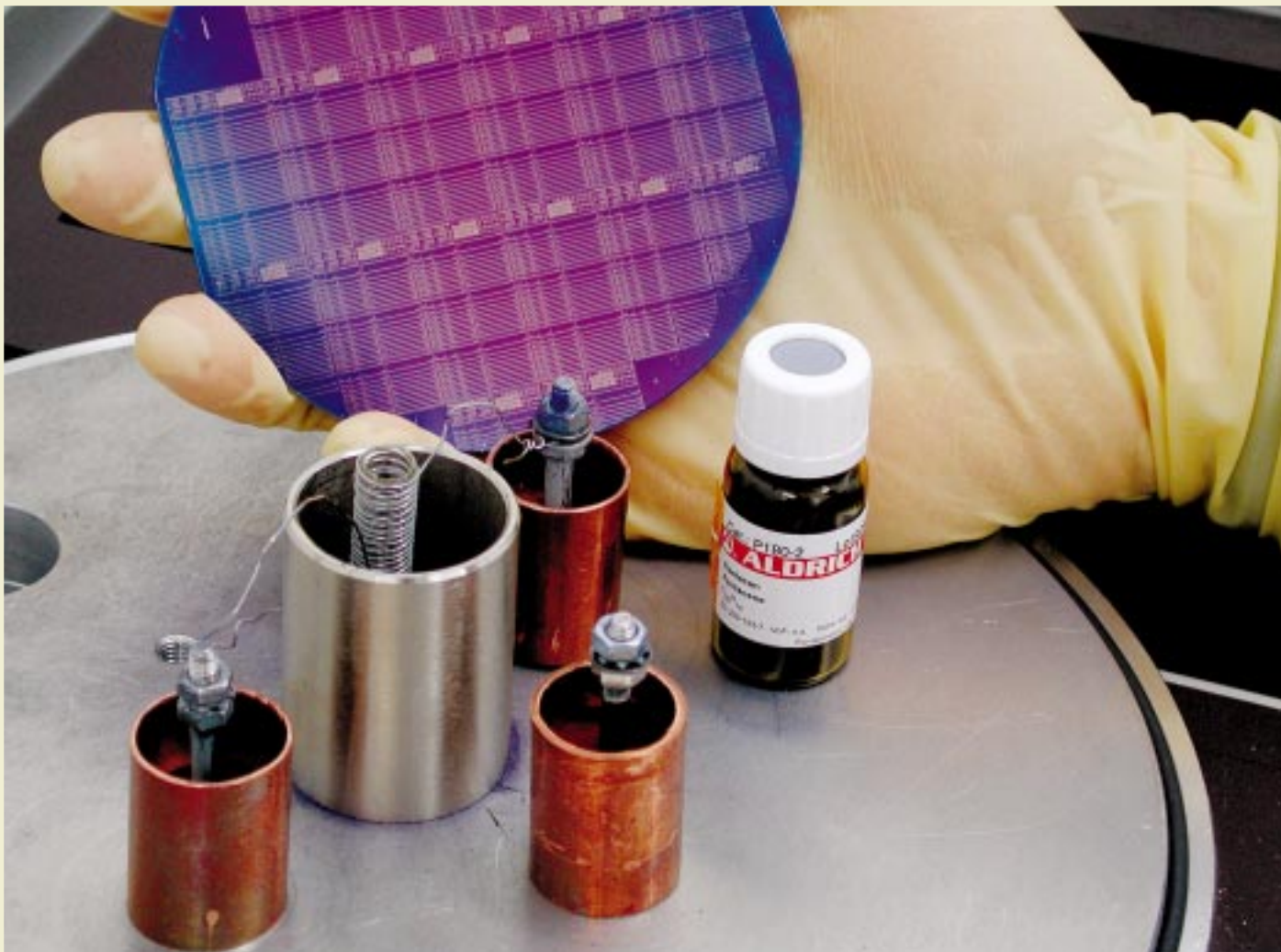


Abb. 4: Wafer mit Pentacen beschichtet: Mehrere 100.000 Transistoren und Teststrukturen finden auf einem 10cm Wafer Platz. Unter staubarmen Bedingungen und mit großer Vorsicht werden die Substrate behandelt, um Kurzschlüsse durch Verunreinigungen oder Beschädigungen zwischen den Leiterbahnen zu vermeiden.

oxidieren, jedoch sind bei diesem Aufbau sämtliche Gate-Elektroden aller Transistoren auf dem Träger gekoppelt. Schaltungen lassen sich folglich nicht realisieren.

Die entwickelte alternative Bauform (Abbildung 3) nutzt zwar zurzeit weiterhin einen Siliziumträger, jedoch lässt sich dieser durch Glas oder Kunststoff ersetzen. Im Sinne einer low-cost-Elektronik sollen hier zukünftig flexible Substrate wie PET Verwendung finden. Die Gate-Elektrode besteht aus einer Titanschicht von ca. 100 nm Dicke, darüber wird eine dünne dielektrische Schicht aus Siliziumdioxid aufgebracht. Es folgen die Herstellung der Metallelektroden und das thermische Aufdampfen des Pentacens im Hochvakuum. Nun stehen sämtliche Elektroden aller auf dem Trägermaterial erzeugten Transistoren unabhängig voneinander und damit frei beschaltbar zur Verfügung.

In der Herstellung werden die Gate-Elektroden mit Abmessungen in der Größenordnung von einigen Mikrometern sowie die Source- und Drain-Kontakte mittels Fototechnik und nasschemischem Ätzen, dem Trockenätzen oder der Lift-off Technik zum Abtragen nicht benötigter Oberflächenbereiche strukturiert. Einige 100 000 solcher miniaturisierter Transistoren lassen sich auf einem Substrat mit 100 mm Durchmesser unterbringen (Abbildung 4).

Mit der Miniaturisierung stößt man jedoch auch in Größenbereiche vor, in denen allein ein Staubkorn einen Kurzschluss von Leiterbahnen bedeuten kann. Daher erfolgen alle Prozessschritte zur Herstellung der Transistoren im neu erstellten Reinraum des

Fachgebietes (Klasse 1000, d.h. maximal 1000 Partikel pro 1ft³ Laborluft). Auf 50 m² Reinraumfläche befinden sich alle notwendigen Geräte zum Abscheiden und Strukturieren der benötigten, nur 100 nm dicken Schichten. Im 3-Zonen-Ofen lassen sich bei Temperaturen von 600° C bis zu 1200° C SiO₂-Schichten aufbringen, die in einfachen Testtransistoren als Dielektrikum dienen. Mit der Kathodenstrahlzerstäubung (Sputtern) im Argon-Plasma werden Metalle für die Kontakte abgeschieden; die Strukturierung erfolgt über die Fotolithografie (Abbildung siehe Seite 38) und einen nasschemischen Ätzschritt oder im Trockenätzverfahren. Thermisches Verdampfen des Pentacens im Hochvakuum schließt den Herstellungsprozess des Transistors mit dem Abscheiden der aktiven Pentacen-Schicht auf ein auf 60° C geheiztes Substrat ab.

Ergebnisse

Routinemäßig werden die im Fachgebiet hergestellten Transistoren umgehend einer elektrischen Charakterisierung unterzogen. Zur Vermeidung von Störeinflüssen erfolgt die Aufnahme der Ein- und Ausgangskennlinien der Transistoren unter abgedunkelten und elektrisch abgeschirmten Bedingungen. Aus den Messwerten können die notwendigen Informationen wie Sättigungsstrom, Sperrstrom und Schwellspannung abgelesen werden. Zum Erfassen der Eingangskennlinie wird bei fester Drain-Source-Spannung die Gate-Source-Spannung kontinuierlich durchgeführt und der zugehörige Drain-Strom gemessen (Abbildung 6).

Hier zeigt sich, ab welcher Gate-Source-Spannung sich ein leitender Pfad im Pentacen ausbildet und der Transistor schaltet. Idealerweise sollte sich der stromführende Pfad bei einer Gate-Source-Spannung nahe 0 V ausbilden, damit eine Schaltfunktion bei geringer Betriebsspannung möglich ist. Dieser Bereich nennt sich Schwellspannungsbereich und liegt bei den von uns hergestellten Transistoren im Bereich von -1 bis -1,5 V.

In der logarithmischen Darstellung des Drain-Stroms über der Gate-Source-Spannung lässt sich die On-Off-Rate von Sperrstrom und Sättigungsstrom ablesen (Abbildung 7). Das Verhältnis von Sättigungsstrom zum Sperrstrom wird als Maßstab für das Schaltverhalten eines Transistors angegeben. Die On-Off-Rate unserer Transistoren überschreitet mehr als fünf Größenordnungen. Dies ist bereits ein guter Wert, der im Hinblick auf die Anwendung als Pixeltreiberelement ausreicht. Zusätzlich liefert die logarithmische Darstellung sofort eine Aussage über die Steigung des Subschwellschwellspannungsstromverlaufs. Ziel ist es, einen möglichst geringen Wert für die Steigung zu erzielen, um beim Durchfahren der Gate-Source-Spannung möglichst schnell einen großen Stromfluss zu erhalten. Bei den hier vorgestellten Schaltelementen wurde eine Steigung von ca. 0,5 V/Dekade erreicht. Verglichen mit Literaturwerten von 0,4 V/Dekade [8] ist dies sicher kein schlechter Wert, berücksichtigt man, dass für Transistoren aus a-Si ebenfalls Steigungen im Bereich von 0,5 V/Dekade erreicht werden.

Der Sperrstrom eines Transistors sollte hingegen möglichst klein sein, damit im Aus-Zustand des Transistors kein Leckstrom fließen kann. Dieser würde sich in logischen Schaltungen fatal auswirken, liegt aber bei getesteten Elementen in einer vertretbaren Größenordnung bis zu -1 pA.

Das Ausgangskennlinienfeld entsteht aus der Messung des Drain-Stroms in Abhängigkeit von der Drain-Source-Spannung für feste Gate-Source-Spannungen (Abbildung 8). Dabei sollte der Drain-Strom in der Sättigung, d. h. für Drain-Source-Spannungen betragsmäßig oberhalb der wirksamen Gate-Source-Spannung, möglichst groß sein. Folglich ist der Sättigungsstrom der maximale Strom zwischen Drain und Source, der bei einer bestimmten Gate-Source-Spannung erreicht werden kann. Zum Betreiben von OLED sollte dieser möglichst groß sein. Im Falle unserer Transistoren erreichen wir dabei Werte von über 800 μA für den Sättigungsstrom eines Transistors mit einem Weite-zu-Länge-Verhältnis von ca. 10 000 bei -10 V Gate-Source-Spannung.

Durch Interpretation dieser Kennlinie lassen sich Schwachpunkte der Herstellung und des Transistor-Layouts aufzeigen. Zusammen mit den grundlegenden Transistor-Kenngrößen wie Länge, Weite und Dicke des Dielektrikums kann mit Hilfe des Stroms im Sättigungsbereich und der Gate-Source-Spannung die Mobilität der Ladungsträger berechnet werden. Transistoren mit 110 nm Oxiddicke erreichten Beweglichkeiten bis zu 0,1 cm^2/Vs bei Betriebsspannungen um -5 V. Verglichen mit den eingangs beschriebenen Literaturwerten von 2 cm^2/Vs erscheint dieser Wert gering, jedoch wurden derart gute Beweglichkeiten bislang nur bei unüblich hohen Betriebsspannungen über -50 V erreicht.

Ausblick

Zur Steigerung der Schaltgeschwindigkeit werden sich die Forschungsschwerpunkte in der näheren Zukunft auf die Miniaturisierung der Transistoren konzentrieren. Verändert man die Länge des Gatebereichs eines Transistors zugunsten schmalerer

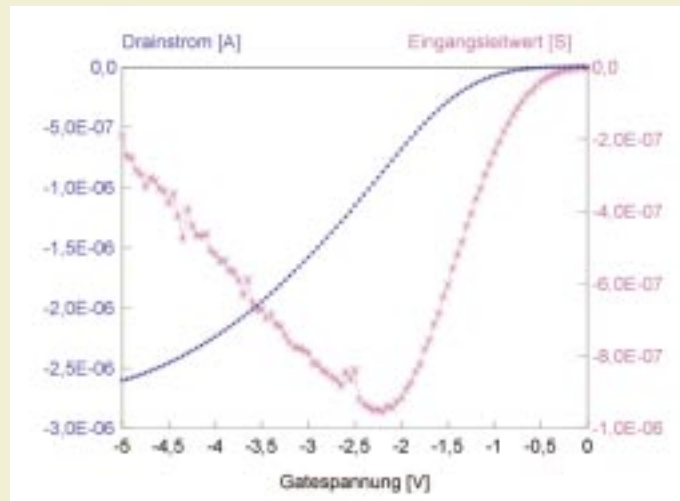


Abb. 6: Linke Achse: Eingangskennlinie eines Pentacen-Transistors mit Schwellspannung um -1 V. Bei dieser Spannung beginnt die Ausbildung des leitfähigen Kanals im organischen Halbleiter. Rechte Achse: Funktion des Leitwertes über der Gate-Spannung. Beginnt sich der leitfähige Kanal von Majoritätsladungsträgern auszubilden, so nimmt der Leitwert stark zu.

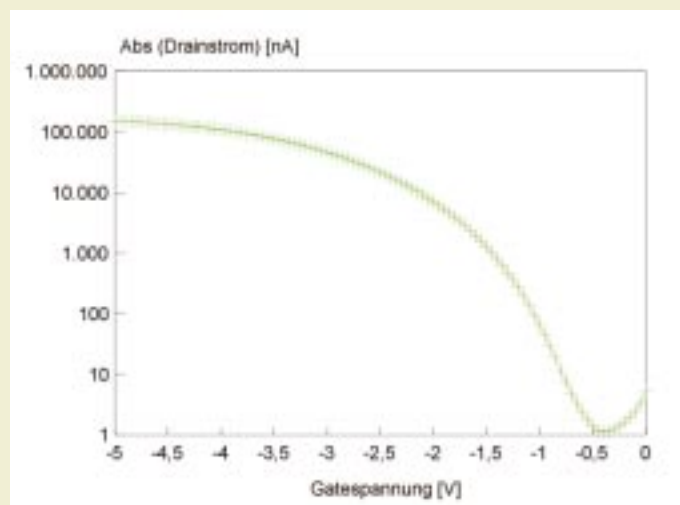


Abb. 7: Die logarithmische Auftragung des Drain-Stromes über der Gate-Spannung erleichtert das Ablesen der Strommodulation über mehrere Größenordnungen. Ausschlaggebend für ein gutes Schaltverhalten sind ein hoher Sättigungsstrom und ein nahezu verschwindender Sperrstrom, resultierend in einer hohen On-Off-Rate.

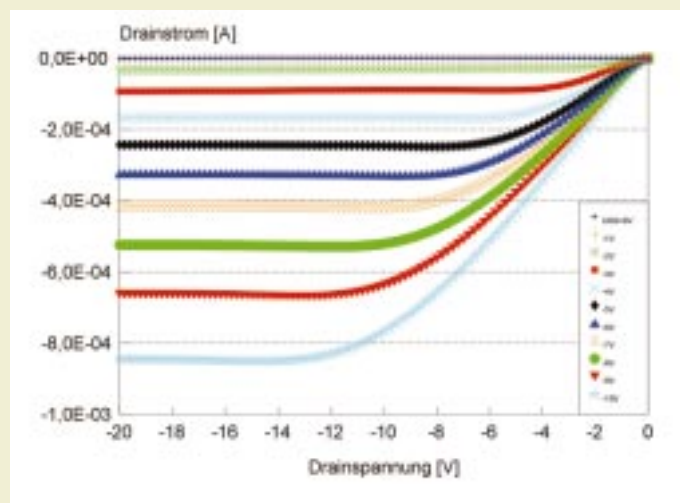


Abb. 8: Aus dem Ausgangskennlinienfeld ist ablesbar, ab welcher Drain-Source-Spannung der Transistor bei festgelegten Gate-Source-Spannungen im Sättigungsbereich arbeitet und welcher Strom zwischen Source und Drain dabei

Kanäle, so wird der Kanalwiderstand und damit die Treiberfähigkeit des Transistors positiv beeinflusst [5]. Mit Hilfe der am Fachgebiet vorhandenen Erfahrungen im Bereich der Nanotechnologie können von uns Elemente mit minimal 25 nm Weite reproduzierbar und mit hoher Gleichmäßigkeit in der Fläche sicher hergestellt werden. Durch eine geschickte Prozessführung ließen sich mit den äußerst reproduzierbaren Methoden der Schichtabscheidung und Schichtätzung in Verbindung mit der optischen Lithografie die Materialien Silizium, Aluminium, Wolfram und Titannitrid mit Abmessungen um 50 nm und darunter zu Leiterbahnen strukturieren [9]. Da diese Techniken auch mit der Herstellung der OFETs vereinbar sind, lassen sich die gewonnenen Kenntnisse ohne Bedenken übertragen.

Betrachtet man abschließend die erreichten Ergebnisse der Forschung am organischen Halbleiter, so wird schnell deutlich: Die organischen Halbleiter haben in den letzten 25 Jahren den Sprung vom stiefmütterlich behandelten Forschungsgebiet zur Konkurrenztechnologie der herkömmlichen Halbleiter geschafft und stehen kurz vor dem Einzug in die industrielle Serienproduktion. Kostengünstige und einfache Produktionsmethoden lassen sie gegenüber Silizium als Halbleitermaterial für Displays und Transistoren konkurrenzfähig erscheinen. Weitere Vorteile der organischen Halbleiter, wie ihre Verwendbarkeit auf Kunststoffsubstraten, eröffnen unzählige neue technologische Einsatzmöglichkeiten von low-cost Transistoren bis zu high-tech Farbdarstellungen. Die Performance heutiger Transistoren reicht aus, um den Ansprüchen geringerer Anforderungen entgegenzutreten. Für die Lösung zukünftige Problemstellungen sind die Vorbereitungen abgeschlossen, Vorarbeiten begonnen und Vorgehensweisen abgesteckt. Die Arbeit an der Zukunft neuer Halbleiter hat schon begonnen.

Literatur

- [1] D.J. Gundlach, C.-C. Kuo, S.F. Nelson, T.N. Jackson, 57th Annual Device Research Conference, (1999).
- [2] A.R. Brown, Science, Vol. 270, 1995, p.972.
- [3] C.C. Wu et al., IEEE Electron Device Letters, 18, 1997, p. 609.

- [4] T.N. Jackson, Y.Y. Lin, D.J. Gundlach, H. Klauk, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 4, 1998, p.100-104.
- [5] C.D. Dimitrakopoulos, I. Kyriassis, S. Purushothaman, D.A. Neumayer, P.R. Duncombe, R.B. Laibowitz, Advanced Materials, 11, 1999, p. 1372-1375.
- [6] J. Müller, Dissertation, Universität Dortmund, 1996.
- [7] H. Klauk, D.J. Gundlach, J.A. Nichols, T.N. Jackson, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 46, 1999, p. 1258-1263.
- [8] D.J. Gundlach, H. Klauk, C.d. Sheraw, C.-C. Kuo, J.-R. Huang, T.N. Jackson, 1999 International Electron Devices Meeting, 1999.
- [9] U. Hilleringmann, T. Vieregge, J. T. Horstmann, IECON'99, Proceedings of the 25th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 1, 1999, p. 56-61.

Kontakt:

E-Mail: hilleringmann@ieee.org

E-Mail: pannemann@sensorik.uni-paderborn.de

Internet:

<http://sensorik.uni-paderborn.de>

<http://www.nanotech-nrw.de>



Christoph Pannemann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Sensorik des Instituts für Elektrotechnik und Informationstechnik. Im Rahmen eines DFG-Projektes forscht er an der Umsetzung „organischer Feld-Effekt-Transistoren“ basierend auf dem organischen Halbleitermaterial Pentacen.

eLearning-Plattformen für die Hochschule

Bedarfsgerechte Bestimmung der Anforderungen

Der Einfluss neuer Technologien auf die Art wie wir Lehren und Lernen wird seit einigen Jahren unter dem Begriff eLearning diskutiert. Auch an den Hochschulen gibt es Bemühungen, eLearning-Konzepte zu etablieren. Dabei versprechen so genannte eLearning-Plattformen ein integriertes und reibungsloses Zusammenarbeiten aller Beteiligten am eLearning zu ermöglichen. Der Einsatz einer so zentralen Software in einem System wie der Hochschule ist ein komplexes Problem, für dessen Bewältigung die Softwaretechnik, ein Fachgebiet der Informatik, Methoden und Sprachen bereitstellt. Zentrale Idee dabei ist es, von existierenden Strukturen und den Bedürfnissen der Anwender auszugehen. In diesem Beitrag wird beschrieben, wie die Analyse von Hochschulstrukturen und Prozessen der Planung des Einsatzes von eLearning-Plattformen dient.

eLearning-Plattformen auswählen?

Die Entwicklung von eLearning-Produkten ist seit einigen Jahren Inhalt von Forschungs- und Industrieprojekten. Eine Reihe der so entstandenen Programme sind von ihrer Ausrichtung her so umfassend ausgelegt, dass sie als eLearning-Plattform bezeichnet werden. Das Versprechen dieser Programme ist es, alle eLearning-Bedürfnisse einer Hochschule abzudecken. Oberflächlich betrachtet ist es nun also ein reines Auswahlproblem, die „beste“ dieser Plattformen zu finden und einzusetzen. Zu diesem Zweck wurden in vielen Untersuchungen Vergleichstabellen erstellt, in denen einzelne Funktionen und Eigenschaften der angebotenen Produkte gegenübergestellt, bewertet und zu Gesamtergebnissen kumuliert wurden. Ein Beispiel für eine solche Tabelle ist

Student's Environment					
	Products				
	Active	Blackboard	DLS	IST	Learning Space
Access to course material					
Keyword search	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
Downloadable image archive	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
Course download / offline working	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
Course can be printed	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
CD-ROM support	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ
Ergonomic user interface	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ

Abb. 1: Beispiel für einen produktorientierten Vergleich von eLearning-Plattformen (Quelle: www.edutech.ch).



Prof. Dr. rer. nat. Gregor Engels ist seit 1997 Professor für Praktische Informatik der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik an der Universität Paderborn. Seine Arbeitsgebiete sind objektorientierte und visuelle Modellierungstechniken sowie die Entwicklung von Multimedia-Anwendungen.

ausschnittsweise in Abbildung 1 dargestellt.

Solche Produktvergleiche bergen jedoch eine Reihe von Problemen: Angefangen von der Auswahl der untersuchten Produkte, über die Benennung, Gliederung und Gewichtung der untersuchten Kriterien bis hin zu den Bewertungsmaßstäben für positive/negative Wertungen sind eine Reihe von subjektiven und nicht unbedingt auf den Kontext jeder beliebigen Hochschule übertragbaren Entscheidungen Grundlage dieser Vergleiche. Gerade bei den untersuchten Kriterien stellt etwa Schulmeister [Sch00] fest, dass diese „nichts anderes bewerten als sie vorfinden“, sich also am Angebot orientieren. Dabei stellen sie jedoch nicht in Frage, inwieweit dieses Angebot die existierenden Bedürfnisse an den Hochschulen widerspiegelt. Erfahrungen zeigen aber, dass Systeme nur dann mit einer hohen Benutzerakzeptanz rechnen können, wenn sie den Anforderungen der Benutzer gerecht werden. Wie aber identifiziert man diese Anforderungen im System Hochschule?

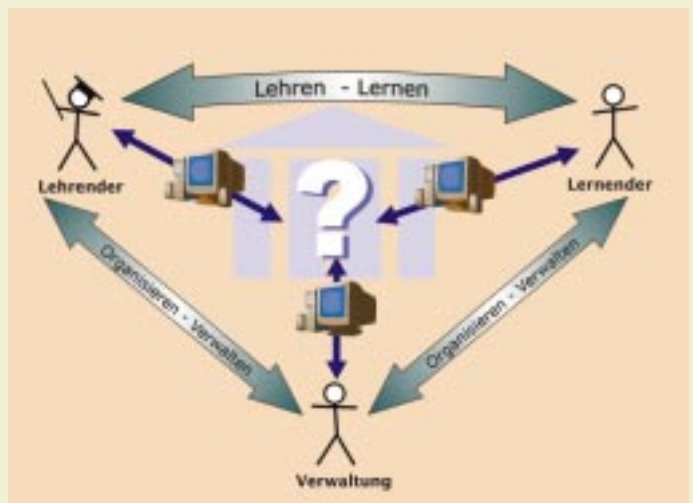


Abb. 2: Computerunterstütztes Lehren und Lernen in der Hochschule.



Abb. 3: Integration der eLearning-Plattform mit existierenden Programmen (Beispiele).

eLearning-Integration in der Hochschule

Begreift man eLearning als moderne Form des Lehrens und Lernens in Institutionen wie der Hochschule, dann müssen alle Lehr- und Lernprozesse dort davon erfasst werden. Dies schließt ausdrücklich auch die organisatorische/verwaltende Unterstützung der Lehrtätigkeiten mit ein. Man muss also bei der Einführung einer eLearning-Plattform die Bedürfnisse tausender betroffener Lernender ebenso berücksichtigen wie die Ansichten der Lehrenden verschiedener Fachbereiche und die Rahmenbedingungen, unter denen die Verwaltung und die zentralen Einheiten operieren.

Für die individuelle Auswahl einer eLearning-Plattform für eine Hochschule ergeben sich hier nun zwei Probleme. Zum einen muss für die Kooperation aller Beteiligten ein gemeinsames Begriffssystem gefunden werden. Ohne ein derartiges einheitliches Begriffssystem, auch Ontologie genannt, ist die Verständigung auf übergreifende Prozesse und deren Unterstützung durch den Computer aufgrund der unterschiedlichen Vorerfahrungen, Standpunkte und Vokabulare der Beteiligten kaum möglich.

Zum anderen wird bereits eine Menge von Arbeitsvorgängen durch Programme erfolgreich unterstützt. Dabei kommen sowohl Speziallösungen wie etwa die Hochschulinformationssysteme der HIS GmbH oder die Bibliothekssoftware OPAC als auch Standardlösungen von Microsoft oder Open-Source-Anbietern zum Einsatz. Eine eLearning-Plattform sollte nun sinnvoller-

weise nicht versuchen, alle diese Programme zu ersetzen, sondern die bestehenden Anwendungen integrieren (siehe Abbildung 3). Wie aber grenzt man nun die Aufgabenbereiche der einzelnen Programme voneinander ab und definiert Schnittstellen zur Kooperation zwischen diesen?

Eine solche Integrationsproblematik ist eine typische Aufgabenstellung der heutigen Zeit, da in vielen Bereichen (Fertigungssysteme, Gesundheitswesen, Verwaltungen) ein Wildwuchs von Speziallösungen entstanden ist, den es zu entflechten und zu integrieren gilt. Die Hochschule bildet somit nur ein beispielhaftes Anwendungsfeld für die im Folgenden gezeigte Vorgehensweise.

Softwaretechnik zur Planung einer eLearning-Plattform

In dem von uns in enger Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Doberkat (Universität Dortmund) durchgeführten und vom MSWF geförderten Projekt wurden diese Aufgaben in zwei Schritten angegangen: Zunächst wurden geeignete Modellierungssprachmittel definiert, die es erlauben, die Strukturen und Prozesse der Hochschule zu erfassen und Integrationspunkte aufzuzeigen. Mit diesen Sprachmitteln wurde in einem zweiten Schritt eine Darstellung generischer Hochschulprozesse erstellt, die eine Ontologie dieses Themengebietes begründet.

Sprachmittel

Als Grundlage für die Darstellung von Prozessen in der Hochschule nutzen wir die Unified Modeling Language (UML) [OMG01]. Mit Hilfe dieser standardisierten Sprache erstellt man diagrammartige Modelle, die bei der Konzeption und Konstruktion von Softwaresystemen verwendet werden. Dabei ist es vorgesehen, die generell zur Verfügung gestellten Mechanismen zur Bearbeitung spezieller Probleme zu adaptieren (in [EGS01] wurde dies von uns z.B. für den Einsatz in der Automobilbranche demonstriert). Auch für die Identifikation von Integrationspunkten bietet die UML keine spezielle Unterstützung an. Wir

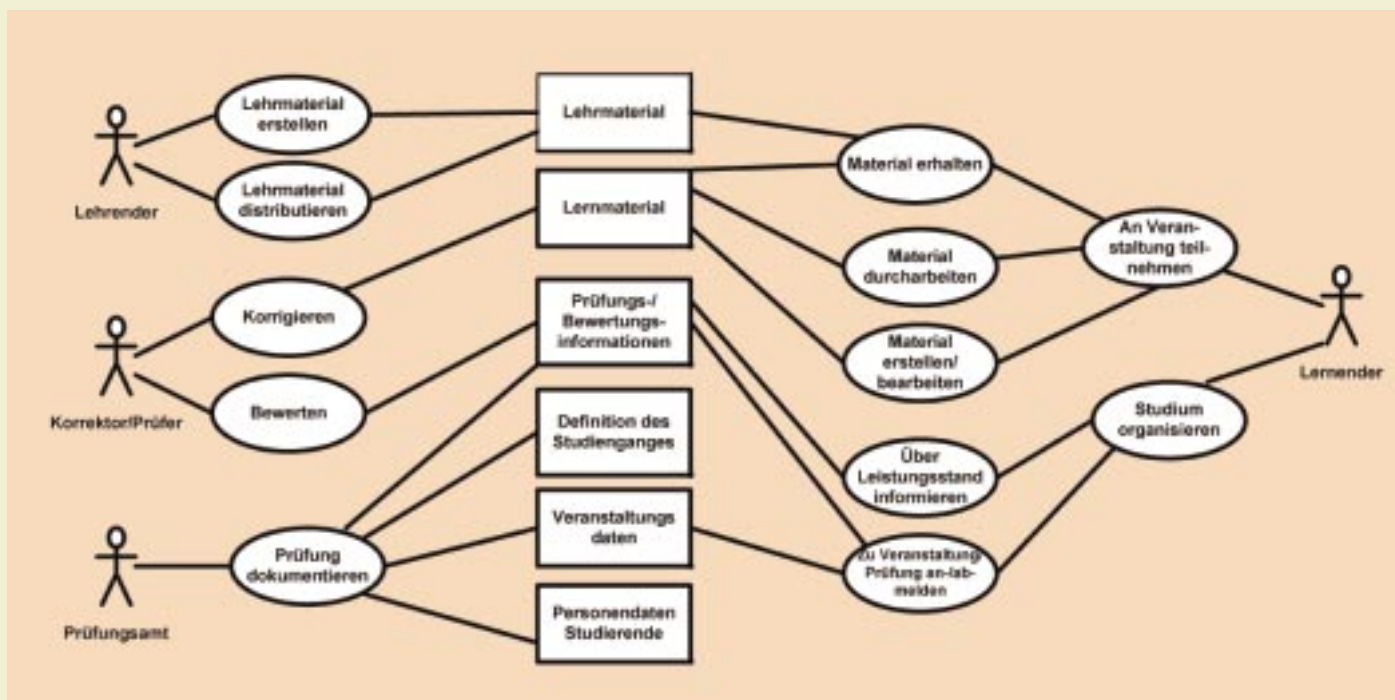


Abb. 4: Use Case-Diagramm der Prozesse und Datenabhängigkeiten in der Hochschule (Ausschnitt).

Use Case:	Bewerten
Ziel:	Leistungen von Studierenden bewerten
Vorbedingung:	Anwender ist identifiziert und hat das Recht zum Bewerten Prüfung ist im System angelegt Studierender ist zu der Prüfung angemeldet
Nachbedingung:	Leistung eines Studierenden ist bewertet
Typ:	Basis-Anforderung
Auslösendes Ereignis:	Funktionsaufruf
Beschreibung:	Das Ergebnis einer Prüfung soll für die elektronische Weiterverarbeitung erfasst werden. Der Benutzer identifiziert einen Studierenden (über die Matrikelnummer oder den Namen) und gibt für eine Prüfung eine Bewertung im Rahmen der für diese Prüfungsart möglichen Bewertungen (Notenskala) an. Außerdem müssen Sonderfälle wie Nichtteilnahme und Täuschungsversuch erfasst werden können.
Erweiterungen:	Häufig müssen für eine Menge von Studierenden Bewertungen für die selbe Prüfung erfasst werden (z.B. bei Klausuren). In diesem Fall soll für eine Prüfung eine Liste aller geprüfter Studierender erzeugt werden, in der dann die Bewertungen für mehrere Studierende erfasst werden können. Einige Prüfungsformen erfordern neben der Bewertung eine Begründung. Hierfür muss eine Möglichkeit zur Eingabe eines Textes bestehen.

Abb. 5: Ausgefülltes Use Case-Template einer Tätigkeit (Ausschnitt).

haben daher die Use Case-Diagramme der UML um die Darstellung von Daten und Datenabhängigkeiten erweitert. Mit dieser Technik können nun in komplexen Systemen Integrationspunkte identifiziert werden. Ein Beispiel für diese neue Notation (gleichzeitig ein Ausschnitt aus der von uns ermittelten Prozessstruktur) ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4 zeigt ausschnittsweise einen Teil der Prozesse zwischen den Lehrenden und den Lernenden sowie (als Beispiel für die Verwaltung) dem Prüfungsamt. Die „Strichmännchen“ stellen Rollen dar, also Personen(-gruppen), die am Prozess der Lehre beteiligt sind. Jeder Rolle sind Tätigkeiten zugeordnet, die ihr im Rahmen der Lehrorganisation zufallen. Dabei abstrahiert man von den Details der realen Arbeitsabläufe, um eine übersichtliche Darstellung zu erhalten. Es ist also beispielsweise für das Bewerten einer Leistung durch einen Korrektor/Prüfer unerheblich, ob diese als schriftliche oder mündliche Prüfung, oder etwa als praktische Arbeit ausgeführt wird. Die Daten, welche von den betroffenen Tätigkeiten benötigt bzw. erzeugt werden, sind als Rechtecke dargestellt. Ein derartiges Rechteck repräsentiert gleichartige Daten, wobei weder Speicherort noch Speicherart der Daten hier berücksichtigt werden. Ein Prüfungsergebnis kann also sowohl in einer Excel-Tabelle als auch in einer Datenbank oder auf einer Karteikarte festgehalten sein. Entscheidend ist vielmehr, wo diese Daten erzeugt werden (Pfeil von der Tätigkeit auf die Daten) und wo sie benötigt werden (Pfeil von den Daten auf die Tätigkeit). In Abbildung 4 erkennt man also, dass die Prüfungsergebnisse des Prüfers im Prüfungsamt verwendet werden. Zur Dokumentation einer Prüfung benötigt das Prüfungsamt aber auch Informationen zur betroffenen Veranstaltung, zu den betroffenen Studierenden und ihren Studiengängen. Hier ist zu klären, wer diese Daten erzeugt und wie sie dem Prüfungsamt zur Verfügung gestellt werden. Es ergibt sich also ein Integrationspunkt zwischen den Prozessen.

Neben dieser diagrammatischen Übersicht ist es jedoch auch notwendig, die identifizierten Tätigkeiten detaillierter zu beschreiben, um Begriffe mit Inhalt zu füllen, Missverständnissen vorzubeugen und eine gemeinsame Interpretation zu schaffen. Zu diesem Zweck setzen wir tabellarische Rahmen (so genannte Use Case-Templates) ein. Diese halten in strukturierter Form die möglichen Ausprägungen dieser Tätigkeit fest. Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine solche detaillierte Beschreibung für die Funktion Bewerten. Durch die Unterscheidung in Basis- und Komfortanforderungen kann gewichtet werden, wie entscheidend eine elektronische Unterstützung dieser Tätigkeit in einer integrierten Plattform ist. Über die Vor- und Nachbedingungen werden die Kreuzbeziehungen zwischen den einzelnen Tätigkeiten sichtbar, die zuvor nur kumuliert als Datenabhängigkeiten dargestellt wurden.

Ergebnisse als Gesprächsgrundlage

Mit Hilfe der hier vorgestellten angepassten Sprachmittel der Unified Modeling Language (UML) haben wir im Rahmen unseres Projektes eine grundlegende Analyse der Strukturen und Abläufe an Hochschulen durchgeführt. Dabei sollte sich diese Analyse bewusst nicht einer speziellen Hochschule widmen, sondern allgemein gültige Begriffe und Zusammenhänge aufzeigen, die so an (fast) allen Hochschulen zu finden sind. Mit den Ergebnissen dieser Analyse können nun die unterschiedlichen Benutzergruppen in einen Dialog treten und anhand der von uns aufgezeigten Ontologie die speziellen Anforderungen einer konkreten Hochschule formulieren.

Zuordnung zu Programmen

Neben der Bestimmung des gemeinsamen Vokabulars bildet die Prozessanalyse jedoch auch die Grundlage zur Bestimmung



Abb. 6 Einordnen von Systemen in den Prozesskontext (Beispiel).

der Integrationspunkte zwischen einer eLearning-Plattform und existierenden Programmen. Anhand der aufgestellten Diagramme kann geprüft werden, welche Tätigkeiten von existierenden Programmen unterstützt werden und wo eine eLearning-Plattform geeignet ist, diese Unterstützung (besser) zu leisten. So ergibt sich eine Abgrenzung zwischen den Funktionen einer eLearning-Plattform und den sie umgebenden Programmen. Ein Beispiel für eine solche Zuordnung ist in Abbildung 6 dargestellt. Hierbei sollen die Aufgaben des Prüfungsamtes nach wie vor mit der HISPOS Software unterstützt werden, die Erfassung der Prüfungsergebnisse jedoch erfolgt beim Prüfenden mit Hilfe der eLearning-Plattform. Die Integrationsschnittstellen können nun bestimmt werden, indem die Datenflüsse zwischen den einzelnen Programmen analysiert und ein entsprechender technischer Datenaustausch vereinbart wird. Im obigen Beispiel kann der Austausch der Prüfungsergebnisse etwa durch einen entsprechend strukturierten Export der eLearning-Plattform in das HISPOS-System erfolgen (technische Details hierzu finden sich in der Studie [D+02]).

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Projekt hatte das Ziel, Methoden der Softwaretechnik einzusetzen, um damit den Einsatz von eLearning-Plattformen an Hochschulen planen zu können. Dabei sind wir über die Bewertung existierender Angebote hinausgegangen und haben Sprachmittel und Vorgehensweisen zur Verfügung gestellt, um den Bedarf einer Hochschule zu erfassen. In einer ersten Anwendung dieser Erkenntnisse ist eine umfassende Strukturierung der Lehr- und Lernprozesse an den Hochschulen entstanden, die als Ontologie den spezifischen Planungen an einzelnen Hochschulen zugrunde liegen kann. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Integration des neu einzusetzenden Systems in existierende Infrastrukturen. Die vollständige Beschreibung der Projektergebnisse findet man in [D+02], wo über 40 verschiedene Tätigkeiten identifiziert und durch Use Case-Template-Beschreibungen detailliert dargestellt wurden. Mit dieser Arbeit wird somit ein wichtiger Schritt zu einer technisch fundierten und auf die Bedürfnisse der Benutzer ausgerichteten Einführung von eLearning an den Hochschulen getan. Die konkreten Ergebnisse dieser Arbeit können nun verwendet werden, um für eine Hochschule die Einführung von eLearning und den Einsatz von eLearning-Plattformen zu planen. Dies könnte etwa im Rahmen des zurzeit laufenden vom BMBF geförderten, hochschulweit durchgeführten Notebook-University-Projektes Uni Mobilis geschehen. Über diesen konkreten Anwendungsbereich hinaus hat das Projekt gezeigt, wie mit Hilfe des Einsatzes adaptierter UML-Beschreibungsmittel eine bedarfs-

gerechte Analyse der Anforderungen an ein Softwaresystem unter Berücksichtigung von Integrationsaspekten durchgeführt und dokumentiert werden kann. Dies ist eine der zentralen Aufgaben der Softwaretechnik.

Literatur

- [D+02] E.-E. Doberkat, G. Engels, J. H. Hausmann, M. Lohmann, C. Veltmann, Anforderungen an eine eLearning-Plattform – Innovation und Integration, Studie im Auftrag des Ministeriums für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, April 2002, verfügbar über: http://www.upb.de/cs/ag-engels/Papers/2002/Studie_elp.pdf.
- [EGS01] G. Engels, J. Gaulke, S. Sauer, Modelle für automobile Software – Objektorientierte Modellierung von eingebetteten, interaktiven Softwaresystemen im Automobil, in ForschungsForum Paderborn, 2000.
- [OMG01] Object Management Group, OMG Unified Modeling Language Specification, Version 1.4, September 2001.
- [Sch00] R. Schulmeister, Selektions- und Entscheidungskriterien für die Auswahl von Lernplattformen und Autorenwerkzeugen. Gutachten für das BM:BWK Österreich, 2000.



Dipl.-Inform. Jan Hendrik Hausmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr. Gregor Engels. Seine Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit der formalen Definition und den Anwendungsfeldern der UML besonders im Bereich Requirements Engineering.



Dipl.-Inform. Marc Lohmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr. Gregor Engels. Seine Forschungsgebiete sind webbasierte Standards (XML) und die Entwicklung multimedialer Lehr- und Lernsysteme sowie die Entwicklung von Webanwendungen mit UML.

Gibt es Leben im All?

Untersuchungen zum Formationsflug von Raumfahrzeugen

Ist das Leben auf unserer Erde einzigartig im Universum? Gibt es außerhalb unseres Sonnensystems Planeten, die die Voraussetzungen für die Entwicklung von Leben bieten? Existieren in der Tiefe des Weltalls bereits Lebensformen? Und wenn ja, wie können wir sie finden?

Das Auffinden neuer Planeten und ihre Analyse ist das Ziel von aktuellen und geplanten Missionen sowohl der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA (European Space Agency) als auch der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA (National Aeronautics and Space Administration). Dabei sollen mehrere Raumfahrzeuge jeweils ausgestattet mit einer optischen Einheit an einem günstigen Ort in unserem Sonnensystem in einer bestimmten Formation positioniert werden. Die Raumfahrzeuge bilden als Verbund ein großes Teleskop, mit dem in der Tiefe des Weltalls befindliche Planeten entdeckt und untersucht werden sollen. Zur effizienten Organisation solcher Raumfahrzeug-Verbünde sind herausfordernde informationstechnische und mathematische Fragen zu beantworten, die an der Universität Paderborn in Zusammenarbeit mit der Astrium GmbH und Partnern der Raumfahrtbehörden behandelt werden.

Die Missionen

DARWIN und TPF

Das wesentliche Ziel sowohl der ESA-Mission DARWIN, als auch der NASA-Mission Terrestrial Planet Finder (TPF) besteht

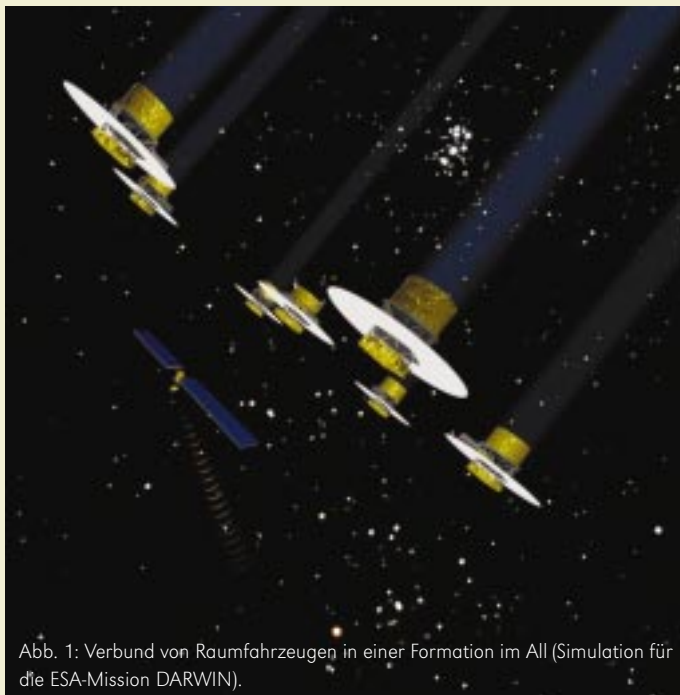


Abb. 1: Verbund von Raumfahrzeugen in einer Formation im All (Simulation für die ESA-Mission DARWIN).



Dr. rer. nat. Oliver Junge ist seit 2000 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der Universität Paderborn. Seine Forschungsschwerpunkte sind Dynamische Systeme, Numerische Mathematik und Numerische Software.



Dr. rer. nat. Robert Preis ist seit 2002 wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der Universität Paderborn. Seine Forschungsschwerpunkte im Rahmen des Wissenschaftlichen Rechnens sind die Graphentheorie und -algorithmen.

darin, mit Hilfe eines durch einen Verbund von Raumfahrzeugen gebildeten, hochsensiblen Infrarot-Interferometers Planeten in anderen Sonnensystemen zu detektieren und auf eventuell existierendes Leben hin zu untersuchen (vgl. Abbildung 1). Eine erdbasierte „Trainings“-Version eines solchen Interferometers namens GENIE (Ground-based European Nulling Interferometer Experiment) wird bis zum Jahr 2006 von der ESA und ihren Partnern gebaut. Die Positionierung eines solchen Instrumentes im All hat im Vergleich zu einem auf der Erde aufgebauten System die Vorteile, dass erstens seine Untersuchungen nicht durch die Atmosphäre der Erde beeinträchtigt werden und zweitens Beobachtungen im Wellenlängenbereich des infraroten Lichts durchgeführt werden können.

Die Raumfahrzeuge sind auf einen Stern in einer zu untersuchenden Region im All ausgerichtet. Das von den einzelnen Raumfahrzeugen gesammelte Licht wird von einem zentralen Satelliten zu einem Gesamtbild dieser Region zusammengesetzt. Um Planeten detektieren zu können, wird dabei das Licht des Sterns, auf den man den Verbund ausgerichtet hat, durch Interferenz herausgelöscht. Dadurch ist es möglich, Planeten in der



Abb. 2: Joseph Louis Lagrange (1736-1813).

Nähe dieses Sterns zu entdecken und zu untersuchen. Damit dieses Verfahren funktioniert, müssen die optischen Geräte der einzelnen Raumfahrzeuge sehr präzise zueinander ausgerichtet sein. Diese Anforderung ist nur zu erfüllen, wenn der Abstand der Raumfahrzeuge zueinander konstant gehalten wird, d.h. wenn die Formation des Verbundes bis auf sehr kleine Abweichungen bestehen bleibt. Leider ist es aufgrund der im All herrschenden Kräfte (im Wesentlichen der Gravitationskräfte und dem Strahlungsdruck der Sonne) nicht möglich, den Raumfahrzeug-Verbund einfach im All zu „parken“. Die Kräfte werden die Raumfahrzeuge so bewegen, dass die Formation schon nach kurzer Zeit nicht mehr besteht. Es ist also notwendig, die einzelnen Satelliten mit geeigneten Steuerantrieben zu versehen, die diesen Kräften entgegenwirken. Je weniger Kraftstoff dieser Antrieb benötigt, desto länger wird der Verbund seine Funktion erfüllen können. Man ist deshalb an Orten im All interessiert, in denen aufgrund der dort herrschenden Kräfteverhältnisse die einzelnen Raumfahrzeuge besonders wenig Antriebsenergie benötigen, um die Formation zu erhalten. Dieses Kriterium hat einen wesentlichen Einfluss auf die Laufzeit der Mission und ist somit entscheidend für deren Wirtschaftlichkeit.

Das eingeschränkte Drei-Körper-Problem

Um geeignete Orte für den Formationsflug zu finden, bedient man sich eines vereinfachten mathematischen Modells vom Flug eines Raumfahrzeugs – dem eingeschränkten Drei-Körper-Problem. Als Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse beschränkt man sich dabei zunächst auf drei Körper: das Raumfahrzeug, die Sonne und einen Planeten (beispielsweise die Erde). Man nimmt ferner an, dass die beiden Primärmassen (also beispielsweise die Sonne und die Erde) konzentrisch auf Kreisbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Der dritte Körper (das Raumfahrzeug) bewegt sich nun frei, beschleunigt durch die Gravitationskräfte der beiden Primärmassen. Er hat eine so geringe Masse, dass sein Einfluss auf die beiden anderen Körper vernachlässigt wird. Bewegt sich ein Beobachter nun ebenfalls im Kreis mit derselben Geschwindigkeit wie die Primär-

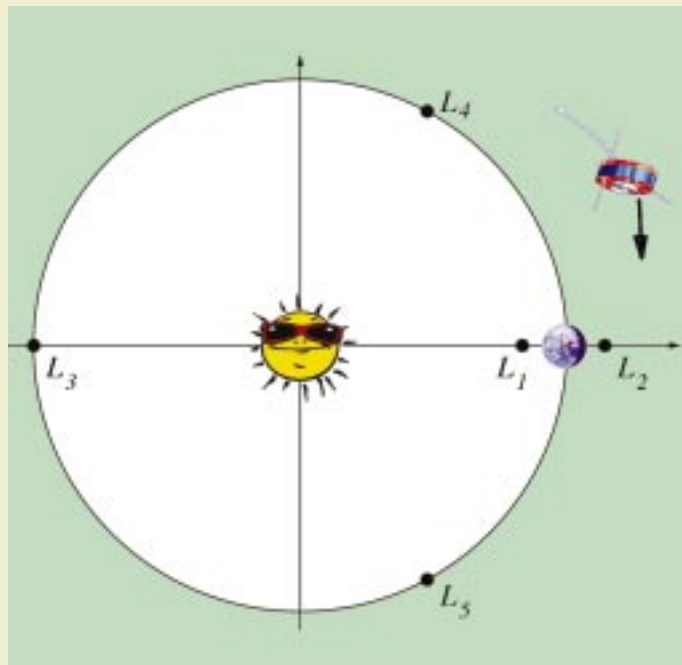


Abb. 3: Die Lagrange-Punkte im eingeschränkten Drei-Körper-Problem.

massen, so scheinen für ihn die Sonne und die Erde stillzustehen. Dieses Modell vom Flug eines Raumfahrzeugs besitzt fünf Ruhepunkte (die Lagrange-Punkte L_1 bis L_5 , benannt nach dem italienischen Mathematiker Joseph Louis Lagrange, der diese Punkte entdeckt hat). In diesen Punkten gleichen sich alle Kräfte gerade aus und ein Raumfahrzeug, das man in einem dieser Punkte positioniert, würde seine Position relativ zur Erde und zur Sonne nicht verändern. Die Situation ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

Formationsflug im Drei-Körper-Problem

Ein naheliegender Ansatz zum Auffinden der gesuchten energie günstigen Aufenthaltsorte für den Verbund besteht darin, Orte zu suchen, in denen die natürliche Dynamik die Formation für möglichst lange Zeit (annähernd) erhält. Unter der natürlichen Dynamik sind hier die ungesteuerten Bewegungen der Raumfahrzeuge zu verstehen, d.h. sie bewegen sich nur unter dem Einfluss der Gravitationskräfte von Sonne und Erde – aufgrund des durch das eingeschränkte Drei-Körper-Problem vorgegebenen Modells. Betrachten wir exemplarisch einen Verbund in der Formation eines Tetraeders, d.h. es sind 4 Raumfahrzeuge an den Spitzen eines Tetraeders positioniert. Die gesuchten energie günstigen Orte lassen sich nun finden, indem man die Deformation des Tetraeders während seines Fluges betrachtet und Orte sucht, in denen die Deformation vergleichsweise klein ist (und während des Fluges klein bleibt). Unter der



Abb. 4: Deformation einer Tetraeder-Formation beim Flug durchs All.

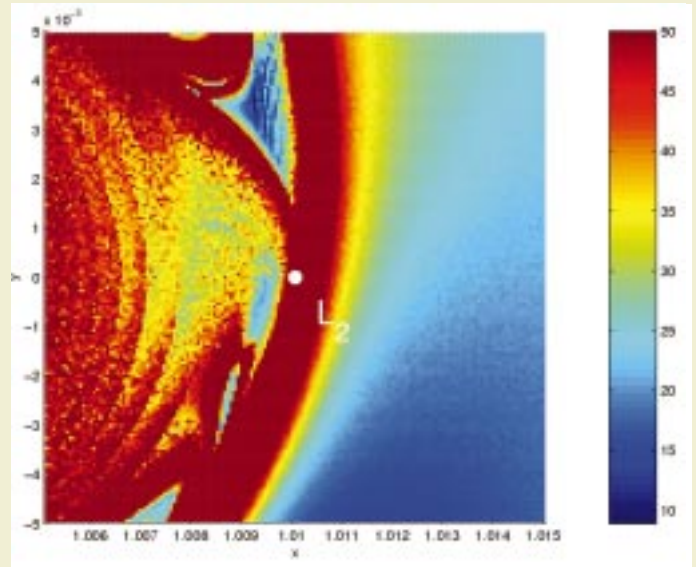
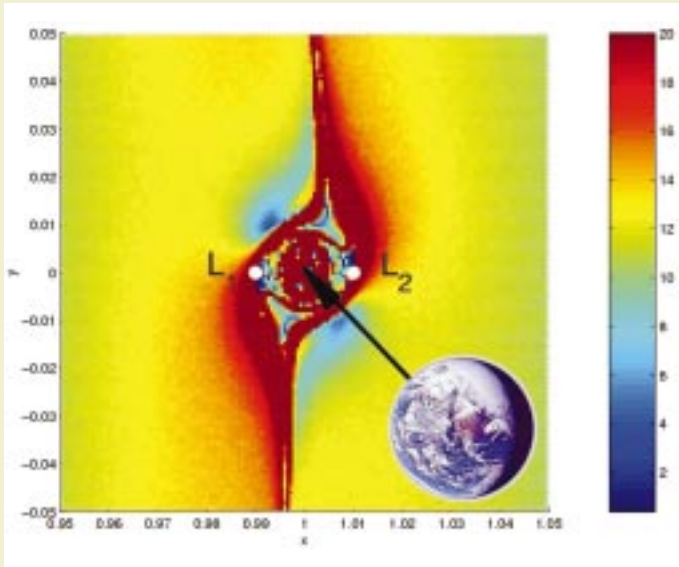


Abb. 5: Größe der Deformation eines Tetraeders beim Flug durchs All. Links in einer Umgebung der Erde, rechts in einer vergrößerten Ansicht um den Punkt L_2 . In den roten Bereichen besteht eine starke, in den blauen Bereichen dagegen eine schwache maximale Deformation.

Deformation kann man dabei beispielsweise die mittlere Abweichung der Kantenlängen des Tetraeders von ihrer Solllänge verstehen, vgl. Abbildung 4.

Berechnet man die Deformation einer solchen Tetraeder-Formation für verschiedene Startpunkte im All, dann ergeben sich Bilder wie in Abbildung 5. Dort sind die Startpunkte entsprechend der maximalen Deformation der Tetraeder-Formation während ihres Fluges über einen bestimmten Zeitraum eingefärbt – blau entspricht geringer, rot hoher Deformation. Offenbar scheint es tatsächlich Bereiche zu geben – nämlich die blauen –, in denen die Tetraeder-Formation während des Fluges weniger stark verformt wird als in anderen. Diese Bereiche sind Kandidaten für den Aufenthaltsort des Raumfahrzeug-Verbundes.

Abbildung 6 zeigt die Flugbahn eines Verbundes, der in einer Tetraeder-Formation in einem tiefblauen Bereich in Abbildung 5 (rechts) gestartet wurde. Die maximale Deformation des Verbun-

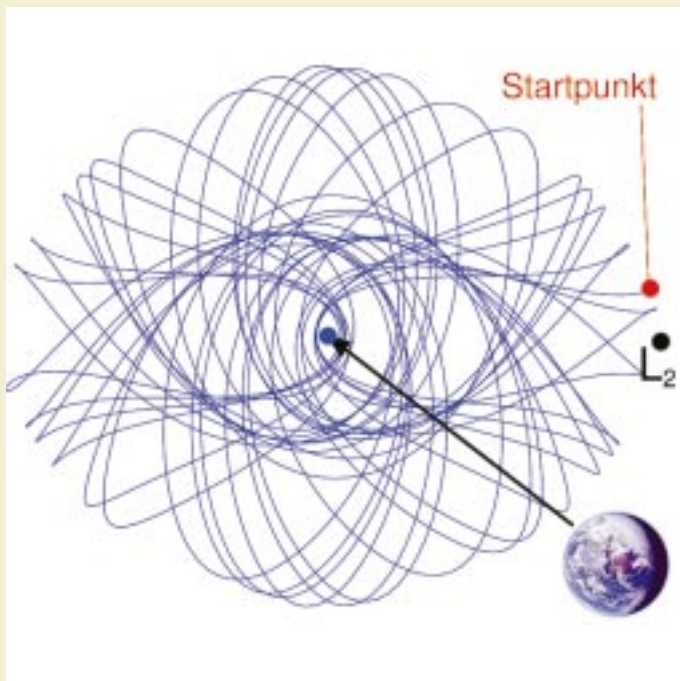


Abb. 6: Flugbahn eines Raumfahrzeug-Verbundes, der in einem Punkt gestartet wurde, der zu einer vergleichsweise geringen Deformation der Formation führt.

des ist vergleichsweise gering. Nichtsdestotrotz wäre dieser Startpunkt für den Verbund letztlich ungeeignet – schließlich fliegt der Verbund recht willkürlich in der Nähe der Erde herum. In Missionen wie DARWIN und TPF ist man aber daran interessiert, den Abstand und die Lage des Verbundes zur Erde nicht zu stark schwanken zu lassen.

Halo-Orbits

Ein potentieller Aufenthaltsort des Verbundes muss also offensichtlich noch andere Kriterien erfüllen (außer, dass ein dort positionierter Verbund eine geringe Deformation erfährt). So darf zum Beispiel seine Entfernung zur Erde weder zu klein, noch zu groß sein. Auf den ersten Blick gut geeignet wären die Ruhepunkte L_1 und L_2 in Abbildung 3. Aus verschiedenen Gründen sind diese Punkte allerdings keine brauchbaren Aufenthaltsorte. Glücklicherweise existieren aber in der Nähe der Punkte L_1 und L_2 geschlossene Flugbahnen, so genannte Halo-Orbits, die als Aufenthaltsort für Darwin und TPF besonders geeignet sind. Unter anderem deshalb, weil man sehr energieeffiziente Flugbahnen von der Erde zu den Halo-Orbits kennt (vgl. „Umsonst durchs All – Mathematische Methoden in der Raumfahrt“ in der Ausgabe 2001 des ForschungsForums). Abbildung 7 zeigt eine Schar solcher geschlossener Flugbahnen.

Formationsflug auf Halo-Orbits

Platziert man nun mehrere Raumfahrzeuge in einer bestimmten Formation auf einen Halo-Orbit, bzw. in die Nähe eines solchen, so werden auch dort, wie erwähnt, die herrschenden Kräfte den Verbund nach kurzer Flugzeit aus seiner Formation gebracht haben, wenn man die Raumfahrzeuge nicht geeignet steuert. Eine einfache Steuerstrategie zum Erhalt der Formation besteht nun darin, den gesamten Flug in kleine Zeitabschnitte zu unterteilen und zu Beginn jedes Zeitabschnittes die Steuergröße so zu berechnen, dass am Ende des Zeitabschnittes der Verbund wieder die gewünschte Formation einnimmt. Man erhält so eine erste Abschätzung für die Energie, die man zum Erhalt der Formation aufwenden muss – eine Größe, die für das Design der Missionen DARWIN und TPF von entscheidender Bedeutung



Abb. 7: Halo-Orbits in der Nähe des Ruhepunktes L_2 .

ist. Unsere Berechnungen ergaben ein unerwartetes Ergebnis: Die Steuerkräfte, die man zum Erhalt der Formation des Verbundes während des Fluges benötigt, sind um Größenordnungen kleiner, als diejenigen, die man aufwenden muss, um den Sonnendruck zu kompensieren. In diesem Sinne ist ein Formationsflug in der Nähe eines Halo-Orbits eine „einfache“ Aufgabe.

Rekonfiguration der Formation

Ein für die Missionen DARWIN und TPF entscheidender Aspekt des Formationsfluges ist in diesen Simulationen noch nicht berücksichtigt: Das Interferometer soll nicht während seines gesamten Fluges dasselbe Objekt beobachten, sondern im Gegenteil in regelmäßigen Abständen auf eine neue Region im All ausgerichtet werden. Eine solche Rekonfiguration des Verbundes wird natürlich einen höheren Energieaufwand benötigen – insbesondere, wenn sie innerhalb einer bestimmten (kurzen) Zeit abgeschlossen sein soll. Zusätzlich muss auch mit dem Ausfall von Funktionen einzelner Raumfahrzeuge oder

auch dem Ausfall ganzer Raumfahrzeuge gerechnet werden. In einem solchen Fall müssen eventuell die funktionsfähigen Raumfahrzeuge effizient zu einer neuen Formation rekonfiguriert werden, sodass wieder die gesamte Beobachtungsregion abgedeckt wird. Idealerweise sollte der Verbund in der Lage sein, diese Aufgabe autonom zu bewältigen. Die Entwicklung von Methoden zur effizienten Rekonfiguration ist ein aktueller Forschungsgegenstand innerhalb dieses Projektes.

Kooperationen

Dieses Projekt wird am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik der Universität Paderborn in Zusammenarbeit mit der Astrium GmbH (Friedrichshafen) bearbeitet. Darüber hinaus besteht auch im Rahmen dieses Projektes eine enge Kooperation mit dem NASA Jet Propulsion Laboratory und dem California Institute of Technology (Pasadena). In der ersten Phase wurde das Projekt durch den Forschungspreis 2001 der Universität Paderborn unterstützt.

Referenzen

H. POINCARÉ: Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste, Paris, 1899.

DARWIN: <http://sci.esa.int/home/darwin>.

Terrestrial Planet Finder: <http://tpf.jpl.nasa.gov>.



Albert Seifried arbeitet zurzeit an seiner Diplomarbeit im Rahmen dieses Projektes. Die Arbeit wird vom Lehrstuhl für Angewandte Mathematik der Universität Paderborn und von der Astrium GmbH (Friedrichshafen) betreut.

Schmerz – Fluch und Segen

Welchen Beitrag kann die Chemie in diesem komplexen System leisten?

Verpflichtung? – Nein, wohl eher Zufall.

Knapp 200 Jahre nach der Entdeckung des Opiumalkaloids und Schmerzmittels Morphin durch den Apothekergesellen Friedrich Wilhelm A. Sertürner (1783-1841; Abbildung 1) 1804 in der Cramerschen Hofapotheke zu Paderborn wird in den Laboratorien des Departments Chemie der Universität Paderborn wiederum zum Thema Schmerz geforscht. Auf dem Weg zur Entwicklung neuartiger und effizienter Synthesemethoden hat die Arbeitsgruppe um Prof. Risch eine intensive Kooperation mit der Firma Grünenthal zum Themenkomplex Schmerz begonnen.

Die Entdeckung des Morphins durch Sertürner blieb zunächst unbeachtet und erlebte ihre wissenschaftliche Würdigung, zu der der französische Physiker Gay-Lussac entscheidend beigetragen hatte, 1817 nach einer neuerlichen Veröffentlichung. Der schwelende Prioritätenstreit zwischen Sertürner, Derosne und Séguin endete jedoch erst 1831 mit der Verleihung des Montyon-Preises des Institut de France.



Abb. 1: Bildnis des Morphin-Entdeckers F. W. A. Sertürner (1783-1841) nach seiner 1817 anscheinend von Goethe initiierten Promotion zum Dr. phil. h.c. der Universität Jena (aus: O. Zekert: Berühmte Apotheker, 2 Bde, Stuttgart 1955/62, hier: I [1955], S. 125).



Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Risch ist seit 1992 Professor für Organische Chemie an der Universität Paderborn. Aktuelle Forschungsgebiete: Entwicklung und Anwendung moderner Syntheseverfahren.

Schmerz – Eine unendliche Geschichte und ein typisch interdisziplinäres Thema. Dieser Beitrag versucht, in kurzer Form einen Bogen zu schlagen, der die Historie einbezieht, den pharmazeutischen und chemischen Stand des Wissens beschreibt und eigene Synthesearbeiten vorstellt. Natürlich haben wir Schwerpunkte



Abb. 2: In 250-Gramm-Gläsern lieferte Bayer Aspirin an die Apotheken. Dort wurde das Pulver dann in 1-Gramm-Papiertütchen an die Patienten weitergegeben. Bereits bei Hippokrates und den griechischen und römischen Wundärzten findet sich die Empfehlung, salicylat-haltige Extrakte und Abkochungen aus Weide, Pappel und Immergrün extern und intern bei Wundschmerzen und Verletzungen zu verwenden.

Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Bayer AG.

setzen müssen. So wird auf die Behandlung wichtiger Gebiete verzichtet wie das der Antirheumatika (z.B. NSAR). Darunter versteht man u.a. auch die Verwendung von Aspirin (Acetylsalicylsäure; vgl. Abbildung 2).

Vorbemerkung

Mit der Fähigkeit, Schmerz zu empfinden, hat die Natur den Lebewesen ein unschätzbar wichtiges Alarmsystem geschenkt: „Bei dir ist irgend etwas nicht in Ordnung. Unternimm etwas oder schone dich, bevor irreparable Schäden entstehen!“ Die Typisierung (stechend, ziehend etc.) und die Möglichkeit einer weitgehenden Lokalisierung des Schmerzes liefern wichtige Zusatzinformationen.

Wie einen Radiowecker würde man den Schmerz jedoch gerne – nachdem man ihn als Warnsignal wahrgenommen hat – abstellen können, denn Schmerzen werden sehr schnell zur Qual.

Andererseits: „Schmerzen müssen nicht sein“, das behaupten nicht wenige Mediziner und Pharmakologen. [1] Dennoch leiden überall auf der Welt Menschen an Schmerzzuständen. Beruht dies tatsächlich auf dem weitgehend irrigen Glauben, dass die Behandlung von starken Schmerzen mit Opioiden fast zwangsläufig zur Sucht führt? Tatsächlich unterstreichen vielfältige Forschungsergebnisse, dass die Gefahr vernachlässigbar klein ist, nach einer Behandlung von Schmerzen, die durch Operationen oder Tumore verursacht wurden, eine Opiatsucht zu entwickeln. Das schnelle Anfluten der Opiode im Gehirn, das zum „Kick“ und damit auf längere Sicht zur Sucht führt, ist aufgrund der Arzneiformen und der Art der Applikation der verwendeten Arzneistoffe kaum möglich.

Historisches zum

Thema Schmerz und Schmerztherapie

Hieß es in John Miltons 'Paradise Lost' (1667) noch: „Pain is perfect misery, the worst of all evils“, so war ein Jahrhundert später bei Immanuel Kant (1724-1804) bezüglich des Schmerzes von nichts Negativem mehr die Rede: „Der Schmerz ist der Stachel der Tätigkeit und in dieser fühlen wir allererst unser Leben; ohne diesen würde Leblosigkeit eintreten.“ Was war in der Zwischenzeit geschehen?

Im Laufe der Jahrhunderte dominieren verschiedene Interpretationen und Theorien zu den Phänomenen Krankheit, Schmerz und Leid. Betäubungs- und stark wirkende Schmerzmittel sind in fast allen Kulturen bekannt. Ihr Gebrauch lag und liegt meist in den Händen von Priestern, Zaubern oder Medizinmännern, die Kenntnis von der Wirksamkeit, aber auch Gefährlichkeit der Drogen („Heilmittel, Gift, Zaubermittel“) besitzen. Um 1600 geraten die bis dahin reichlich verwendeten narkotischen Zubereitungen mit Nachtschattengewächsen (Solanaceae) in Misskredit: Kaum ein Arzt wollte nämlich in einer Zeit von Hexenwahn und Furcht vor Denunziation das Risiko eingehen, seinem Patienten ein Mittel zu verabreichen, das z.B. die Nebenwirkung besaß, „sexuellorgiastische Flugträume“ zu erzeugen. Diese und andere Nebenwirkungen, Suchterscheinungen und der Missbrauch stark wirkender Drogen führten zu einem Umdenken. Da man mit den damals ebenfalls bekannten Opiumpräparaten nicht den gleichen Effekt wie mit dem Einsatz der gut wirksamen Nachtschattengewächs-Mohn-Kombinationen erreichen konnte, verzichtete man bis zur Einführung von Ether und Chloroform im 19. Jh. ganz auf Betäubung, sodass ein chirurgi-

Kurzes Glossar:

- Nozizeptoren – Sensoren, deren Erregung in der Regel Schmerzen auslöst
- Agonist – Substanz, die in der Lage ist, einen Rezeptor zu aktivieren
- Antagonist – Substanz, die einen Rezeptor nicht aktiviert, aber in der Lage ist, einen Agonisten vom Rezeptor zu verdrängen



Abb. 3 Papaver somniferum und die chemische Formel des Morphins (aus: Seefeldler).

scher Eingriff ohne Schmerz in diesem Zeitraum undenkbar wurde. Dies beschreibt recht plausibel die „Umbewertung des Schmerzes“ im 17. Jh.

Mit der Entdeckung des Morphins 1804 (Abbildung 3) begann im 19. Jh. die Isolierung, chemische Synthese und Abwandlung von Naturstoff-Analgetika sowie die Darstellung, Prüfung und Produktion synthetischer Schmerzmittel und die praktische Einführung in die Therapie. Bei der Suche nach Struktur und Wirkungsweise des Morphins und anderer Opiate wurden Mitte der 70er Jahre des 20. Jh. quasi als Abfallprodukte die „natürlichen Opiate“ oder „Endorphine“ (endogene-innere-Morphine) – zuerst 1975 in Großbritannien die sog. „Enkephaline“ durch J. Hughes und Mitarbeiter – entdeckt. Zusammen mit den klassischen Opiaten fasst man diese unter dem Begriff „Opiode“ zusammen, der heute auch im deutschen Sprachraum allgemein gebräuchlich ist.

Die

Physiologie des Schmerzes

Der Schmerz ist eine Sinnesempfindung, die über das so genannte nozizeptive System (vgl. Glossar), vermittelt wird. Akute Schmerzen nehmen meist von Noxen (gewebsbedrohende und -schädigende Reize) ihren Ausgang, während sich bei chronischen Schmerzen der Schmerz häufig von seiner ursprünglichen Ursache, also der Gewebsschädigung, löst und sich verselbstständigt. Nozizeptoren kommen praktisch in allen Körpergeweben

KOSTEN DES CHRONISCHEN SCHMERZES

Chronische Schmerzen sind die „Totengräber“ unseres Gesundheitssystems:

nur 10 Prozent aller Klinikpatienten sind Schmerzpatienten, diese 10 Prozent verschlingen mehr als 65 Prozent aller Behandlungskosten.

SCHMERZPROPHYLAXE

In dieser Hinsicht wichtig ist auch die Vermeidung von Schmerz durch Schonhaltungen, die selbst wieder verstärkend auf Schmerz wirken; die subjektive Erleichterung durch die Schonhaltung stellt zunächst eine positive Konsequenz dar, verstärkt aber häufig solche Schonhaltungen, die selbst wieder zu Schmerz führen.

vor. Es handelt sich um vielfach verzweigte Endungen sehr dünner Nervenfasern, die einen durchschnittlichen Durchmesser von nur 1 μm (1/1000 mm) haben. Funktionell gesehen ist der häufigste Typ des Nozizeptors derjenige, der sowohl auf intensive mechanische, wie auf thermische (Hitze, Kälte), wie auf chemische-noxische Reize (z.B. starke Säuren oder Bienengift) anspricht und daher polymodal genannt wird. Daneben gibt es in kleinerer Zahl unimodale Nozizeptoren, die lediglich auf eine Reizart empfindlich sind. Eine kausale Schmerztherapie ist nicht immer zu verwirklichen, aber das nozizeptive System bietet zahlreiche Angriffspunkte für eine symptomatische, pharmakologische Schmerztherapie.

Opiatrezeptoren

Die Vorstellungen, dass Arzneimittel über Interaktion mit spezifischen Rezeptoren im Organismus nach einem Schlüssel-Schloss-Prinzip reagieren, gehen auf Paul Ehrlich zurück, und es bedurfte nahezu eines Jahrhunderts, bis die chemischen, pharmakologischen und molekularbiologischen Techniken so weit fortgeschritten waren, dass man diese Rezeptoren tatsächlich isolieren und in ihrem molekularen Aufbau und biochemischen Mechanismus analysieren konnte. Heute versteht man sehr gut die molekularen Grundlagen, nach denen die Bindung von peptidischen und nicht-peptidischen Liganden an den verschiedenen Opiatrezeptoren zustande kommt und wie biologische Effekte ausgelöst werden. Neben der Hemmung der Adenylyl-Cyclase sind es vor allem die Aktivierung von Kalium und die Hemmung von Calcium-Kanälen, die die Hemmwirkung der Opioide auf das Schmerzgeschehen vermitteln. Alle Opiatrezeptortypen scheinen auf unterschiedliche Weise in die Schmerzverarbeitung eingebunden zu sein, wenn auch die Anteile der einzelnen Rezeptortypen verschieden und noch nicht in allen Einzelheiten bekannt sind.

Die Suche nach unterschiedlichen Opiatrezeptoren

Morphin erwies sich als sehr wirksames Analgetikum, zeigte aber gravierende Nebenwirkungen. Daher wurde eine intensive Suche nach Morphinderivaten und neuen opiatartig wirkenden Strukturelementen mit dem Ziel betrieben, die therapeutischen Eigenschaften des Morphins zu verbessern. [2] In erster Linie galt es, das Sucht- und Abhängigkeitspotenzial zu eliminieren sowie weitere störende Nebenwirkungen wie Atemdepression, Übelkeit, Erbrechen und Obstipation (Verstopfung) zu reduzieren. Am besten sollte dies gelingen, wenn die unterschiedlichen Eigenschaften über verschiedene Rezeptoren vermittelt würden. Bisher konnte zweifelsfrei die Existenz von drei Opiatrezeptortypen, den μ -, κ - und δ -Rezeptoren bewiesen werden. Sie werden heute als die klassischen Opiatrezeptoren angesehen. Für die therapeu-

tische Anwendung haben sich vor allem Opiatanalgetika mit einer Präferenz für den μ -Rezeptor durchgesetzt. Entgegen allen Hoffnungen musste man aber nach intensiver Forschung erkennen, dass gewünschte Wirkung und Nebenwirkung untrennbar (!) an den μ -Rezeptor gekoppelt sind, sodass die lange gesuchte Möglichkeit zur Differenzierung und Vermeidung der Nebenwirkungen auf diesem Weg nicht verwirklicht werden konnte.

Gemischte opioide Agonisten/Antagonisten und partielle Agonisten

Unter den unterschiedlichen opioden Rezeptorklassen zeichnen sich μ - und κ -Rezeptoren durch die Beteiligung an einer klinisch relevanten Analgesie aus. Während die meisten opioden Analgetika ihre Wirkung über eine agonistische Wirkung am μ -Rezeptor entfalten, hebt sich die Gruppe der gemischten opioden Agonisten/Antagonisten zumeist durch eine agonistische Wirkung am μ -Rezeptor und – zusammen mit der Gruppe der partiellen Agonisten – durch eine Verringerung der klassischen opioden Nebenwirkungen hervor.

Diese Eigenschaften führen zu analgetischen Wirkstärken, die meist im Bereich des Morphins oder deutlich darüber liegen. Neben der analgetischen Wirkung weisen die Substanzen ein verändertes Nebenwirkungsspektrum auf, das in einigen Fällen – z.B. durch geringere Atemdepression – günstiger ausfällt als bei den klassischen Opioden. Hier ergeben sich grundsätzlich vielfältige Ansätze, die Schmerztherapie durch „neue bzw. weiterentwickelte Chemie“ deutlich zu verbessern.

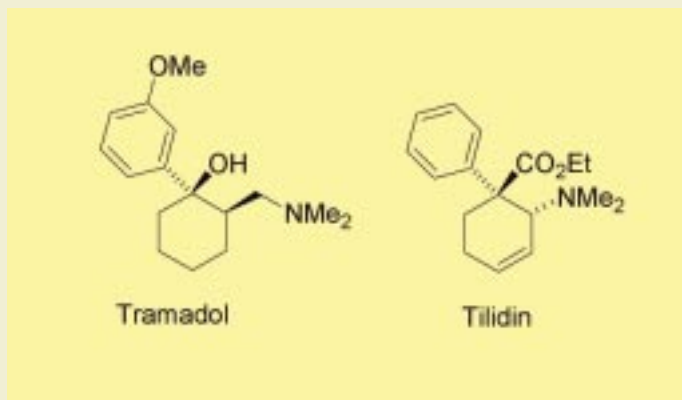
 μ -selektive Opioide ohne Morphinanstruktur

So ist die Suche nach neuen μ -Opioidagonisten weiterhin und sogar noch intensiver als bisher ein aktuelles Thema speziell der industriellen Pharmaforschung. Während historisch neben Opium und Morphin zunächst Morphinderivate im Fokus standen, ist bei vielen neuen μ -Opioidagonisten bezogen auf die chemische Struktur eine Verwandtschaft zu Morphin kaum noch zu erkennen.

Opioide und Opiate – eine Begriffsdefinition

Opiate sind Substanzen, die sich dem Namen nach von Opium, dem eingetrockneten Milchsafte des Schlafmohns (*Papaver somniferum*), ableiten. Nach chemischer Struktur und Wirkung sind es Derivate des Morphins, dem Hauptbestandteil von Opium. Für peptidische und synthetische nicht-peptidische Substanzen und auch als übergreifender Sammelbegriff, wird dagegen der Begriff Opioide verwendet. Fasst man die synthetischen Opioide unter dem heutigen Erkenntnisstand zusammen, so ist die für die therapeutische Anwendung wichtigste Gruppe die reinen Opioidagonisten.

Morphinane, Benzomorphone und Phenylmorphane lassen sich von der Morphin-Struktur ableiten und zählen somit zur Klasse der Opiate. Synthetische Derivate wie z.B. 4-Phenylpiperidine des Pethidin-Typs, Anilidopiperidine des Fentanyl-Typs, geminale Bisarylamine des Methadon-Typs oder Cyclohexylamine mit den Beispielen Tramadol und Tilidin gehören zur großen Klasse der Opioide.



Sie verursachen ihre analgetische Wirkung über die Aktivierung des μ -Subtyps des Opioidrezeptors. Die Affinität zu anderen Subtypen wie κ , δ und ORL-1 ist deutlich geringer, nicht vorhanden oder funktionell ohne Bedeutung, sodass man die Substanzen auch als μ -selektive Opioide bezeichnen kann. Dies erklärt, warum alle Substanzen ein ähnliches analgetisches Wirkungsspektrum besitzen und sich auch in den wesentlichen Nebenwirkungen kaum unterscheiden.

μ -Opioide mit Cyclohexangrundgerüst

In den sechziger Jahren wurden verschiedene Cyclohexan-Derivate als neue μ -Opioid-Analgetika gefunden, u.a. Tilidin und Tramadol. Tramadol ist eine Opioidschmerzmittel mit einem atypischen Wirkungsspektrum. Die Substanz wurde ursprünglich vom Codein abgeleitet als neues Antitussivum (Hustenmittel) konzipiert, verbindet aber mäßige Opioid-Eigenschaften mit monaminergen Wirkkomponenten und zeichnet sich durch ein geringes Sucht- und Abhängigkeitspotenzial aus. Wegen der geringen Missbrauchsgefahr ist das inzwischen weltweit verbreitete Tramadol in den meisten Ländern nur der einfachen Rezeptpflicht unterstellt. Die nichtopioidale Komponente wird über die Hemmung der spinalen Schmerztransmission durch Inhibition der Noradrenalin- und Serotonin-Wiederaufnahme wirksam. Tramadol ist bei mittelstarken bis starken Schmerzen gut wirksam und ist eine wichtige Brückensubstanz zur Morphingruppe. Die Bioverfügbarkeit beträgt nach peroraler Applikation etwa 60-75 Prozent. Tramadol wird durch O- und N-Demethylierung und anschließende Glucuronidierung metabolisiert.

Struktur und Wirkung von Opioidliganden

Von Becket und Casy sowie von Janssen und Jagenau wurde bereits in den fünfziger Jahren ein chemisches Strukturkonzept für eine μ -Opioidwirkung erstellt. Diese Überlegungen erwiesen sich bei der Suche nach weiteren Opioidstrukturen als sehr hilfreich und es wurden zahlreiche neue Strukturen nach diesen Vorstellungen entwickelt. Strukturell hat man sich dabei vom Morphin zwar einerseits weit entfernt, zugleich wurden aber grundlegende Struktureinheiten als Basisvoraussetzungen für μ -Opioid-Schmerzmittel erkannt:

- ein aromatisches System und ein basisches Stickstoffatom
- und bei optimaler Wirksamkeit meist zusätzlich eine Hydroxylgruppe oder eine andere sauerstoffhaltige Funktion.

Präparative Beiträge der Paderborner Chemie

Die in unserer Arbeitsgruppe in Paderborn entwickelten modernen Varianten der Mannich-Reaktion [3] sind prädestiniert, hier



Abb. 4: Modellstruktur des μ -Opiatrezeptors mit dem Tramadol-Molekül in der Bindungstasche (Ansicht senkrecht zur Zellmembran).

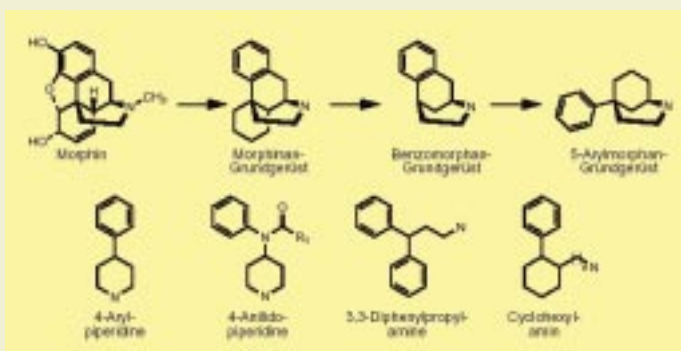


Abb. 5: Von der Morphinstruktur abgeleitete synthetische Leitstrukturen für Analgetika.

neue und innovative Strukturangebote zu liefern, denn zusätzlich zu den genannten Basisanforderungen werden bislang nicht oder nur sehr aufwendig zu gestaltende Strukturvarianten in großer Diversität zugänglich. Da sich die Verfahren in vielen Fällen zugleich sehr gut für moderne, robotergestützte kombinatorische Synthesen (Parallelsynthese) eignen, war der Weg zu einer industriellen Kooperation auf dem eminent wichtigen Forschungsfeld der Schmerztherapie vorgezeichnet.

Die Firma Grünenthal ist mit einem so genannten Blockbuster auf dem Schmerzmittelmarkt glänzend positioniert: Tramadol® wird weltweit vermarktet und gehört zu den wichtigsten zentral wirksamen Analgetika mit einem für das Jahr 2001 geschätzten weltweiten Umsatz von mehr als einer Milliarde Euro. Dennoch oder gerade deshalb wird der forschenden Weiterentwicklung in der Firma ein besonderes Augenmerk geschenkt. Die Kooperation mit universitären Forschergruppen gehört zur erklärten Strategie von Grünenthal.

Forschungsziele

Welches sind nun die konkreten Hintergründe dafür, dass sich die inzwischen etablierte intensive Kooperation zwischen Paderborn und Grünenthal derart positiv entwickelt hat, bereits Patente daraus resultieren und eine Mitarbeiterin nach ihrer Promotion dort eingestellt wurde?

Unsere Arbeitsgruppe befasst sich mit der Entwicklung effizienter Syntheseverfahren. Wir versuchen, ausgehend von leicht

verfügbaren Ausgangsmaterialien (Edukten) interessante Moleküle und somit wichtige Produkte präparativ einfach für Anwendungen verfügbar zu machen. Kriterien für die Qualität des zu entwickelnden Verfahrens sind neben der Selektivität der Reaktion, der Ausbeute und der Eleganz der Synthese auch die Beachtung ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen.

Die wichtigsten chemischen Bausteine, unsere Hauptwerkzeuge, sind zur Zeit die Iminiumsalze. Sie werden von uns beispielsweise in „Tandem-, Kaskaden-, Dominoprozessen“ und in der „Kombinatorischen Synthese“ zur Reaktion gebracht. Diese neuen, erfolgreichen und immer wieder mit Überraschungen aufwartenden Verfahren nennen wir:

Moderne Varianten der Mannich-Reaktion

Da diese Werkzeuge, Verfahren und Produkte [4-7] einem breiten Anforderungsprofil genügen, ergeben sich zwanglos vielfältige interdisziplinäre Kooperationen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen (Abbildung 6):

- Wirkstoffchemie, z.B. Themenbereich „Schmerz“,
- Naturstoffchemie, Stereochemie,
- Farbstoffe, Photodynamische Therapie; Photonische Kristalle,
- Supramolekulare Chemie,
- Materialforschung (Oligomere, Polymere, Nanostrukturen).

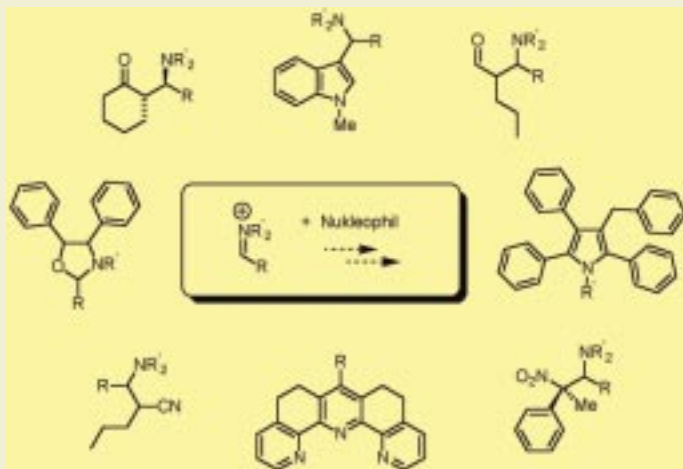


Abb. 6: Beispiele von Anwendungen moderner Varianten der Mannich-Reaktion.

Die Mannich-Reaktion als klassische Methode zur Darstellung von β -Aminoketonen und -aldehyden (Mannich-Basen) zählt traditionell zu den wichtigen Grundreaktionen der Organischen Chemie. Mannich-Basen und Derivate, welche sich aus ihnen gewinnen lassen (z.B. 1,3-Aminoalkohole oder Michael-Akzeptoren), finden vielfältige praktische Anwendungen als polyfunktionelle Synthesebausteine, so z.B. im Pflanzenschutz oder auch bei der Darstellung von Naturstoffen und in der Lack- oder Polymerchemie (Härter, Vernetzer, Reaktionsbeschleuniger). Das mit Abstand wichtigste Einsatzgebiet ist jedoch nach wie vor die Herstellung von Arzneimitteln. So ist u.a. die Verwendung von Mannich-Basen in der Krebsmedizin als Cytostatica oder Tyrosinkinase-Inhibitoren ein aktuelles Forschungsfeld. Der wirklich effiziente Zugang zu stereochemisch einheitlichen Mannich-Basen war bislang, wenn man einmal von β -Aminocarbonsäuren und deren Derivaten absieht, jedoch kaum entwickelt. Aufgrund der hohen Attraktivität von Mannich-Basen hat es deshalb nicht an Versuchen gefehlt, andere Synthesewege zu

finden, die nicht mit den Einschränkungen der klassischen Mannich-Reaktion behaftet sind.

Unsere Methodik der Umsetzung von Enaminen (ausgehend von Aldehyden bzw. Ketonen) mit vorgeformten ternären Iminiumsalzen weist im Vergleich zur klassischen Mannich-Reaktion grundlegende Vorteile auf (Abbildung 7). Die Reaktion kann in aprotischen Lösungsmitteln durchgeführt werden; die hohe Konzentration an Iminium-Ionen gewährleistet auch bei tieferen Temperaturen hohe Reaktionsgeschwindigkeiten. Aufgrund der milden Reaktionsbedingungen entstehen keine unerwünschten Nebenprodukte. Vielmehr erhält man in guten bis exzellenten Ausbeuten praktisch diastereomerenreine anti- β -Aminoketone, die zudem in der Regel kristallin anfallen. Ternäre Iminiumsalze sind zwar schon lange bekannt, haben aber überraschenderweise im Gegensatz zu den Methyleniminiumsalzen (z.B. Eschenmoser-Salz) bisher kaum Anwendungen gefunden. Durch ihren Einsatz lässt sich der Rahmen der klassischen Mannich-Reaktion von der Aminomethylierung zur Aminoalkylierung erweitern. Außerdem ist hervorzuheben, dass die Methode mit preiswerten Grundchemikalien auskommt und auch für empfindliche Substrate gut geeignet ist (milde Reaktionsbedingungen).

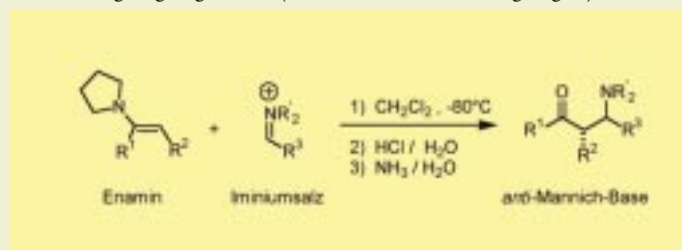


Abb. 7: Diastereoselektive Addition von Enaminen an ternäre Iminiumsalze.

Die Versuche zeigen, dass die Stereoselektivität der Addition bemerkenswerterweise weder durch die Art des von uns verwendeten Enamins noch durch die Art des ternären Iminiumsalzes beeinflusst wird. Die ^1H -NMR-Spektren der Rohprodukte zeigen jeweils nur die Signale eines einzigen Diastereomeren. Auch der Wechsel des Reaktionsmediums von CH_2Cl_2 zum stärker komplexierenden THF hat keinen erkennbaren Einfluss auf den stereochemischen Verlauf. Den Produkten konnte durch Vergleich der NMR-Daten eindeutig die anti-Konfiguration zugeordnet werden. Die Bandbreite der Methode, die durchweg hohen Ausbeuten und besonders die exzellenten de-Werte, die von anderen Verfahren, wenn überhaupt, nur im Ausnahmefall erreicht werden, werfen zwingend die Frage nach dem Mechanismus der Reaktion auf. Grundsätzlich kann man unsere Ergebnisse ähnlich wie Seebach et al. durch einen der Aldoladdition analogen Übergangszustand erklären, der durch elektrostatische Kräfte stabilisiert wird. Andererseits kann auch ein Mechanismus in der Art einer polaren $[2s+2s]$ -Cycloaddition, wie er bereits für zahlreiche Reaktionen zwischen sehr elektronenreichen und sehr elektronenarmen Alkenen postuliert wurde, a priori nicht ausgeschlossen werden.

Wir hatten das Glück erkennen zu können, dass der von uns modifizierte Reaktionstyp eine im Vergleich ungewöhnlich hohe Wertschöpfung ermöglicht. Das bedeutet konkret, es werden ausgehend von preiswerten Edukten sehr effizient und ressourcensparend, häufig ohne Verwendung teurer und aufwendig herzustellender Reagentien, wertvolle Schlüsselbausteine für die Synthese von Wirk- und Naturstoffen erzeugt (Abbildung 8). Dass unter den Bedingungen der Mannich-Reaktion oftmals nur

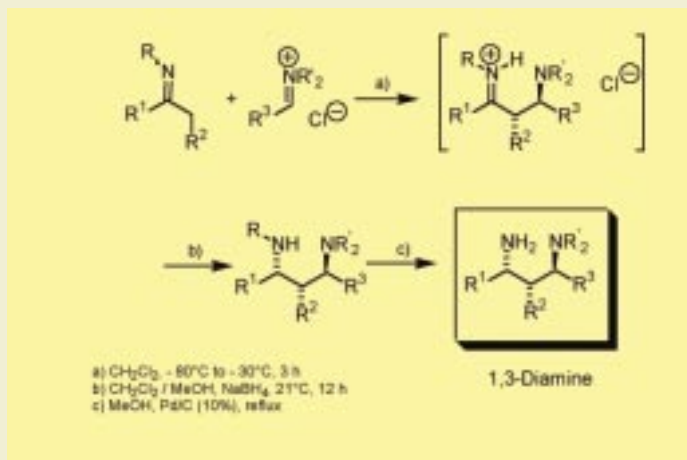


Abb. 8: Ein-Topf-Reaktion zu 1,3-Diaminen. [8].

der Startschuss gegeben und in „einem Topf“ Vielstufenprozesse (Tandem-, Kaskaden- bzw. Dominoreaktionen) ausgelöst werden, steigert den Wert noch überproportional. Die Methodik verspricht aber keineswegs nur einen ökonomischen Ansatz, denn gerade die intensive Forschung der letzten Jahre hat über die klassische Form der Mannich-Reaktion hinaus vor allem die Voraussetzungen für moderne, selektive Chemie im Sinne von Chemo-, Regio- und Diastereoselektivität geschaffen.

Die Faszination, die sich unter den Anwendern dieser Chemie entwickelt hat, mündete nicht ohne Grund in dem geflügelten Wort „Mannich Magic“: Ein Begriff, der die Verzauberung durch Chemie mit der Motivation für Chemie verknüpfen hilft.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Jahrtausendewährende medizinische Nutzung von Opium hat nach der Isolierung des μ -Opioidagonisten Morphin zur Anwendung der ersten synthetischen Morphin-derivate schon im 19. Jahrhundert geführt. Die Synthese hochwirksamer Schmerzmittel mit nicht Morphinanstruktur wie die klinisch bedeutsamen Substanzen Methadon, Fentanyl, Tramadol und Tilidin folgten. Intensive Forschungsanstrengungen zum Design neuer μ -Opioidagonisten werden noch heute unternommen, ohne dass ein Ende dieser Anstrengungen absehbar ist. Einen weiteren bedeutenden Beitrag zur Schmerztherapie hat in den letzten Jahren die Entwicklung moderner Darreichungsformen (Galenik) geleistet: Verlängerung der Wirkzeit, Verringerung von Nebenwirkungen und Individualisierung der Therapie.

Modernes Wirkstoffdesign umfasst ein ungemein breites Forschungs- und Arbeitsfeld, in dem praktisch sämtliche naturwissenschaftliche Disziplinen und benachbarte Wissenschaften zusammenwirken müssen.

In diesem Netzwerk anwendungsorientierter Forschung ist die Entwicklung neuartiger und effizienter Synthesemethoden zur Darstellung relevanter chemischer Leitstrukturen ein zentraler und zukunftsweisender Beitrag der Chemie – Das gilt übrigens nicht nur für die Therapie von Schmerz.

Literatur

- [1] H. Buschmann, B. Sundermann, C. Maul, „ μ -Selektive Opiode ohne Morphinanstruktur“, Pharm. i.u. Zeit, 2002, 44-50.
- [2] H. Buschmann, T. Christoph, E. Friderichs, C. Maul, B. Sundermann, „Analgesics – From Chemistry and Pharmacology to Clinical Applications“, Wiley-VCH 2002.
- [3] Michael Arend, Bernhard Westermann, Nikolaus Risch, „Moderne Varianten der Mannich-Reaktion“, Angew. Chem. 1998, 110, 1096-1122.
- [4] Ralf Keuper, Nikolaus Risch, Ulrich Flörke, Hans-Jürgen Haupt, „A Versatile Domino Synthesis to Novel S- and U-shaped Terpyridines. Synthesis, Properties and Crystal Structure“, Liebigs Ann. Chem. 1996, 705-715.
- [5] Claudia Wittland, Nikolaus Risch, „Synthesis of Polyfunctionalized 2,5-Dicarboxylated Pyrrolidine Derivatives by 1,3-Dipolar Cycloaddition Reactions of Azomethine Ylides“, Synthesis 1997, 1291-1295.
- [6] Hans-Joachim Grumbach, Beatrix Merla, Nikolaus Risch, „Efficient Synthesis of Racemic α -Aryl- α -amino Acid Esters via Aminoalkylation with in situ Generated Glycine Cation Equivalents“, Synthesis 1999, 1027-1033.
- [7] Jeanne Delbos-Krampe, Nikolaus Risch, Ulrich Flörke, „Synthesis of the Four Diastereoisomers of the N-Terminal Amino Acids of Nikkomycins via Aminoalkylation with Preformed Ternary Iminium Salts“, Eur. J. Org. Chem. 2002, im Druck.
- [8] Beatrix Merla, Nikolaus Risch, „Efficient Synthesis of Diastereomerically Pure 1,3-Diamines“, Synthesis 2002, 1365-72.



Dr. Beatrix Merla hat an der Universität Paderborn Chemie studiert und ist seit 2001 Forscherchemikerin bei der Firma Grünenthal, Aachen.

El español en la sociedad de la información

Die Bedeutung der spanischen Sprache in der Informationsgesellschaft

Die Würdigung der sprachlichen Vielfalt Europas, „ein Kernstück des europäischen Kulturerbes“, und die gezielte Unterstützung und Förderung des Fremdspracherwerbs waren vorrangige Ziele des von der Europäischen Union und dem Europarat veranstalteten *Europäischen Jahres der Sprachen 2001*. Ausdrücklich heißt es in den offiziellen Verlautbarungen, dass dabei „allen in Europa gesprochenen Sprachen [...] große Bedeutung zu[komme]“ und keineswegs nur „die am weitesten verbreiteten Sprachen“¹ im Blickpunkt des Interesses stünden. Solche Aussagen dürfen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass es in erster Linie die offiziell anerkannten Amtssprachen und somit die Staatssprachen sind, die schon seit einiger Zeit von ihren jeweiligen Staaten für die Informationsgesellschaft gerüstet werden, um auf dem Markt der Sprachen und Sprachtechnologien bestehen, besser noch, reüssieren zu können.

Dass die französische Regierung bereits Anfang 1998 ein Aktionsprogramm für die *société de l'information* startete, das sprachlichen und kulturellen Themen große Priorität einräumt², wird in Anbetracht einer langen und fest verankerten sprachpolitischen Tradition, wie sie für Frankreich charakteristisch ist³, nicht weiter verwundern. Dass allerdings auch Spanien zugunsten seiner Staatssprache Spanisch (*castellano*) in den vergangenen Jahren fast unbemerkt weitreichende sprachpolitische Aktivitäten entwickelt hat, die ebenfalls in den Kontext der *sociedad de la información* eingebunden sind, sollte durchaus unser Interesse verdienen, nicht zuletzt vor dem Hintergrund eines durch die Verfassung von 1978 definierten sprachpolitischen Rahmens, der zwar nicht die Gleichberechtigung der Sprachen Spaniens auf staatlicher Ebene, aber Kooffizialität zwischen der Staatssprache Spanisch und den Regionalsprachen in den entsprechenden autonomen Regionen garantiert.

Der vorliegende Beitrag wird daher versuchen, den sprachpolitischen Diskurs über die ‚Bedeutung der spanischen Sprache in der Informationsgesellschaft‘ vor seinem historischen Hintergrund und unter den gegenwärtigen Gegebenheiten zu beleuchten und zu kommentieren⁴.

Die

‚Bedeutung‘ von Sprachen

Dass die Bedeutung, das Prestige, der so genannte Wert von Sprachen keineswegs ausschließlich von ihrer Sprecherzahl abhängig sind, liegt auf der Hand. Gemessen an seiner Sprecherzahl, fast 400 Millionen, müsste danach beispielsweise das Spanische eine deutlich größere Rolle auf der Welt spielen, als dies tatsächlich der Fall ist. In der Vergangenheit – zumindest in



Prof. Dr. phil. Jutta Langenbacher-Liebgott wurde 1992 an die Universität Paderborn berufen und ist als Professorin für Romanistische Sprachwissenschaft in der Fakultät für Kulturwissenschaften tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte und Arbeitsgebiete sind Sprachpolitik, Sprachkultur, Sprachnormierungsprozesse; romanische Lexikologie/Lexikographie; Wortbildung; sprachliche Varietäten; Sprachgeschichte; Sprachkontakte in der Gallo- und Iberoromania.

Europa und dort insbesondere im Zeitalter der Renaissance – sind Qualität und Prestige von Sprachen nicht selten z.B. an der Ausformung und dem Ansehen ihrer geschriebenen Literatur festgemacht worden oder an der Tatsache, ob die betreffende Sprache über eine schriftlich fixierte Grammatik, über entsprechende Wörterbücher, eine Stilistik, eine Rhetorik, etc. verfügte, also über schriftlich fixierte Regelwerke, die den idealen Sprachgebrauch definieren. Spätestens mit der Herausbildung und Entstehung der europäischen Nationalstaaten traten allerdings mehr und mehr Kriterien in den Vordergrund der Diskussion, die immer dezidierter politischer, wirtschaftlicher, militärischer und damit letztlich immer auch ideologischer Natur sind. Wenn also von der Bedeutung, dem Prestige oder dem Wert einer Sprache die Rede ist, sollte immer deutlich gemacht werden, was damit gemeint ist: Denn streng sprachwissenschaftlich gesehen gibt es keine Sprachen, die mehr wert sind als andere, die „besser“/„schlechter“, „reicher“/„ärmer“, „schöner“/„hässlicher“ als andere sind⁵; es gibt allenfalls Sprachen, die wir verstehen oder nicht verstehen, die wir aufgrund persönlicher Eindrücke, gesellschaftlicher Wertvorstellungen, von Vorurteilen, oftmals auch aufgrund bloßer Unkenntnis als schöner oder hässlicher, als angenehmer oder unangenehmer empfinden – wobei diese Wertungen nicht selten auch auf die jeweiligen Sprecher dieser Sprachen übertragen werden. Über den tatsächlichen, kommunikativen Wert der betroffenen Sprachen im einzelnen sagt dies jedoch nichts aus, möglicherweise aber einiges über ihren Marktwert. Wenn wir also in der Folge von der Bedeutung bzw. dem Wert der Sprachen in der Informationsgesellschaft sprechen, in unserem Fall von der Bedeutung bzw. dem Wert des Spanischen, dann ist festzuhalten, dass in den entsprechenden sprachpolitischen Überlegungen, auf die wir uns stützen, überwiegend der Marktwert dieser Sprache(n) gemeint ist.

Sprachpolitik und die Bedeutung von Sprache

Unter Sprachpolitik versteht man in der Sprachwissenschaft im Allgemeinen das zielgerichtete Einwirken – in der Regel seitens des Staates oder von ihm mit dieser Aufgabe betrauter Gruppen oder Individuen – auf Sprechen und Sprache. Gegenstand derartiger Reglementierungen können dabei sowohl die Formen der Sprachverwendung (die gesprochene ebenso wie die geschriebene) als auch der Status von Sprachen sein⁶. Als Formen expliziter Sprachpolitik, mit deren Hilfe die Umsetzung sprachlicher Reglementierungen erreicht und garantiert werden soll, dienen vielfach sprachgesetzgeberische Maßnahmen, die in Westeuropa seit dem ausgehenden Mittelalter in Erscheinung treten.

Was die gegenwärtige sprachpolitische Situation Spaniens angeht, so regelt die spanische Verfassung von 1978, dass neben der offiziellen Staatssprache Kastilisch in den jeweiligen Autonomen Regionen, die davon betroffen sind, in Übereinstimmung mit deren Statuten neben dem Kastilischen die entsprechenden Regionalsprachen ebenfalls Officialität genießen (Art. 3, Abs. 1 und 2: „El castellano es la lengua española oficial del Estado. [...] Las demás lenguas españolas serán también oficiales en las respectivas Comunidades Autónomas de acuerdo con sus Estatutos“). Die übrigen Sprachen Spaniens, die Verfassung vermeidet in diesem Punkt bewusst den Terminus „Sprache“ und spricht lieber von „distintas modalidades lingüísticas“, also unterschiedlichen sprachlichen Ausprägungen, genießen als Teil des kulturellen Erbes immerhin besonderen Schutz und Respekt. Frankreich kennt Vergleichbares in seiner Verfassung nicht. Nach guter jakobinischer Tradition heißt es gemäß der Verfassungsänderung vom Juni 1992 lediglich: „La langue de la République est le français“.

Neben ausdrücklich sprachgesetzgeberischen Reglementierungen, die zwangsläufig die Normalisierung einer einzigen Sprache (Frankreich) oder, was viel seltener der Fall ist, die Normalisierung einiger weniger Sprachen (Spanien) fördern, sind es natürlich Schul- und Bildungspolitik, die direkte oder indirekte Einflußnahme auf Sprache und Sprechen ausüben. Spätestens in diesem Kontext wird bedeutsam, welche Form, welche Varietät der jeweiligen Sprache offizielle Gültigkeit erhält und somit auch als Unterrichtssprache in der Schule fungiert. In Spanien ist diese Varietät bekanntermaßen das *castellano*, das seit der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts vermehrt auch als *español* bezeichnet wird. Reglementierende Einwirkungen auf Sprachen sind jedoch nicht nur innerhalb von Staatsgrenzen zu betrachten, sondern weit über diese hinaus. So erfolgt in der Regel gezielte Einwirkung auf Sprache und Sprachverwendung in allen wichtigen Sektoren der Informationsvermittlung, heute vor allem über die Medien, oder durch die Verwendung und damit Präsenz bestimmter Sprachen in ausgewählten Kommunikationssituationen, bevorzugt dort, wo die betreffenden Sprachen als supranationale, internationale Verkehrssprachen fungieren können. Sprachpolitische Überlegungen und Maßnahmen ebenso wie die Frage der Bedeutung einzelner Sprachen in der Gegenwart sind daher in zunehmendem Maße gerade vor diesem Hintergrund zu sehen.

Die Traditionen spanischer Sprachpolitik

Das Erkennen des Zusammenspiels zwischen Sprache und Poli-

tik und dem kulturellen Prestige, das Sprache mittels politischer Macht erreichen kann, ist natürlich nicht neu, und dies gilt bereits für den bedeutenden spanischen Humanisten Antonio de Nebrija. Auch wenn Nebrija, Verfasser der berühmten *Gramática castellana* (1492), der ersten gedruckten vollständigen Grammatik einer romanischen Volkssprache, keineswegs der erste war, der erkannte, „que siempre la lengua fue compañera del imperio“⁷, also dass die Sprache immer Begleiterin des Imperiums und damit der Macht war, so entfaltet er im Prolog seiner Grammatik, dem dieses Zitat entnommen ist, ein zukunftsweisendes Programm spanischer Sprachpolitik. Selbstverständlich liegt der Ausbildung romanischer volkssprachlicher Grammatiken und insofern der Fixierung sprachlicher Regeln die Vorstellung zugrunde, dass das Latein als anerkannte Bildungs- und Verkehrssprache der damaligen Zeit nicht einfach durch eine natürlich erworbene Vulgär- oder Volkssprache abzulösen sei und dass eine solche Ablösung nur dann eine Chance haben könne, wenn die Volkssprachen mit einer auf anerkannten Regeln basierenden Grammatik ausgestattet würden. Auch Nebrijas Grammatik ist diesen Vorstellungen verpflichtet, wobei seine Ideen in großem Maße vom italienischen Humanismus durchdrungen sind. Doch seine Grammatik dient nicht nur der Anerkennung und Pflege des Kastilischen, sie ist gleichzeitig Ausdruck eines neuen Sprachbewusstseins, in dem Sprache sowohl eine imperiale, als auch literarisch-kulturelle Bedeutung erlangt. Das entschiedene Eintreten für die Pflege des Kastilischen wird mit dem Ziel verbunden, „der Sache unserer Nation zu dienen“, so in etwa sinngemäß die Worte Nebrijas⁸. Das neue imperiale und sprachliche Selbstbewusstsein formuliert Nebrija im Prolog seiner Grammatik, geschrieben am Vorabend der Eroberungs- und Entdeckungsfahrten, u.a. wie folgt: „Wenn Eure Majestät viele barbarische Völker mit fremden Sprachen unter ihre Herrschaft brächte, diese mit der Besiegung die Gesetze und Bedingungen des Siegers annehmen müssten, und damit auch unsere Sprache: so könnten sie diese durch mein Werk lernen, genau wie wir (Spanier) jetzt die lateinische Grammatik studieren, um das Lateinische zu lernen“⁹. Die Sprachpolitik im 15., 16. und 17. Jahrhundert in Spanien ist also einerseits eng verknüpft mit einem neuen Bewusstsein im Hinblick auf die eigene Volkssprache, das Kastilische, das allmählich eine erkennbare Höherbewertung erfährt, andererseits bedeutet diese Sprachpolitik zielorientiertes Eingreifen in die Sprachentwicklung in Form bewusster Sprachpflege, sei es durch Erarbeitung von Sprachregelwerken, durch Diskussionen über Herkunft und Stellenwert der eigenen Sprache, sei es durch das sprachliche Vorbild der Autoren der *siglos de oro*.

Mit der Wende zum 18. Jahrhundert und damit dem Einzug der Bourbonen in Spanien konzentriert sich Spaniens Sprachpolitik mehr und mehr auf die Auseinandersetzung mit den noch verbliebenen Resten der übrigen Sprachen Spaniens, insbesondere des Katalanischen, das praktisch seit dem 15. Jahrhundert einem permanenten Kastilisierungsprozess ausgesetzt ist. Beredtes Zeugnis für die neue zentralistische Sprachpolitik nach französischem Muster sind die sprachreglementierenden Maßnahmen Philipps V. und Karls III., die „nach der Vereinheitlichung der Verwaltungs- und teilweise auch der Rechtsstruktur das Spanische als Amts- und Schulsprache in den katalanischsprachigen Gebieten“¹⁰ durchsetzen. Gleichzeitig findet dieser Sprachzentrismus seine geradezu folgerichtige Entsprechung in der

Schaffung einer spanischen Sprachakademie, der 1713 gegründeten Real Academia Española: Mit ihrem Wörterbuch, ihrer Orthographie und Grammatik bringt sie den mit Nebrija eingeleiteten Standardisierungsprozess des Spanischen zum vorläufigen Abschluss; bereits 1780 wird die Grammatik der spanischen Akademie als Grundlage und Orientierung für den Spanischunterricht verpflichtend¹¹. Erst mit dem 19. Jahrhundert werden Spaniens Regionalsprachen eine kulturelle und sprachliche Renaissance erleben, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts in die verschiedenen politischen Regionalbewegungen mündet. Sie sind letztlich Ausgangspunkt für die in der Verfassung von 1931 garantierten Autonomiestatute ebenso wie die offizielle Anerkennung der Regionalsprachen. Zur eigentlichen Umsetzung dieser Pläne kam es jedoch – außer vorübergehend in Katalonien – wegen des Spanischen Bürgerkrieges nicht. Das Franco-Regime setzte an die Stelle einer liberalen Politik bekanntermaßen politische und sprachliche Repression, die erst mit der Verfassung von 1978 beendet wurde.

Die aktuelle Sprachpolitik Spaniens im Kontext der *sociedad de la información*

Unabhängig von der Tatsache, dass der spanische Staat der Gegenwart nicht nur plurilingual, plurikulturell, sondern im Prinzip auch plurinational ist und dies im Kern auch durch die Verfassung anerkannt wird, ist die offizielle spanische Sprachpolitik gegenwärtig wesentlich durch Vorstellungen und Argumente geprägt, in deren Zentrum ausschließlich die Staatssprache Spanisch steht. Kennzeichnend für diese Politik ist außerdem, dass sie zwar weiterhin Schutz und Pflege des Spanischen garantiert, darüber hinaus aber vor allem sein Prestige und seinen Marktwert steigern soll. D.h. vordringlich geht es um die Frage der Eroberung neuer bzw. der Konsolidierung und Erweiterung alter Sprach(en)märkte im Zeitalter der Wissens- und Informationsgesellschaften.

Begonnen hat diese Neuorientierung innerhalb der sprachpolitischen Diskussion Spaniens vor ungefähr 10 Jahren, wobei diese Diskussion seit der zweiten Hälfte der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts deutlich an Intensität zugenommen hat. Insbesondere das 1991 gegründete Instituto Cervantes¹², etwa dem Institut Français, dem British Council oder dem Goetheinstitut vergleichbar, darf in diesem Kontext als entscheidender und einflussreicher Impulsgeber spanischer Sprachpolitik der Gegenwart gewertet werden. Die Jahrbücher, die vom Instituto Cervantes seit 1998 regelmäßig herausgegeben werden und die einzig dem Thema *El español en el mundo* (*Das Spanische in der Welt*) gewidmet sind, machen die Programmatik aktueller spanischer Sprachpolitik bestens sichtbar. Ziel dieser Bestandsaufnahme zum Stellenwert der spanischen Sprache in der Welt – ihrer zahlenmäßigen Verbreitung (insbesondere in den USA, in Brasilien und Asien), ihrer Präsenz in internationalen Organisationen, in Wissenschaft und Technik, in den Kommunikationsmedien, im Internet oder insgesamt in der Informationsgesellschaft – ist, einerseits möglichst genaue Kenntnisse über die aktuelle Realität des Spanischen zu erhalten, andererseits mit Hilfe dieser Kenntnisse den Aufschwung und die Verbreitung spanischer Sprache und Kultur in der Welt besser und gezielter fördern zu können¹³. Der ehemalige Direktor des Instituto Cervantes, Fernando Rodríguez Lafuente, hat die Prioritäten einer solchen Politik in einem Interview vom Februar 2001 skizziert: „[...] Brasilien [ist], neben

den Vereinigten Staaten, wichtigster Schwerpunkt des Cervantes-Instituts für die nächsten Jahre. Brasilien will Spanisch als obligatorische Fremdsprache in allen höheren Schulen einführen. [...] Das sind viele Millionen Menschen, die viele Spanischlehrer brauchen. Von den sechstausend Lehrern, die unser Institut im vergangenen Jahr ausgebildet hat, waren die Hälfte Brasilianer. In den Vereinigten Staaten, wo nach dem dortigen Zensus 31,3 Millionen Menschen spanischsprachig sind, geht es uns außer um die ‚Hispanos‘, welche die Sprache ihrer aus Lateinamerika gekommenen Eltern bewahren wollen, um die Angloamerikaner, die heute Spanisch als Zweitsprache haben wollen“. Wie ganz selbstverständlich ist es das „Wirtschaftsgut“ Spanisch, der „enorme[] Reichtum“, den diese Sprache eben nicht nur im übertragenen Sinne darstellt, die hier ins Visier genommen werden: „Wir wissen, daß wir in der Wissenschaft und den neuen Technologien noch viel tun müssen. Leider wußte das schon die Generation der vorigen Jahrhundertwende. Ich glaube aber, daß sich das mit den jungen Spaniern von heute ändern wird. Nicht zu vergessen die spanischsprachige Bevölkerung der Vereinigten Staaten, die nicht nur für die Präsidentschaftswahlen wichtiger wird, die im amerikanischen Kongreß sitzt und ihre Lobbies hat: Diese Leute bewegen eine halbe Milliarde Dollar im Jahr, Tendenz steigend. Wenn Sie dann noch hinzunehmen, daß die englischsprachige Bevölkerung sich ihrerseits auf das Spanische zubewegt und die Sprache erlernen will, sind die Aussichten sehr vielversprechend“¹⁴.

Auf derselben Linie argumentiert Antonio Garrido, Direktor des Instituto Cervantes in New York, wenn er ausführt, dass man der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Realität der mehr als 30 Millionen Hispanos in den USA, deren Kaufkraft ständig zunehme, in entsprechender Weise Rechnung tragen müsse. Der Schluss, den er daraus für die spanische Sprachpolitik zieht, fällt allerdings noch etwas nüchterner aus, als dies bei Rodríguez Lafuente anklang: „Vergessen wir die romantischen Beweggründe und denken wir stattdessen in Kategorien wirtschaftlicher Notwendigkeit und kultureller Selbstbehauptung“¹⁵. Die Leitgedanken dieser Politik sind demnach sprach- und kulturexpansionistisch geprägt und an ökonomischen Zielen ausgerichtet. Insofern überrascht es kaum, wenn der neue sprachpolitische Diskurs durch Schlüsselbegriffe wie *expansión*, *difusión*, *potenciación* oder *potencial*, *activo*, *recurso económico del español* gekennzeichnet ist¹⁶.

Grundsätzlich denselben Zielen verpflichtet ist die im Rahmen des *Plan de Actualización del Español en la Sociedad de la Información* des Instituto Cervantes im Januar 2000 gegründete *Oficina del Español en la Sociedad de la Información* (OESI). Mit Hilfe dieser Einrichtung soll insbesondere die massive Förderung spanischer Sprachtechnologien und deren Weiterentwicklung koordiniert und unterstützt werden. Gemeint sind hiermit u. a. Textanwendungen wie die Entwicklung von Wörterbüchern, Grammatiken, maschinellen Übersetzungen oder die Erstellung von Korpora, aber ebenso Sprachanwendungen wie Spracherkennung und -verifizierung, Dokumenterkennung, Textgenerierung, etc. Gerade durch die Herstellung spanischer Sprachtechnologieprodukte sollen Verwendung und damit Bedeutung des Spanischen in der Informationsgesellschaft gesteigert werden. Eine zentrale Rolle spielt in diesem Zusammenhang natürlich das Internet. Nach Garrido, den wir bereits weiter oben zitiert haben, ist eine der großen Herausforderungen für die

Les langues sur le réseau	en 1998	en 2000	en 2001
Anglais	N. D.	60,00%	52,00%
Espagnol	3,45%	04,85%	05,69%
Français	3,79%	04,39%	04,61%
Italien	2,35%	02,77%	03,06%
Portugais	1,16%	02,14%	02,81%
Roumain	0,22%	00,19%	00,17%
Allemand		06,30%	06,97%
Reste		19,30%	24,69%

Abb. 1: Prozentuale Verteilung der romanischen Sprachen im Internet (Quelle: <http://www.culture.gouv.fr/culture/dglf/Soc-inf/internet.html>).

Expansion des Spanischen im digitalen Zeitalter seine Präsenz in den Kommunikationsmedien und im Internet, wobei es nach Meinung des Autors nicht genügt, lediglich die Zahl der Nutzer zu vergrößern. Von zentraler Bedeutung sei vielmehr die quantitative und qualitative Entwicklung der Inhalte¹⁷. Ein Blick auf die Präsenz der Sprachen im Internet unterstreicht, dass das Spanische die Rangliste der romanischen Sprachen anführt – mit deutlichen Zuwächsen seit 1998.

Selbstverständlich träumt niemand in Spanien davon, auch nur im entferntesten dem Englischen Paroli bieten zu können, allerdings geht es nachdrücklich um die Teilhabe an der Wissens- und Informationsvermittlung und die Anerkennung und Nutzung des ‚Eigenwerts‘ des Spanischen, geistiges Kapital von fast 400 Millionen Sprechern¹⁹.

Um die Stärkung des „Wir-Gefühls“ und die Selbstbehauptung der ‚hispanischen Welt‘ geht es auch Felipe González in seinem Beitrag „Die Kraft des Wir – Hispanische Welt und Globalisierung“, der im Kontext des Forums „Iberische Halbinsel – Lateinamerika“ (Mexico-City, November 2000) erschienen ist²⁰. In seinem Beitrag räsoniert González über die Zukunft der ‚hispanischen Welt‘ und deren politischen und wirtschaftlichen Perspektiven. Dabei setzt er vor allem auf das „Wir-Gefühl“, das „Wir-Bewusstsein“, das noch mehr gestärkt werden sollte, weil es das eigentliche Potential der hispanophonen Welt darstelle. Dieses Potential sei nicht die Sprache allein, sondern in weit größerem Maße die „gemeinsame[] Kultur [...], verbunden durch

die Sprache“; und weiter fährt er fort: „Wir haben im Spanischen und Hispanischen eine gemeinsame Sprache und Kultur als Identität verschiedener Identitäten, die das ‚wir‘ definieren“. Darin liege letztlich auch ein entscheidender Vorteil gegenüber dem Englischen und Angloamerikanischen: „[...] im Falle des Englischen und Angloamerikanischen hingegen haben wir die gemeinsame instrumentelle Sprache, aber unterschiedliche Kulturen, die nicht eine Identität aus verschiedenen Identitäten

erreichen und somit jenes ‚Wir-Bewusstsein ausschließen“. Ziel müsse also in erster Linie sein, eine Art „kulturelle[] Staatsbürgerschaft“ zu schaffen, „die über unsere nationalen Grenzen weit hinausgeht und das verbindende Element der Einheit ist“. Vor diesem Hintergrund könnten dann „die Möglichkeiten in den Bereichen der Kommunikation, der kulturellen Schöpfung im weitesten Sinne, der Wirtschaft und der Politik“²¹ eruiert werden.

Wie man sieht, sind sich die Protagonisten gegenwärtiger spanischer Sprachpolitik, von denen wir einige zitiert haben, vollkommen über die Dringlichkeit entsprechend koordinierter und vor allem konzentrierter Maßnahmen innerhalb der hispanophonen Welt einig. Die Zielvorstellungen als solche scheinen relativ klar, wenn sie vielleicht auch nicht von allen in gleichem Maße geteilt werden. So existiert zwar innerhalb der hispanophonen Gemeinschaft auf offizieller Ebene ein gewisser Konsens im Hinblick auf die Bewahrung kultureller Vielfalt, die ihren Ausdruck natürlich auch in der Vielfalt der Sprachen innerhalb dieses Raumes finden soll – weshalb in vielen sprachpolitischen Überlegungen unablässig die Formel vom kulturellen Erbe bemüht wird, wenn von Sprachenvielfalt die Rede ist. Es fehlt jedoch nach wie vor in der EU und anderswo an entsprechenden politischen Maßnahmen, die diese Sprachenvielfalt längerfristig garantieren könnten. In Hispanoamerika und natürlich auch in Spanien selbst, nämlich seitens der Vertreter der Regionalsprachen, werden daher die neuen Aktivitäten spanischer Sprachpolitik durchaus mit gewisser Skepsis betrachtet. Denn letztlich geht es bei der ganzen Thematik ausschließlich um die Frage der Positionierung bzw. Platzierung derjenigen Sprachen, die langfristig, neben dem Englischen, die Rolle einer internationalen Sprache spielen könnten – so eventuell auch das Spanische.

Selbstverständlich ist nicht zu kritisieren, sich für die Förderung, für das kulturelle, wissenschaftliche, technologische, wirtschaftliche oder politische Prestige der spanischsprachigen Länder einzusetzen und damit auch für die spanische Sprache. Aber ein solches politisches Engagement wird in letzter Konsequenz vor allem denjenigen Akteuren nützen, die die Regeln des *global play* beherrschen. Den unterschiedlichsten Sprachen und Kulturen gerade Hispanoamerikas und vor allem deren Erhalt und Förderung dürfte dies dagegen kaum dienlich sein. Eine verantwortliche Sprachpolitik zugunsten des Spanischen sollte deshalb auch stets diese Dimension im Auge behalten. Denn eine verantwortliche Sprachpolitik, um mit den Worten von Calvet zu spre-

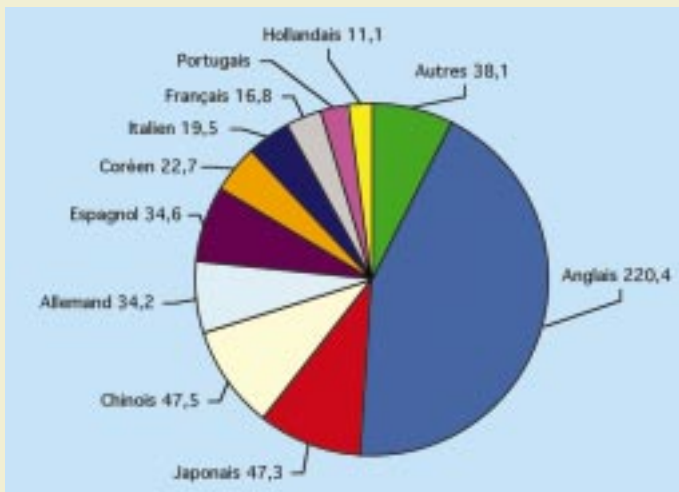


Abb. 2: Sprachzugehörigkeit der mit dem Internet verbundenen Personen in Millionen (Quelle: <http://www.culture.gouv.fr/culture/dglf/Soc-inf/internet.html>).

chen, sollte nicht nur das technisch Mögliche leisten, sondern auch das, was für die Sprecher psychologisch akzeptabel ist²².

¹ <http://europa.eu.int/comm/education/languages/de/actions/commactions.html>

² Cf. <http://www.culture.gouv.fr/culture/dglf/Soc-inf/internet.html>.

³ Cf. u. a. Schmitt, Christian, „Nation und Sprache: das Französische“, in: Gardt, Andreas (Hg.), *Nation und Sprache. Die Diskussion ihres Verhältnisses in Geschichte und Gegenwart*, Berlin/New York: Walter de Gruyter 2000, 673-745.

⁴ Der vorliegende Beitrag basiert auf den beiden folgenden Vorträgen: „Política lingüística en España y potencial de la lengua española“, gehalten im Rahmen des Symposiums *Globalización, comunicación intercultural y políticas lingüísticas: el Mercosur y la Unión Europea*, 22.-23. November 2001, TU Dresden; „Die Bedeutung der spanischen Sprache im globalen Wettbewerb“, gehalten bei der Deutsch-Spanischen Gesellschaft Paderborn, am 30. November 2001. Cf. außerdem „Die Diskussion um das ‚Potential der spanischen Sprache‘ – un discurso conflictivo?“. Wird erscheinen in Bochmann, Klaus/Wölck, Wolfgang/Nelde, Peter (Hg.), *Aspects méthodologiques de la linguistique de conflit – Methodologische Aspekte der Konfliktlinguistik* (= Plurilingua), im Druck.

⁵ Cf. Moreno Cabrera, Juan Carlos, *La dignidad e igualdad de las lenguas. Crítica de la discriminación lingüística*, Madrid: Alianza Editorial 2000.

⁶ Cf. Calvet, Louis-Jean, *Les politiques linguistiques*, Paris: PUF 1996.

⁷ Nebrija, Elio Antonio de, *Gramática castellana*. Introducción y notas: Miguel Ángel Esparza/Ramón Sarmiento, Madrid: Fundación Antonio de Nebrija 1992, 99.

⁸ Nebrija 1992, 105. Zur Herausbildung dieses imperialen Sprachnationalismus cf. Schmitt, Christian, „Typen der Ausbildung und Durchsetzung von Nationalsprachen in der Romania“, in: *Sociolinguística* 2, 1988, 73-116.

⁹ Nebrija 1992, 107 und 109. Übersetzung nach Bahner, Werner, *Beitrag zum Sprachbewusstsein in der spanischen Literatur des 16. und 17. Jahrhunderts*, Berlin: Rütten & Loening 1956, 27.

¹⁰ Lebsanft, Franz, „Nation und Sprache: das Spanische“, in: Gardt, Andreas (Hg.), *Nation und Sprache. Die Diskussion*

ihres Verhältnisses in Geschichte und Gegenwart, Berlin/New York: Walter de Gruyter 2000, 643-671, dort 650.

¹¹ In Hispanoamerika, um nur einen kurzen Blick auf Spaniens sprachpolitische Maßnahmen außerhalb des Mutterlandes zu richten, wird spätestens ab dem 17. Jahrhundert die zunächst relativ liberale Sprachpolitik durch eine Politik massiver Kastilisierung ersetzt. Cf. dazu ausführlich Solano, Francisco de, *Documentos sobre política lingüística en Hispanoamérica (1492-1800). Compilación, Estudio Preliminar y Edición*, Madrid: CSIC 1991.

¹² Cf. <http://cvc.cervantes.es>

¹³ Cf. <http://cvc.cervantes.es/obref/anuario/>

¹⁴ Die zitierten Textstellen sind alle entnommen Rodríguez Lafuente, Fernando, „Unsere Sprache ist auch unser ökonomischer Reichtum. (Ein Gespräch mit dem Leiter des Cervantes-Instituts, Fernando Rodríguez Lafuente)“, in: FAZ, 7. Februar 2001.

¹⁵ Paraphrasierung und sinngemäße Übertragung von Garrido, Antonio, „Lenguas en expansión“, in: <http://elpais.es>, jueves, 18 de octubre 2001.

¹⁶ Diese und ähnliche Formulierungen tauchten u.a. immer wieder in den Reden und Pressekommentaren auf, die im Rahmen des II Congreso Internacional de la Lengua Española veröffentlicht wurden, der im Oktober 2001 unter der organisatorischen Leitung der Real Academia Española und des Instituto Cervantes in Valladolid stattfand; cf. <http://cvc.cervantes.es>, dort unter Congresos de la Lengua Española.

¹⁷ Cf. Garrido 2001.

¹⁸ Abbildung 1 und Abbildung 2 sind entnommen: <http://www.culture.gouv.fr/culture/dglf/Soc-inf/internet.html>, „Les langues latines sur l'internet“ und „Présence absolue des langues sur le réseau“.

¹⁹ Sinngemäße Übertragung von Bautista García, Eduardo, „El capital intelectual. La ventaja comparativa de España“, dort im letzten Unterkapitel „España, yacimiento de capital intelectual“, in: *Anuario 2001: El español en el mundo*, http://cvc.cervantes.es/obref/anuario/anuario_01/p05.htm.

²⁰ González, Felipe, „Die Kraft des Wir. Hispanische Welt und Globalisierung“, in: FAZ, 6. Januar 2001.

²¹ González 2001.

²² Cf. Calvet 1996, 63.

Auf ein Wort

Möglichkeiten und Grenzen der automatischen Spracherkennung

Gesprochene Sprache ist das wohl wichtigste Kommunikationsmedium zwischen Menschen. Es erscheint daher naheliegend, auch Maschinen eine natürlichsprachliche Benutzerschnittstelle zu geben. Seit über 40 Jahren beschäftigen sich Forscher damit, Computern die Fähigkeit zu verleihen, menschliche Sprache zu verstehen. Trotz enormer Fortschritte ist das Problem auch heutzutage noch nicht vollständig gelöst. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der Technik in der automatischen Spracherkennung und zeigt aktuelle und zukünftige Forschungsrichtungen und Anwendungsszenarien auf.

Maschinelle Erkennung von gesprochener Sprache

Warum ist Spracherkennung überhaupt schwierig? Ein heutiger Computer kann doch besser Schach spielen als der Mensch, warum kann er nicht auch Sprache perfekt verstehen?

Sprache ist ein zufälliges, nichtstationäres Signal. Das zu einem bestimmten Laut gehörende Zeitsignal kann extrem unterschiedlich sein, je nachdem von welchem Sprecher, in welchem Lautkontext oder in welcher akustischen Umgebung der Laut geäußert wurde. Der Mensch verlässt sich daher nicht nur auf das, was er hört, sondern benutzt ganz wesentlich auch Wissen über den semantischen und syntaktischen Kontext, in dem eine Äußerung gemacht wird. Die Modellierung des Sprachsignals und die Nachbildung des Kontextwissens in einem Rechner erweisen sich jedoch als extrem schwierig.

Frühe Versuche zur automatischen Spracherkennung verwendeten Expertensysteme, in denen Sprachproduktion und Perzeption über Regeln beschrieben wurden. Diese waren jedoch zum Scheitern verurteilt, da sie die Komplexität von kontinuierlich gesprochener Sprache nicht handhaben konnten. Heutige Spracherkennungssysteme basieren auf statistischen Methoden. So wird die Aussprache von Lauten aus großen Sprachdatenba-



Prof. Dr.-Ing. Reinhold Häb-Umbach ist seit April 2001 Professor an der Universität Paderborn und Leiter des Fachgebiets Nachrichtentechnik. Seine Forschungsschwerpunkte sind Sprachsignalverarbeitung und automatische Spracherkennung sowie Detektions- und Estimationsverfahren in der Nachrichtentechnik.

sen automatisch gelernt. Mit dem Fortschritt in der Prozesortechnologie ist man in der Lage, auch extrem komplexe Modelle mit hunderttausenden von Parametern zu trainieren, mit denen man auch für viele Anwendungen ausreichende Erkennungsgenauigkeit erzielen kann. Dennoch ist die maschinelle Spracherkennung der menschlichen noch deutlich unterlegen, siehe Tabelle 1. Insbesondere spontane Sprache mit ihren vielen Hästitionen und Unregelmäßigkeiten sowie Spracherkennung in geräuschbehafteten Umgebungen (z.B. im Auto) bereiten große Probleme.

Grundbausteine eines Spracherkenners

Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild eines Spracherkenners. Der Prozess der Spracherkennung beginnt mit dem abgetasteten Sprachsignal. Die Aufgabe der folgenden Merkmalsextraktion ist es, aus diesem Signal diejenigen Kenngrößen zu ermitteln, die einerseits für die nachfolgende Klassifikation von Relevanz sind und die andererseits unempfindlich gegenüber Variationen des Sprachsignals aufgrund von Sprechercharakteristiken oder Umgebungsgeräuschen sind. Auch wenn in den meisten Systemen

Aufgabe	Maschine	Mensch
Ziffernkettenerkennung	0,7 %	0,009 %
Buchstabiererkennung	5,0 %	1,6 %
Diktieren	7,2 %	0,9 %
Unterhaltung über Telefon	43 %	5,0 %

Tabelle 1: Vergleich von Wortfehlerraten eines maschinellen Erkenners mit denen eines Menschen für unterschiedliche Erkennungsaufgaben (aus [Lip97]).

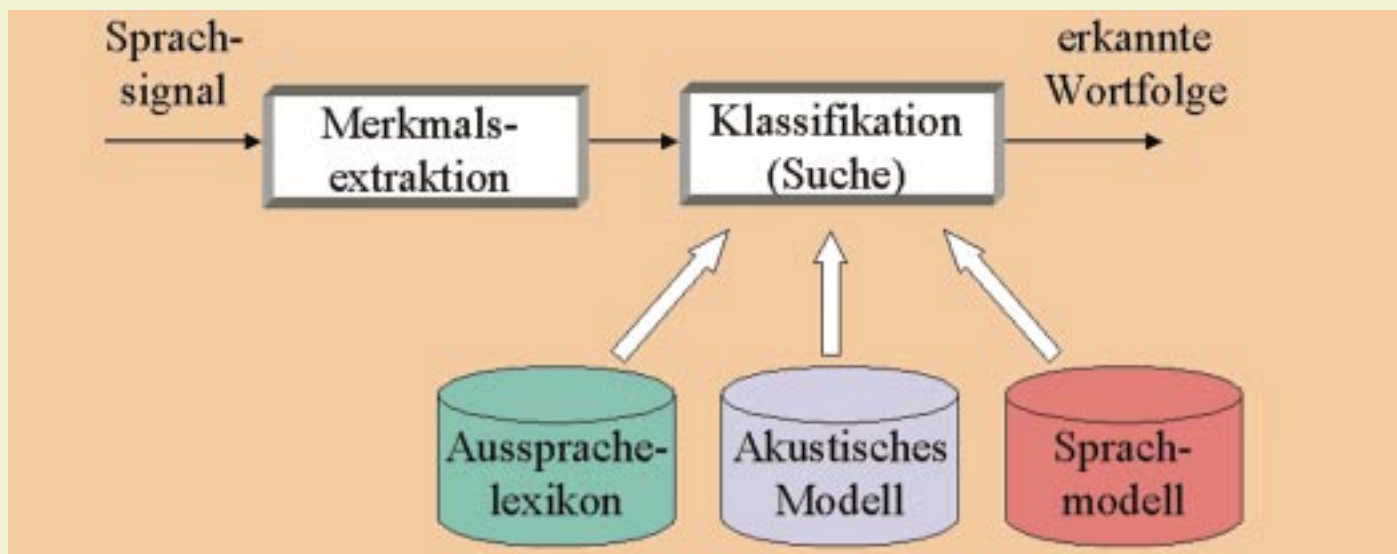


Abb. 1: Blockschaftbild eines Spracherkenners.

heute Merkmale verwendet werden, die im Wesentlichen die spektrale Verteilung der Signalleistung beschreiben, so vermutet man doch, dass man bei weitem noch nicht die „optimalen“ Merkmale gefunden hat. Bei der Suche nach Verbesserungen werden zwei ganz unterschiedliche Richtungen eingeschlagen:

- Forscher versuchen, das menschliche Hören möglichst gut nachzubilden (nicht nur die Signalverarbeitung im Hörorgan, sondern auch psychoakustische Effekte, die eher im Gehirn ablaufen), denn Sprechen und Hören haben sich im Verlauf der Menschheitsgeschichte optimal aneinander angepasst.
- Andere wiederum legen den Schwerpunkt auf eine statistische Sichtweise. Es soll diejenige Transformation des Sprachsignals in Merkmalsvektoren ermittelt werden, die für ein gegebenes statistisches Modell ein optimales Klassifikationsergebnis liefert.

Überraschenderweise führen beide Ansätze bisweilen auf die gleichen Lösungen.

Typischerweise alle 10 ms wird ein solcher akustischer Merkmalsvektor der Dimension 20-40 aus einem Sprachsignalabschnitt berechnet und an den nachfolgenden Klassifikator weitergeleitet. Hier werden Folgen von Merkmalsvektoren mit aus dem Training gewonnenen Modellen verglichen und es wird diejenige Wortfolge gesucht, die gemäß einem statistischen Modell am wahrscheinlichsten gesprochen wurde.

In diesem Suchprozess werden drei Wissensquellen ausgewertet:

- Das Aussprachelexikon enthält die Lautschrift für jedes Wort. Eine Sprache besitzt erstaunlicherweise nur rund 50 unterschiedliche (Elementar)laute („Phoneme“), mit denen die Aussprache eines jeden Wortes konstruiert werden kann.
- Das akustische Modell beschreibt die akustische Realisierung eines jeden Lautes in einem probabilistischen Modell. Hier kommen die so genannten „Hidden Markov Modelle“ zum Einsatz, siehe Abbildung 2. Die Parameter dieses Modells werden in einem Trainingsprozess aus Sammlungen gesprochener Sprache gelernt. Leider ist es bis heute nicht möglich, dieses akustische Modell ein und für alle mal für eine Sprache

zu trainieren und dann für die unterschiedlichen Anwendungen zu benutzen. Vielmehr muss ein Erkenner jeweils mit für die interessierende Anwendung typischen Sprachdaten trainiert werden. Der Grund ist einfach, dass es noch kein Verfahren gibt, welches die relevanten Variationen des Sprachsignals von den irrelevanten perfekt trennen kann.

- Das Sprachmodell stellt das Wissen des Erkenners über den syntaktischen und semantischen Kontext dar. Es hat sich gezeigt, dass für größere Vokabularien (mehr als 1000 Wörter) ein statistisches Modell, welches im Wesentlichen aus Wahrscheinlichkeiten für Wortpaare oder Worttripel besteht, allen bisherigen Versuchen überlegen ist, Syntax und Semantik in einem expliziten Formalismus zu beschreiben.

Bei großem Vokabular können die verwendeten Modelle extrem aufwendig sein. Ein akustisches Modell kann über eine Million Parameter haben, die aus bis zu 100 Stunden und mehr gesprochener Sprache trainiert werden. Das Sprachmodell wird aus riesigen, viele Millionen Wörter umfassende Textdatenbasen trainiert und kann ebenfalls Parameter in der obigen Größenordnung haben. Entsprechend ist auch die Suche selbst sehr aufwendig. Ein wichtiges Forschungsthema ist daher, Verfahren zu entwickeln, die bei möglichst geringer Rechenleistung möglichst hohe Suchgenauigkeit (und damit Erkennungsrate) ermöglichen. Auf diesem Gebiet haben wir in jüngster Zeit einige interessante Ergebnisse erzielt.

Aktuelle Forschungsthemen

Zur Zeit gibt es im Wesentlichen drei Anwendungsgebiete von Spracherkennung

- Steuerung von Geräten
- Telefonische Auskunftssysteme
- Diktieren (Textgenerierung)

Für alle Szenarien gibt es inzwischen Produkte, die für geübte Benutzer und unter kontrollierten Bedingungen gut bis sehr gut funktionieren. Allerdings sind diese Systeme noch nicht robust genug, um für jeden Benutzer, in jeder Situation und bei jeder Applikation auch nur annähernd befriedigende Resultate zu liefern. Primäres Problem ist dabei die Robustheit gegen Hintergrundgeräusche (z.B. Fahrgeräusche des Autos, Sprecher im

Hidden Markov Modelle

Ein „Hidden Markov-Modell“ (HMM), siehe Abbildung, kann aufgefasst werden als Zufallsgenerator von akustischen Merkmalsvektoren. Es besteht aus einer Abfolge von Zuständen, die durch Übergänge verknüpft sind, denen gewisse Übergangswahrscheinlichkeiten zugeordnet sind. Die Aussprache eines Wortes wird modelliert als Durchlaufen dieses Modells vom Anfangszustand zum Endzustand, wobei jeder Zustand einen Merkmalsvektor x entsprechend einer dem Zustand zugeordneten Beobachtungswahrscheinlichkeit $p(x|s)$ generiert. Die Übergangswahrscheinlichkeiten modellieren die Sprechgeschwindigkeit (schnelle Aussprache: Überspringen von Zuständen; langsame Aussprache: Verweilen in einem Zustand), während die Beobachtungswahrscheinlichkeiten die Variabilität in der Aussprache beschreiben.

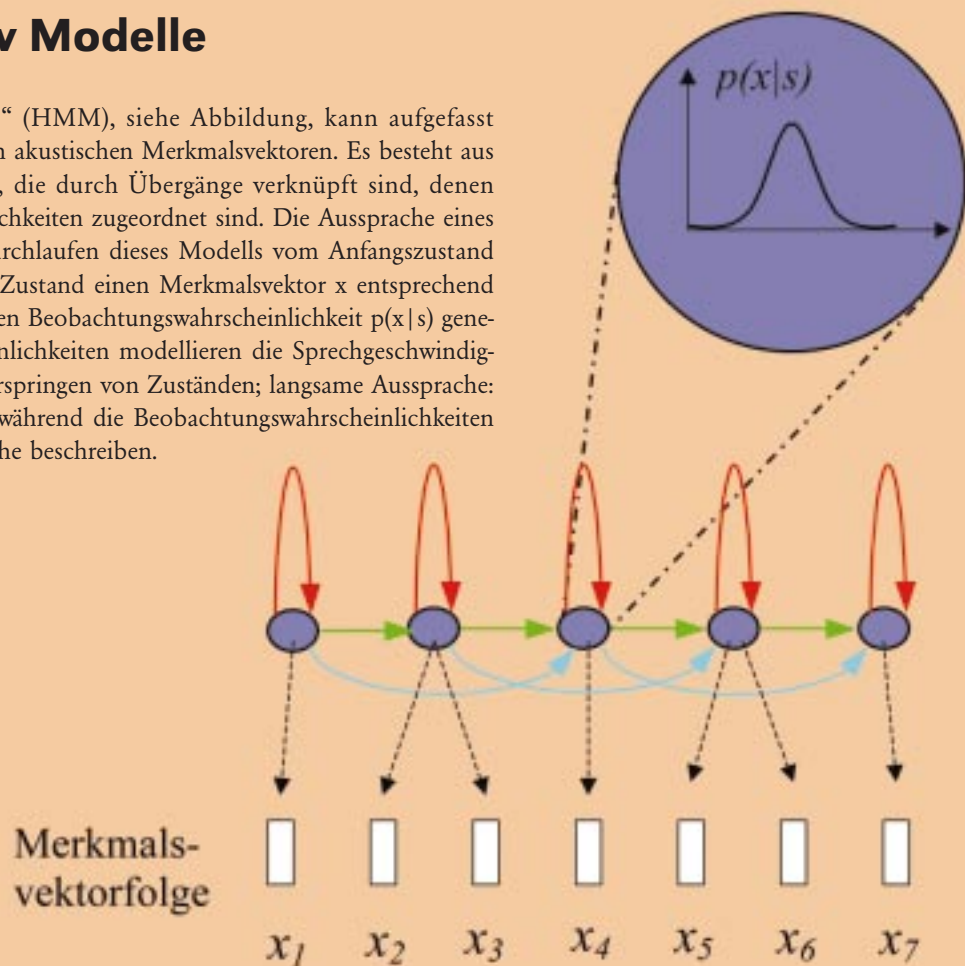


Abb. 2: Das „Hidden Markov Modell“.

Hintergrund, Musik, ...). Dieses Problem wird verschärft durch den Wunsch bzw. die Notwendigkeit, bei vielen Anwendungen von einem Nahbesprechungsmikrophon zu einem fest montierten Mikrophon überzugehen.

In unserer Gruppe arbeiten wir an Algorithmen, um das gewünschte Sprachsignal von Hintergrundgeräuschen zu trennen. Dabei werden auch mehrkanalige Ansätze (Mikrophonarrays) untersucht, die sich die räumliche Trennung von Nutz- und Störsignal zunutze machen. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für ein verrauschtes Sprachsignal vor und nach der Anwendung eines Verfahrens zum Entfernen von Hintergrundrauschen¹. Für experimentelle Untersuchungen haben wir ein Akustiklabor eingerichtet, siehe Abbildung 4, das es uns ermöglicht, die Leistungsfähigkeit entwickelter Verfahren in Hörexperimenten zu bewerten.

Die akustische Modellierung im Spracherkenner ist zur Zeit im Wesentlichen unabhängig von der Signalaufbereitung (Rauschunterdrückung) und Merkmalsextraktion. Hier erwarten wir Verbesserungen durch eine engere konzeptuelle und algorithmische Kopplung.

Zukünftige Anwendungen

Gesprochene Sprache kommt im Zusammenhang mit einem Computer in zwei Varianten vor:

- Sprache als Eingabemodalität für eine Maschine. In diese Kategorie fallen die bisher erwähnten Anwendungen.
- Auf Datenträgern gespeicherte Archive gesprochener Sprache.

In dieser zweiten Variante stellt Sprache eine potentielle Wissensquelle dar, die man sich mit Hilfe von Spracherkennung erschließen möchte. In der einfachsten Form kann das ein Multimedia-Indexsystem sein, welches Spracherkennung verwendet, um die Sprachsignalarchive zu transkribieren, d.h. in Text umzusetzen. Anschließend wird dann mit Information Retrieval Methoden ein Index erstellt mit Zeigern auf die entsprechenden Stellen im Audioarchiv. Ein Benutzer kann dann nach Schlüsselwörtern suchen und so z.B. alle Nachrichtensendungen zu einem gewissen Thema finden. Eine weitere Anwendung ist das automatische Mitschreiben in einer Besprechung.

Aber auch die erste Klasse von Anwendungen, Sprache als Eingabemodalität für eine Mensch-Maschine-Kommunikation, hat in Zeiten von Internet und mobilen Terminals eine weitere umfassendere Bedeutung. Eine naheliegende Applikation ist der Zugriff auf Informationen, die z.B. im Internet zu finden sind, von unterwegs mit Hilfe eines Handys. Hier spielen wieder die oben erwähnten Robustheitsaspekte eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus ergeben sich neue Aspekte aus dem Bereich der Verarbeitung natürlicher Sprache, wie z.B. die automatische Fragenbeantwortung, Themenerkennung etc.

„Voice“-Portale für das Internet werden seit einiger Zeit diskutiert. Ein w3-Standardisierungsgremium definiert VoiceXML, ein Annotierungsstandard für Web-Dokumente, der einen Zugriff auf Dokumente per Sprache erlauben soll (<http://www.w3.org/Voice/>).

Auch aus einem anderen Grund ist das Internet für die zukünftige Entwicklung der Spracherkennung von großer Bedeutung: Es

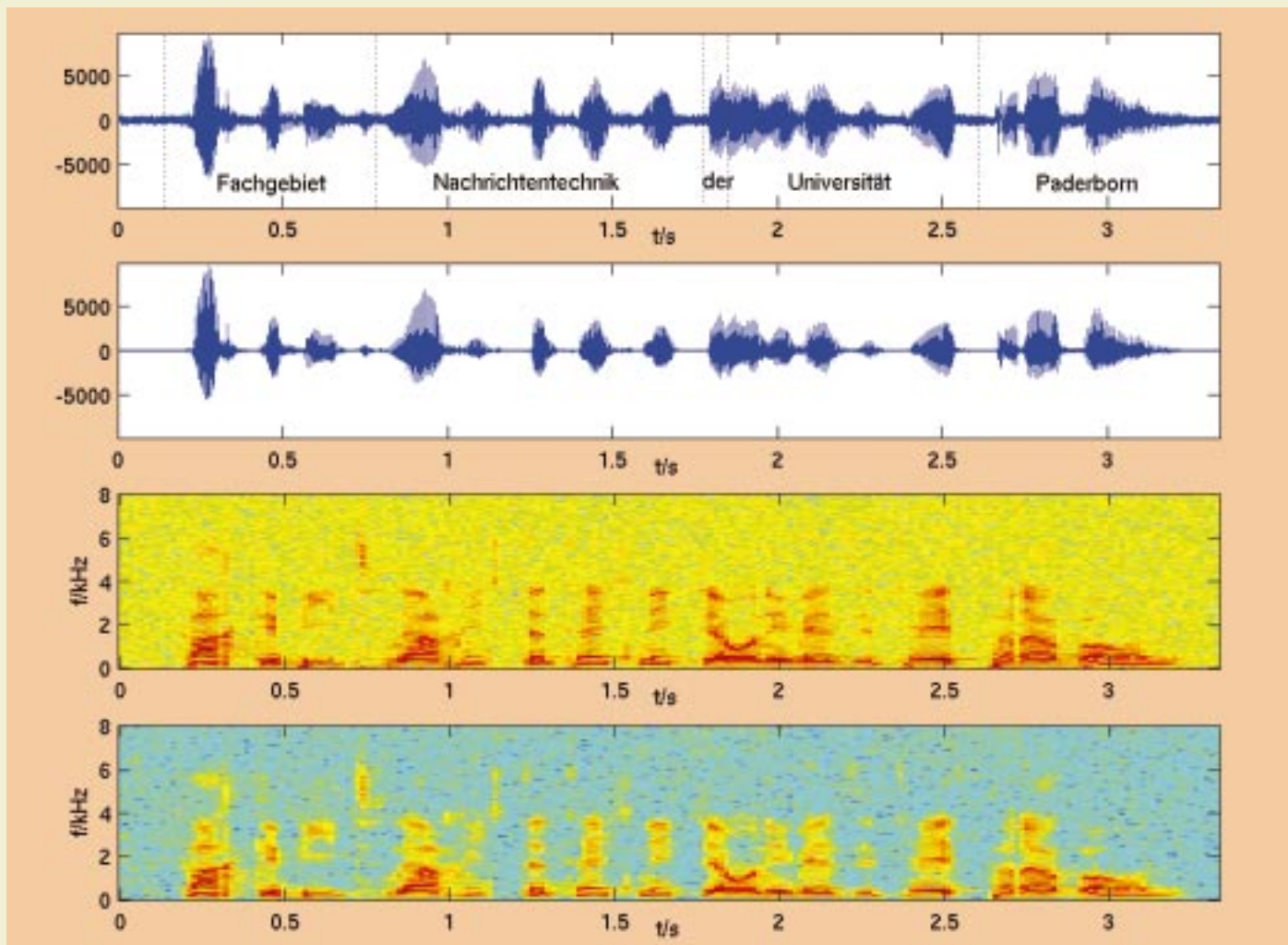


Abb. 3: Zeitsignal der verrauschten Äußerung „Fachgebiet Nachrichtentechnik der Universität Paderborn“. Darunter: Signalverlauf nach Anwendung eines Verfahrens zur Eliminierung von Hintergrundrauschen. Anschließend Spektrogramme der verrauschten und entrauschten Äußerung. Ein Spektrogramm ist eine Darstellung der Leistungsverteilung eines Sprachsignals in der Zeit-Frequenzebene. Die Leistungsdichte wird durch Farbcodierung dargestellt (Skala von rot nach blau mit rot: hohe Leistungsdichte, blau: geringe Leistungsdichte).

ist ein quasi unerschöpfliches Reservoir von Daten, die z.B. zum Training eines Spracherkenners verwendet werden können. Ein Audio- oder Text-Crawler könnte über Nacht das Netz nach Daten absuchen, die für das Training des Erkenners genutzt werden können, sozusagen ein System, das über Nacht, wenn andere schlafen, immer mehr dazulernt. Zumindest in dieser Hinsicht wäre es dann dem Menschen überlegen.

Zusammenfassung

Einen den menschlichen Fähigkeiten ebenbürtigen maschinellen Spracherkennung gibt es noch nicht. Ein wichtiges



Abb. 4: Akustiklabor des Fachgebiets Nachrichtentechnik.

Forschungsthema auf dieses Ziel hin, in dem sich das Fachgebiet Nachrichtentechnik der Universität Paderborn engagiert, ist die Verbesserung der Robustheit des Erkenners gegen jede Art von Hintergrundgeräuschen. In heutigen und verstärkt in zukünftigen Anwendungen ist die Erkennung nur ein Systembaustein, der durch weitere Komponenten der Verarbeitung natürlicher Sprache, wie z.B. Fragenbeantwortung, Themenerkennung und -verfolgung, ergänzt wird. Nur so kann die Vision eines nützlichen, dem Menschen „aufs Wort“ gehorchenden Assistenten Wirklichkeit werden.

Literatur

[Lip97] R. Lippmann, „Speech Recognition by Machines and Humans“, Speech Communication, Vol. 22, No. 1, 1997, pp 1-15.

[Pad02] M. Padmanabhan, M. Picheny, „Large-Vocabulary Speech Recognition Algorithms“, IEEE Computer Magazine, Vol. 35, No. 4, 2002, pp 42-50.

¹ Die Sprachsignale können unter <http://www-nt.upb.de/Forschung> angehört werden.

Ändert der Computer den Unterricht?

Erste Ergebnisse empirischer Forschung zum Lehren und Lernen mit neuen Medien

Derzeit beherrschen zwei gegensätzliche Diskussionslinien die Auseinandersetzungen um Schule und Lehrerbildung: Einerseits zeigen internationale Vergleiche drastisch auf, dass die Leistungen der deutschen Schülerinnen und Schüler trotz eines hochselektiven Schulsystems nur im Mittelmaß liegen. Andererseits werden seit rund 20 Jahren immense Anstrengungen unternommen, durch Ausstattungsinisiativen und Fortbildungen die neuen Medien in den Unterrichtsalltag zu integrieren – in der Hoffnung, Lernen dadurch leichter und effizienter zu machen. Doch warum sind die Wirkungen dieser Anstrengungen bisher so gering? Und wie ist es möglich, sie zu steigern? Diesen Fragen wird seit ca. einem Jahr in einem interdisziplinären Forschungsprojekt unter der Leitung von PD Dr. phil. Sigrid Blömeke nachgegangen, an dem sieben Fächer der Universität Paderborn beteiligt sind.

Die Chancen der neuen Medien

Wie bedeutend der Forschungsgegenstand des Lehrens und Lernens mit neuen Medien im Unterricht ist, lässt sich daran ablesen, dass Weinrich und Schulz-Zander (2000) in einer Bestandsaufnahme für ‚Schulen ans Netz‘ feststellen konnten,

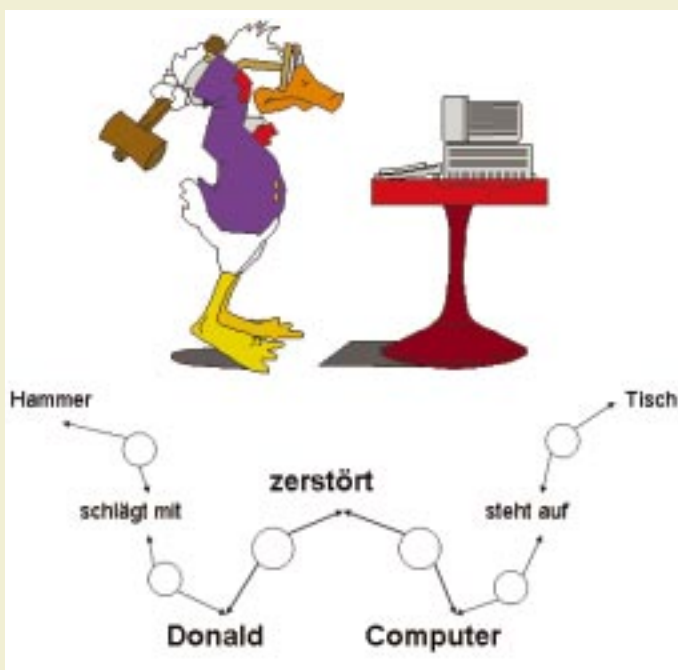


Abb. 1: Lernende entwickeln zu einem Gegenstand je ein verbales und ein nonverbales mentales Modell. Eine Wissensrepräsentation in zwei Formen der Codierung als Text und Bild sorgt für eine bessere Verankerung des Wissens, da die Entwicklung des jeweiligen mentalen Modells unterstützt wird.



PD Dr. phil. Sigrid Blömeke, vertrat bis 30.3.2002 eine Professur für Schulpädagogik in der Erziehungswissenschaft. Seit dem 1.4.2002 vertritt sie eine Professur für Medienpädagogik (Schwerpunkt: neue Medien) an der Universität Hamburg. Von 1995 bis 2001 war Sigrid Blömeke Geschäftsführerin des Paderborner Lehrerbildungszentrums (PLAZ).

dass die neuen Medien in der Sekundarstufe II flächendeckend in allen Schulen eingesetzt werden. In der Sekundarstufe I gilt dies immerhin für 85 Prozent der Schulen. Lediglich die Primarstufe bleibt dahinter noch ein wenig zurück, aber gerade dies wird sich vermutlich in den kommenden Jahren deutlich ändern. Dass dies auch prinzipiell eine wichtige Entwicklung ist, um Lernen zu unterstützen, zeigt die Forschung zu den Chancen der neuen Medien: Durch die Möglichkeiten, statische und dynamische Bilder, Text und Ton zu kombinieren und die Ablaufgeschwindigkeit individuell zu steuern, ist es für Lernerinnen und Lerner einfacher, Wissen aufzunehmen und zu verarbeiten (Abbildungen 1 und 2). Darüber hinaus ermöglichen es die neuen Medien, im Unterricht von authentischen Problemen auszugehen, indem beispielsweise Naturphänomene durch Digitalisierung an die zeitlichen und räumlichen Möglichkeiten der Schule angepasst werden können. Und schließlich können die neuen Medien eine verständnisorientierte Aktivität der Schülerinnen und Schüler steigern und sie bei der Wissenskonstruktion unterstützen, indem sie ihnen durch rasche Datenverarbeitung zeitaufwändige Routineprozeduren abnehmen. Im Extremfall ist es sogar noch nicht einmal notwendig, dass die Lernenden die zugrunde liegenden mathematischen Regeln kennen.

Das Problem

der Integration in bestehende Handlungsmuster

So weit – so gut. Lernen mit Medien muss allerdings didaktisch anders arrangiert werden als personal ausgerichteter Unterricht. Während in diesem Information und Kommunikation unmittelbar miteinander verknüpft sind, fallen sie durch einen Medieneinsatz auseinander (vgl. Kerres 2000). Medien unter denselben didaktischen Prinzipien wie personalen Unterricht einzusetzen, erscheint vor diesem Hintergrund nicht adäquat. Gerade aus diesem Grund konnten in der Vergangenheit die hohen Erwar-

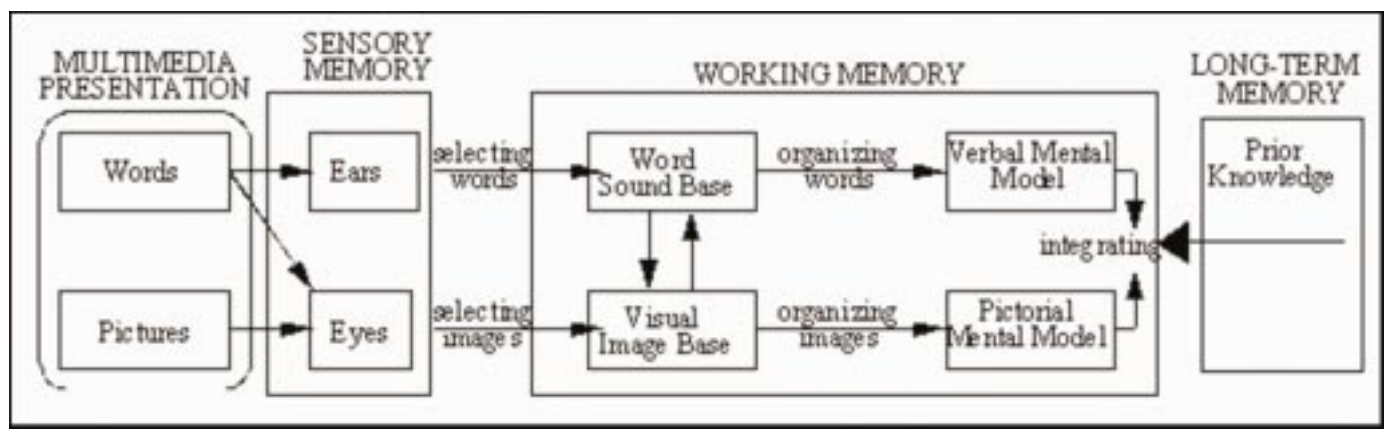


Abb. 2: Wenn die verbalen Informationen nicht als Text, sondern zeitlich parallel in gesprochener Form präsentiert werden erfolgt eine Steigerung der Lernwirksamkeit. Auf diese Weise kann die visuelle Wahrnehmung entlastet werden. Dies gilt nicht nur für statische Bilder, sondern auch für Animationen. Damit können zeitliche Verlaufsstrukturen integriert werden und dynamische mentale Modelle entstehen. Die neuen Medien erlauben es darüber hinaus, die Geschwindigkeit des Ablaufs selbst zu bestimmen, sodass eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses vermieden werden kann (Quelle: Moreno/Mayer 2000).

tungen an den Einsatz neuer Medien im Unterricht allerdings vermutlich nicht erfüllt werden. Innovationen werden in gewohnte Abläufe integriert, sodass auch die Medien voraussichtlich nur als ‚add-on‘ Einlass in das traditionelle Handeln der Lehrerinnen und Lehrer gefunden haben. Sollte sich diese Theorie bestätigen, würden damit die oben beschriebenen Chancen verspielt.

Warum dies der Fall sein könnte, erläutert die Theorie der kollektiv geteilten Handlungsmuster (Abbildung 3). Bei diesen Mustern handelt es sich in der klassischen Definition von Ehlich und Rehbein um „Formen von standardisierten Handlungsmöglichkeiten, die im konkreten Handeln aktualisiert und realisiert werden.“ Solche Handlungsmuster gibt es vermutlich auch bei Lehrerinnen und Lehrern, erworben in dreizehn Jahre langer eigener Schulzeit, nicht wesentlich gebrochen durch die universitäre Lehrerbildung und wieder gestärkt beim Eintritt in die berufliche Praxis.

Wie handeln Lehrerinnen und Lehrer beim Einsatz neuer Medien?

Ein Beweis für diese Vermutung steht allerdings noch aus. Forschung im unmittelbaren Schulalltag ist eher selten. Ebenso wenig ist bekannt, wie das Handeln von Lehrerinnen und Lehrern so verändert werden kann, dass die Chancen der neuen Medien angemessen genutzt werden. Ein siebenköpfiges Team der Universität Paderborn stellt sich seit Mitte 2001 der Aufgabe, diese offenen Fragen zu klären. Sigrid Blömeke (Schulpädagogik), Peter Bender (Didaktik der Mathematik), Werner Graf (Germanistik), Johannes Magenheimer (Didaktik der Informatik), Peter Reinhold (Didaktik der Physik) und Gerhard Tulodziecki (Medienpädagogik) gehen folgenden Fragen nach:

Wie setzen Lehrerinnen und Lehrer die neuen Medien im alltäglichen Unterricht eigentlich ein? Lassen sich typische Handlungsmuster erkennen? Welche Faktoren bedingen Unterschiede beim Einsatz neuer Medien? An den identifizierten Punkten sollen dann Interventionen entwickelt werden, die ihren Ausgang bei dem beobachteten Handeln nehmen und eine Weiterentwicklung hin zu einem problemorientierten und schüleraktivierenden Unterricht ermöglichen.

Videoaufnahmen und Tiefeninterviews

Die Handlungsmuster werden erhoben, indem in ganz Deutsch-

land Videoaufnahmen im Unterricht von Lehrerinnen und Lehrern in der Sekundarstufe II des allgemeinbildenden und beruflichen Schulwesens durchgeführt werden. Diese werden kategoriengestützt unter verschiedenen Fragestellungen analysiert. Die Projektbeteiligten haben sich seit Sommer 2001 freiwillig aufgrund direkter Anschreiben von Schulen oder auf Bekanntmachungen in Verbandszeitschriften, E-Mail-Verteilern etc. gemeldet. Um auch die Gründe für das Handeln der Lehrerinnen und Lehrer zu erfassen, wird mit ihnen im Anschluss an die Aufnahmen jeweils ein ausführliches Interview zu ihren Vorstellungen geführt, die sie mit ihrer Rolle, der Rolle ihrer Schüler, den neuen Medien und ihren Bildungszielen verbinden. Solche subjektiven Theorien besitzen für das Handeln eines Individuums einen hohen Stellenwert. Analog zu objektiven Theorien kann von einer gewissen Komplexität dieser Selbst- und Welt-sicht ausgegangen werden, die die Funktionen der Erklärung, Prognose und Technologie erfüllen und eine entsprechende implizite Argumentationsstruktur besitzen (vgl. Groeben u.a. 1988). Ausgehend von der Vorstellung vom Menschen als kognitiv konstruierendem Subjekt mit der Fähigkeit zur Reflexivität

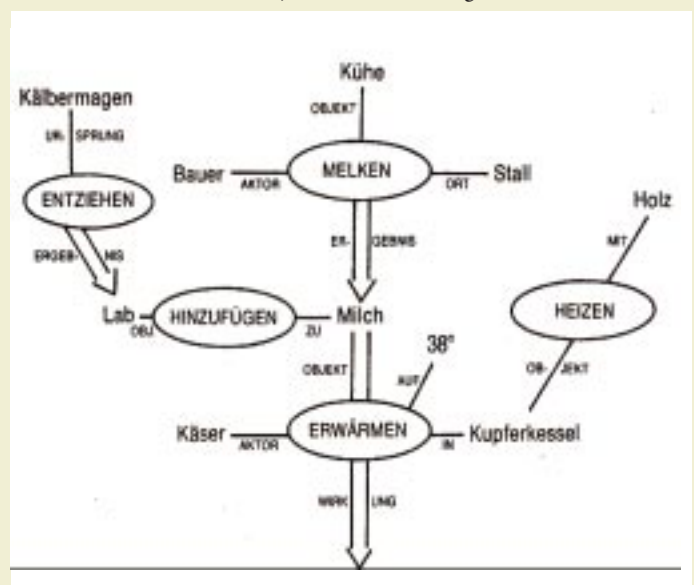


Abb. 3: Im Gehirn sind Handlungsmuster in Form einer ‚Baumstruktur‘ mit Haupt- und Nebenlinien gespeichert. Die Muster umfassen Abfolgen vollständiger Szenen, die die Handlungsgrößen Objekt – Ort – Rollen – Tätigkeit – Ergebnis enthalten. Aebli (1983, S. 188) verdeutlicht dies am Beispiel der Käseherstellung in den Alpen.

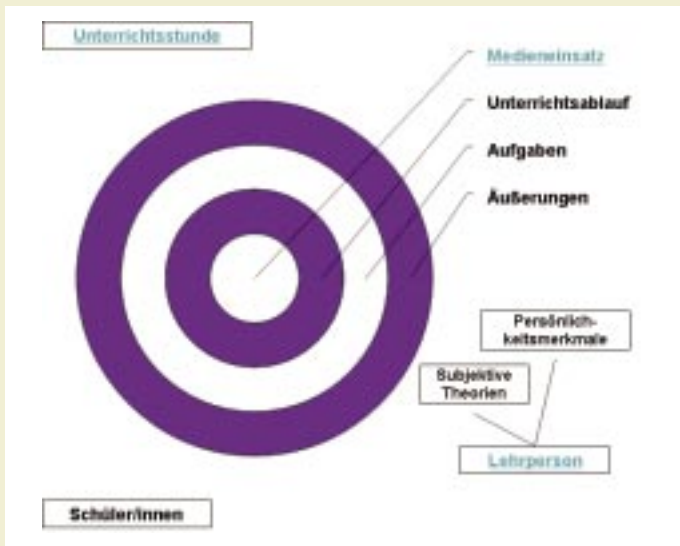


Abb. 4: Unterricht ist ein äußerst komplexes Geschehen. Die Grafik zeigt, welche Ebenen analysiert werden müssen. Im Kreis finden sich die Kategorien wieder, die sich konkret beobachten lassen. Im Zentrum steht der Einsatz neuer Medien. Eine Rolle spielen aber auch allgemeine Merkmale des Unterrichtsablaufs, die Aufgaben, die den Schülerinnen und Schülern gestellt werden, sowie die Äußerungen von Lehrer- und Schülerseite. Ergänzt werden diese Beobachtungsebenen durch Kategorienebenen zu den Merkmalen der Unterrichtsstunde, der Schülerinnen und Schüler sowie der Lehrperson mit ihren subjektiven Theorien. Diese werden durch Tiefeninterviews erfasst.

und potenziellen Rationalität können wesentliche Bestimmungsmerkmale interpretativ erschlossen werden. Da es sich bei Unterricht um ein äußerst komplexes Geschehen handelt, stellt sich das Kategoriensystem, wonach die Materialien analysiert werden, ebenfalls als vielschichtig dar. Abbildung 4 stellt die grundsätzlichen Ebenen dar.

Erste Ergebnisse: zwei Lehrertypen

Idealtypisch seien im Folgenden die Integration der neuen Medien in ein fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch mit Hilfe einer Präsentation durch die Lehrperson und die Verwendung der neuen Medien im Rahmen eines Lernumgebungs-Konzeptes durch die Schülerinnen und Schüler gegenübergestellt.

Im ersten Fall (Abbildung 5) sieht sich der Lehrer in der Rolle



Abb. 5: Das Bild zeigt eine Mathematikstunde in einem Grundkurs der Oberstufe. Thema ist die Kurvendiskussion bei gebrochen-rationalen Funktionen. Der Lehrer präsentiert die zentralen Inhalte mit Hilfe eines Beamers an der Wand. Die Schülerinnen und Schüler notieren sich wichtige Aussagen oder rechnen Zwischenschritte aus, zum Beispiel die Ableitungen.



Abb. 6: Das Bild zeigt eine Deutschstunde in einer Berufsschule, zweites Ausbildungsjahr. Thema der Unterrichtsreihe ist die Gründung einer Werbeagentur und die Bewältigung des Auftrags, ein Werbekonzept für UMTS-Geräte zu entwickeln. Der Lehrer sitzt mit einer Gruppe von Schülern zusammen und arbeitet an der Unterrichtsdokumentation. Andere Schüler bearbeiten in Gruppen Aufgaben wie die Erstellung einer Kostenkalkulation, den Entwurf eines Flyers oder die Recherche nach Informationen über UMTS-Geräte.

des Hauptakteurs im Unterricht. Er führt in Bezug auf seine Rolle im Klassenzimmer aus: „Ich bin jemand, der dort vorne steht – und da bleibe ich auch stehen.“ Auf der Lehrperson lastet die vollständige Verantwortung für den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler, für die er den Unterrichtsinhalt aufbereitet und denen er die Informationen systematisch präsentiert. Der Lehrer formuliert nämlich weiter: „Ich bin mir ziemlich sicher, dass Themen, die hier im Unterricht, in Mathematik der 12. Klasse, dran kommen, von Schülern nicht eigenständig erarbeitet werden können. Also versuche ich, mit geeigneten Schritten, durch Aufgabenwahl, durch Einsatz von Tafel oder Folie, Schüler im Gespräch, in der Diskussion, zu den Zielen hinzuführen, die mir vorschweben.“ Der Lehrer steuert allein und vollständig den Unterrichtsablauf; die Schülerinnen und Schüler nehmen die dargebotenen Informationen auf und lernen durch Nachvollzug: „Die Schüler sollen schon Dinge, die wir hier gemacht haben, nachvollziehen können. Sie sollen eine Vielzahl von Dingen auch nachrechnen können.“

Diesem Typus soll nun ein zweites Handlungsmuster gegenüber gestellt werden. In diesem Fall nimmt der Lehrer die Rolle eines Moderators ein (Abbildung 6). Er schafft Lerngelegenheiten und stellt die notwendigen Werkzeuge bereit. Ganz nebenbei will er sich zudem mit Hilfe der Medien entlasten, indem die Schülerinnen und Schüler einen Teil der Verantwortung für den Lernprozess tragen. Sie müssen in umfangreichen Einzel-, Partner- und Gruppenarbeitsphasen aktiv tätig werden, wobei der Lehrer die Aufgabe eines Beraters übernimmt. Die Schülerinnen und Schüler haben die Aufgabe, eine Werbeagentur zu gründen und ein Werbekonzept für die Vermarktung von UMTS-Geräten zu entwickeln und umzusetzen. Der befragte Lehrer, ausgebildet für die Unterrichtsfächer Deutsch und Englisch in den Sekundarstufen II und I, seit zwei Jahren an einem Berufskolleg tätig und hier erstmals mit den neuen Medien konfrontiert, schildert den Verlauf der Unterrichtsreihe: „Ich habe einen großzügigen, weitgezogenen Rahmen abgesteckt. Die Schritte haben die Schüler mehr oder weniger selbst initiiert – aus der Notwendigkeit der

Aufgabenstellung heraus. Die haben also erkannt, wir haben folgendes Produkt und da müssen wir irgendwie hin mit einer Gruppe von Leuten. Die haben dann eine Struktur [Firmenstruktur, Verantwortlichkeiten der einzelnen Mitarbeiter und Arbeitsschritte; S.B.] entwickelt. In dieser Struktur sind dann verschiedene Lernsituationen entstanden.“

In sechs Doppelstunden agierten die Schüler weitgehend selbstständig und in Gruppen. Eingebettet waren weitere Doppelstunden, die der Präsentation von Zwischenergebnissen (auf Wunsch des Lehrers) und der Abstimmung der Arbeitsschritte dienen (auf Wunsch der Schüler). Die neuen Medien wurden in Form von 15 PCs genutzt, und zwar in erster Line als Werkzeug zur Recherche von Informationen, zur Kommunikation untereinander und mit Experten, zur Berechnung von Kosten und Preisen, zur Gestaltung der Werbematerialien und zur Dokumentation der Projektergebnisse. Der Lehrer führt zu seiner Rolle aus: „Ich sehe mich nicht mehr als Vermittler von Wissen. [...] Ich sehe mich eher als jemand, der versucht, Lernsituationen bereit zu stellen und den Schülern Möglichkeiten zu geben, sich Dinge selbstständig zu erarbeiten.“ Aus der konkreten Planung hat er sich weitgehend herausgehalten: „Ich habe versucht, einen Großteil der Verantwortung auch auf die Schüler zu übertragen.“

Ausbildung dieser Handlungsmuster noch nicht geklärt

Wie sich diese unterschiedlichen Lehr-Lernkonzepte, die in der Unterrichtsrealität im Übrigen noch durch Mischformen ergänzt werden, herausgebildet haben, muss noch weitgehend offen bleiben. Weder die Dauer der Berufserfahrung scheint dabei die ausschlaggebende Rolle zu spielen: Das traditionelle Handlungsmuster des Wissensvermittlers findet sich sowohl bei älteren als auch bei jüngeren Lehrerinnen und Lehrern (wenn auch die Umsetzung der Moderatorfunktion in Reinform nur bei zwei jüngeren Lehrern hervortrat). Noch die Expertise im Umgang mit den neuen Medien scheint der entscheidende Faktor zu sein: Beide Konzepte finden sich sowohl bei Anfängern als auch bei sehr erfahrenen Mediennutzern. Und die Unterrichtsfächer sind offensichtlich ebenso wenig ausschlaggebend, wenn sich auch das Lernen durch Nachvollziehen als Konzept bisher im Mathematik-Unterricht größerer Beliebtheit erfreut als beispielsweise in Deutsch oder in Informatik.

Letztlich bieten sich derzeit vor allem zwei Argumente zur Erklärung der Unterschiede an: Zum einen erwähnen einige der befragten Lehrerinnen und Lehrer, die mindestens Ansätze von problemorientiertem oder kooperativem Unterricht aufwiesen, einen ‚heilsamen Zwang‘ durch externe Bedingungen auf verschiedenen Ebenen (wobei sich die Frage stellt, welche Bedingungen die entsprechenden Lehrerinnen und Lehrer eigentlich in die Lage versetzen, sich diesen Rahmenbedingungen zu beugen und ihren Unterricht zu verändern) – sei es, dass eine Schule die neuen Medien zum Schwerpunkt in ihrem Schulprogramm gemacht hat; sei es, dass im Zentralabitur entsprechende Aufgaben vorgesehen sind; sei es, dass die Vorbereitung auf eine mediengeprägte berufliche Wirklichkeit Veränderungen in der Schule forderte. Letzteres scheint in erster Linie im beruflichen Schulwesen der Fall zu sein, zu deren Rahmenbedingungen der Lehrer aus oben dargelegtem Fall noch ausführt: „Man wird auch mittlerweile angehalten, mit den Kollegen zusammenzuarbeiten.“

Doch das Vorhandensein förderlicher Rahmenbedingungen scheint nur ein wichtiger Aspekt zu sein. Zum anderen berichten weitere Lehrpersonen, die Elemente eines problemorientierten und kooperativen Unterrichts aufgenommen haben, von einer regelmäßigen Teilnahme an Fortbildungen, und zwar nicht an fachwissenschaftlichen Vorträgen, sondern an methodenorientierten Fortbildungen v.a. im Rahmen von wissenschaftlich begleiteten Modellversuchen (z.B. „Selbstlernen im Mathematikunterricht“ – SELMA) oder von wissenschaftlich unterstützten Fachlehrer-Vereinigungen (z.B. „Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht“ – MNU).

Drei Schritte zur Veränderung von Unterricht

Wenn neue Medien die unterrichtliche Realität wirklich verändern sollen, sind von jedem Einzelnen also offensichtlich gleich drei Schritte zu leisten: 1. eine Lösung vom fachsystematischen Erarbeiten von Unterrichtsinhalten und eine Entwicklung hin zu einer problemorientierten Unterrichtsgestaltung, 2. eine Lösung vom lehrerzentrierten Vermitteln von Wissen und eine Entwicklung hin zur Unterstützung von aktiven Aneignungsprozessen der Schülerinnen und Schüler in Einzel-, Partner und Gruppenarbeit und 3. eine Nutzung der Chancen der neuen Medien in diesem Zusammenhang. Die Bewältigung dieser Trias kommt einer Herkules-Aufgabe gleich. In einigen Jahren kann hoffentlich als geklärt gelten, wie diese Prozesse von Seiten der Lehreraus- und Lehrerfortbildung unterstützt werden können.

Literatur

- Aebli [1983], Hans: Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Stuttgart: Klett.
- Blömeke [2000], Sigrid: Medienpädagogische Kompetenz. Theoretische und empirische Fundierung eines zentralen Elements der Lehrerbildung. München: KoPäd.
- Blömeke [2002a], Sigrid: Empirische Forschung zum Einsatz von Medien im Unterricht. Kurseinheit 6.2 des Master-Studiengangs „Medien und Informationstechnologien in Erziehung, Unterricht und Bildung“. Hagen: FernUniversität (im Druck).
- Blömeke, Sigrid [2002b]: Lehren und Lernen mit neuen Medien. Forschungsstand und Forschungsperspektiven. Erscheint in: Unterrichtswissenschaft (Weinheim).
- Kerres [2000], Michael: Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung. Zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. In: Bildung und Erziehung 53 (2000) 1, S. 19-39.
- Moreno, R./Mayer, R. E. [2000]: A Learner-Centered Approach to Multimedia Explanations. Deriving Instructional Design Principles from Cognitive Theory. In: Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning (<http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp>, Ausdruck v. 26.09.2001).
- Strauss, A./ Corbin, J. [1996]: Grounded Theory. Grundlagen Qualitativer Sozialforschung. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Erziehung nach Auschwitz

Erinnern an den Holocaust als pädagogische Aufgabe

„Ein Leben nach dem Überleben“ lautet der Titel der Autobiographie Leon Zelmans, eines der heute führenden Mitglieder der Jüdischen Gemeinde Wiens, der aus einem polnischen Stetl stammt, dort nach dem Einmarsch der Deutschen vertrieben und ins Ghetto Łódź verschleppt wurde, Auschwitz, Todesmarsch und Mauthausen überlebte, dabei fast alle Angehörigen verlor, 1945 mit gerade mal 17 Jahren – als Fremder – nach Wien kam und hier sein „Leben nach dem Überleben“ begann. Leon Zelmans Werk ist u.a. das Wiener Jewish Welcome Center, das jährlich ca. 300 Wiener Überlebenden des Holocausts ermöglicht, ihre alte Heimat auf Kosten der Gemeinde Wien wieder zu sehen. Er habe „etwas Liebe an die Menschen geben“ wollen, die nach 1938 vertrieben worden seien und Heimat wie Angehörige verloren hätten. Die Begegnung mit ihm im Jewish Welcome Center direkt vor dem Stephansdom gehörte zu den besonders eindrucksvollen Erfahrungen, die eine Paderborner Studierendengruppe des Faches Erziehungswissenschaft kürzlich auf einer Exkursion machen konnte, die Teil einer Lehrveranstaltung „Spurensuche als Lernprozess: Jüdisches Wien“ gewesen ist. Sie steht im Zusammenhang eines Lehr- und Forschungsschwerpunktes zu pädagogischen Aspekten des Gedenkens und Erinnerns an den Holocaust.

Pädagogik und NS-Vergangenheit – ein belastetes Verhältnis

Entwickelt hat sich der Schwerpunkt aus der Auseinandersetzung



Prof. Dr. phil. Wolfgang Keim ist seit 1978 Professor für Erziehungswissenschaft an der Universität Paderborn und Mitbegründer des Universitätsarchivs. Arbeitsschwerpunkte sind v.a. Historische Bildungsforschung des 20. Jahrhunderts, NS-Vergangenheit und Erziehungswissenschaft, Pädagogik des Gedenkens und Erinnerns.

mit der NS-Vergangenheit der Pädagogik, die – ähnlich wie andere Professionen – eigene Mitverantwortung jahrzehntelang erfolgreich verdrängt und dann nur sehr zögerlich angenommen hat. Immerhin hatten Hochschulen, Schulen, außerschulische Jugendbildung und Erwachsenenbildung mehrheitlich an verantwortlicher Stelle die rassistische Ideologie vermittelt, im Rahmen von Napolas und Adolf-Hitler-Schulen einerseits, von Hilfsschulen und Jugendfürsorgeeinrichtungen andererseits an Auslese- und Ausmerzprozessen mitgewirkt, waren wie im okkupierten Polen an der Zurichtung von „Herren-“ und „Untermenschen“ beteiligt und hatten an Kriegsvorbereitung und Kriegsführung wesentlichen Anteil bis zu so genannten „Kriegsdiensten“ der Geisteswissenschaften. Für das Gedächtnis der Erziehungswissen-



Foto: Gedenkstätte Wewelsburg

Aus 12 Sig-Runen bestehendes, in der heutigen rechten Szene als „Schwarze Sonne“ bezeichnetes Bodenornament in der während der Nazizeit durch KZ-Häftlinge zur SS-Kultstätte ausgebauten Wewelsburg in der Nähe von Paderborn. In der heutigen Gedenkstätte Wewelsburg wird der innere Zusammenhang von „Herrenmenschen“-anspruch und „Untermenschen“-vernichtung im Namen einer abstrusen, menschenverachtenden Ideologie besonders deutlich, zugleich deren Weiterwirken bis zum heutigen Tag erschreckend sichtbar.



Leon Zelman (links) mit Wolfgang Keim im Wiener Jewish Welcome Center.

schaft als Disziplin ist das Erinnern an eigene Mitverantwortung von fundamentaler Bedeutung, weil es auf die Notwendigkeit des Nachdenkens über die jeder Pädagogik zugrunde liegenden Werte und ethischen Normen verweist und zur kritischen Überprüfung (reform-)pädagogischer Traditionsbestände zwingt. So ist bis heute viel zu wenig bekannt, dass z.B. der Begründer der Deutschen Landerziehungsheime, Hermann Lietz, dezidiert Antisemit war oder die Autorin des Buches „Das Jahrhundert des Kindes“, die schwedische Frauen- und Kinderrechtlerin Ellen Key, wie viele andere Pädagogen, einer konsequenten Eugenik bis hin zur Euthanasie anhing.

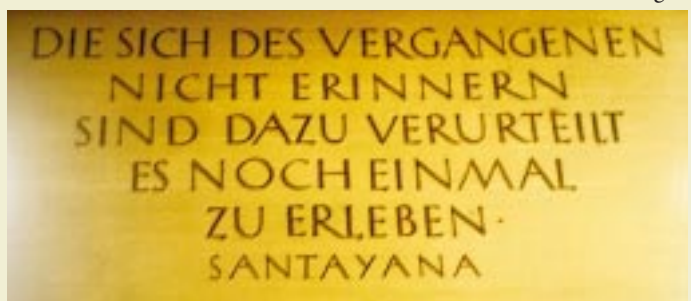
Pädagogik des Gedenkens und Erinnerns – ein Lehr- und Forschungsschwerpunkt

Neben der Erforschung solcher Zusammenhänge, die die Geschichte des Faches und der eigenen Profession betreffen, stellt sich für die Pädagogik als neue Aufgabe die (Mit-)Arbeit an der Erinnerung im Sinne kollektiver Vergegenwärtigung nazistischer Verbrechen, ihres Tatzusammenhangs, vor allem aber ihrer Opfer und Täter wie nicht zuletzt der Frage nach aktueller Bedeutung dieses Abschnittes deutscher Geschichte. Den Stellenwert solchen Gedenkens und Erinnerns zeigen die über Jahre sich hinziehenden Diskurse über Auschwitz, beispielsweise im „Historikerstreit“ und in der Walser-Bubis-Debatte, die Auseinandersetzungen über ein nationales Mahnmal in Berlin, das kaum zu überbietende Interesse an den beiden Wehrmachtsausstellungen, die immer noch wachsende Zahl von Gedenkstätten in Deutschland, aber auch zunehmende Städte- und Schulpartnerschaften mit den östlichen Nachbarn. Im Verbund mit Historikern und Sozialwissenschaftlern gilt es für die Pädagogik, über Ziele und Inhalte des Gedenkens und Erinnerns wie über Zugänge und Vermittlungsformen nachzudenken. Geht es dabei doch um nichts Geringeres als Bildung im Sinne einer grundlegenden Verarbeitung einer den Fortbestand jeder Zivilgesellschaft bedrohenden Erfahrung des zurückliegenden Jahrhunderts, damit eng verbunden aber auch um Identität, d.h. um Aneignung dieser Erfahrung als Teil der eigenen Geschichte, die beispielsweise erst einen offenen und damit unverkrampften Umgang mit den Nachkommen der einst von Deutschland zu „Untermenschen“ herabgewürdigten und millionenfach ermordeten Menschen insbesondere der östlichen Nachbarländer ermöglicht. Solche Überlegungen haben in der Paderborner Erziehungswissenschaft zur Einrichtung eines spezifischen Studien- und

Forschungsschwerpunktes „Pädagogik des Gedenkens und Erinnerns“ geführt, der Lehramts- und Diplomstudierenden Grundlagen zu diesem Themenkomplex vermitteln und sie zugleich in die Lage versetzen soll, entsprechende Lehr-Lernprozesse in Schule, außerschulischer Jugendarbeit und Erwachsenenbildung zu planen, zu organisieren und durchzuführen, aber auch sie für die Mitarbeit in Gedenkstätten zu qualifizieren. Dazu werden grundlegende Vorlesungen zur Thematik, darauf aufbauende bzw. sie begleitende Seminare, Praktika in Gedenkstätten sowie Projektseminare angeboten, möglichst verbunden mit vielfältigen Erfahrungen vor Ort, d.h. an Plätzen und in Regionen, die in besonderer Beziehung zu Faschismus und Holocaust gestanden haben, an denen Opfer- wie Täterseite in den Blick kommen und die in vielfältiger Weise mit Verarbeitung und Verdrängung der inzwischen bald 60 Jahre zurückliegenden Ereignisse konfrontieren. Eine wichtige Rolle spielt die Begegnung mit Menschen, die als Opfer oder als deren Nachkommen in besonderer Beziehung zur belasteten Vergangenheit stehen, an deren Bearbeitung und Verdrängung beteiligt waren oder auch nur als „ganz gewöhnliche“ Zeitzeugen Einblicke in mentale Strukturen und Verfasstheiten ermöglichen. Für die Studierenden geht es dabei nicht nur darum, Wissen über die Geschehnisse von damals sowie deren Nachwirkungen zu sammeln und kognitiv zu verarbeiten, sondern sich einem ganzheitlichen, eigene Betroffenheit, aber auch Irritationen und Widerstände einbeziehenden und reflektierenden Lernprozess auszusetzen, womit sie emotional wie kognitiv voll gefordert sind. Nicht zuletzt sollen sie Sensibilität sowie didaktische Kompetenzen zur Weitervermittlung der Thematik erwerben, wozu beispielsweise die Anlage eines Lerntagebuchs, die Erstellung eines gemeinsamen Readers mit Dokumentationen und Reflexionen oder die Erarbeitung einer Ausstellung über das Gesehene und Erfahrene dienen können. Welch unterschiedliche Erfahrungen vor Ort gemacht werden können, möchte ich am Beispiel unserer letzten beiden Exkursionen nach Südostpolen und ins Jüdische Wien erläutern.

Erfahrungen vor Ort: Südostpolen

Einer der Orte, der uns in Südostpolen besonders beeindruckt hat, war Betzec – an der Eisenbahnstrecke von Lublin nach Lemberg gelegen. Hier wurden zwischen März und Dezember 1942 auf einem Terrain von nicht mehr als 270x270 m rd. 600 000 jüdische Menschen aus ganz Europa von Deutschen und in deutschem Namen ermordet. Da die Mörder nach verübter Tat alle sichtbaren Spuren beseitigten, die Leichen verbrannten, ihre Knochen zermalmten, die Asche einpflügten und Bäume darauf pflanzten, erinnert heute an den Massenmord nur noch das vom 500 m entfernten Bahnhof Betzec zum Lager



Gedenktafel in der Gedenkstätte für die Opfer des österreichischen Freiheitskampfes 1938-1945.

Foto: Wolfgang Keim



Szczeczeszyn, Jüdischer Friedhof.

abzweigende Nebengleis. Hier kamen im Frühjahr, Sommer und Herbst 1942 pausenlos aus den verschiedensten Richtungen des von Deutschen besetzten Europas Züge mit bis zu 60 Güterwagen an, in denen Tausende von Menschen eng zusammengepfercht ohne Toilette, Wasser und Nahrung bereits eine tages-, manchmal wochenlange Fahrt hinter sich hatten, an der Lagerampe „entladen“, durch Entkleidungs- und Haarschneidebaracken bis in die – als Dusch- und Desinfektionsräume schlecht getarnten – Gaskammern geschleust und dort mittels Kohlenmonoxyd qualvoll erstickt wurden.

Anhand des Lageplans lassen sich die Funktionen der Anlage wie der Durchlauf der Menschen bis in die Gaskammern hinein rekonstruieren. Damit es nicht beim Verstehen des technischen Vorgangs bleibt, haben wir vor Ort versucht, durch Verlesen eines Augenzeugenberichtes eine Vorstellung vom Leid der Opfer zu vermitteln. Dazu eignet sich der sog. Gerstein-Bericht, der die Öffentlichkeit wachrütteln sollte, aber weder vom päpstlichen Nuntius in Berlin, noch vom schwedischen Botschafter, noch von anderen Repräsentanten des westlichen Auslandes geglaubt wurde. Gerstein, selbst der Bekennenden Kirche nahe stehend, entschloss sich aufgrund innerfamiliärer Betroffenheit durch die Euthanasie der SS beizutreten, um dort die Wahrheit über das Funktionieren des NS-Vernichtungssystems gleichsam von innen her zu erfahren. In diesem Zusammenhang wohnte er am 18. August 1942 einer Probevergasung in Belzec bei und wurde Augenzeuge der Tötung von 3 000 Juden durch Panzermotorenabgase, wobei das Entsetzliche dieser Vergasung noch dadurch gesteigert wurde, dass der Motor nicht ansprang, sodass die bereits in den Gaskammern eingeschlossenen Menschen über eine Stunde lang auf ihren Tod warten mussten.

Eine ganz andere Erfahrung ermöglichte der größte jüdische Friedhof der Region in Szczeczeszyn mit etwa 400 erhaltenen Grabsteinen auf einem riesigen, teilweise mit Bäumen überwachsenen Areal. Er erinnert an die einstige Größe jüdischer Gemeinden in Südostpolen, die durch den Holocaust ausgelöscht worden sind; zugleich lassen die vielfältigen Symbole und Darstellungen auf den Grabsteinen erkennen, welch kultureller Reichtum mit dem Ostjudentum unwiederbringlich verloren gegangen ist.

Erinnert werden wir in Polen nicht nur an die jüdischen, sondern auch die polnischen Opfer der nazistischen Okkupation, etwa in Zamosć an die 30 000 Kinder der Region, die 1942/43 im Zuge der so genannten „Germanisierung“ gewaltsam von ihren Eltern getrennt, zur „Eindeutschung“ ins „Reich“

verschleppt oder – im Falle negativer rassistischer Begutachtung – durch inhumane Behandlung zu Tode gebracht oder in Auschwitz gezielt ermordet wurden. Dieser von der deutschen Besatzungsmacht ermordeten Kinder wird im Dom von Zamosć mit Matthäus 2, Vers 18 gedacht: „Rahel beweinte ihre Kinder und wollte sich nicht trösten lassen, denn es war aus mit ihnen.“

An die Studierenden stellt die Konfrontation mit Orten wie insbesondere Belzec hohe Anforderungen, vor allem in emotionaler Hinsicht. „Arbeit“ an der Erinnerung enthält ein hohes Maß an Trauer: Trauer sowohl über die barbarische Art, mit der nahezu die gesamte jüdische Bevölkerung der Region vor einem halben Jahrhundert von Deutschen und im deutschen Namen ermordet worden ist, bzw. die einheimischen Polen zu Untermenschen herabgewürdigt, vertrieben und ebenfalls ermordet worden sind; Trauer aber auch über die Zerstörung der „verschwundenen (Lebens-)Welt“ osteuropäischen Judentums, deren Reste immer noch eindrucksvoll sind, wenn man sich auf sie einlässt. Bedenkt man, dass es sich bei den Tätern im engeren oder weiteren Sinne um die eigenen Vorfahren – Eltern, Großeltern, Urgroßeltern oder auch nur um Landsleute – handelt, um Menschen also, die mit uns durch dieselbe Geschichte, in vielen Fällen durch familiäre Beziehungen verbunden sind, steckt in der Trauer zugleich so etwas wie Verlust eines Urvertrauens in die eigene (Familien-)Geschichte, Konfrontation mit Schuld, die eigene Mithaftung den Opfern gegenüber einschließt, ohne dass man persönlich schuldig geworden ist.



Belzec, Gleisanschluss zum Vernichtungslager.

Foto: Frederik Eix

Formen des Gedenkens und Erinnerns: Jüdisches Wien

Etwas andere Akzente setzte unsere Studienfahrt ins Jüdische Wien, das vor 1938 eines der Zentren westeuropäischen Judentums darstellte. Von den ca. 170 000 österreichischen Juden, die hier vor dem Einmarsch der Deutschen wohnten, sind mehr als 65 000 ermordet worden – ein Großteil von ihnen in südostpolnischen Lagern wie Belzec. Die eigentlichen Vernichtungsorte liegen also mehrheitlich von Wien weit entfernt, sodass das Erinnern und Gedenken hier schwieriger ist; es fehlen die authentischen Orte. Dies dürfte auch ein Grund mit dafür gewesen sein, dass Österreich selbst sich jahrzehntelang mehr als Opfer des Naziregimes verstehen, Mitverantwortung für Diskriminierung, Vertreibung und Ermordung der jüdischen Mitbürger zurückweisen konnte – trotz der allseits bekannten Beteiligung großer Teile der Wiener Bevölkerung an antijüdischen Aktionen bereits in den ersten Tagen nach dem „Anschluss“, von der Demütigung jüdischer Menschen, die Straßen mit Zahnbürsten schrubben zu müssen, bis hin zur „Arisierung“ jüdischer Geschäfte und Wohnungen oder zu Denunziationen, die für die Betroffenen Verschleppung ins KZ Dachau zur Folge hatten.

Erst seit etwa 10 Jahren gibt es in Wien ein – wenn auch nach wie vor in der Bevölkerung umstrittenes – Gedenken und Mahnen, dessen Zentrum heute der Judenplatz und das dort im Oktober 2000 enthüllte Mahnmal für die Opfer des Holocaust der britischen Künstlerin Rachel Whiteread ist. Es stellt eine



Foto: Agnes Ozimek

Judenplatz, Mahnmal für die Opfer des Holocaust von Rachel Whiteread.

verschlossene Bibliothek mit der nach außen gekehrten Innenseite der Bücher dar und eröffnet vielfältige Möglichkeiten von Bezügen zum Anlass seiner Entstehung. Im Vorfeld der Entscheidung für das Mahnmal gab es innerhalb der Jüdischen Gemeinde eine Diskussion, ob man nicht statt des Mahnmals die unter dem Judenplatz freigelegten Fundamente der – 1421 bei der ersten Vertreibung und Ermordung Wiener Juden zerstörten – Synagoge als Gedenkstätte nutzen solle. Diese Fundamente sind inzwischen in einer Dependence des Jüdischen Museums unterirdisch zugänglich gemacht und mit einer interessanten Video-Simulation jüdischen Lebens im mittelalterlichen Wien verbunden worden. Mahnmal, Museum wie die vorangegangenen und sich anschließenden Diskurse stellen besonders eindrucksvolle Beispiele heutiger Erinnerungs- und Gedenkkultur dar.



Foto: Christa Hökel

Wiener Stadttempel, älteste erhaltene Synagoge der Stadt.

Wien – eine lebendige jüdische Gemeinde

Ein zweites interessantes Studien- und Erfahrungsfeld bietet das heutige jüdische Wien, in dem inzwischen ca. 10-11 000 Juden leben. Mittelpunkt des religiösen Lebens für die knapp 8 000 Mitglieder der Israelitischen Kultusgemeinde ist der, 1824-1826 nach Plänen des Architekten Josef Kornhäusel errichtete Wiener Stadttempel, die älteste erhaltene Synagoge der Stadt, die nur deshalb der Zerstörung durch die Nazis entging, weil sie schon zur Zeit ihrer Erbauung hinter Häuserwänden verschwinden musste, um kein öffentliches Ärgernis auf christlicher Seite zu erregen. Sie ist eine der schönsten erhaltenen Synagogen Westeuropas. Die Teilnahme an einem Freitagabend-(Schabbat-)Gottesdienst war eine eindrucksvolle Erfahrung für die Studierenden. Das jüdische Wien umfasst über seine verschiedenen religiösen Einrichtungen hinaus inzwischen auch eigene Schulen, ein Berufsbildungszentrum und ein Jüdisches Institut für Erwachsenenbildung, eine einmalige Einrichtung, die es sich zum Ziel gesetzt hat, Nichtjuden Grundzüge des Judentums zu vermitteln und damit aufzuklären und Vorurteile abzubauen.

Besondere Bedeutung kommt dem 1994 entstandenen, multiprofessionell angelegten Zentrum für psychosoziale, sozialtherapeutische und soziokulturelle Integration (ESRA) zu, in dem Ärzte, Therapeuten, Sozialpädagogen und Sozialarbeiter zusammen arbeiten, um insbesondere Opfer der Shoa zu versorgen und ihre Posttraumatisierungen therapeutisch zu bearbeiten. Gespräche mit Psychologen und Sozialarbeitern zeigen die Reichweite von Spätfolgen der nazistischen Verbrechen für die Überlebenden Opfer.

Erziehung zu internationaler Verständigung – ein Forschungsfeld

Gedenken und Erinnern an den Holocaust stehen in engem Zusammenhang mit Erziehung zu internationaler Verständigung, insbesondere mit den vom Faschismus als Opfer betroffenen Ländern wie Polen und den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion. Ein deutsch-polnisches Symposium „Vom Erinnern zum Verstehen. Pädagogische Perspektiven deutsch-polnischer Verständigung“ mit Wissenschaftler(inne)n aus beiden Ländern ist diesem Zusammenhang nachgegangen und dabei zu ausgesprochen interessanten Ergebnissen gekommen, die im Frühjahr in einem erweiterten Sammelband veröffentlicht werden. Beispielsweise wurden unterschiedliche polnische Kindergruppen, die während der deutschen Okkupation Opfer von Rassismus und Völkerverhass geworden waren, umgekehrt aber auch deutsche Kindergruppen als Opfer anschließender Vertreibung mit ihrer Geschichte vorgestellt und nach der Bedeutung der Verbrechen von damals für die Gegenwart gefragt, ebenso eine Reihe deutsch-polnischer pädagogischer Projekte vorgestellt, in denen gerade dieses besonders belastete Kapitel der deutsch-polnischen Beziehungen thematisiert wird. Dazu gehören etwa deutsch-polnische Schulbuchbearbeitungen, Schulpartnerschaften, Studien- und Gedenkstättenfahrten nach Polen, Praktika von Schüler(inne)n einer Bielefelder Schule in der Gedenkstätte Majdanek oder die Arbeit von internationalen Begegnungsstätten wie der in Kreisau/Krzyżowa. Der im vergangenen Herbst begonnene wissenschaftliche Austausch wird im kommenden Jahr bei einer zweiten Tagung in Kreisau/Krzyżowa fortgesetzt. Ebenso sind für das nächste Sommersemester wechselseitige Besuche einer Paderborner Studierendengruppe in Poznań (Posen) und einer polnischen Studierendengruppe in Paderborn geplant, wobei jeweils die gemeinsamen historischen Erfahrungen von Studierenden beider Länder im Mittelpunkt stehen sollen.

Aufarbeitung verdrängter Themen

Aus der deutsch-polnischen Kooperation haben sich inzwischen weitere Forschungsprojekte ergeben wie ein Promotionsvorhaben, das der lebensgeschichtlichen Bedeutung der Verbrechen an polnischen Kindern unter der Okkupation zwischen 1939-1945 nachgeht und vor allem die Gebiete Poznań und Łódź im ehemaligen „Reichsgau Wartheland“ berücksichtigt. Dabei geht es um Kinder der polnischen Intelligenz, deren Väter bereits beim Einmarsch der Deutschen massenweise ermordet worden sind, um Kinder, die während der deutschen Besatzung vom Schulbesuch ausgeschlossen oder in so genannten Polenschulen zu „Untermenschen“ und „Arbeitssklaven“ zugerichtet werden sollten, um „gutrassige Polenkinder“, die im Zuge der so genannten Germanisierung ihren Eltern geraubt, zur „Eindeutschung“ in Kinderheime des „Lebensborn“ geschleppt, später zur Adoption durch deutsche Eltern freigegeben wurden, nicht zuletzt um polnische Kinder, die in Deutschland Zwangsarbeit leisten mussten. Für diese Kinder und ihr Schicksal nach 1945 haben sich Historiker wie Erziehungswissenschaftler bislang kaum interessiert, was mit der jahrzehntelangen einseitigen Täter- und Mitläuferzentrierung bundesdeutscher Forschung zusammenhängt. Voraussetzung für die Realisierung derartiger Projekte sind die

inzwischen aufgebauten wissenschaftlichen Kontakte zu Historikern, Germanisten und Pädagogen der Universität Poznań, die sowohl beim Zugang zu den Archiven als auch der Gewinnung von Zeitzeug(inn)en wertvolle Hilfsstellung leisten. Eigentlich wären jedoch mehr polnische Sprachkenntnisse auf deutscher Seite unverzichtbar.

Neue Herausforderungen für die erziehungswissenschaftliche Forschung

Der wachsende zeitliche Abstand, das Aussterben der Zeitzeugen und damit das Heranwachsen von Generationen ohne jeden familiären Bezug zur NS-Vergangenheit stellen die mit dem Gedenken und Erinnern an den Holocaust befassten wissenschaftlichen Disziplinen vor neue Herausforderungen: Welche Bedeutung hat Auschwitz für die heute aufwachsende junge Generation überhaupt? Wie wirkt sich das veränderte Geschichtsbewusstsein Jugendlicher auf die Erinnerungsarbeit aus? Welchen Stellenwert nimmt die NS-Zeit im Familiengedächtnis ein und wie wird die Rolle der eigenen Vorfahren im Zusammenhang mit den nazistischen Verbrechen tradiert? Und nicht zuletzt: Wie können sich Jugendliche nichtdeutscher Herkunft sinnvoll mit dem Thema auseinandersetzen? Dies sind nur einige der Fragen, die von der Erziehungswissenschaft zu beantworten sind, soll Arbeit an der Erinnerung nicht zum Ritual verkommen.

Beispielsweise zeigen neuere sozialwissenschaftliche Untersuchungen zum Familiengedächtnis, dass das in der Schule vermittelte Geschichtsbild und die Erzählung von Großeltern, Verwandten und Bekannten auseinander fallen. Während nämlich in der Schule die nazistischen Verbrechen inzwischen einen relativ hohen Stellenwert einnehmen und als solche behandelt werden, findet gleichzeitig in den Familien aufgrund bestehender Loyalitätsbindungen eine „kumulative Heroisierung“ von Eltern, Großeltern und Verwandten statt, so dass sich ein Gefühl für Mitverantwortung in der eigenen Familie kaum entwickeln kann, statt dessen die altbekannte Unterscheidung zwischen bösen Nazis und verführten oder sogar widerständigen Deutschen tradiert wird. Der Hannoveraner Sozialwissenschaftler Harald Welzer hat diese Schizophrenie mit dem Titel seines Buches „Opa war kein Nazi“ kürzlich treffend auf den Punkt gebracht. Für die Pädagogik ergibt sich daraus die Aufgabe, darüber nachzudenken, wie sich diese Schizophrenie aufbrechen lässt. Warum aber soll nicht endlich ein Schlussstrich gezogen werden, wie bereits seit mehr als 50 Jahren immer wieder gefordert? Die Antwort: Weil es sich um die größtmögliche, alles Vorstellbare übersteigende Barbarei in unserer Zivilisation handelt. Das eigentlich Unvorstellbare wird jedoch auf Dauer abstrakt bleiben, wenn es nicht gelingt, für junge Menschen Bezüge zu ihren eigenen Erfahrungen herzustellen. Solche Bezüge können vielfältig sein: Formen eines neuen Rassismus in Deutschland wie in der Welt, ethnische „Säuberungen“ wie die im ehemaligen Jugoslawien, Ausbeutungs- und Ausplünderungsverhältnisse, wie die in der Dritten Welt, die ganz alltägliche Gleichgültigkeit gegenüber Menschenrechtsverletzungen, die heute wie damals ein rechtzeitiges Einschreiten gegenüber derartigen Bedrohungen verhindert. Aufgabe von Erziehungswissenschaft und Pädagogik muss es sein, die Aktualität des historischen Faktums Auschwitz zugänglich und emotional erfahrbar zu machen.

Literatur:

Keim, Wolfgang: Erziehung unter der Nazi-Diktatur. 2 Bde. Darmstadt 1995/97.

Ders. (Hrsg.): Erinnern, Gedenken, Verständigen. Berichte von einer pädagogischen Studienfahrt nach Südostpolen. Universität Paderborn 1999.

Ders.: Arbeit an der Erinnerung in Südostpolen - Hintergründe, Orte, Formen. In: Kranz, Tomasz (Hrsg.): Bildungsarbeit und historisches Lernen in der Gedenkstätte Majdanek. Lublin 2000, S. 125-150.

Ders.(Hrsg.): Jüdisches Wien: Spurensuche als Lernprozess. Reader zum Seminar SoSe 2002. Universität Paderborn 2002 (unveröffentl. Mskr.).

Welzer, Harald u.a.: „Opa war kein Nazi“. Nationalsozialismus und Holocaust im Familiengedächtnis. Frankfurt/M. 2002.

Flüssigkristalline Dendrimere

Neue Materialien für Display- und Speichertechnologien?

Die Grundlage der Informationsgesellschaft bilden technische Einrichtungen, welche die Verarbeitung und Übermittlung großer Mengen von Daten ermöglichen. Große Bedeutung besitzen dabei die Speicherung von Informationen sowie die Visualisierung der Informationen für den Menschen.

In modernen farbigen Flachbildschirmen finden niedermolekulare Flüssigkristalle (Monomere mit Molmassen unter 1 000 g/mol) Anwendung. Neben diesen haben flüssigkristalline Polymere aufgrund ihrer ungewöhnlichen mechanischen bzw. optischen Eigenschaften Anwendungen im Bereich der Kunststoffe bzw. Farbpigmente gefunden. In herkömmlichen Polymeren ist die Anzahl der reagierenden Monomereinheiten nicht exakt bestimmbar, sodass die Eigenschaften der Produkte nicht immer genau vorhergesagt bzw. reproduziert werden können. Eine Herausforderung besteht zwangsläufig darin, Materialien aus genau definierten Molekülen herzustellen, die nach Möglichkeit die Schalteigenschaften der niedermolekularen Flüssigkristalle mit den mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe verbinden und so die Entwicklung großflächiger, folienartiger Anzeigeelemente oder neuer optischer Speichermaterialien ermöglichen.

Dendrimere (Wortschöpfung aus griech. dendros = Baum und Polymer) sind Verbindungen, die für diese neuen Herausforderungen eine Perspektive bieten. Sie zeichnen sich durch eine genau definierte Anzahl von Verzweigungen, „Generationen“, aus. Der moderne synthetische Ansatz ermöglicht es, Moleküle maßzuschneidern: einerseits niedrige Generationen mit interessanten Schalteigenschaften, andererseits höhere Generationen, die einen Glaszustand aufweisen, mit optischen Speichereffekten.

Vor zwanzig Jahren begannen Fritz Vögtle von der Universität Bonn und David Tomalia vom Michigan Molecular Institute, Midland, die baumförmig verzweigten Makromoleküle zu synthetisieren. Während diese Produkte zunächst als ästhetische Laborkuriositäten angesehen wurden, erkannte man in den 90er

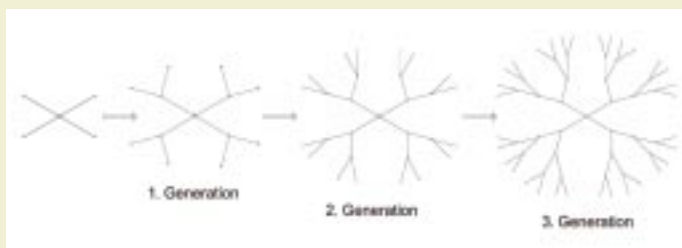


Abb. 1: Dendrimmerwachstum der ersten, zweiten und dritten Generation.



Prof. Dr. rer. nat. Heinz-Siegfried Kitzerow ist Professor für Physikalische Chemie. Seine Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Charakterisierung von Flüssigkristallen und anderen organischen Materialien für die Optoelektronik und Photonik.



PD Dr. rer. nat. Bernhard Westermann ist seit 1998 Hochschuldozent im Department Chemie, Fachgruppe Organische Chemie. Arbeitsgebiete sind biokatalytische Prozesse, nachwachsende Rohstoffe und Synthesen zu Flüssigkristallen. 1995 erhielt er den Preis für herausragende Leistungen in der Lehre, 2000 erhielt er mit Prof. Kitzerow den Forschungspreis der Universität Paderborn.

Jahren, dass diese Materialien die oben genannte Lücke schließen können. Es entwickelte sich nachfolgend ein intensiv bearbeitetes Forschungsgebiet, dass bis zum heutigen Tage deutliche Spuren sowohl in pharmazeutischen wie auch materialwissenschaftlichen Fragestellungen hinterlassen hat.

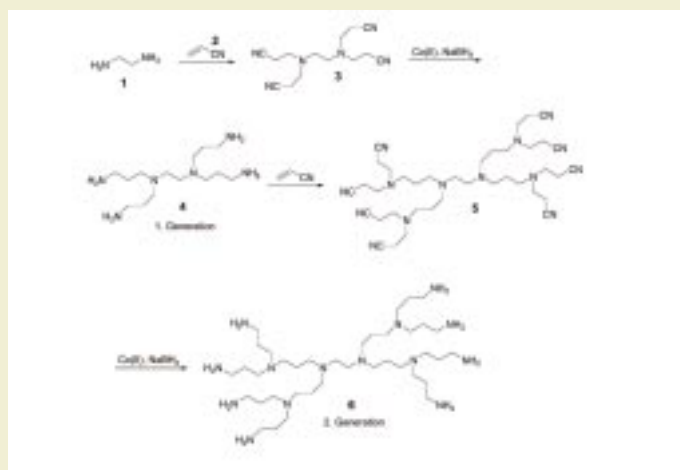


Abb. 2: Divergente Synthese von Dendrimeren.

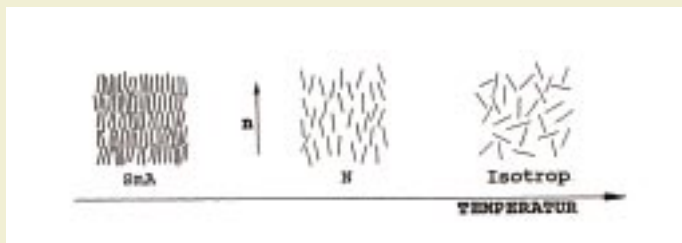


Abb. 3: Anordnung stäbchenförmiger Moleküle in verschiedenen Phasen. „SmA“: flüssigkristalline, smektische A-Phase, „N“: flüssigkristalline, nematische Phase, „iso“: normale, isotrope Flüssigkeit.

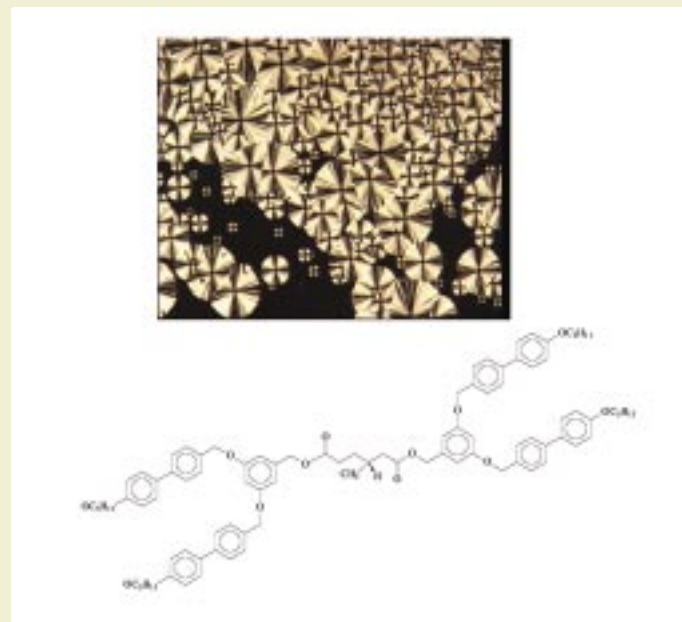
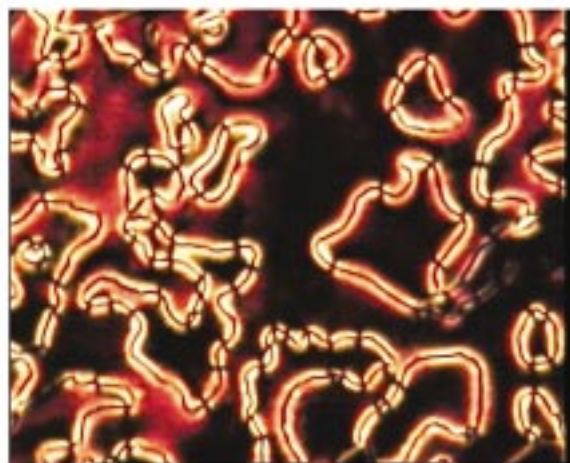


Abb. 4: Molekülstruktur eines in Paderborn synthetisierten Dendrimers und Bild seines flüssigkristallinen Zustands im Polarisationsmikroskop.

Die Materialien, aus denen z.B. Tragetaschen (Polyethylen), Joghurtbecher (Polystyrol) oder CDs (Polykarbonat) bestehen, haben ihre Gemeinsamkeit im Molekülaufbau. Sie bestehen aus niedermolekularen Monomereinheiten, die durch Polymerisationsprozesse hochmolekulare Polymere oder Kunststoffe bilden. Dabei reagiert immer eine Kopfgruppe mit einer Schwanzgruppe, d.h., das Produkt wächst zweidimensional zu fadenförmigen Makromolekülen. Die Häufigkeit der einzelnen Wachstumschritte kann dabei nicht vollständig kontrolliert werden, sodass die Produkte einer Größenverteilung unterliegen.

Gänzlich anders ist der Sachverhalt, wenn man Makromoleküle aus Bausteinen synthetisiert, die über drei oder mehrere Anknüpfungspunkte verfügen. Im Gegensatz zu langen Molekülketten werden so baumartig, perfekt verzweigte Strukturen gebildet, die im Idealfall kugelförmige Gestalt besitzen. Bei der Synthese werden heute zwei unterschiedliche Wege eingeschlagen, eine konvergente und eine divergente Strategie (Abbildung 1).

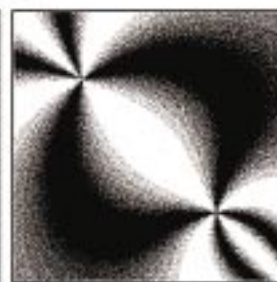
Ein Beispiel für die divergente Strategie, d.h. innen beginnend und nach außen hin wachsend) sind die PAMAM-Dendrimere. Sie werden über die folgende, repetitive Synthesesequenz gebildet (Abbildung 2): In der Startreaktion liegen alle Verknüpfungstellen in 1 frei vor, während durch die Addition mit Acrylnitril 2 die zukünftigen reaktiven Zentren „geschützt“ vorliegen. Erst durch eine nachfolgende Reaktion (hier Reduktion) zu 4 werden diese Zentren wieder in die bereits bekannten Anknüpfungspunkte umgewandelt. Die so synthetisierte erste Generation des Dendrimers enthält nun ihrerseits vier reaktive Zentren. Ein erneuter Durchlauf der Synthesesequenz führt zu 6, einem



(a)



(b)



(c)

Abb. 5: (a) Charakteristisches Bild („Schlierentextur“) einer nematischen Ausgangsverbindung für Dendrimere im Polarisationsmikroskop. (b) Lokale Vorzugsrichtung der Moleküle (jeweils angedeutet durch einen Strich). (c) Berechneter Kontrast zu der in Abbildung (b) gezeigten Anordnung.

Dendrimere der zweiten Generation mit acht Anknüpfungspunkten.

Dieses Beispiel verdeutlicht sehr schön, dass die Zahl der Verzweigungsstellen zu neuen Ästen viel schneller wächst als die Zahl der Generationen. Die riesige Zahl von Anknüpfungspunkten auf der Oberfläche machen diese Polymere in der Folge zu idealen Trägern für Katalysatoren, Genabschnitten und pharmazeutischen Wirkstoffen. Trotz aller Anstrengungen lässt es sich aber nicht vermeiden, dass Baufehler auftreten und Äste nicht weiterwachsen.

Dieses Problem umgeht die konvergente Synthese, indem das Dendrimere von außen nach innen wächst, d.h. die Äste werden am Ende an eine Core- oder Zentraleinheit angeknüpft. Obwohl die Herstellung von Dendrimern langwierig und im Gegensatz zur einfach durchzuführenden Polymerisation sehr kostspielig ist, bieten sie doch aufgrund ihrer einzigartigen Aufbauten und Eigenschaften zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere für Produkte mit hoher Wertschöpfung. Weit verbreitet sind bereits Applikationen als Katalysatorträgermaterial bzw. in der medizinischen Diagnostik (Kernspintomographie); Anwendungen im Bereich der Flüssigkristalle sind bislang wenig beschrieben.

Flüssigkristalle vereinigen in besonderer Weise die Eigenschaften einer Flüssigkeit mit denen eines Kristalls und sind daher interessant für elektrisch adressierbare Anzeigeelemente und Flachbildschirme. Es handelt sich um geordnete Flüssigkeiten, die meistens aus stäbchen- oder scheibenförmigen organischen Molekülen bestehen (Abbildung 1). Da benachbarte Moleküle

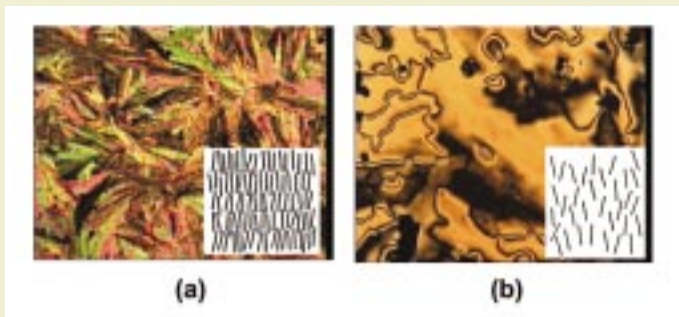


Abb. 6: (a) Smektische Phase und (b) flüssigkristalline nematische Phase einer Ausgangsverbindung für Dendrimere im Polarisationsmikroskop.

dieses Typs sich vorzugsweise parallel zueinander orientieren, ist der Brechungsindex eines Flüssigkristalls richtungsabhängig. Eine Umorientierung der Moleküle unter dem Einfluss einer elektrischen Spannung führt daher zu einer Änderung der optischen Eigenschaften und kann für Display-Anwendungen genutzt werden.

Nicht nur aus molekulästhethischen Gründen ist es reizvoll, mehrere Moleküle, welche die Ausbildung einer flüssigkristallinen Phase begünstigen, über ein dendrimeres Molekülgerüst miteinander zu einem größeren Molekül zu verbinden; das so entstehende flüssigkristalline Dendrimer kann auch besonders interessante Eigenschaften besitzen. Je nach der Art der Verknüpfung können ganz neue flüssigkristalline Phasen auftreten, die das flüssigkristalline Einzelmolekül nicht zeigt. Es ist aber auch möglich, dass das Dendrimerknäuel verhindert, dass die Moleküle bei tiefen Temperaturen einen wohlgeordneten Kristall bilden. In diesem Fall kann beim Abkühlen anstelle der Kristallisation ein Übergang in einen glasartigen Zustand eintreten (Abbildung 4). Ein Glas ist zwar mechanisch fest, besitzt aber Strukturmerkmale einer flüssigen (bzw. flüssigkristallinen) Phase. Glasartig erstarrende Flüssigkristalle sind daher potentielle optische Speichermaterialien.

Bei den in Paderborn synthetisierten Dendrimeren wurde bereits in einigen Fällen flüssigkristallines Verhalten gefunden. Als Nachweis hierfür dient unter anderem die Beobachtung in einem Mikroskop, das mit gekreuzten Polarisationsfiltern ausgestattet

ist. Gase und normale, isotrope Flüssigkeiten erscheinen in dieser Anordnung völlig dunkel. Kristalle und Flüssigkristalle hingegen verändern den Polarisationszustand des Lichts und erscheinen – abhängig von ihrer Orientierung – unterschiedlich hell. Da sich die Orientierung der Moleküle für unterschiedliche Flüssigkristallphasen in verschiedener Weise von Ort zu Ort verändert, zeigt jede Phase im Polarisationsmikroskop eine charakteristische Textur. So zeigt z.B. Abbildung 5 das Bild einer dendrimeren Verbindung im Polarisationsmikroskop. Das Bild ist typisch für eine flüssigkristalline nematische Phase. Unter der Fotografie (Abbildung 5a) ist schematisch gezeigt, wie das Bild mit der Orientierung der Flüssigkristallmoleküle zusammenhängt: Die Vorzugsrichtung (in Abbildung 5b durch Striche symbolisiert) ändert sich kontinuierlich in der Probe. Dort wo diese Vorzugsrichtung genau parallel oder senkrecht zur Polarisationsrichtung des Lichts orientiert ist, (d.h. in Abbildung 5b waagrecht oder senkrecht), erscheint die Probe dunkel, an den anderen Stellen hell (Abbildung 5c). Eine weitere Ausgangsverbindung für Dendrimere zeigt neben der nematischen auch eine smektische Phase (Abbildung 6).

Literatur

- [1] G. R. Newkome, C. N. Moorefield, F. Vögtle: „Dendritic Molecules“, VCH, Weinheim, 1996.
- [2] A. D. Schlüter, J. P. Rabe: „Dendronisierte Polymere: Synthese, Charakterisierung, Grenzflächenverhalten und Manipulation“, Angewandte Chemie 112, 860-880 (2000).
- [3] S. M. Grayson, J. M. J. Fréchet „Convergent Dendrons and Dendrimers: from Synthesis to Applications“, Chemical Reviews 101, 3819-3868 (2001).
- [4] H. Frey, K. Lorenz, C. Lach „Dendrimere – von der Ästhetik zur Anwendung“, Chemie in unserer Zeit 30, 75-85 (1996).