

# CLB

*Chemie in Labor und Biotechnik*

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung



- Protonenleitende Membranen
- Chemie multimedial
- Mathematische Bionik

den Ernstfall ausgearbeitet worden. Betrachtet man diese Vorschläge jedoch kritisch, so zeigt der Fall der Atomexplosion vom 1. März 1954 in aller Deutlichkeit, wie wenig sinnvoll solche Überlegungen sind. Denn welcher Meteorologe vermag wirklich mit Sicherheit zu sagen, wohin sich die Wolken des radioaktiven Staubs wenden werden? Wer kann sagen, ob man die evakuierte Bevölkerung nicht gerade in solche Gebiete führt, die am nächsten Tage schon von der radioaktiven Staubwolke in voller Stärke getroffen werden? Ähnlich illusorisch sind die übrigen Vorschläge zum Schutz großer Menschenansammlungen gegen Atombombenangriffe. Der Trost, der von amerikanischer Seite gern ins Feld geführt wird, andere Mächte besäßen keine Flugzeuge, die ausreichen, um Atombomben weit genug transportieren zu können, ist ebenfalls himffällig. Ferngelenkte Geschosse (Raketen) dürften heute schon in der Lage sein, Atomladungen an jeden Ort der Erde zu tragen. Die Perfektion der Atombombenherstellung ermöglicht es, Atombomben in beliebiger Größe herzustellen, sie mit Uran oder Cobalt zu umhüllen und ihnen so Wirkungen zu geben, die jahrelang, ja jahrzehntelang andauern können.

Das Wort *Einsteins*, der übernächste Krieg würde „wieder mit Pfeil und Bogen“ ausgetragen, klingt unter diesen Umständen noch recht optimistisch.

## Das Knallgasэлемент

Der geringe Wirkungsgrad unserer Kraftmaschinen ist immer wieder Ursache von Verbesserungsvorschlägen und Neukonstruktionen gewesen, ohne daß aber bis jetzt die Gesamtenergieausbeute bei den besten Aggregaten, Dampfturbine und Dynamo, wesentlich über 30% des theoretisch Möglichen hinausgeht. Das bedeutet, daß 70% der in unseren Brennstoffen steckenden Energie ungenutzt bleiben; von 100 Bergleuten arbeiten also sozusagen 70 zwecklos. Es sieht nicht so aus, als ob auf den bisherigen Wegen eine gründliche Verbesserung der Wirkungsgrade zu erreichen sei.

Umso größeres Interesse werden daher alle diejenigen Versuche beanspruchen dürfen, die nach grundsätzlich neuen Methoden suchen, um die in unseren Brennstoffen gebundenen Energien besser auszunutzen. Eine davon ist das sog. „Brennstoffelement“. Um seine Wirkungsweise begreifen zu können, müssen wir kurz die Theorie der Elemente überhaupt betrachten.

Ein galvanisches Element ist eine Vorrichtung, mit deren Hilfe man die durch eine chemische Reaktion gewinnbare Energie in Form von Elektrizität erhält. Die bei einer chemischen Reaktion frei werdende Energie kann einmal in Form von Wärme auftreten, das ist beinahe das Übliche. Beim Verbrennen von Brennstoffen wird Wärme geliefert, beim Eingießen von Schwefelsäure in Wasser tritt Wärme auf, bei hundertertei anderen Umsetzungen wird mehr oder weniger Wärme frei. In selteneren Fällen kann aber die Reaktionsenergie in Form anderer Energieformen frei werden. Denken wir an das Leuchten der Glühwürmchen, an die Lumineszenzerscheinungen: bei ihnen wird ein Teil oder fast die gesamte Reaktionsenergie als Licht abgegeben.

Prinzipiell ist es nun auch möglich, eine chemische Reaktion so zu leiten, daß die Reaktionsenergie als elektrischer Strom in Erscheinung tritt. Theoretisch sollte man sogar jede exotherme Reaktion zur Stromlieferung verwenden können. In der Praxis gibt es aber in vielen Fällen Hindernisse. Die Umwandlung chemischer Energie in elektrischen Strom ist bei näherer Betrachtung garnicht so erstaunlich, wie es zunächst wohl scheinen möchte. Die anorganischen Ionen-Reaktionen bestehen im Grunde nur in einer Übertragung von Elektronen. Die Umsetzung zwischen Natrium und Chlor kann z. B. so geschrieben werden:



In vielen Fällen liegt die Übertragung der Elektronen nicht so offen, wie hier. Bei genauem Zusehen aber läßt sich immer wieder eine Wanderung von Elektronen von einem zum anderen Atom erkennen.

Elektrischen Strom, d. h. fließende Elektronen kann man aus einer chemischen Reaktion dann erhalten, wenn man die Reaktionspartner trennt und die bei der Reaktion ausgetauschten Elektronen auf Umwegen, d. h. durch metallische Leiter, von einem zum anderen fließen läßt. Wie man das im einzelnen bewerkstelligt, ist eine Frage der experimentellen Geschicklichkeit, und hier liegen auch die praktischen Schwierigkeiten für die Konstruktion von Elementen. Recht einfach ist die Lösung dieses Problems, wenn die Reaktionspartner selbst Metalle sind.

Das einfache Galvanische Element aus Zink und Kupfer in verd. Schwefelsäure hat als Grundlage die chemische Reaktion



Bei der Reaktion geht Zink unter Ionisierung in Lösung ( $\text{Zn} = \text{Zn}^{++} + 2\text{e}$ ), während die dabei frei werdenden Elektronen durch den Leiter zum Kupfer fließen und dort Wasserstoffionen entladen ( $2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}$ ). Auf

## Liebe CLB-Leserin, lieber CLB-Leser,

die Leserumfrage, die wir im vergangenen Jahr gemacht haben, hat unter anderem ergeben, dass auch in Boom-Zeiten der Biotechnologie andere Bereiche von Interesse sind. Mit den großen Themen Silicone und Membranen haben wir dem Wunsch nach entsprechenden Artikeln im laufenden Jahr entsprochen. Um die Bedeutung der Chemie, Physik und Analytik von protonenleitenden Membranen, die in dieser Ausgabe als Schlüsselkomponente für Brennstoffzellen beschrieben werden, im wirtschaftlichen und technischen Umfeld abzurunden, geben zwei Artikel in den Rubriken „Wirtschaft“ (Seite 270) und „Forschung und Technik“ (Seite 271; dazu auch das Titelbild) zusätzliche Informationen. Interessant auch zu sehen, wie lang Wege technischer Entwicklungen in unserer eher schnelllebigen Zeit doch sein können – der Masseneinsatz von Brennstoffzellen steht ja noch bevor. Schon in dem CLB-Artikel „Das Knallgaselement“ von 1955 (Rubrik „CLB-Geschichte“ auf den Umschlagseiten) erfasste der Autor das Potenzial von Brennstoffzellen und mutmaßte: „Es scheint so, als ob das Atomkraftwerk nicht unbedingt, und nicht für alle Fälle, die beste aller möglichen Lösungen darstellt.“

Die Biotechnik erscheint in dieser Ausgabe in einem etwas anderen Gewand: Bionik ist linguistisch eine Wortschöpfung aus Biologie und Technik (das alte griechische Wort *technikos* steht übrigens für Handwerk oder Kunst). Die Bionik-Artikel der Ausgaben 10/2001 und 2/2002 ergänzt der Autor Prof. Wolfgang Hasenpusch in dieser Ausgabe mit einem Artikel über mathematische Bionik: „Fibonacci-Zahlen in der Natur“. Aktuelle Entwicklungen der Bionik beschreibt CLB-Korrespondent Hans-G. Winkler in der „Umschau“-Rubrik ab Seite 266.

Die CLB hat sich ja auch seit Jahrzehnten dem Bereich Aus- und Weiterbildung verschrieben (in dieser Ausgabe im Memory-Teil als Anreiz zum Mitmachen eine weitere besondere Leistung von Schülern beim Wettbewerb „Jugend forscht“, Seiten M49 bis M55). Interaktiv und multimedial unterstützt heute das Internet den Bildungsbereich. Dies zeigt der Artikel von Dr.



Sabine Nick und Judith Andresen ab der Seite 256, der einen Blick hinter die Kulissen der etwa 2300 Seiten umfassenden Lernumgebung „Chemnet“ wirft. Sie soll jetzt auch ins Englische übersetzt werden.

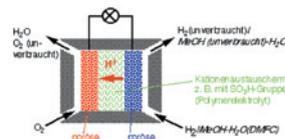
Bei allen möglichen Vorteilen interaktiver Lernumgebungen: Die im angelsächsischen geprägte bbb-Bedingung für Lern- und Informationsmittel (bed, bath and beach) erfüllen derzeit nur Zeitschriften und Bücher. Unsere jetzige Umfrage zu dem Memory-Teil (Ergebnisse in der nächsten Ausgabe), die ebenso wie die Umfrage vor einem Jahr auf große Resonanz gestoßen ist, zeigt: Die CLB-Art der Bildungsunterstützung ist sehr beliebt!

Ihr

# INHALT

## Aufsätze

Schlüsselkomponente einer Brennstoffzelle Die protonenleitende Membran	248
Chemnet Grundlagen der Chemie multimedial	256
Mathematische Bionik Fibonacci-Zahlen in der Natur	260



Schematischer Aufbau einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (siehe Artikel auf Seite 248).

## Rubriken

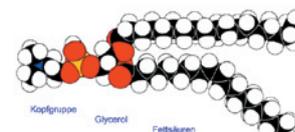
Editorial	241
Impressum	243
F & E im Bild	243
Unternehmen	244
Personalien	246
Förderungen/Preise	247
<b>Umschau</b>	
Kongress Gentechnologie – Nanotechnologie Künstlichen Intelligenz Findet die Zukunft ohne uns statt?	264
<b>Bionik</b>	
Die Natur als Vorbild	266
Revolution in der Prothetik	
Mit Mikro-Fluidaktoren leicht und flexibel	267
„Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries“ Spektrometrie und Laser in der Metallanalytik	268
<b>Wirtschaft</b>	269
Forschung und Technik	271
Nanotechnik	273
Literatur	274
Service	275
Neue Produkte	276
Bezugsquellenverzeichnis	279



Zum Titelbild: Dieser unscheinbare Plattenstapel kann mit Wasserstoff als Brenngas eine elektrische Leistung von 9,2 Kilowatt erzeugen, ein Weltrekord bei Brennstoffzellen (siehe Seite 271; Abb.: FZ Jülich).

## CLB-Memory

Jugend forscht Quantitative Analyse von Lipiden durch hochauflösende Dünnschichtchromatographie	M49
Notfallchemie: Vorsicht mit „alten“ Alkalimetallen	M52
Fragen zu Grundlagen der Chemie	M52



Struktur eines Membranlipids (siehe Artikel auf Seite M49).

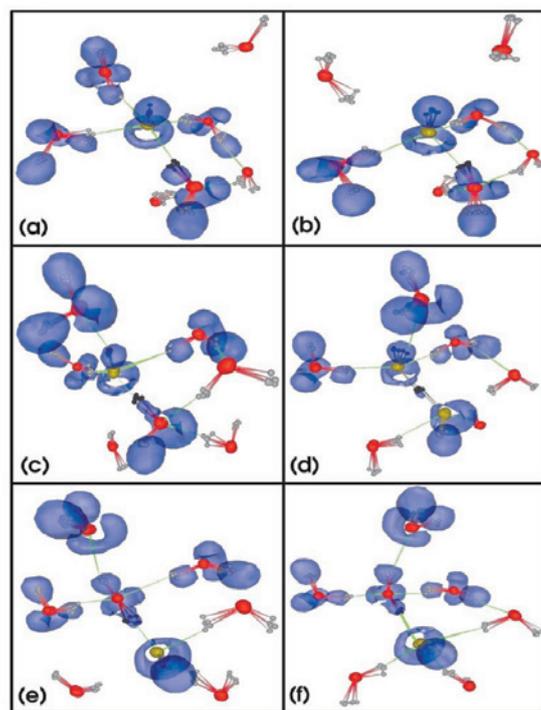
## Wanderung von OH<sup>-</sup> Defekten in Wasser

# Das Rätsel basischer Lösungen

**Die Übertragung von elektrischer Ladung in wässrigen Basen wird durch quantenmechanische Effekte beeinflusst und läuft nicht wie in Säuren ab, teilte jetzt die Ruhr-Universität Bochum mit.**

Seit langer Zeit ist bekannt, dass wässrige basische Lösungen elektrischen Strom extrem gut leiten, d.h. die überzähligen Ladungsträger OH<sup>-</sup> müssen eine sehr große Mobilität in Wasser besitzen. Dabei gingen die Forscher bisher davon aus, dass sich das OH<sup>-</sup> Ion spiegelbildlich analog zu dem besser untersuchten H<sup>+</sup> Ion verhält. In Säuren befindet sich das H<sup>+</sup> Ion oft zwischen zwei Wassermolekülen, schematisch [H<sub>2</sub>O...H...OH<sub>2</sub>]<sup>+</sup>. Es kann jedoch fast ohne Energieaufwand verschoben werden, wodurch ein H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> Molekül entsteht, das seinerseits über Wasserstoffbrücken von drei Wassermolekülen umgeben ist, schematisch

H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>. Die Ladung wandert dabei gleich über mehrere Bindungslängen. Die analogen zwei Komplexe in Basen wären also [HO...H...OH]<sup>-</sup> und OH<sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>. Es zeigte sich nun, dass das OH<sup>-</sup> Ion in Wasser nicht von drei, sondern von vier Wassermolekülen umgeben ist (siehe Abbildung a). Damit ein H leicht verschoben werden kann, muss dieser Komplex zuerst ein Wassermolekül verlieren (siehe b und c), was ein relativ langsamer Schritt ist. Nach dieser Aktivierung kann ein [HO...H...OH]<sup>-</sup> Komplex entstehen (siehe d), welcher sich nun wieder in ein von vier Wassermolekülen umgebenes OH<sup>-</sup> Ion umwandelt (siehe e und f). Nach diesen Umlagerungen ist der OH<sup>-</sup> Defekt um eine Wasserstoffbrückenlänge gewandert (vgl. f mit a). Dieser Komplex existiert in Basen allerdings nur als Übergangskomplex und ist damit nicht stabil wie im sauren Milieu. Die



Forscher konnten schließlich zeigen, dass quantenmechanische Effekte, insbesondere das Tunneln eines Protons, die Umwandlung von OH<sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub> merklich beschleunigen; dieser Effekt ist bei Säuren völlig vernachlässigbar. RUB

Die Sequenz zeigt die Wanderung eines OH<sup>-</sup> Defekts (gelb) in Wasser, wobei nur die nächsten Wassermoleküle abgebildet werden. (Abbildung RUB)

## Impressum

**CLB**  
Chemie in Labor und Biotechnik

**Verlag:**  
Agentur & Verlag Rubikon  
für technische und wissenschaftliche Fachinformation  
Rolf Kickuth  
Anschrift:  
CLB, Agentur & Verlag Rubikon  
Bammentaler Straße 6–8  
69251 Gaiberg bei Heidelberg  
Deutschland  
e-Mail: redaktion@clb.de

**Herausgeber:**  
Dr. Dr. U. Fitzer, Düsseldorf · Prof. Dr. W. Fresenius, Taunusstein · Prof. Dr. K.-H. Koch, Dortmund · Priv. Doz. Dr. H.-M. Kuß, Duisburg · Prof. Dr. Georg Schwedt, Clausthal-Zellerfeld · Prof. Dr. G. Weichbrodt, Aalen · Prof. Dr. G. Werner, Leipzig.

**Redaktion:**  
Rolf Kickuth (RK, verantwortlich; e-Mail: kickuth@clb.de),  
Dr. Maren Bulmahn (MB, e-Mail: bulmahn@clb.de)  
Telefon (0 62 23) 97 07 43  
Fax (0 62 23) 97 07 41

**Ständige Mitarbeiter:**  
Dr. Mechthild Kässer, Diekholzen; Prof. Dr. Erika Krakovská, Kosice; Hans Dietrich Martin, Köln; Dr. Ognian Serafimov, Konstanz; Jürgen Wagner, Weinheim; Hans-G. Winkler, Meyenfeld; Dr. Röbbbe Wünschiers, Köln.

**VBTA-Verbandsmitteilungen:**  
Thomas Wittling, Raiffeisenstraße 41, 86420 Diedorf,  
Telefon (0821)327-2330  
Fax (08 23 8) 96 48 50  
e-Mail: info@vbta.de

**Anzeigenberatung:**  
Lutz Krampitz  
Am Schützenhaus 8, 47055 Duisburg  
Telefon (02 03) 73 85-1 64  
Fax (02 03) 73 85-1 65  
e-Mail: anzeigen@clb.de

**Abonnementbetreuung:**  
Natalia Khilian  
CLB, Agentur & Verlag Rubikon  
Bammentaler Straße 6–8  
69251 Gaiberg bei Heidelberg  
Telefon (0 62 23) 97 07 43  
Fax (0 62 23) 97 07 41  
e-Mail: service@clb.de

**Layout und Satz:**  
Agentur & Verlag Rubikon  
Druck: Printec Offset, Ochshäuser Straße 45, 34123 Kassel

CLB erscheint monatlich.

**Bezugspreise:**  
CLB Chemie in Labor und Biotechnik mit der Beilage „CLB-MEMORY“. Einzelheft – außerhalb des Abonnements – 6,90 Euro, im Abonnement jährlich 70,50 Euro zuzüglich Versandkosten; ermäßigter Preis für Schüler, Studenten und Auszubildende (nur gegen Vorlage der Bescheinigung) jährlich 57,00 Euro zuzüglich Versandkosten, inkl. 7% MWSt. Ausland auf Anfrage. Bezug durch den Buchhandel und den Verlag. Das Abonnement verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls nicht 8 Wochen vor Ende des Bezugsjahres Kündigung erfolgt. Erfüllungsort ist Heidelberg. Mitglieder des VDC sowie des VBTA erhalten CLB zu Sonderkonditionen.

**Anzeigenpreislste:**  
Nr. 42 vom 1.1.2002. Bei Nichterscheinen durch Streiks o. Störung durch höhere Gewalt besteht kein Anspruch auf Lieferung.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für die Rückgabe unverlangt eingesandter Buchbesprechungsexemplare kann keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



## NACHRICHTEN &amp; NOTIZEN

**Agilent Technologies analysiert** Carbamate und Phenylharnstoffe mit LC/MS Kopplung. Dabei erwies sich die Elektrospray-Ionisierung als besser für Carbamate, während chemische und photochemische Ionisierung besser für Phenylharnstoffe geeignet sind.

**Das Ergebnis der Total Fina Elf Gruppe zeigt** in 2001 einen Rückgang der konsolidierten Umsätze von acht Prozent auf 105 318 Millionen Euro.

**Akzo Nobel produziert** Monochloressigsäure (MCA) jetzt auch in Taixing, China, was die Position in Asien ebenso stärkt wie die kürzlich durchgeführte Akquisition von Crompton Industrial Specialities bei oberflächenaktiven Substanzen.

**Ionix Pharmaceuticals und Tripos entwickeln und synthetisieren** gemeinsam Substanzen, die als Inhibitor der Ionenkanäle, die Schmerz weiterleiten, dienen sollen.

**Die Morewood Molecular Science Inc. und die Chemical Diversity Labs Inc. wollen** zusammen arbeiten, um Morewoods neue Liquid-Handling Technik zu validieren, die im UHTS (ultra high throughput screening) noch besser mit nur wenigen Nanolitern umgehen können soll.

**Dionex investiert in PharmaSeq**, die einen sehr kleinen Mikrotransponder entwickelt haben. Dessen Radiosignal kann Biomoleküle identifizieren und somit als Basis für vielseitig einsetzbare Analysegeräte in den Lebenswissenschaften dienen.

**GeneScan Analytics GmbH und Bureau Veritas Quality International GmbH (BVQI) haben** eine weltweite Kooperation vereinbart, um Unternehmen aus dem AgroFood Bereich umfassende Unterstützung bei allen Schritten anzubieten, die mit dem Aufbau von zertifizierten Kontrollsystemen zur Vermeidung von gentechnisch modifizierten Organismen (GMO) in der Produktion von Lebens-, Futtermitteln und Saatgut verbunden sind.

**Die Bakelite AG, eine Tochtergesellschaft der Rütgers AG, übernimmt** das Phenolharzgeschäft der WBB Minerals in England.

**Die IBA GmbH hat in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München** die Streptamer-Technik entwickelt, um Antigen-spezifische T-Zellen funktionell zu isolieren und zu charakterisieren. Mit Streptamer ist eine reversible, Antigen-spezifische Färbung von T-Zellen möglich, bei der sich die isolierten T-Zellen von den unbehandelten Zellen weder phänotypisch noch funktionell unterscheiden.

**Die Geschäftsentwicklung des Eppendorf-Konzerns knüpfte** nahtlos an das gute Vorjahr an, obwohl sie sowohl im Jahresverlauf als auch in der regionalen Verteilung uneinheitliche Züge aufwies. Im Branchenvergleich stellt sich in Summe jedoch ein gutes Ergebnis dar. Der EBIT erhöhte sich in 2002 auf 28,9 Millionen Euro um ca. 17 Prozent.

## Zehn Jahre ILS:

## Mikroliterspritzen für die Welt

**S**tützerbach in Thüringen 1992, das Glaswerk Ilmenau ist geschlossen, viele gut ausgebildete Fachkräfte sind ohne Arbeit. Zwei Männer mit Erfahrung in der Konstruktion und Herstellung von Mikroliterspritzen und Mut zur Selbständigkeit – unterstützt mit praktischer Hilfestellung aus dem „Westen“ – gründen die ILS, Gesellschaft für Innovative Laborsysteme.

Angefangen wird in alten Gebäuden mit alten Maschinen im ehemaligen Glaswerk. Ein umfangreiches Programm an Mikroliterspritzen wird entwickelt. Neue Werkstoffe wie Duran (Schott Glaswerke AG) werden eingesetzt. Heute nach zehn Jahren kennt man ILS als einen bedeutenden Hersteller von hochpräzisen Mikroliterspritzen in vielen Ländern der Welt. Führende Hersteller von Labor- und Analysegeräten in Deutschland, Europa



und USA verwenden die Spritzen in ihren Geräten.

In dem neuen, im vergangenen Jahr eingeweihten Betriebsgebäude produziert Heinz Ewald, einer der Gründer und aktiver Geschäftsführer, mit elf erfahrenen Mitarbeitern und einem Auszubildenden auf modernsten Computer gesteuerten Werkzeugmaschinen alle Teile für über 900 verschiedene Spritzen. Sorgfältig werden die Spritzen von Hand montiert und schließlich an über 800 Kunden in der ganzen Welt verschickt.

## Degussa setzt auf Biotechnik

## Nicht natürlich vorkommende L-Aminosäure für Pharmazie

**D**ie Produktion einer nicht natürlich vorkommenden L-Aminosäure geschieht jetzt bei Degussa mit einem neuen biotechnischen Verfahren.

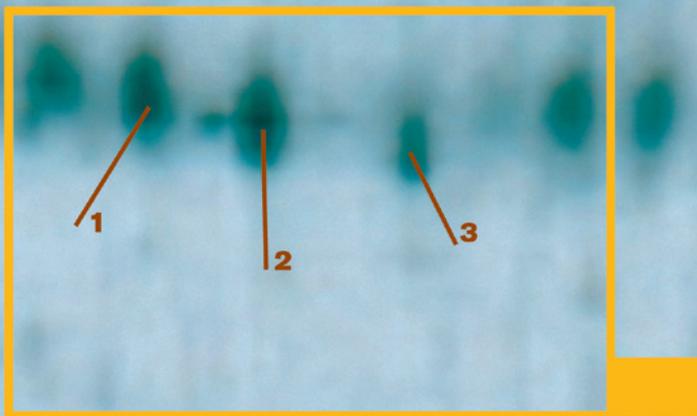
Nach Unternehmensangaben ermöglichte die konstruktive Zusammenarbeit mit dem Projektteam, einem interdisziplinären Team, das Verfahren von der Idee bis zur technischen Umsetzung in nur drei Jahren zu realisieren. In seiner cGMP-Mehrzweckanlage im Industriepark Wolfgang setzte Degussa das Verfahren erstmals großtechnisch ein, um im Auftrag eines Pharmakunden eine nicht natürlich vorkommende L-Aminosäure zu produzieren. Die Aminosäure wird als Baustein für einen Pharmawirkstoff gegen Bluthochdruck

benötigt und war bislang nur über eine komplexe chemische Route zugänglich.

Im Mittelpunkt des Hydantoinase-Verfahrens steht ein gentechnisch veränderter Mikroorganismus (rekombinanter Ganzzellenkatalysator). Er verwandelt ein leicht zugängliches Vorprodukt – ein D,L-Hydantoin – direkt und komplett in die L-Aminosäure und schafft so in einem Schritt, was Chemiker bisher mühsam in mehreren Stufen synthetisieren und aufbereiten mussten. Die Biomasse wird anschließend durch Ultrazentrifugation und Ultrafiltration abgetrennt. Das Ergebnis ist ein biomassefreies Produkt, das den hohen Anforderungen der Pharmaindustrie genügt.

# Die Zukunft erkennt man nicht, man schafft sie.

Stanislaw Brzozowski (1878 – 1911)



## Adieu ilmac.

Willkommen zur r+d in life sciences, Internationale Fachmesse und Kongress für Forschung und Entwicklung, Analytik und Diagnostik in Life Sciences und der Chemischen Industrie. Willkommen zu wissenschaftlichen Präsentationen und hochkarätigen Diskussionen. Willkommen zu neuen Ideen. Willkommen in Basel.

## 15. bis 18. Oktober 2002.

Messe Basel. Täglich 9 bis 17 Uhr





Hartwig

**BAYER** Neuer Leiter der Bayer HealthCare-Division Diagnostika wird **Prof. Dr. Wolfgang Hartwig**, bisher weltweit für die Bayer-Pharmaforschung verantwortlich. Hartwig folgt auf Rolf Classon, der zum 1. Januar 2003 die Aufgabe des Leiters Strategy and Business Development bei Bayer HealthCare übernimmt.



Hopt

**DFG** Die Mitgliederversammlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat im Rahmen der DFG-Jahrestagung in Bonn einen neuen Vizepräsidenten gewählt. **Prof. Dr. Klaus Hopt**, Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg, nimmt den Platz von **Prof. Dr. Rüdiger Wolfrum**, Max-Planck-Institut für ausländisches, öffentliches Recht und Völkerrecht, Heidelberg, ein, der nach sechsjähriger Mitgliedschaft im Präsidium nicht wiedergewählt werden konnte. Der Experte für Umformtechnik und Produktionstechnik **Prof. Dr. Matthias Kleiner**, Universität Dortmund, ist neues Mitglied des Senats der DFG.



Wolfrum

**DIONEX** **Dr. Lukas Braunschweiler** wird A. Blaine Bowman als Präsident und Chief Executive Officer ablösen. Bowman wird weiterhin als Chairman of the Board für Dionex tätig sein.



Braunschweiler

**FZJ** Neue Stellvertretende Vorstandsvorsitzende des Forschungszentrums Jülich wird **Dorothee Dzwonnek**, zurzeit Abteilungsleiterin im Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Sie tritt damit die Nachfolge von **Hartmut F. Grübel** an, der in das Bundesministerium für Bildung und Forschung zurückkehrt.



Dzwonnek

Where is the wisdom?  
Lost in knowledge.  
Where is the knowledge?  
Lost in information.

T. S. Eliot

## EHRUNGEN

### Telemetrie im Wasser

Die Technologie Coaching Center GmbH (TCC) vergibt gemeinsam mit der Gesellschaft von Freunden der TU Berlin e.V. zum zweiten Mal den mit 5000 Euro dotierten TU-Unternehmensgründerpreis. In diesem Jahr geht der Preis an die Firma **EvoLogics GmbH**, die im Jahr 2000 aus dem Fachgebiet für Bionik und Evolutionstechnik gegründet wurde. Die TU-Bioniker und Gründer **Dr. Rudolf Bannasch** und **Dr. Konstantin Kebkal** setzen in ihrem Unternehmen innovative Konzepte aus der Bionik in kommerziell nutzbare Produkte um. Mitgründer und zuständig für die wirtschaftlichen Belange der Firma ist **Dr. Gerd Bannasch**. Den Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeit bildet die Erarbeitung eines neuartigen, vom Biosonar der Delphine abgeleiteten Verfahrens für die telemetrische Übertragung von Steuersignalen, digitalen Daten und Bildern unter Wasser. Für die Startphase gelang es den Gründern, eine Projektunterstützung aus dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) initiierten Futour-Programm einzuwerben. Außerdem ist das Unternehmen in das bundesweite Bionik-Kompetenznetz (ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung) integriert.



**Prof. Dr. Wilhelm Barthlott** erhielt den „Goldenen Kaktus“ von Monaco.

Damit honoriert das Fürstentum Barthlotts umfassende Arbeiten über die stacheligen Dickhäuter. Der Botaniker der Universität Bonn, der bereits für die Entdeckung des Lotus-Effekts mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet wurde, kann seiner „Trophäensammlung“ somit ein ganz besonderes Exemplar hinzufügen.



Der Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, **Prof. Dr. Walter Kröll**, hat das Große Verdienstkreuz des Verdienstordens

der Bundesrepublik Deutschland erhalten. Die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Edelgard Bulmahn, erklärte zu der Auszeichnung Krölls: „Professor Walter Kröll verbindet wissenschaftliche Exzellenz mit einem Gespür für politische und wirtschaftliche Fragestellungen. Er hat bewiesen, dass effizientes und erfolgreiches wissenschaftliches Arbeiten nur mit modernen Managementmethoden möglich ist. Weil er gerade die junge Generation motiviert und damit immer für wissenschaftlichen Nachwuchs gesorgt hat, freue ich mich besonders über seine heutige Auszeichnung.“

### Faszination Diamant

Er entkräftet den Magnet und widersteht selbst Hammer und Amboss – nur das Blut des Ziegenbockes kann angeblich den Diamant durchdringen. Vom legendenumwobenen Edelstein über die praktische Alchemie bis zur Chemie der Neuzeit reicht eine umfangreiche Materialsammlung, die jetzt interdisziplinär überarbeitet wird. **Dr. Horst Schneider** (Institut Fontes Christiani, Katholisch-Theologische Fakultät der RUB) erhielt dafür den mit 6000 Euro dotierten Förderpreis der Margot- und Friedrich Becke-Stiftung. Ganz im Sinne der Stiftung dient das Projekt dem Diskurs zwischen Geistes- und Naturwissenschaften. Von Seiten der Ruhr-Universität Bochum sind an dem Projekt die Professoren **Alois Haas** (Chemie), **Ludwig Hödl** (Mittelalterliche Theologie) und **Wilhelm Geerlings** (Alte Kirchengeschichte) sowie von der Heidelberger Max Planck Gesellschaft Prof. Dr. Dres. h.c. **Ekkehard Fluck** (Chemie) beteiligt.

## Unterstützung mittelständischer Betriebe

# Bank bietet als Förderprodukt Darlehen

**Zur Situation von Existenzgründungen in Baden-Württemberg nahm jetzt das Institut für Mittelstandsforschung der Universität Mannheim (ifm) Stellung. Demnach ist die geplante Msßnahme des Bundeswirtschaftsministeriums, Existenzgründer verstärkt auch durch besondere Darlehen zu unterstützen, seit langem überfällig.**

Die Förderung von Existenzgründungen ist eines der Rezepte, mit denen die von der Bundesregierung eingesetzte Kommission zur Arbeitsmarktreform um den VW-Manager Peter Hartz die Arbeitslosigkeit eindämmen will.

Dass den vielfachen Rufen nach stärkerer Entlastung von Existenzgründern auch endlich Taten folgen müssten, darauf verwies die Geschäftsführerin des ifm, Dr. Birgit Buschmann. Die Umsetzung dieser Forderung soll nun im Rahmen eines neuen Förderprodukts der Deutschen Ausgleichsbank (DtA) erfolgen: Darlehens-Beträge bis zu 25 000 Euro sollen Gründer und Firmen mit höchstens zehn Mitarbeitern damit schnell, ohne Sicherheiten und mit einem ein-

zigen Antragsformular erhalten können. Für Banken soll die Vermittlung durch eine 80prozentige Haftungsfreistellung attraktiv werden.

Strukturwandel und wachsende Bedeutung moderner Dienstleistungen sowie eine stärkere Dezentralisierung in der Unternehmensorganisation (zum Beispiel durch Outsourcing) haben zur Folge, dass immer mehr kleinere Betriebseinheiten entstehen. „Der Anstieg beruflicher Selbständigkeit beruht auch in Baden-Württemberg auf einer überproportionalen Zunahme an Ein-Personen-Unternehmen (seit 1990 um 36 Prozent). Mehr noch: Per saldo stieg seit 1997 nur noch die Zahl der Solo-Selbständigen (bis 2001 um 6000), während diejenige der Selbständigen mit Beschäftigten um 9000 abnahm“, so Buschmann.

Im Global Entrepreneurship Monitor (GEM)-Länderbericht Deutschland für 2001 belegt Deutschland im Gründungsgeschehen einen Platz im hinteren Mittelfeld, während die Gründungsförderung im internationalen Vergleich auf den vorderen Rängen

liegt. Existenzgründungszahlen in Deutschland sollen insbesondere durch optimierte Rahmenbedingungen, ein verbessertes Gründungsklima und eine nachhaltigere Ausschöpfung des Potenzials von Existenzgründerinnen erhöht werden können.

Neben den Hauptproblemen Qualifikation und Kapitalbeschaffung liegt ein besonderes Hemmnis bei Existenzgründungen in den Bürokratielasten. Eine Vereinfachung und Straffung von Verwaltungsverfahren erscheint hier ebenso notwendig, wie eine verbesserte Koordinierung der unterschiedlichen Angebote und Zuständigkeiten, etwa durch regionale one-stop-shops und Informations-Netzwerke, um so Angebote und Informationen aus einer Hand, Verfahrensbeschleunigung und -erleichterung zu erreichen.

**Im Rahmen der BMBF-Förderinitiative Nanobiotechnologie ist die Begutachtung neuer Projektvorschläge geplant. Deadline zur nächsten Auswahlrunde ist der 15.01.2003.**

## Fotowettbewerb

Die BG Chemie ruft zum Fotowettbewerb mit dem Thema „Mensch – Sicherheit – Technik: Gestern – Heute – Morgen“ auf. Auf der Achema 2003 zeigt die BG Chemie in einer kleinen Sonderausstellung die zehn besten Fotos und prämiert drei ausgewählte Bilder. Es soll dabei nicht so sehr um die reine Dokumentation gehen, was alles nicht in Ordnung ist, sondern vorrangig um den besonderen Blickwinkel und das ausdrucksstarke Motiv. Einsendeschluß ist der **15. Dezember 2002**.

## Engelhornpreis für Bio- und Gentechnik

Die Peter und Traudl Engelhorn-Stiftung zur Förderung der Biotechnologie und Gentechnik schreibt den Forschungspreis 2003 in Höhe von Euro 10 000 aus, zu folgendem Thema: Innovative Methoden in Biochemie, Molekularbiologie und Zellbiologie. Einsendeschluß der Vorschläge ist der **31. Juli 2002** (Poststempel). Die Nominierung für den Preis erfolgt auf Vorschlag von ausgewiesenen Experten. Selbstbewerbungen sind nicht möglich. Die vorgeschlagenen Kandidat/innen mit Wohnsitz in Deutschland, Österreich und

der Schweiz sollten 35 Jahre nicht überschritten haben und sich durch herausragende Publikationen und ihren wissenschaftlichen Lebenslauf auszeichnen. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Weitere Informationen finden Sie auf der Internet-Seite der Peter und Traudl-Engelhorn-Stiftung unter [www.engelhorn-stiftung.de](http://www.engelhorn-stiftung.de).

[www.analytik-news.de](http://www.analytik-news.de)  
4.000 geprüfte Web-Links

# Die protonenleitende Membran

Emil Roduner, Jochen Kerres, Stuttgart

Die chemische und thermische Stabilität der protonenleitenden Membran als dem Kernstück von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen muss hohen Anforderungen genügen, da in der Membranbrennstoffzelle chemisch sehr aggressive Bedingungen herrschen: das Oxidationsmittel Sauerstoff, chemisch aktive Edelmetall-Katalysatoren, Bildung reaktiver Radikale an den Elektroden, optional chemisch reaktive Brennstoffe wie Methanol und seine partiellen Oxidationsprodukte, und Prozesstemperaturen, die 100°C überschreiten können.

Die Brennstoffzellentechnologie wird wohl eine der Schlüsseltechnologien dieses Jahrhunderts werden, da die Energieausnutzung von Brennstoffzellenaggregaten deutlich höher ist als der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren. Mögliche Anwendungsfelder von Brennstoffzellen sind sowohl stationäre Anwendungen in Blockkraftwerken als auch mobile Anwendungen wie als Energiequelle in Fahrzeugen wie Personen- und Lastkraftwagen, Bussen oder Schienenfahrzeugen und nicht zuletzt in mobilen Elektronikgeräten wie Funktelefonen oder Laptops.

In der Brennstoffzelle (BZ) wird die chemische Energie eines Brennstoffs und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie umgewandelt. Die Gleichung hierfür lautet [1]:

$$\Delta G^0 = \nu_e F U_0^0 \quad (1)$$

Dabei ist  $\Delta G^0$  die freie Enthalpie der Brennstoffzellenreaktion,  $\nu_e$  die stöchiometrische Zahl der pro Formelumsatz umgesetzten Elektronen,  $F = 96\,500 \text{ As mol}^{-1}$  die Faradaykonstante und  $U_0^0$  die Gleichgewichtszellenspannung. Unter realen Betriebsbedingungen (Stromfluss!) wird jedoch die Zellspannung signifikant reduziert (Gleichung (2)):

$$U_{\text{Zelle}}(I) = U_0^0 - \eta_{\text{Anode}} - \eta_{\text{Kathode}} - IR \quad (2)$$

( $\eta_{\text{Anode}}$ ,  $\eta_{\text{Kathode}}$ : anodische und kathodische Überspannung, R: innerer elektrischer Widerstand der Zelle, IR: Ohm'scher Spannungsverlust bei Stromstärke I).

## Charakteristika von Brennstoffzellen

- Hocheffiziente Umwandlung von chemischer in elektrische Energie („kalte Verbrennung“), wobei die Effizienz im Prinzip unabhängig von der Größe der BZ-Anlage ist.
- BZ arbeiten leise und sauber (werden  $\text{H}_2$  als Brennstoff und  $\text{O}_2$  als Oxidationsmittel verwendet, entsteht als Oxidationsprodukt nur Wasser!)
- BZ sind flexibel:
  - verschiedene Brennstoffe möglich
  - unterschiedliche Baugrößen möglich (modulare Bauweise)
  - sowohl stationärer Betrieb (auf der Erde, in U-Booten, in Raumschiffen) als auch mobiler Betrieb möglich (Elektrotraktion, Stromversorgung von Laptops, Handys).

Bei der Brennstoffzelle fungiert die Kathode als Elektronensenke und die Anode als Elektronenquelle. Die Elektronen aus der Anodenreaktion fließen über den äußeren Stromkreis zur Kathode, wo sie an die Kathoden-Reaktanden abgegeben werden. Die BZ-Reaktionsgleichungen bei der Verwendung von  $\text{H}_2$  als Brennstoff und von  $\text{O}_2$  als Oxidationsmittel lauten bei saurem bzw. alkalischem Elektrolyten:

	Saurer Elektrolyt	Alkalischer Elektrolyt
Anode	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$
Kathode	$1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$
Gesamt	$\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

In Abb. 1 ist der prinzipielle Aufbau einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle gezeigt. Als polymere Elektrolyte kommen hauptsächlich Kationenaustauscher-Polymere mit protonenleitenden Sulfonsäuregruppen zur Anwendung. Es wäre zwar auch denkbar, OH<sup>-</sup>-leitende Polymere (wie z. B. Anionenaustauscherpolymere mit quarternären Ammoniumgruppen einzusetzen, jedoch gibt es bislang keine Anionenaustauscherpolymere, die unter Brennstoffzellenbedingungen ausreichend stabil sind.

### Die Autoren:

Der Chemiker **Prof. Dr. phil. Emil Roduner** habilitierte sich an der Universität Zürich und wurde 1995 auf den Lehrstuhl für Physikalische Chemie an der Universität Stuttgart berufen. Hauptarbeitsgebiet ist die Chemie freier Radikale in gasförmiger, flüssiger und fester Umgebung.

Dr. Jochen Kerres studierte Chemie an der Universität Stuttgart und führte die Dissertation am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik durch. Seit 1991 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Chemische Verfahrenstechnik. Hauptarbeitsgebiet ist die Herstellung, Charakterisierung und Modifizierung von Polymeren und die Entwicklung und Charakterisierung von ionenleitenden Membranen.



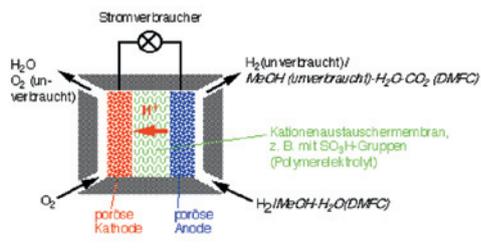


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle

## Polymerelektrolyte für Membranbrennstoffzellen

**Perfluorierte Ionomere** bestehen aus einer Perfluoralkyl-Hauptkette und einer Perfluoralkylether-Seitenkette mit einer Sulfonsäuregruppe an ihrem Ende. Die wichtigsten Membranen dieses Typs sind das DuPont-Produkt Nafion [3] und die Dow-Membran von der Dow Chemical Corp. [4]. Diese perfluorierten Membranen weisen eine ausserordentlich hohe chemische Stabilität auf: sie zeigten in  $H_2$ -Brennstoffzellen Lebensdauern von bis zu 60 000 Stunden bei einer Betriebstemperatur von 80 °C. Die hauptsächlichsten Nachteile dieser Membranen sind ihr hoher Preis (800 US\$ pro  $m^2$ ) und der komplizierte Produktionsprozess, welcher äußerst toxische Zwischenstufen beinhaltet. Die Firma Gore hat **mikroverstärkte Membranen** entwickelt, die aus einer mikroporösen, gereckten Teflon-Folie bestehen (Gore-Tex), deren Poren mit einem perfluorierten, Nafion-artigen Polymer gefüllt sind [6]. Durch die Gore-Tex-Stützstruktur wird die Membran gegenüber einer reinen Nafion-Membran mechanisch stabilisiert, so dass die Membrandicken bis auf 5  $\mu m$  reduziert werden konnten (Nafionmembranen können in Dicken zwischen 60 und 200  $\mu m$  bezogen werden), was zu einer starken Senkung des Membranwiderstands führt. **Gepfropfte Ionomermembranen** wurden in der Gruppe von G. G. Scherer am Paul Scherrer Institut in Villigen/Schweiz entwickelt und umfassend charakterisiert [7] [8]. Der kanadische Brennstoffzellenentwickler und -hersteller Ballard hat eine Anzahl von **teilfluorierten protonenleitenden Membranen** entwickelt, die aus sulfonierten [9] beziehungsweise phosphonierten [10] Polymerisaten von teilweise modifiziertem  $\alpha,\beta,\beta$ -Trifluorstyrol bestehen. Die sulfonierten Membranen zeigten eine exzellente Stabilität in Luft/ $H_2$ - und in  $O_2$ / $H_2$ -Brennstoffzellen [11]. Nachteil dieser Membranen ist der komplizierte Produktionsprozess für das Monomer  $\alpha,\beta,\beta$ -Trifluorstyrol und die schwierige Sulfonierbarkeit der Poly( $\alpha,\beta,\beta$ -trifluorstyrol)-Homo- und -Copolymere [9], was diese Ionomere bisher sehr teuer macht.

Die ersten Ionomermembranen auf Basis von Kohlenwasserstoff-Polymeren wurden von General Electric entwickelt, zuerst 1935 sulfoniertes Phenol-Formaldehyd Harze [12], danach sulfoniertes, Divinylbenzol-vernetztes Polystyrol [16]. Es wurde

jedoch bald entdeckt, dass diese Polymere eine für Brennstoffzellen nicht ausreichende chemische Stabilität zeigten. Schwachstellen waren hauptsächlich die tertiären C-H Bindungen und die benzylicischen Bindungen, die leicht von Sauerstoff unter Hydroperoxid-Bildung angegriffen werden.

In den letzten Jahrzehnten wurden zahllose Typen von **Aryl-Hauptkettenpolymeren** entwickelt. Motivation für diese Entwicklungen war, dass diese Polymerfamilie nach den fluorierten Polymeren die höchste chemische und mechanische Stabilität zeigt. Eine große Anzahl dieser Polymere wurde sulfoniert, um sie protonenleitfähig zu machen. Beispiele hierfür sind: Poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylenether), Poly(2,6-diphenyl-1,4-phenylenether) [13], Poly(ethersulfone) [15], Poly(etherketone) [16], Poly(phenylensulfide) [17], Poly(benzimidazol) [18], und verschiedene Poly(imide) und Poly(etherimide) [19]. Einige dieser Membranen wiesen in Membranbrennstoffzellen lange Lebensdauern auf, so erreichte ein sulfoniertes Naphthalin-Typ Polyimid eine Betriebsdauer von 3000 Stunden bei 60 °C [19]. Ein allgemeines Problem bei sulfonierten Arylhauptkettenpolymeren mit guter Protonenleitfähigkeit ist ihre zu hohe Quellung aufgrund der Hydrophilie der Sulfonsäuregruppen, was ihre mechanische Stabilität schwächt. Es ist somit erforderlich, die Quellung der Membranen unter Erhalt ihrer guten Protonenleitfähigkeit zu reduzieren. Dies kann erreicht werden durch Vernetzung, das heißt durch Ausbildung zusätzlicher Bindungen zwischen den Makromolekülen der Polymermembran.

Die Vernetzung einer protonenleitfähigen Polymermembran erfolgt durch eine difunktionelle organische Verbindung X-R-X, die mit geeigneten funktionellen Gruppen Y der Polymermembran reagiert. Bei der Vernetzung einer Polymermischung aus Polymer A mit protonenleitfähigen Gruppen und Polymer B mit vernetzungsfähigen Gruppen reagiert nur das Polymer B durch Reaktion der vernetzungsfähigen Gruppen mit der difunktionellen organischen Verbindung X-X unter Vernetzung, wobei jedoch die Polymermischungskomponente (Polymerblendkomponente) A so gut im Netzwerk der Komponente B verknäuel ist, dass sie nicht mehr herausgelöst werden kann. Durch die Vernetzungsreaktion wird somit die Quellung der protonenleitfähigen Membranen reduziert und ihre mechanische Stabilität erhöht. In der einschlägigen Literatur finden sich nur wenige Beispiele für kovalent vernetzte Arylhauptketten-Ionomermembranen. Eines der Beispiele ist die Herstellung kovalent vernetzter Membranen aus sulfoniertem Poly(ethersulfon) mittels Sulfonamid-Vernetzungsbrücken [14]. Es ist jedoch fraglich, ob die Vernetzungsbrücken dieser Membranen unter den stark sauren BZ-Betriebsbedingungen eine ausreichende Hydrolysestabilität aufweisen; es ist bekannt, dass Sulfonamid-Bindungen in starker Säure aufbrechen.

In der Polymer- und Membranentwicklungs-Arbeitsgruppe des ICVT wurde ein neuer kovalenter



Vernetzungsprozess für protonenleitfähige Arylhauptketten-(Blend)membranen entwickelt [20] [21] [22]. Es konnten Membranen mit deutlich verringerter Quellung, verglichen mit den unvernetzten Membranen, hergestellt werden. Sie wiesen jedoch den Nachteil auf, dass sie bei Austrocknung sehr spröde (d. h. brüchig) wurden, was auf die zusätzlichen kovalenten Bindungen zwischen den Makromolekülen, das heißt auf die Unflexibilität der gebildeten kovalenten Netzwerke zurückzuführen war. Aus diesem Grunde begannen wir mit der Entwicklung protonenleitfähiger, ionisch vernetzter und damit flexiblerer polymerer Netzwerke aus sauren und basischen Polymeren.

Flexible **Ionomer-Netzwerke** können aufgebaut werden durch Mischung polymerer Säuren Polymer-S<sup>-</sup>H<sup>+</sup> und polymerer Basen Polymer'-B, wobei durch Protonenübertragung von den sauren Gruppen auf die basischen Gruppen ionische Vernetzungsstellen Polymer-S<sup>-</sup>+HB-Polymer' entstehen. Es wurden im ICVT eine große Anzahl neuer verschiedener ionisch vernetzter Säure-Base-Blendmembranen entwickelt [23] [24] [25] [26] [27] [28]. Es zeigte sich, dass diese Membranen verringerte Sprödigkeit bei Austrocknung

aufweisen, verglichen mit kovalent vernetzten protonenleitfähigen Membranen. Sie zeigten darüber hinaus hervorragende thermische Stabilitäten von etwa 270 bis 350 °C und hohe Protonenleitfähigkeiten sowie sehr gute Performance in Wasserstoff- und Direktmethanol-Brennstoffzellen [26] [27] [28].

Ein bekanntes Beispiel für **Polymer/Mineralsäure-Compositemembranen** sind solche aus dem basischen Polymer Polybenzimidazol (PBI) und aus Phosphorsäure, bei dem die Phosphorsäure H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> als Protonenleiter fungiert [32] [33]. Vorteil ist ihre hohe Protonenleitfähigkeit auch im Temperaturbereich von 130 bis 150 °C [33], in dem die Protonenleitfähigkeit von Nafion aufgrund von Austrocknung gegen null geht [34] [35]. Temperaturen über 100 °C sind vor allem in Direktmethanol-Brennstoffzellen (DMFC) erstrebenswert, weil die Reaktionsgeschwindigkeit der Brennstoff-Oxidation an der katalytischen Anode mit der Temperatur steigt. Eine erhöhte Oxidationsgeschwindigkeit führt zu einem höheren Wirkungsgrad der Brennstoffzelle. Nachteil der PBI-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-Brennstoffzelle ist, dass die Phosphorsäure während des Betriebs aus der Brennstoffzelle austreten und/oder mit dem Brennstoff Methanol zu flüchtigem Phosphorsäure-Trimethylester reagieren kann, was zu einer graduellen Erniedrigung der Protonenleitfähigkeit und somit zu einer Erhöhung des inneren Membranwiderstands und damit einer Absenkung des Wirkungsgrads führt.

Ein interessanter neuer Ansatz sind **Compositemembranen aus sauren (hauptsächlich sulfonierten) Polymeren mit organischen Amphoteren** wie beispielsweise Imidazol oder Pyrazol [37], bei dem das organische Amphoter den Protonentransport übernimmt – bei konventionellen protonenleitenden Membranen wird der Protonentransport vom Amphoter Wasser übernommen. Vorteil der Verwendung der genannten Amphotere ist, dass diese einen wesentlich höheren Siedepunkt als Wasser aufweisen und aus diesem Grunde die Brennstoffzelle bei höheren Temperaturen betrieben werden kann als bei Verwendung konventioneller polymerer Protonenleiter. Nachteil der organischen Amphotere ist, dass sie mit dem Reaktionswasser der Brennstoffzellenkathodenreaktion aus der Membran ausgetragen werden können, da sie in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar sind. Abhilfe könnte hier eine Polymerisation der organischen Ampholyte schaffen, an der bereits gearbeitet wird.

In [38] wurden die Charakterisierungsdaten von Nafion-Membranen mit hochporösen SiO<sub>2</sub> „Aerosil“-Partikeln bis zu Konzentrationen von 3 % veröffentlicht. Das SiO<sub>2</sub> fungierte dabei als Wasserspeichermedium, was zu guten Protonenleitfähigkeiten bei einer Temperatur von 145 °C, einer Temperatur, bei der Nafion ohne SiO<sub>2</sub> aufgrund von Austrocknung nur noch eine sehr geringe Protonenleitfähigkeit aufwies. Nachteil der Einbringung von Pulvern in Polymermembranen ist, dass das Pulver während der Membranbildung durch Abdampfung des Lösungsmittels teilweise zu

Abb. 2: Sulfonierung von PSU via n-Butyllithium

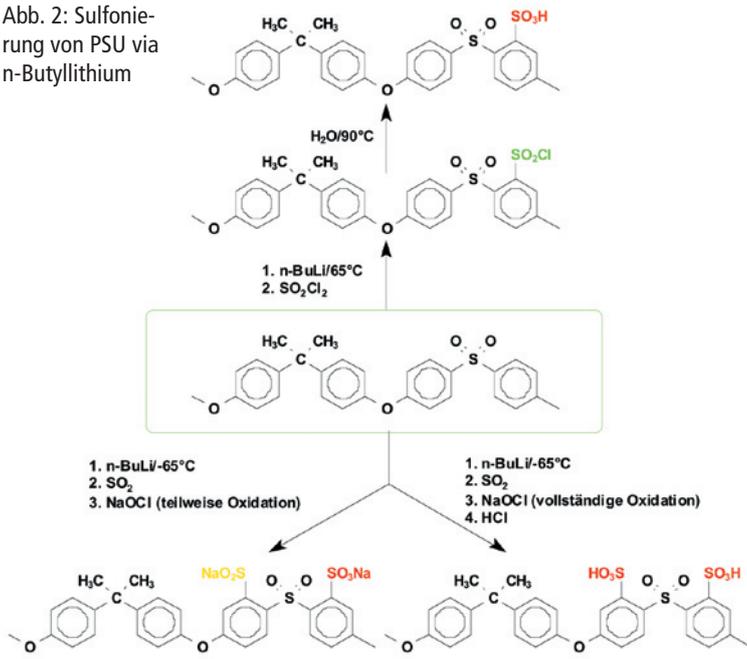
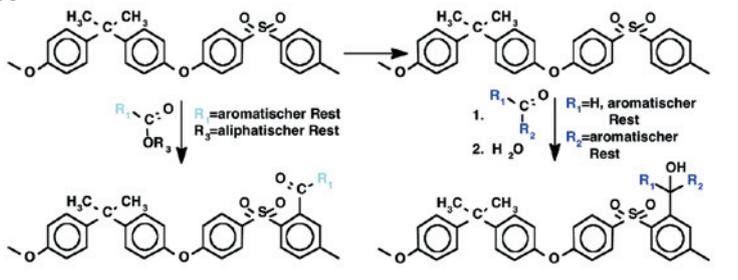


Abb. 3: Herstellung von mit basischen Gruppen modifiziertem PSU



Boden sinkt und damit über die Membrandicke keine einheitliche Konzentration an Partikeln erhalten werden kann. Ein anderer Nachteil ist, dass die Korngröße der Oxidpartikel nicht beliebig verkleinert werden kann. Es wäre jedoch sinnvoll, die anorganischen Partikel in den Nanometerbereich zu verkleinern, um deren Oberfläche zu vergrößern, da die Wasser-Speicherfähigkeit der Oxidpartikel mit ihrer Oberfläche steigt. In den USA hat Prof. Mauritz ein Verfahren entwickelt, um in protonenleitenden Membranen vom Nafion-Typ winzige anorganische Oxidpartikel im unteren Nanometer-Bereich zu erzeugen. Er legte Nafion-Membranen in Wasser-Alkohol-Lösungen ein, die eine organische Vorstufe von  $\text{SiO}_2$  enthielt, beispielsweise Tetraethoxysilan (TEOS) [39]. Nachdem das TEOS in die Membran eingedrungen war, hydrolysierte es unter Katalyse der sauren  $\text{SO}_3\text{H}$ -Gruppen der Nafion-Membran zu im unteren Nanometerbereich feinverteiltem wasserhaltigem polymerem Siliciumoxid, das eine gute Wasseraufnahmefähigkeit zeigt. Diese Membranen wurden noch nicht in Brennstoffzellen untersucht, sind aber vielversprechende Kandidaten für den Temperaturbereich über  $100^\circ\text{C}$ .

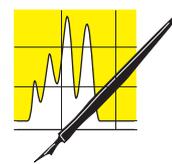
## Polymer- und Membranentwicklung für Membranbrennstoffzellen

Polysulfone PSU Udel ist ein kommerziell erhältliches Arylhauptketten-Polymer (Hersteller: BP Amoco) mit sehr guter chemischer Stabilität und mechanischer Beständigkeit und ist somit interessant für den Einsatz in Membranbrennstoffzellen. Am ICVT wurde ein Verfahren entwickelt, wie PSU mittels Reaktion mit *n*-Butyllithium zu  $\text{PSU-Li}$  und nachfolgender Umsetzung mit Schwefel-Elektrophilen zu protonenleitfähigem sulfoniertem PSU ( $\text{PSU-SO}_3\text{H}$ ) umgesetzt werden kann (Abb. 2). Das Zwischenprodukt der Umsetzung von  $\text{PSU-Li}$  mit  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$  [40], kann wie das Zwischenprodukt der Umsetzung von  $\text{PSU-Li}$  mit  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{PSU-SO}_2\text{Cl}$  [41], für weitere chemische Reaktionen, zum Beispiel Vernetzungsreaktionen, genutzt werden.

Wie eingangs erwähnt, werden in unserer Arbeitsgruppe Blendmembranen aus protonenleitenden und aus basischen Polymeren entwickelt, bei denen zwischen dem sauren und dem basischen Polymer ionische Vernetzungsstellen generiert werden. Wir haben einige Typen von mit basischen Gruppen modifiziertem PSU entwickelt, bei denen reaktives  $\text{PSU-Li}$  mit basische Gruppen enthaltenden aromatischen Ketonen oder Aldehyden oder mit basische Gruppen enthaltenden aromatischen Carbonsäureestern umgesetzt wird [30] [42] (Abb. 3). Im Falle der Reaktion mit Aldehyden oder Ketonen entstehen polymere basische sekundäre oder tertiäre Alkohole, im Falle der Reaktion mit Carbonsäureestern sind die basischen Gruppen mit der Polymerhauptkette über eine Carbonylgruppe verbunden. Die basischen organischen Verbindungen,

die mit  $\text{PSU-Li}$  zur Reaktion gebracht wurden, sind in Abb. 4 aufgeführt.

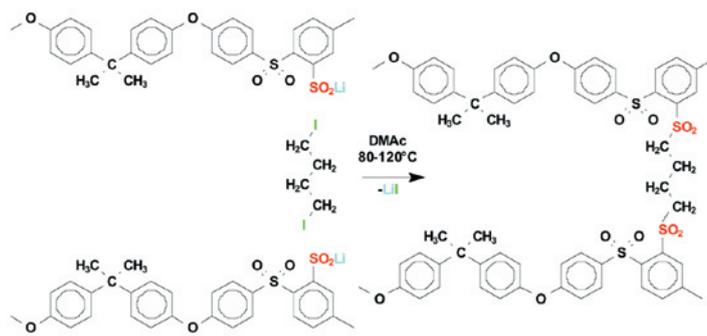
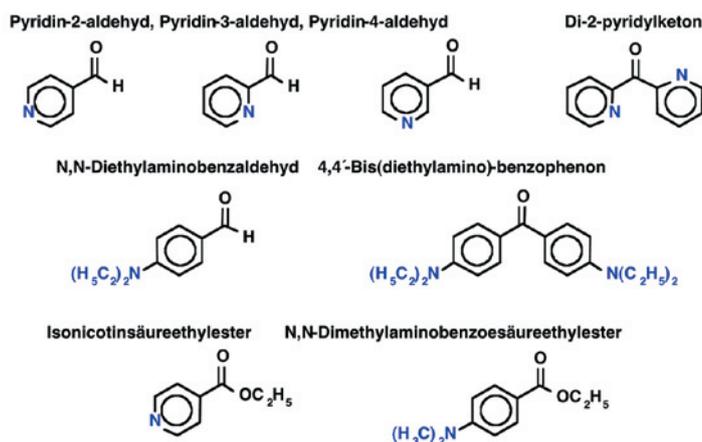
Sulfiniertes  $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$  kann durch Reaktion mit  $\alpha,\omega$ -Dihalogenalkanen kovalent vernetzt werden [20] [21] [22] (Abb. 5). Mittels dieses Verfahrens wurden zwei Typen kovalent vernetzter protonenleitender Membranen entwickelt (Typ I und Typ II Membranen). Die Typ I Membranen wurden hergestellt durch kovalente Vernetzung von PSU, das sowohl  $\text{SO}_2\text{Li}$ - als auch  $\text{SO}_3\text{Na}$ -Gruppen auf der gleichen Polymerhauptkette aufwies (Herstellung durch teilweise Oxidation von  $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$ , siehe Abb.2), mit  $\alpha,\omega$ -Dihalogenalkanen, während die Typ II Membranen präpariert wurden durch Vernetzung einer Mischung aus sulfiniertem PSU ( $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$ ) und aus sulfoniertem PSU ( $\text{PSU-SO}_3\text{Na}$ ) mit  $\alpha,\omega$ -Dihalogenalkanen. Bei den Typ I Membranen sind alle Makromoleküle in das Netzwerk integriert ([21]), während bei den Typ II Membranen nur der  $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$ -Anteil der Polymermischung kovalent vernetzt, und die  $\text{PSU-SO}_3\text{Na}$ -Komponente in diesem Netzwerk physikalisch verknäuel ist [22]. Der Vernetzungsgrad der Membranen wurde mittels Infrarot-Spektroskopie (IR) überprüft. Sulfinatgruppen  $-\text{SO}_2\text{Li}$  weisen im IR eine charakteristische Schwingungsbande zwischen  $960$  und  $980\text{ cm}^{-1}$  auf. Diese Schwingungsbande war bei den kovalent vernetzten Typ I und Typ II Membranen nicht mehr zu sehen, mithin hatten alle  $\text{SO}_2\text{Li}$ -Gruppen mit dem  $\alpha,\omega$ -Dihalogenalkan abreagiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Wasseraufnahme



## AUFSÄTZE

Abb. 4 (oben): Basische Gruppen enthaltende aromatische Verbindungen, die mit  $\text{PSU-Li}$  umgesetzt wurden (basische Gruppen sind blau gefärbt)

Abb. 5 (unten): Kovalente Vernetzung von  $\text{PSU-SO}_2\text{Li}$  mit  $\alpha,\omega$ -Diiodalkanen



(Quellung) der Typ I Membranen nicht stark mit der Temperatur zunimmt, was auf die Stabilität der Vernetzungsbrücken hinweist [21]. Die Untersuchung des thermischen Abbaus der Membranen zeigte, dass die Zersetzung bei 250 °C begann [21]. Typ II kovalent vernetzte protonenleitende Membranen wurden hergestellt durch Mischung von sulfiniertem und sulfoniertem PSU mit jeweils einer Sulfonat- bzw. Sulfinatgruppe pro PSU-Wiederholungseinheit in verschiedenen Mischungsverhältnissen. Je höher der Anteil der PSU-Sulfonat-Komponente war, desto höher war die Ionenleitfähigkeit der Membran. Ein Vergleich der Abhängigkeit des  $\text{Na}^+$ -ionischen Widerstands ( $R_{sp}\text{Na}^+$ ) vom Gehalt der Membranen an Sulfonatgruppen (ausgedrückt als Ionenaustauscherkapazität  $\text{IEC} = \text{Milliäquivalent } \text{SO}_3\text{Na pro Gramm Membran (IEC)}$ ) ergab, dass Typ I und Typ II Membranen die gleiche Abhängigkeit des  $\text{Na}^+$ -ionischen Widerstands von der IEC der Membran aufwiesen, was darauf hindeutet, dass der mikroskopische Aufbau (Mikromorphologie) beider Membrantypen gleichartig ist.

Einige der sauren und basischen Polymere, die zu Säure-Base-Blendmembranen gemischt wurden, sind in Abb. 6 und Abb. 7 aufgeführt [23] [30] [42]. Die ionische Wechselwirkung zwischen saurem und basischem Polymer kann man mittels Infrarotspektroskopie beobachten, wie für Säure-Base-Blendmembranen aus sulfoniertem PSU (sPSU) und Poly(4-vinylpyridin) (P4VP) gezeigt werden konnte [23]. Die mikroskopische Struktur der Säure-Base-Blendmembranen wurde mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) bestimmt [26] [28] [29] [41] [42]. Vor der Untersuchung wurden die Membranen durch Ionenaustausch mit Silbernitrat in die  $\text{SO}_3\text{Ag}$ -Form gebracht, weil Silber einen guten Kontrast in der Elektronenmikroskopie aufweist. In Abb. 8a ist die

TEM-Aufnahme einer Säure-Base-Blendmembran (S-2) aus 95 Gew% wasserunlöslichem sulfoniertem PSU ( $\text{IEC} = 1,6 \text{ meq } \text{SO}_3\text{H/g Polymer}$ ) und 5 Gew% PBI (S-2), in Abb. 8b die TEM-Aufnahme einer Säure-Base-Blendmembran aus 79 Gew% wasserlöslichem sulfoniertem PEEK ( $\text{IEC} = 2,9 \text{ meq } \text{SO}_3\text{H/g Polymer}$ ) und PBI (M-170). In Abb. 8a ist eine heterogene Struktur im Größenbereich 1-2  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ) zu erkennen, während in Abb. 8b nur sehr feine Strukturen im 10-20 nm-Bereich ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) auftreten. Die Bilder können folgendermaßen interpretiert werden: die Membran S-2 weist aufgrund ihres niedrigeren Gehalts an  $\text{SO}_3\text{H}$ -Gruppen eine wesentlich geringere Konzentration an ionischen Vernetzungsstellen auf als die Membran M-170; da somit die Wechselwirkungen zwischen den beiden Blendpolymeren bei S-2 wesentlich geringer sind als bei M-170, kommt es bei S-2 zu einer teilweisen Separation zwischen den beiden Polymerphasen, erkennbar an den dunklen „Tropfen“ in einer helleren Matrix. Da S-2 nur 5 % basisches Polymer PBI enthält, dürfte in den „Tropfen“ das PBI angereichert vorliegen. Dagegen sind bei M-170 keine heterogenen Strukturen im  $\mu\text{m}$ -Bereich zu erkennen, was auf eine vollständige Mischbarkeit des sauren mit dem basischen Polymer aufgrund der hohen ionischen Vernetzungsstellen-Dichte bei M-170 hindeutet. Die feinen Strukturen in M-170 können als assoziierte  $\text{SO}_3\text{Ag}$ -Gruppen interpretiert werden, da bei Ionenaustauscherpolymeren die ionischen Gruppen immer aggregieren, wobei die Größe der Assoziate im Nanometerbereich liegt

Die thermische Beständigkeit der Säure-Base-Blendmembranen wurde mittels Thermogravimetrie (TGA) bestimmt. Bei der TGA wird eine Probe mit einer konstanten Geschwindigkeit aufgeheizt, währenddessen die Massenabnahme der Probe mit einer Mikrowaage ermittelt wird. Es konnte gezeigt werden, dass die thermische Beständigkeit der ionisch vernetzten Membranen besser ist als die thermische Beständig-

Abb. 6: Für die Herstellung von Säure-Base-Blendmembranen verwendete saure und basische Polymere (\*kommerziell erhältliche Polymere)

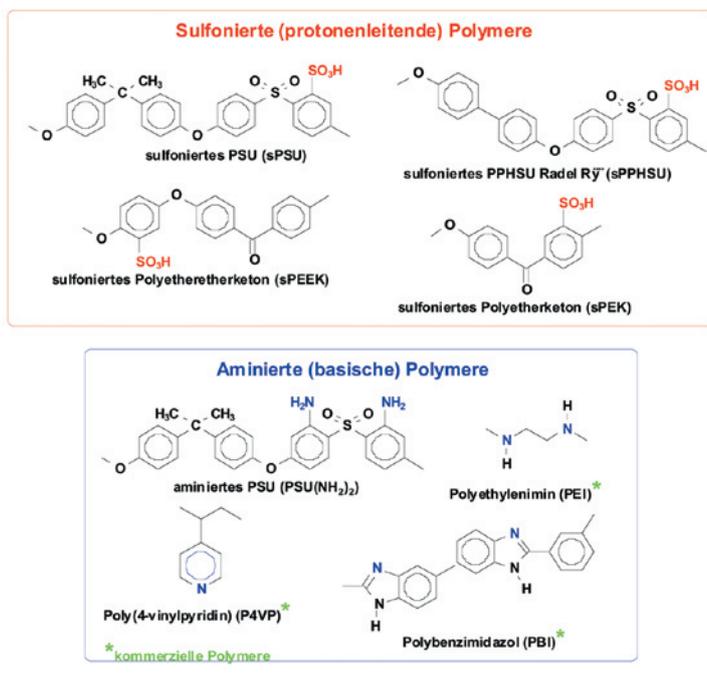
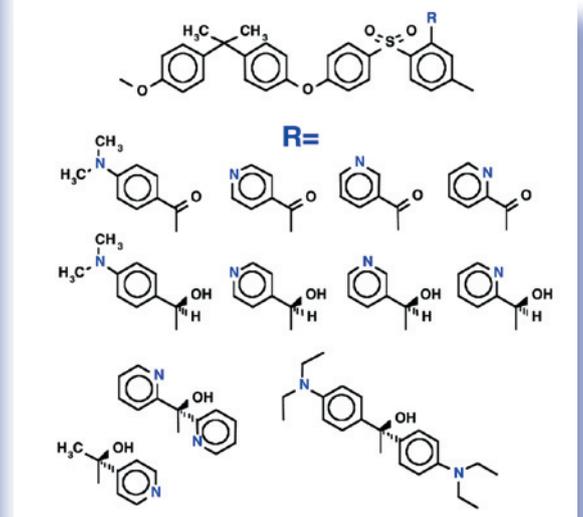


Abb. 7: Selbst entwickelte basische Polymere, auf PSU basierend



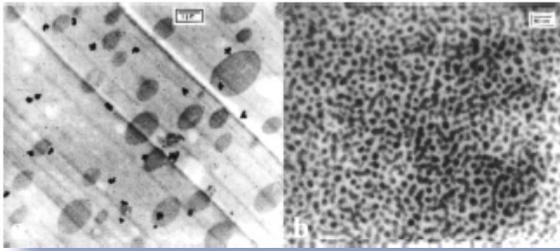
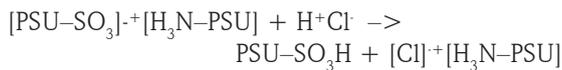


Abb. 8: TEM-Aufnahme der Blendmembran S-2 (a, links) und der Blendmembran M-170 (b, rechts); Membranen durch Ionen austausch mit AgNO<sub>3</sub> kontrastiert

keit der kovalent vernetzten Membran. Weiterhin gilt, dass die Protonenleitfähigkeiten der Membrantypen sPEEK-PSU(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (Typ 1.1) und sPSU-PSU(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (Typ 1.2) geringer sind als die Protonenleitfähigkeiten der anderen Säure-Base-Blendmembrantypen sPSU-PSU(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (Typ 1.2), sPSU-P4VP (Typ 1.3, sPEEK-PBI (Typ 1.4) und sPSU-PBI (Typ 1.5) bei dem gleichen Gehalt an SO<sub>3</sub>H-Gruppen [23] [26] [43] [44] (Erklärung der Polymer-Kurzbezeichnungen siehe Abb. 6). Dies kann damit erklärt werden, dass die IEC's der Membranen, die aminiertes PSU (PSU(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) enthalten, auch die Protonen erfassen, die Ergebnis einer teilweisen Spaltung der ionischen Vernetzungsstellen durch die Säure-Nachbehandlung der Membranen sind:



Die Protonen der entstehenden Ammoniumgruppe +[H<sub>3</sub>N-PSU] tragen nicht zur Protonenleitfähigkeit bei, werden aber erfasst bei der IEC-Bestimmung mittels Säure-Base-Titration.

### Brennstoffzellen-Anwendung der am ICVT entwickelten Membranen

Zwei ionisch vernetzte Säure-Base-Blendmembranen des Typs 1.2, bezeichnet als 8H und 9H, wurden in H<sub>2</sub>-PEFC untersucht. Die Kennlinien der Membranen bei der Verwendung von Luft als Kathoden-Reaktant zeigen eine sehr gute Performance [27] [28]. Die Polarisationskurven bei Verwendung von reinem Sauerstoff als Kathoden-Reaktant sind deutlich besser.

In DMFC wurden bislang nur eine beschränkte Anzahl von Membrantypen eingesetzt. Eine davon ist das eingangs erwähnte perfluorierte Ionomer Nafion. Nafion hat jedoch einen gravierenden Nachteil beim Einsatz in DMFC, eine sehr hohe Methanol-Durchlässigkeit. Der von der Anode zur Kathode diffundierende Methanol desaktiviert teilweise den Kathoden-Katalysator und zersetzt sich am Kathodenkatalysator teils direkt zu CO<sub>2</sub> und Wasser, was zu einer merklichen Reduktion des Kathodenpotentials führt [5] [36]. Auch das ebenfalls in der Einleitung erwähnte Membransystem PBI/H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> wurde bereits in DMFC im Temperaturbereich 130-150 °C eingesetzt [31] [32] [33] [34]. Einer der Nachteile dieses Membransystems ist es,

dass die Phosphorsäure nicht kovalent an das Polymer angebunden ist und somit partiell aus der Membran ausdiffundieren kann, insbesondere wenn die Temperatur der Brennstoffzelle unter 100 °C fällt und das bei der Brennstoffzellenreaktion gebildete Wasser sich verflüssigt (Phosphorsäure ist sehr hygroskopisch). Nichtfluorierte, unvernetzte sulfonierte protonenleitende Polymermembran wie beispielsweise sPSU oder sPEEK zerfallen in Methanol durch extreme Quellung [45]. Es hat sich im Verlauf unserer Arbeiten gezeigt, dass die am ICVT entwickelten ionisch und kovalent vernetzten Membransysteme in Methanol und Methanol-Wasser-Mischungen stabil sind und eine deutliche verringerte Methanol-Durchlässigkeit, verglichen mit Nafion, aufweisen [45] [46]. Die Anwendung einiger unserer kovalent und von ionisch vernetzten Membranen in DMFC ergab eine gute Performance [27] [28] [47] [48]. Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die protonenleitenden kovalent oder ionisch vernetzten Membranen gute Perspektiven in der Brennstoffzellenanwendung haben. Zwei der wichtigsten Aufgaben der fortschreitenden Forschung in diesem Arbeitsgebiet ist die Durchführung von Langzeit-Stabilitätstests der Membranen, wofür auch langzeitstabile Katalysatoren erforderlich sind, und die Verbesserung der Anbindung der Elektroden an die Membran zur Steigerung der DMFC-Leistung.

### Elektronenspinresonanz-Untersuchungen zu Membransynthese und Membranabbau

Die Elektronenspinresonanz (ESR) ist eine spektroskopische Methode vom Typ der magnetischen Resonanz. Sie detektiert ungepaarte Elektronen der nicht abgesättigten chemischen Bindungen freier Radikale anhand ihrer Resonanzen in einem angelegten Magnetfeld. Die Radikale sind naturgemäß sehr kurzlebig und reaktiv auf Grund ihres ständigen Bestrebens, die offene Bindung abzusättigen.

Ein am Paul Scherrer Institut in der Schweiz verfolgter Ansatz hat die Synthese voll- oder teilfluorierter Membranen ausgehend von kommerziell erhältlichen Polymerfolien zum Ziel (siehe Abb. 9). Dazu werden

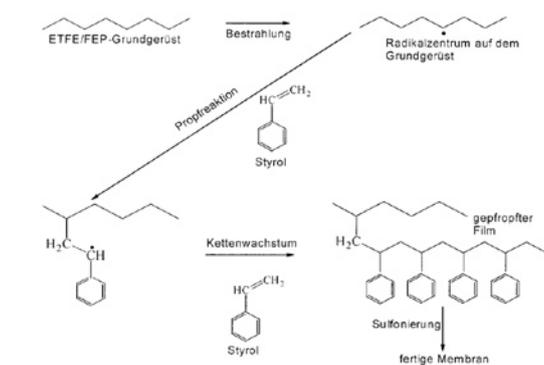


Abb. 9: Schematische Darstellung der Synthese einer strahlengepfropften Polymermembran für die Brennstoffzelle



in einem ersten Schritt durch Elektronenbestrahlung der Folien auf dem Polymer Radikalzentren erzeugt. Bei der Zugabe von Styrol wächst an jedem dieser Zentren eine Polystyrol-Seitenkette; sie ist am Grundgerüst des vorgelegten Polymers „aufgepfropft“. Diese Seitenketten erreichen eine durchschnittliche Länge von etwa 1000 Einheiten, wobei sich die Masse des eingesetzten Polymers etwa verdoppelt. Im letzten Schritt werden die aromatischen Kerne des Polystyrols sulfoniert. Dabei entstehen die Sulfonsäuregruppen, welche die Membran protonenleitend machen.

ESR-Spektren einer unter Schutzgas elektronenbestrahlten Folie sind in Abb. 10 beispielhaft für Teflon gezeigt. Die unterschiedliche Struktur der Spektren ist darauf zurückzuführen, dass die Polymerketten bei tiefer Temperatur in der steif und spröde erscheinenden Folie vollständig starr vorliegen, während sie bei höherer Temperatur zunehmend beweglich werden. Aus der Feinstruktur der Spektren wird auf die Nahstruktur des Radikalzentrums geschlossen, aus der Intensität auf die Zahl der erzeugten Zentren. Letztere steigt natürlich mit der Bestrahlungsdosis an, sie erreicht allerdings bei hohen Dosen einen Sättigungswert. Die Empfindlichkeit auf die Radikalstruktur geht aus Abb. 11 hervor, wo das Signal einer in Luft bestrahlten Folie gezeigt ist. Dabei addiert

Abb. 10: ESR-Spektren einer elektronenbestrahlten Teflonfolie (die mit einem Stern markierte scharfe Linie ist ein Untergrundsignal des bestrahlten Quarzglas) [50].

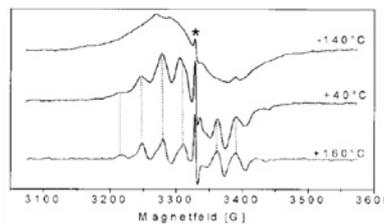


Abb. 11: ESR-Spektren von unter Sauerstoff bestrahltem Teflon bei minus 110 °C (a) und bei plus 60 °C (b) im Vergleich mit unter Schutzgas bestrahltem Teflon bei plus 60 °C (c) [50].

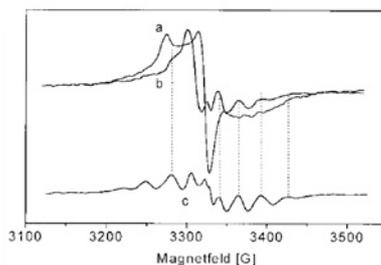
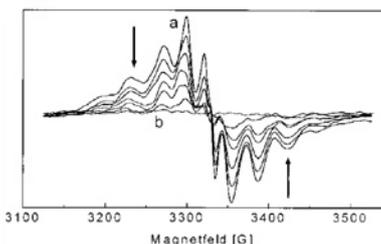


Abb. 12: ESR-Spektren der Radikale auf einem elektronenbestrahltem Teflon-Film während der Pfpfreaktion. Die Pfeile zeigen, in welcher Richtung die Signale abnehmen [50].



unter Bildung eines Peroxyradikals Sauerstoff an das Radikalzentrum, was sich in einer offensichtlich anderen Linienform im Spektrum niederschlägt. Bei höheren Temperaturen bildet sich das ursprüngliche Radikal wieder zurück, entweder durch Freisetzung des Sauerstoffs oder durch Kettentransfer. Auch die Pfpfreaktion kann mittels ESR direkt zeitlich verfolgt werden. Dies ist in Abb. 12 gezeigt, wo in der periodischen Aufzeichnung die Abnahme des Signals sofort ersichtlich ist. Bemerkenswerterweise ist kein Signal der wachsenden Polystyrolkette zu erkennen. Dies ist nur so zu erklären, dass die Ketten sehr schnell bis zum Abbruch wachsen, sobald die in die Folie eindringende Front von Styrol ein Radikalzentrum erreicht hat. Es wurde gezeigt, dass die Pfpfreaktion sowohl mit dem Alkyl- als auch mit dem Peroxyradikal abläuft und dass die Reaktion bei höherer Temperatur schneller verläuft. Bei 60 °C ist die Reaktion nach zwei Stunden weitgehend abgeschlossen. Auch in Abwesenheit von Styrol verschwinden die Radikale mit der Zeit, da die Ketten bei erhöhter Temperatur beweglich sind, was zur Termination der Radikale führt.

Ziel unserer Untersuchungen ist es, die Vorgänge des Membranabbaus zu verstehen. Zur Untersuchung der chemischen Stabilität wurden deshalb Modellkomponenten der verschiedenen alternativen Membranen HO•-Radikalen ausgesetzt, welche direkt im Hohlraumresonator eines ESR-Spektrometers durch UV-Photolyse von Wasserstoffperoxid erzeugt wurden [50]. Dabei zeigte sich wie erwartet eine reichhaltige Chemie: HO•-Radikale abstrahieren leicht tertiäre H-Atome, und sie addieren recht unselektiv an Aromaten. Eher überraschend ist jedoch die ausgesprochene pH-Abhängigkeit dieser Chemie. So reagiert beispielsweise die Toluolsulfonsäure sowohl bei tiefem wie auch bei hohem pH zu Benzylradikalen, allerdings auf unterschiedlichen Wegen. In einem weiten Bereich wird als HO•-Addukt das Cyclohexadienylradikal gefunden. In einem Fenster um pH 11,9, den pK<sub>s</sub>-Wert des HO•-Radikals, entstehen dagegen die sauerstoffzentrierten Phenoxyradikale. Auch für Nichtspezialisten ist die unterschiedliche Struktur der ESR-Spektren sofort zu erkennen.

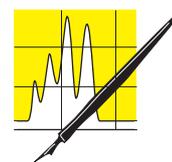
Nun dominieren in der Brennstoffzelle die sauren Bedingungen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass an ungünstig platzierten Katalysatorkörnern der Kathode durch effizienten Umsatz von Sauerstoff wesentlich mehr Protonen verbraucht als lokal nachgeliefert werden können. Dies kann bei Überlast zu ausgeprägten pH-Inhomogenitäten führen, die einschneidende Konsequenzen für die Chemie haben können. Aus diesen Untersuchungen ist folgende Lehre zu ziehen: Treten in einer Membran HO•-Radikale in kleinsten Mengen auf, so führt dies in Materialien, die ungesättigte Bindungen oder leicht zu abstrahierende H-Atome enthalten, zu irreparablen Schäden. Damit ist auch die chemische Beständigkeit des perfluorierten Nafions, das keine ungesättigten Bindungen aufweist, verständlich [51].

Bisher werden elektrochemische Methoden angewandt, um Erkenntnisse über die laufende Brennstoffzelle zu gewinnen. Sie liefern integrale aber dennoch außerordentlich wichtige Informationen über den Strom-Spannungszustand und über das dynamische Verhalten. Dagegen existieren kaum Methoden, die spezifische Information über gewisse Teilprozesse der Brennstoffzellen-Reaktion zugänglich machen. Erstmals wurde deshalb in Stuttgart eine Miniatur-Brennstoffzelle gebaut, die im Hohlraumresonator eines ESR-Spektrometers betrieben werden kann. Ziel ist es, abhängig vom elektrochemischen Betriebszustand der Zelle radikalische Zwischenstufen der regulären Reaktion sowie auf der Membran gebildete Produkte der Abbaureaktion zeitaufgelöst nachzuweisen. Bisher wurde demonstriert, dass die beobachteten Signale sich beim Betrieb durchaus ändern, die Effekte sind jedoch noch nicht im Detail verstanden. Zudem gibt es noch gewisse Kinderkrankheiten der Zelle zu beheben.

**Zusätzliche Informationen über Brennstoffzelltypen finden Sie unter [www.clb.de](http://www.clb.de).**

#### Literatur

- [1] W. Peschka, H. Wendt, in: „Wasserstoff als Energieträger“, Springer Berlin Heidelberg New York, 1989, Hrsg.: C.-J. Winter, J. Nitsch, 2. Aufl., Kap. 2, S. 31-64
- [2] K. A. Friedrich, Nachrichten aus der Chemie 48(10), 1210-1217 (2000)
- [3] W. G. Grot, Macromolecular Symposia 82, 161-172 (1994)
- [4] A. Steck, in: „Proceedings of the First International Symposium on New Materials for Fuel Cell Systems“, Eds. O. Savadogo, P. R. Roberge and T. N. Veziroglu, Montreal, Canada, July 9-13, 1995, 74-94
- [5] Surampudi, S., Narayanan, S. R.; Vamos, E.; Frank, H.; Halpert, G.; LaConti, A.; Kosek, J.; Surya Prakash, G. K.; Olah, G. A., J. Power Sources 47 (1994) 377-385
- [6] J. A. Kolde, B. Bahar, M. S. Wilson, T. A. Zawodzinski, S. Gottesfeld, in: „Proceedings of the first International Symposium on Proton Conducting Membrane Fuel Cells“, The Electrochemical Society Proceedings, Eds. S. Gottesfeld, G. Halpert, A. Landgrebe, 95-23, 1995, 193-201
- [7] G. G. Scherer, Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 94 (1990) 1008-1014
- [9] J. Wei, C. Stone, A. E. Steck, WO 95/08581, Ballard Power Systems, Int. Publ. Date: 30 March 1995
- [10] C. Stone, L.-Q. Hu, T. Daynard, C. Mah, A. E. Steck, lecture (speaker C. Stone), in “Extended Abstracts of the Third International Symposium on New Materials for Electrochemical Systems”, 4th to 8th July 1999, Montreal, Canada, pp. 238-239
- [11] A. Steck, C. Stone, in „Proceedings of the Second International Symposium on New Materials for Fuel Cell and Modern Battery Systems“, Eds. O. Savadogo, P. R. Roberge, Montreal, Canada, July 6-10, 1997, p. 792
- [12] B. A. Adams, E. L. Holmes, Fr. Pat. 796,796 (1936)
- [13] R. B. Hogdon, A. S. Hay, U. S. Pat. 3,528,858 (1970)
- [14] R. Nolte, K. Ledjeff, M. Bauer, R. Mülhaupt, J. Memb. Sci. 83 (1993) 211-220
- [15] A. Noshay, L. M. Robeson, J. Appl. Polym. Sci. 20 (1976) 1885-1903
- [16] F. Helmer-Metzmann, K. Ledjeff, R. Nolte, et al., EP 0 574 791 A2 Offen, Hoechst AG (1993)
- [17] K. Miyatake, H. Iyotani, K. Yamamoto, E. Tsuchida, Macromol. 1996, 29 (1996) 6969
- [18] M. B. Gieselman, J. R. Reynolds, Macromol. 1992, 25 (1992) 4832-4834
- [19] S. Faure, M. Pineri, P. Aldebert, R. Mercier, B. Sillion, EP 897407 A1 (1999)
- [21] J. Kerres, W. Zhang, W. Cui, J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem. 36 (1998) 1441-1448
- [22] J. Kerres, W. Cui, M. Junginger, J. Memb. Sci. 139 (1998) 227-241
- [23] J. Kerres, A. Ullrich, F. Meier, Th. Häring, Solid State Ionics 125 (1999) 243-249
- [28] J. Kerres, A. Ullrich, Th. Häring, W. Preidel, M. Baldauf, U. Gebhardt, J. New Mat. Electrochem. Systems 3, 229-239 (2000)
- [29] W. Zhang, C.-M. Tang, J. Kerres, Poster paper, in „ Book of Abstracts, Vol. 2, of the Euromembrane '99 Conference“, 26.-29.9.1999, Leuven, Belgium, pp. 43-44
- [30] J. Kerres, A. Ullrich, T. Häring, D. Pat. Appl. 198 36 514.4 from 12.08.1998
- [31] J. S. Wainright, J.-T. Wang, R. F. Savinell, M. Litt, H. Moadel, C. Rogers, Proceedings, Electrochem. Soc., Spring Meeting, San Francisco, May 22-27 (1994), Extended Abstracts, Vol. 94-1, 982-983 (1994)
- [33] J. S. Wainright, J.-T. Wang, D. Weng, R. F. Savinell, M. H. Litt, J. Electrochem. Soc. 142 (1995) L121-L123
- [34] S. R. Samms, S. Wasmus, R. F. Savinell, J. Electrochem. Soc. 143 (1996) 1225
- [36] A. Kuver, I. Vogel, W. Vielstich, J. Power Sources 52 (1994) 77
- [37] K. D. Kreuer, A. Fuchs, M. Ise, M. Spaeth, J. Maier, Electrochimica Acta Proceedings ISPE-5, Uppsala 1996
- [38] A. S. Aricò, P. Creti, P. L. Antonucci, V. Antonucci, Electrochem. Solid-State Lett. 1(2) (1998) 66-68
- [39] K. A. Mauritz, Mat. Sci. Eng. C 6 (1998) 121-133
- [40] J. Kerres, W. Cui, S. Reichle, J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem. 34 (1996) 2421-2438
- [41] J. A. Kerres, A. J. van Zyl, J. Appl. Polym. Sci. 74 (1999) 428-438
- [43] W. Cui, J. Kerres, G. Eigenberger, Sep. Purif. Techn. 14 (1998) 145-154
- [46] M. Walker, K.-M. Baumgärtner, M. Kaiser, J. Kerres, A. Ullrich, E. Rächle, J. Appl. Polym. Sci. 74 (1999) 67-73
- [48] J. Kerres, Eingeladener Vortrag, Jahrestagung 2000 der Fachgruppe „Angewandte Elektrochemie“ der Gesellschaft Deutscher Chemiker „Elektrochemische Verfahren für neue Technologien“, 27. - 29. 9. 2000, Ulm
- [49] M.S. Wilson, US Patent 5211984 (1993)
- [50] Gerold Hübner, ESR-Untersuchungen von Radikalreaktionen von Bedeutung für PEM-Brennstoffzellen (Dissertation, Universität Stuttgart, 1999).
- [51] G. Hübner and E. Roduner, J. Mater. Chem. 1999, 9, 409.



**AUFsätze**

# Grundlagen der Chemie multimedial

Sabine Nick, Judith Andresen, Kiel

Das Lehren und Lernen in Schule, Hochschule oder privatem Bereich hat sich, bedingt durch die Anwendung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien, in den letzten Jahren stark gewandelt und wird sich auch zukünftig immer weiter von traditionellen Lernformen entfernen. Einen wohl noch bestehenden Mangel bei deutschsprachiger Chemie-Lehr- und Lernsoftware soll nun die multimediale Lernumgebung „Chemnet“ beheben.

Mit zu den leistungsfähigsten Lernmedien zählen Computer, da diese die Einbettung weiterer Medien wie beispielsweise Ton, Bilder, Filme und Animationen erlauben [1]. Trotz dieser einzigartigen Möglichkeiten besteht gerade für den Bereich deutschsprachiger chemischer Lehr- und Lernsoftware nach wie vor ein Mangel an sinnvollen und qualitativ hochwertigen Anwendungen, die darüber hinaus auch die Untersuchung von Lernprozessen und Lernerfolg beim Lernen mit „neuen Medien“ erlauben [2]. Wir haben daher die multimediale Lernumgebung „Chemnet<sup>1</sup>“ (Chemie im Netz) entwickelt, welche unter Verwendung unterschiedlichster Medien eine Einführung in die Anorganische und Allgemeine Chemie beinhaltet. Chemnet wurde zunächst in Anlehnung an die experimentelle Grundvorlesung für Studierende der Chemie sowie verwandter Naturwissenschaften an der Universität Kiel entwickelt, beinhaltet mittlerweile jedoch eine Fülle zusätzlicher Informationen. Damit unsere Lernumgebung möglichst vielen Interessenten kostengünstig zur Verfügung gestellt werden kann, haben wir uns das „World Wide Web“ (WWW) als Plattform ausgesucht. Dieses bietet gegenüber anderen Präsentationsformen weitere, entscheidende Vorteile: So sind Änderungen und Korrekturen augenblicklich möglich und es müssen

## Die Autorinnen:

**Dr. Sabine Nick** hat in Frankfurt Chemie studiert, in Anorganischer Chemie promoviert und anschließend im dortigen Institut für Didaktik der Chemie Experimente für den Schulunterricht entwickelt. Seit 1997 ist Sie am IPN sowie am Anorganisch-chemischen Institut in Kiel als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig und arbeitet an ihrer Habilitation. Zu Ihren Interessensschwerpunkten gehört der Einsatz neuer Medien im Chemieunterricht.

**Judith Andresen** hat in Kiel Chemie und Mathematik für gymnasiales Lehramt studiert und steht kurz vor ihrem 1. Staatsexamen. Sie hat im Rahmen ihrer Examensarbeit die Oberfläche von CHEMnet programmiert.



Nick



Andresen

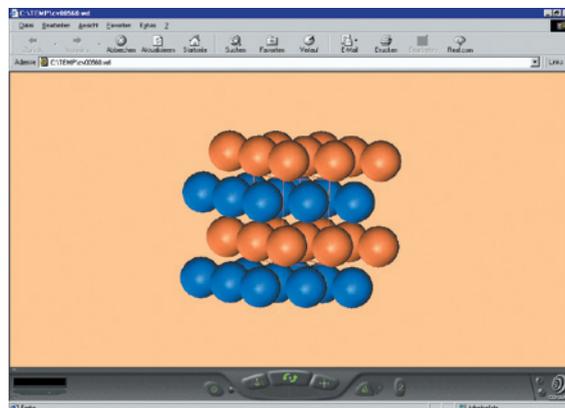
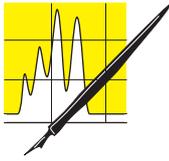


Abb. 1: Beispiel einer VRML-Animation in Chemnet: Ausschnitt aus der hexagonal dichtesten Kugelpackung des Zinks. Mit Hilfe der Maus lässt sich der Strukturausschnitt in alle Richtungen drehen und studieren. Zur besseren Übersicht der Schichtabfolge A, B, A, B... sind die Zinkatome der jeweiligen Schichten unterschiedlich gefärbt.

keine kostenintensiven Updates, wie beispielsweise bei Programmen auf CD-ROM, oder Neuauflagen, wie etwa bei Büchern erfolgen. Es lassen sich auch unterschiedlichste Dateiformate implementieren, so dass beispielsweise Videos, Simulationen oder Animationen sehr einfach zur Verfügung gestellt werden können. Weiterhin lassen sich Texte und Bilder recht leicht herunterladen und abspeichern oder ausdrucken. Das Internet gestattet auch eine Interaktivität zwischen System und Nutzer. Dies ist beispielsweise für eine Lernerfolgskontrolle, in der die Lernenden Übungsaufgaben bearbeiten und sofort Rückmeldung über ihren Lösungserfolg erhalten, unbedingt notwendig. Darüber hinaus gestattet ein online-Angebot eine direkte und vollautomatische Erfassung der Nutzung und kann so beitragen Lernprozesse und Lernverhalten zu analysieren, um beispielsweise den Wert neuer Medien für den Chemieunterricht abzuschätzen. Hierzu wird jeder Nutzer von „Chemnet“ bei dessen erstmaliger Registrierung gebeten einige Fragen zu beantworten aus denen beispielsweise die Art der Schule oder bei Studenten das Studienfach und die Anzahl der Fachsemester hervorgeht. Hier werden keinerlei persönliche Daten erfragt und das Ausfüllen dieses Fragebogens kann bislang freiwillig erfolgen.

<sup>1</sup> Die Vorlesung ist kostenfrei unter [www.chemievorlesung.uni-kiel.de](http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de) abrufbar. Um eine Benutzerkennung und ein Passwort zu erhalten, muss einmalig eine Registrierung erfolgen.



AUFsätze

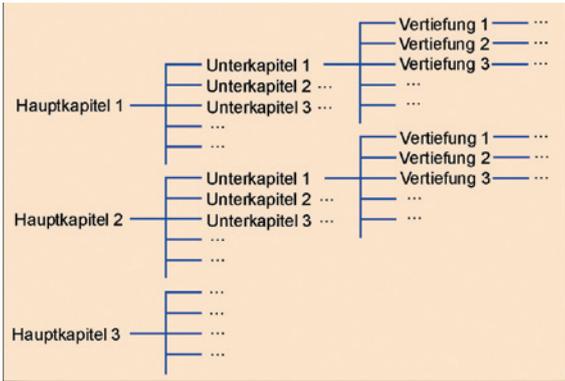


Abb. 2: Gliederung der fachlichen Inhalte in der Lernumgebung „Chemnet“

### Die Lernumgebung „Chemnet“

Die Zielgruppe unseres „WWW“-Angebotes sind neben Studierenden der ersten Semester mit Haupt- und Nebenfach Chemie auch Schülerinnen und Schüler berufsbildender Schulen und der gymnasialen Oberstufe. Erste Auswertungen zeigen jedoch, dass auch andere Personengruppen wie beispielsweise Lehrer sowie Chemiker aus Hochschule und Industrie regelmäßig mit unserem System arbeiten.

„Chemnet“ umfasst bisher etwa 2300 HTML-Seiten (Hypertext Markup Language), rund 2000 Abbildungen und Fotografien, 138 Videosequenzen chemischer Experimente sowie 60 Simulationen und Animationen. Die fachlichen Inhalte gliedern sich in insgesamt 14 Hauptkapitel.

Die fachlichen Inhalte werden ähnlich wie in einem Buch dargestellt, wobei die Verwendung von HTML-Seiten beispielsweise erlaubt, Querverweise sehr leicht nachzugehen. Der Basistext ist um zahlreiche multimediale Anwendungen erweitert: So finden sich beispielsweise dreidimensionale Simulationen von Festkörper- und Molekülstrukturen, welche sich mit den Programmen Chime 2.6 [3] oder Cosmo-Player [4] (Abb. 1) betrachten und aktivieren lassen. Andere Simulationen, beispielsweise zum Photoeffekt, benötigen das Programm Macromedia Shockwave Player [5]. Diese Programme lassen sich über „Chemnet“ kostenfrei herunterladen. Videoaufnahmen chemischer Experimente lassen sich mit dem ebenfalls frei zugänglichem Programm Realplayer [6] in zwei unterschiedlichen Qualitäten betrachten. Darüber hinaus finden sich zahlreiche Abbildungen, die mit einer Rot-Grün-Brille<sup>2</sup> betrachtet, dreidimensional erscheinen, und somit einen wesentlich leichteren Zugang zu diesem Lehrstoff gewährleisten [7, 8].

Der gesamte Inhalt von „Chemnet“ ist streng hierarchisch geordnet und gestattet zunächst jeweils einen thematischen Überblick und anschließend, je

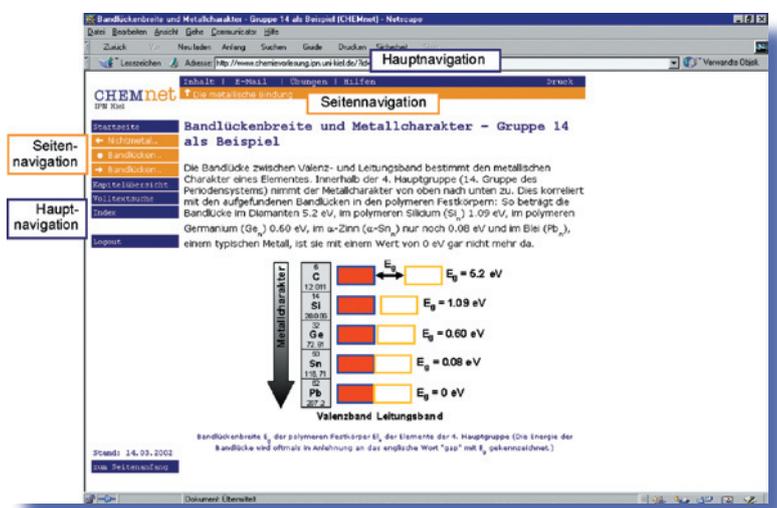
nach Vorwissen des Lernenden, die Möglichkeit ausgewählte Themenbereiche individuell zu vertiefen (Abb.2). Die Verwendung des HTML-Codes erlaubt dabei beliebig zwischen den verschiedenen Kapiteln zu wechseln.

Um den Umgang mit „Chemnet“ zu erleichtern, stehen verschiedene Navigationshilfen zur Verfügung (Abb. 3). Die Seitennavigation, in orange gekennzeichnet, enthält den Titel der vorhergehenden, der aktuellen sowie der nachfolgenden Seite und ermöglicht ein Wechseln zur nächsthöheren Ebene. Auf diese Weise kann ein Nutzer jederzeit seinen momentanen Standort in „Chemnet“ bestimmen.

Die Hauptnavigation, in blau gekennzeichnet, beinhaltet eine Verknüpfung (Hyperlink) zur Startseite, zum Inhaltsverzeichnis und zur Kapitelübersicht, welche einen Ausschnitt aus dem hierarchischen Baum, mit den Titeln der Seiten des momentan bearbeiteten Kapitels liefert. Darüber hinaus gibt es viele weitere Verknüpfungen und Funktionen, welche die Arbeit mit „Chemnet“ erleichtern:

Die Volltextsuche, welche auf den gesamten Inhalt von „Chemnet“ zurückgreift, erlaubt eine gezielte Suche nach Inhalten oder Stichworten. Im Index (Glossar) werden alphabetisch geordnet unbekannte Begriffe erklärt, wobei anschließend sehr einfach wieder zur aktuellen Seite zurückgekehrt werden kann. Über die Logout-Funktion kann der Lernende das System endgültig verlassen oder zuvor noch Übungsaufgaben zum aktuellen Lernstoff bearbeiten. Der Begriff Inhalt zeigt den gesamten Inhalt von „Chemnet“. Hier von ausgehend können die einzelnen Kapitel gezielt aufgeblättert und geöffnet werden. Die Feedback-Option „E-mail“ gestattet technische oder fachliche Fragen an das „Chemnet-Team“ zu stellen, welche dann direkt dem jeweiligen Ansprechpartner zugeleitet werden. Werden die „Übungen“ ausgewählt, gelangt der Nutzer wie bei der „Logout“-Funktion zu den Übungsaufgaben, wobei nun Multiple Choice-Aufga-

Abb. 3: Screenshot einer charakteristischen „Chemnet“-Seite zur Veranschaulichung der verschiedenen Navigationselemente



<sup>2</sup> Rot-Grün-Brillen sind bei nahezu jedem Optiker für rund 2 Euro erhältlich

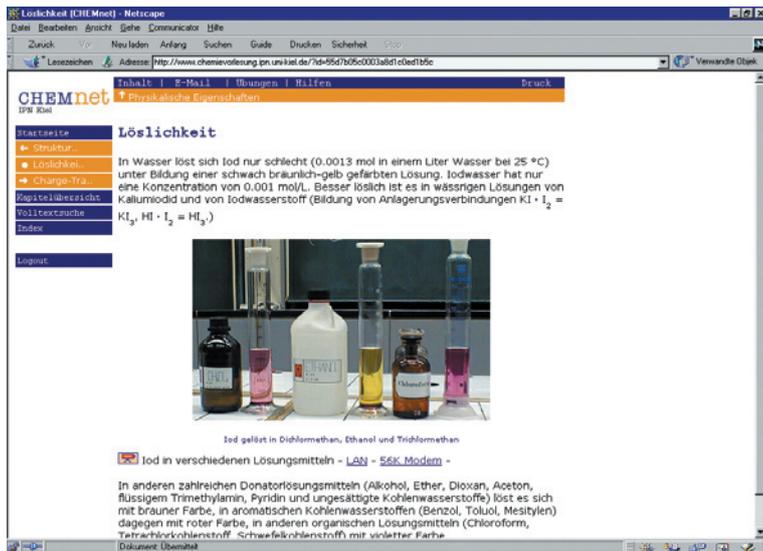
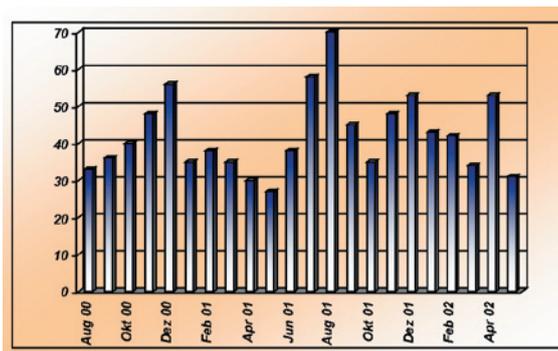


Abb. 4: Screenshot einer Seite in „Chemnet“ die eine Verknüpfung zu einem Video beinhaltet, welches ein Experiment zu den im Text beschriebenen Inhalten zeigt.

ben zu jedem beliebigen Kapitel ausgewählt werden können. Der Schwierigkeitsgrad der Übungsaufgaben richtet sich nach dem Lösungserfolg des jeweiligen Nutzers: Zu Beginn werden drei Aufgaben mittleren Schwierigkeitsgrades angeboten. In Abhängigkeit von der Anzahl an richtigen Antworten werden bei den nächsten Fragen schwerere oder leichtere Aufgaben gestellt. Das System protokolliert den Lösungserfolg des jeweiligen Nutzers, so dass bei einer späteren Nutzung der Schwierigkeitsgrad weiterer Fragen automatisch angepasst wird. Unter „Hilfen“ findet sich eine Bedienungsanleitung für „Chemnet“, Listen mit wichtigen Naturkonstanten und Umrechnungsfaktoren, das griechische Alphabet, ein Periodensystem sowie eine Liste der nötigen Zusatzprogramme für Chemnet, welche direkt heruntergeladen werden können. Die Druck-Option öffnet ein kleines Zusatzfenster, in dem die Seiteninformationen ohne Navigationsrahmen angezeigt, gespeichert oder ausgedruckt werden können.

Neben diesen auf allen Seiten identischen Navigationselementen, finden sich im Text spezielle inhaltliche Verknüpfungen, die durch verschiedenartige

Abb. 5: Zugriffszahlen auf „Chemnet“ pro Monat und pro Nutzer, die mindestens dreimal im System waren



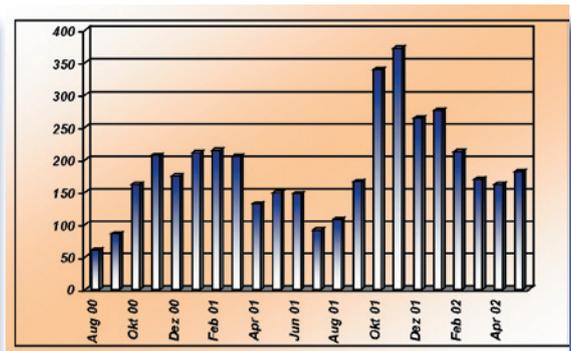
Piktogramme kenntlich gemacht sind: So führt das Piktogramm „Information“ zu zusätzlichen Erklärungen und Informationen. Das Wurzelzeichen liefert detaillierte Berechnungsschritte, Herleitung von Formeln und mathematischen Zusammenhängen. Die „Gedächtnisstütze“ liefert kleine Hilfen zum besseren Verständnis und Behalten der fachlichen Inhalte. Das Piktogramm „Beispiel“ führt zu leichtverständlichen Beispielen und die „Kamera“ verknüpft zu Videoaufnahmen von Experimenten (Abb. 4). Die Themenbereiche verschiedener Kapitel werden durch das Piktogramm „Schon gelesen“ miteinander verknüpft: Derartige Verknüpfungen führen zu Seiten in denen die jeweilige Thematik behandelt wird.

## Nutzer und Nutzungszahlen

Hauptnutzer unseres Web-Angebotes sind Studierende (31,8 Prozent), Schülerinnen und Schüler (23,0 Prozent) sowie Lehrkräfte (16,7 Prozent). Daneben lassen sich noch folgende kleinere Gruppen ausmachen: Chemiker (2,9 Prozent), Professoren (2,0 Prozent), Sonstige (2,9 Prozent). 20,7 Prozent aller registrierten Personen haben leider keine Angaben gemacht, so dass keine Zuordnung getroffen werden kann und dieser Nutzerkreis bei zukünftigen Evaluationen leider nicht berücksichtigt werden kann. Bisher haben sich bei „Chemnet“ mehr als 3850 Personen registrieren lassen, von denen 2267 nach ihrer Freischaltung mindestens einmal im System waren.

„Chemnet“ ist seit Mitte Januar 2000 über das „World Wide Web“ frei zugänglich. Die Zahl der Seitenaufrufe (»Pageviews«) im Zeitraum vom 15. Januar 2000 bis 15. Mai 2002 beläuft sich auf rund 209 000. Werden nur die Seitenaufrufe von Personen berücksichtigt, die mindestens dreimal im System waren, so ergibt sich im betrachteten Zeitraum eine Zahl von 177 000 Zugriffen. Werden diese Zugriffszahlen genauer analysiert, so zeigt sich, dass die Nutzer, welche Chemnet regelmäßig verwenden über das Jahr gesehen nahezu konstant damit arbeiten (Abb. 5). Die Anzahl der Nutzer schwankt jedoch sehr stark und ist insbesondere in den Win-

Abb. 6: Anzahl der Nutzer von „Chemnet“ pro Monat, die mindestens dreimal im System waren



termonaten sehr hoch. Darüber hinaus nimmt deren Anzahl fortwährend zu (Abb. 6). Alle Seitenaufrufe in unserer Lernumgebung werden in Form von Verlaufsprotokollen vom System erfasst und dokumentiert<sup>3</sup> (Abb. 7). Auf diese Weise lassen sich nutzerspezifische Lernwege analysieren und auswerten.

## Evaluation der Lernumgebung

Das System „Chemnet“ bietet die Möglichkeit, verschiedenen Fragestellungen zum »Lernen mit Neuen Medien« nachzugehen. Zwei bereits abgeschlossene Untersuchungen befassen sich mit der Gestaltung von „Chemnet“: So beschäftigt sich eine Studie damit, inwieweit Lernprozess und Lernerfolg von der Art der Darstellung in einer multimedialen Lernumgebung abhängen [9]. In einer anderen Studie wurde in Abhängigkeit der Zielorientierung der Probanden untersucht, ob linear oder vernetzt gestaltete Texte zu einem größeren Lernerfolg führen [10].

Im Rahmen einer weiteren Untersuchung wird geprüft, inwieweit sich die „Concept Mapping“ Technik als Messinstrument für Lernfortschritte eignet, um diese gegebenenfalls in Ergänzung zu den bereits vorhandenen Multiple Choice-Aufgaben, als Lernerfolgskontrolle verfügbar zu machen [11].

Eine weitere Studie mit Studierenden der ersten Semester befasst sich mit Untersuchungen inwieweit dreidimensionale oder interaktive Strukturmodelle am Computer zu einem besseren Verständnis von beispielsweise Festkörperstrukturen führen.

Zur Zeit haben wir eine Fragebogen-Aktion über e-mail gestartet, bei der alle Nutzer gebeten werden Fragen zu den Inhalten und dem Design von „Chemnet“ zu beantworten. Diese Untersuchung soll helfen „Chemnet“ noch weiter zu verbessern. Die inhaltlichen Fragen sollen zeigen, wie Lernende den Umfang, das fachliche Niveau sowie die Aufbereitung der Inhalte einschätzen und Informationen liefern, welche Wertschätzung unsere Nutzer unserem Produkt „Chemnet“ entgegenbringen. Die Fragen zum Design umfassen die allgemeine Navigation in „Chemnet“, die Verknüpfung der Inhalte durch Hyperlinks und Piktogramme, sowie die Nutzung von multimedialen Elementen wie beispielsweise Simulationen und Animationen.

Zukünftig planen wir eine detaillierte Auswertung der Verlaufsprotokolle: So kann beispielsweise erhoben werden, ob und welche Themenbereiche bestimmte Nutzergruppen besonders interessieren oder inwieweit Thematiken vertiefend und auf welcher fachlichen Ebene bearbeitet werden. Weiterhin haben wir begonnen das gesamte System ins Englische zu übersetzen um „Chemnet“ einem noch größeren

Interessentenkreis zugänglich zu machen. Diese Option wird in den nächsten Monaten zur Verfügung stehen.

### Danksagung

Für die Unterstützung dieser Arbeit danken wir Herrn Professor Reinhard Demuth und Herrn Professor Wolfgang Bensch von der Universität Kiel sowie dem Land Schleswig-Holstein.

### Literatur:

- [1] B. Weidenmann, Lernen mit Medien in Pädagogische Psychologie, A. Krapp, B. Weidenmann (Hrsg.), 4. Auflage, Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz, Weinheim 2001
- [2] S. Nick, S. Schanze, L. Lensment, Chemische Lehr- und Lernprogramme - Eine kritische Bestandsaufnahme. Teil 1: Allgemeine Bewertung, PdN-Ch. 49 (5), 25 (2000)
- [3] <http://www.mdlchime.com/chime/>
- [4] <http://www.cai.com/cosmo/>
- [5] <http://sdc.shockwave.com/shockwave/download/frameset.fhtml?>
- [6] <http://www.real.com/player/index.html?>
- [7] S. Nick, K. Buchholtz, PdN-Ch.; erscheint in 2003
- [8] S. Nick, K. Buchholtz, Zeitschrift für Kristallographie, Supplement 19, 97 (2002)
- [9] L. Lensment, Dissertation, Universität Kiel, 2002.
- [10] S. Schanze, Dissertation, Universität Kiel, 2001; S. Schanze, D. Urhahne, in Vorbereitung
- [11] I. Stracke, C. Gräsel, R. Demuth, unveröff. Ergebnisse



**AUFsätze**

Abb. 7: Ausschnitt aus Verlaufsprotokollen eines „Chemnet“-Nutzers



<sup>3</sup> Jede Auswertung dieser Dateien erfolgt natürlich entsprechend den Richtlinien zum Datenschutz anonym und streng vertraulich.

# Fibonacci-Zahlen in der Natur

**Wolfgang Hasenpusch, Hanau**

Dass die Natur auch heute noch voller Wunder steckt, können die großen Forscher unserer Tage bestätigen. Nicht selten sind gerade sie ehrfurchtsvoll von einer tiefen Religiosität geprägt. Viele Entdeckungen aber hat der Mensch der Natur schon abgerungen. Eine dieser fantastischen mathematischen Entdeckungen war bereits um 1200 eine Zahlenreihe, die Leonardo von Pisa, genannt Fibonacci (1180-1250), der Geburtenrate von Feldhasen abschautete. Erst 1843 faßte der Mathematiker J.P.M. Binet diese Zahlenreihe in eine mathematische Formel. Erstaunen bewirken immer wieder die Zusammenhänge dieser Zahlenreihe mit dem Goldenen Schnitt und der Kreiskonstanten  $\pi$ .

Mit der Zahlenreihe des Fibonacci erkennen wir neben Populationswachstum auch andere Zusammenhänge in der Natur, beispielsweise die Anordnung der Kerne in einer Sonnenblume oder die der Lamellen eines Kiefernzapfens sowie die Anordnung der Blätter um einen Ast herum oder die Verästelung eines Baumes. Diese Zusammenhänge der Regelmäßigkeit, Ästhetik und Harmonie in der Natur haben vornehmlich praktische Ursachen, die das Überleben der Lebewesen sichern und verbessern. Optimale Raumaufteilungen sind auch in der Technik von großer Bedeutung, etwa auf Diamant-bestückten Schleifscheiben oder bei der Anordnung von Gussobjekten um einen Schmelzbaum.

## Fibonacci und seine Zahlenreihe

Leonardo von Pisa erlernte das kaufmännische Rechnen, bevor er seinen Vater, Handelsbevollmächtigter und Diplomat in Algerien, auf Handelsreisen durch die Provence, Sizilien, Griechenland, Syrien und Nordafrika begleitete. Dabei lernte der Sohn des Bonacci, genannt Fibonacci, als Verkürzung von „Filius Bonacci“, auch die damals gebräuchlichen Rechenverfahren kennen. Bekannt wurde er 1202 durch sein 459 Seiten starkes Werk „Liber Abaci“, in dem er die indische Rechenkunst in Europa populär machte und



### Der Autor:

Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch ist Referent im zentralen Service-Bereich „Gesundheit, Sicherheit, Umweltschutz“ bei der Degussa AG und Honorarprofessor an der Universität Siegen. Er hält über 50 Patente. Als langjährigen CLB-Autor schätzen die Leser ihn auch wegen seiner themenübergreifenden Artikel, die auf seine weiteren vielseitigen Interessen hindeuten: Er ist Karikaturist, Tauchlehrer und Langstreckenläufer.

die heute übliche arabische Schreibweise der Zahlen einführte.

Berühmt wurde Fibonacci aber besonders mit der rekursiv definierten Zahlenfolge, die er mit dem „Kaninchenproblem“ im Liber Abaci zitiert. Rekursiv heißen Funktionen, deren Werte derart zusammenhängen, dass sie sich aus gegebenen Anfangswerten nacheinander durch jeweils die gleichen Formeln berechnen lassen:

$$X_{n+2} = X_{n+1} + X_n.$$

Daraus folgt die Zahlenreihe 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, .... Das heißt: die nächst folgende Zahl ergibt sich jeweils aus der Summe der beiden vorhergehenden.

## Kaninchen-Vermehrung nach Fibonacci

Diese Zahlenreihe entwickelte Fibonacci aus dem Vermehrungsprogramm der Feldhasen für ein Jahr. Dabei definierte er drei Bedingungen:

1. Jedes Kaninchenpaar wird im Alter von zwei Monaten zeugungsfähig.
2. Jedes zeugungsfähige Kaninchenpaar bringt jeden Monat ein neues Paar zur Welt.
3. Ausfälle durch Tod, Krankheit und Zeugungsunfähigkeit werden ausgeschlossen.

Monat	Paare	Anzahl
erster	ein unreifes Paar	1
zweiter	ein reifes Paar	1
dritter	ein reifes und ein unreifes	2
vierter	zwei reife und ein unreifes	3
fünfter	drei reife und zwei unreife	5
sechster	fünf reife und drei unreife	8
...	...	...

Nach zwölf Monaten begegnet man dieser Reihe zufolge bereits 144 Kaninchen-Paaren!

## Fibonacci-Reihe, der Goldenen Schnitt und die Kreiskonstante $\pi$

Der Quotient zweier in der Fibonacci-Reihe aufeinander folgender Zahlen nähert sich mit zunehmendem Zahlenwert dem Goldenen Verhältnis von 0,618, steht die höhere der benachbarten Zahlenpaare im Zähler entsprechend 1,618.

$X = 0,618$  errechnet sich aus der Formel  $X + X^2 = 1$ , wobei  $X = 1/2 (\sqrt{5} - 1)$ .

# CLB – Memory

Die CLB-Beilage für Ausbildung in Chemie, Labortechnik,  
Chemietechnik, Biologie und Biotechnik

Juli 2002

Jugend forscht

## Quantitative Analyse von Lipiden durch hochauflösende Dünnschichtchromatographie

Jevgenij Raskatov, Heidelberg  
Jan Rossa, Leipzig  
Thomas R. Appel, Jena

**E**s existieren heute diverse Methoden zur Analyse von Lipiden, die in ihrer Aufwändigkeit, Genauigkeit und dem Kostenfaktor stark variieren. Unter diesen Analyseverfahren stellt die hochauflösende Dünnschichtchromatographie die robusteste Untersuchungsmethode dar. Mit moderatem zeitlichen und materiellen Einsatz lassen sich quantitative Ergebnisse erzielen.

Bakterien, Pflanzen, Tiere und der Mensch sind aus sechs chemischen Bestandteilen aufgebaut: Nukleinsäuren, Proteinen, Kohlenhydraten, Lipiden, Salzen und Wasser. Die Vielfalt der Lipide reicht von einfachen Triglyceriden, die für thermische Isolation und Energiespeicherung zuständig sind, bis zu komplexen Membranlipiden, die als Hauptbestandteil der Zellmembran dort strukturelle Funktionen übernehmen und als Botenstoffe biologische Prozesse steuern.

### Lipidklassen

Membranlipide lassen sich in Lipidklassen einteilen. Eine Lipidklasse wird durch die spezifische funktionelle Gruppe, die über einen Phosphat-Rest an Kohlenstoffatom drei (C-3) des Glycerol-Rückgrats oder an Sphingosin kondensiert ist, festgelegt. Diese funktionelle

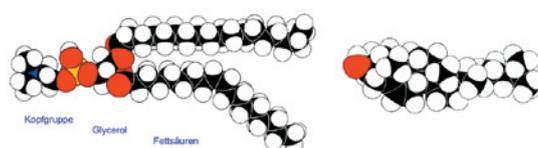


Abb. 1: Struktur eines Membranlipids (links) und von Cholesterol (rechts) als Kalottenmodell. (Weiß: Wasserstoff; schwarz: Kohlenstoff; rot: Sauerstoff; gelb: Phosphor; blau: Stickstoff)

Gruppe wird Kopfgruppe genannt (Abb. 1). Eine Lipidklasse umfasst diverse Lipide, die in ihrer Kopfgruppe übereinstimmen und sich lediglich durch die Länge der Fettsäureketten und/oder die Zahl der Doppelbindungen voneinander unterscheiden. Eine Ausnahme bildet die Lipidklasse der Steroide (z.B. Cholesterol), welche kein Glycerol-Rückgrat und auch keine Kopfgruppe enthält. Jede Klasse kann einer der folgenden Kategorien zugeordnet werden.

**Unpolare Lipide:** Mono-, Di- und Triglyceride bestehen aus Glycerol als dreiwertigem Alkohol und – zumeist gesättigten – Fettsäuren. In Lipidextrakten aus Säugetiergewebe stellen die Triglyceride (Speicherfette) und deren Hydrolyseprodukte, die Mono- und Diglyceride, den Hauptanteil der unpolaren Lipide. Zusätzlich kommt Cholesterol in allen Biomembranen vor.

**Phospholipide** zählen zu den polaren Lipiden und bestehen aus einem zweifach mit Fettsäuren veresterten Glycerol (Diglycerid) meist mit einer gesättigten Fettsäure am C-1 und häufig einer ungesättigten Fettsäure an C-2, während an C-3 eine polare Kopfgruppe gebunden ist. Nach der chemischen Natur der Kopfgruppe

werden die Phospholipide klassifiziert. In den untersuchten Proben aus Säugetiergewebe befanden sich Phosphatidylcholin, Phosphatidylserin, Phosphatidylinositol und Phosphatidylethanolamin. Eine zusätzliche Phospholipidklasse ist Sphingomyelin, welches Cholin als Kopfgruppe und anstelle von Glycerol und einer der beiden Fettsäuren das langkettige Sphingosin enthält. Daher zählt Sphingomyelin gleichzeitig zu den Phospho- und den Sphingolipiden.

**Glycosphingolipide:** Neben den Phospholipiden bilden die Glycosphingolipide die zweite große Klasse polarer Lipide. Unter den acht analysierten Säugetierlipidklassen befanden sich zwei Glycosphingolipide – Galactocerebrosid und Sulfatid. Jede dieser zwei Lipidklassen spaltet sich während der Dünnschichtchromatographie in zwei Banden auf, welche auf dem gemeinsamen Vorkommen des hydroxylierten und des nicht hydroxylierten Sphingosins beruhen. Das hydroxylierte Lipid erfährt bei der Chromatographie eine geringfügig stärkere Retention.

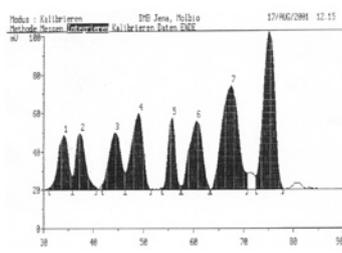
### Trennung durch Polarität

Bei der dünn-schichtchromatographischen Trennung wird die unterschiedliche Polarität der

Lipidklassen ausgenutzt. Das auf der Glasplatte fixierte Kieselgel besitzt freie Hydroxylgruppen, die mit einer Substanz umso mehr in Wechselwirkungen treten, je polarer diese ist. Dadurch und durch die unterschiedliche Löslichkeit im Laufmittel legen die Lipidklassen unterschiedlich lange Strecken auf der Trennschicht zurück; dabei wandern die polarsten Lipidklassen am wenigsten. Nach der Färbung kann durch Zuordnung der Wanderstrecke einer Bande die Lipidklasse qualitativ, und mit einem speziellen Scanverfahren auch quantitativ ausgewertet werden. Die Wanderstrecke ist bei einem bestimmten Laufmittelsystem und einer bestimmten Trennschicht für die jeweilige Lipidklasse konstant. Für die Trennung der Lipidklassen werden mit Kieselgel beschichtete Dünnschicht (DC)-Platten (10\*10cm und 20\*10cm mit 2,5cm Vorkonzentrationszone, Fa. Macherey-Nagel) eingesetzt. Bei DC-Platten mit Vorkonzentrationszone werden die unterschiedlichen Adsorptionseigenschaften zweier Sorptionsmittel auf einer einzigen Platte ausgenutzt. Die Vorkonzentrationszone aus Kieselgur verhält sich gegenüber einer großen Anzahl von Verbindungen in Beziehung auf Adsorption inert – im Gegensatz zur Trennzone aus Kieselgel. Die etwa 2cm vom unteren Plattenrand auf die Vorkonzentrationszone aufgetragenen Proben haben zunächst eine unregelmäßige Fleckenform, werden aber an der Grenze zwischen Vorkonzentrationszone und Trennzone zu Banden fokussiert. Dadurch wird eine bessere Trennung erreicht und eine quantitative Auswertung ermöglicht.

Zur Entwicklung der Platten wird ein System aus drei verschiedenen

Abb. 2: Integrierter Graph eines gescannten Lipidmixes. (x-Achse: Laufstrecke [mm]; y-Achse: Signalintensität)



Laufmitteln bzw. Laufmittelgemischen benutzt. Es wird mit einem relativ polaren Laufmittel (LM1) begonnen und in zwei weiteren Entwicklungsschritten zunächst ein weniger polares (LM2) und schließlich ein unpolares Laufmittel (LM3) benutzt. LM1 besteht aus einem Gemisch von Essigsäureethylester, 1-Propanol, Chloroform, Methanol und 0,25% KCl-Lösung im Verhältnis von 25:25:25:10:9, LM2 aus einem Gemisch von n-Hexan, Diethylether und Essigsäure im Verhältnis von 75:23:2, LM3 aus n-Hexan. Die Trennung der Lipidklassen wird bereits nach der Entwicklung mit LM1 zum großen Teil erreicht. Die Folgeentwicklungen dienen der Bandenfokussierung sowie der besseren Trennung der unpolaren Lipidklassen.

Zum Sichtbarmachen der Lipide gibt es mehrere Färbeverfahren. Die robusteste Färbung der Banden erfolgt durch Tauchen der Platte in eine Lösung, bestehend aus 10%  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (w/v) und 8%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (w/v), und anschließendem Ausheizen im Ofen bei 160°C. Es bilden sich an den Stellen der Lipidbanden schwarze Flecken. Diese entstehen dadurch, dass sich bei hohen Temperaturen freie Schwefelsäure bildet, welche die Lipide verkohlt. Durch die Anwesenheit von Kupferphosphat wird die Färbestärke stark erhöht. Nach Eingabe einiger Parameter kann der Scanner Bahn für Bahn die DC-Platte abtasten. Die Daten werden auf einen Computer übertragen, und mit spezieller Software in Form einer Kurve ausgewertet, bei der die höchste Absorption als ein Maximum und die größte Reflexion als Minimum sichtbar wird. Im nächsten Schritt wird die Kurve integriert, um die Fläche und die Höhe der Peaks zu bestimmen. Es existiert ein linearer Bereich, in welchem die Schwärzungsintensität direkt proportional der Lipidmenge ist. Bei zu kleinen Lipidkonzentrationen wird kein Signal erreicht, während bei zu großen Mengen die Platte gesättigt vorliegt, und keine lineare

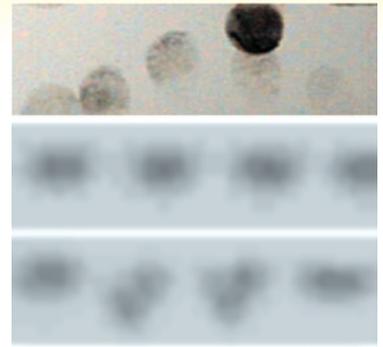


Abb. 3: Oben: falsch gehandhabte DC-Platte mit Fingerabdrücken. Mitte: Ausschnitt aus einer DC-Platte mit vier gut applizierten Spots. Unten: Vier Spots, bei denen die Auftragszone mit der Kanüle zerstochen wurde – die kegelförmige Verzerrung ist bei den mittleren Banden deutlich zu erkennen.

re Zunahme der Schwärzung mehr möglich ist.

Abb. 2 zeigt den Scan einer DC-Spur, auf der ein Gemisch von Lipidstandards getrennt wurde. Jeder Peak entspricht einer Lipidklasse. Der  $R_f$ -Wert ist der Quotient aus der Laufstrecke der Lipidklasse und des Laufmittels (Tab. 1). Er ist für eine Lipidklasse bei einem festgelegten Laufmittelsystem und gleicher Art der Trennschicht konstant.

Lipidklasse	$R_f$ -Wert
Sphingomyelin	0,10
Phosphatidylcholin	0,15
Phosphatidylserin	0,23
Phosphatidylinositol	0,29
Phosphatidylethanolamin	0,38
Sulfatide	0,52
Galactosylceramid	0,58
Cholesterol	ca. 0,7

Tab. 1.  $R_f$ -Werte der analysierten Lipidklassen aus Säugetiergewebe.

Für die quantitative Auswertung werden Referenzwerte gebraucht. Diese werden erhalten, indem auf derselben Platte verschiedene Lösungen des auszuwertenden Lipids in bekannter Konzentration aufgetragen werden. Hierzu werden Verdünnungsreihen der

zwölf Lipidklassen mit je neun verschiedenen Konzentrationen hergestellt, sowohl einzeln als auch im Gemisch. Die Gemische dienen dazu, die Auswertung mehrerer Lipidklassen auf einer DC-Platte gleichzeitig zu ermöglichen. Da die Intensität der Schwärzung bei jeder Platte etwas schwanken kann, müssen diese Reihen auf jeder DC-Platte erneut aufgetragen werden.

### Durchführung

Alle Arbeitsschritte müssen im Abzug durchgeführt werden, da die Löse- und die Laufmittel chlorierte Kohlenwasserstoffe und andere leicht flüchtige gesundheitsschädigende Stoffe enthalten (z.B. n-Hexan). Für exakte Quantifizierungen muss sehr sauber gearbeitet werden. Eine staubfreie Oberfläche lässt sich z.B. durch ausgelegte Alufolie erreichen. Eine DC-Platte darf außer an den äußeren Ecken nie mit der Hand berührt werden, weil dadurch Haut-Lipide auf die Schicht gelangen (Abb. 3 oben).

Vor der Applikation der Proben wird eine DC-Platte zunächst mit Methanol und anschließend mit LM1 vorentwickelt, um die von der Herstellung rührenden Verunreinigungen zu beseitigen und die Platte mit Kaliumchlorid zu beladen; das Trennvermögen der Platte lässt sich dadurch erhöhen. Sie wird anschließend etwa 10min bei 110°C im Ofen ausgeheizt, damit das Laufmittel restlos verdampft und das Kieselgel auf der Platte aktiviert wird. Für die gesamte Vorentwicklung wird ungefähr 1h benötigt. Vorentwickelte Platten, die nicht sofort gebraucht werden, können vor der Aktivierung in Alufolie verpackt an der Luft gelagert werden. Eine Lagerung im Exsikkator unter Vakuum bringt keine Verbesserung.

Nach der Aktivierung der Platte können die Proben aufgetragen werden. Dazu werden Hamiltonspritzen (0,5; 1; 2µl) mit flacher Spitze und eine neu entwickelte Auftrageschablone benötigt. Die Hamiltonspritze muss vor der Applikation einer neuen Probe drei-

mal mit dem Lösungsmittel sowie einmal mit der neuen Probe gespült werden, um Rückstände von anderen Proben auszuschließen. Beim Auftragen einer Standardreihe wird mit der Lösung kleinster Konzentration begonnen und beim Übergang zu höheren Konzentrationen nur jeweils einmal mit der Lösung gespült.

Beim Applizieren durch die Schablone ist darauf zu achten, dass die Spitze der Kanüle nur sehr leicht mit der Plattenoberfläche in Berührung kommt, weil sonst die Konzentrierungszone beschädigt wird; dadurch werden die Banden verzogen und erhalten eine kegelförmige Verzerrung (Abb. 3 unten).

Die schonende Applikation lässt sich dadurch erreichen, dass die Hamiltonspritze mit der einen Hand ganz unten an der Kanüle festgehalten wird, während die andere Hand die Spritze bedient. Die Spritze muss nach dem Auftragen der Probe ca. 2s an der Platte verbleiben, weil sonst beim Herausziehen ein Teil der Probe in die Schablone gelangen kann, und somit die Ergebnisse verfälscht werden. Anschließend wird die Platte 30s mit Heißluft getrocknet werden. Das Auftragen ist damit abgeschlossen.

Es wird in Vertikalkammern entwickelt. Zur besseren Sättigung der Atmosphäre mit dem Laufmittel werden diese mit Filterpapier ausgekleidet. Zur Fixierung des Filterpapiers wurden spezielle Haltebögen angefertigt. Die Platte wird in einem Entwicklungsgestell fixiert (Abb. 4). Dies erleichtert erheblich ihre Handhabung. In die Kammern werden auf 5-8mm Höhe die beschriebenen Laufmittel gefüllt. Mit LM1 wird auf eine Höhe von 5cm der Trennschicht entwickelt. Es folgt eine Entwicklung mit LM2/3 auf die gesamte Länge. Nach jedem Entwicklungsschritt wird 1-2min mit Heißluft getrocknet. Die Entwicklungszeiten betragen 15-20min für LM1, 10-11min für LM2 und 10-13min für LM3.

Nach der Entwicklung mit LM3 und der Trocknung mit Heißluft



Abb. 4: Links: Entwicklungsgestell mit der DC-Platte, sowie die Kammer mit Filterpapier und dem Haltebogen (seitlich gekippt). Rechts: Entwicklungsgestell mit DC-Platte in der Kammer (von oben).



Abb. 5: Links: Tauchung der Platte in die Färbelösung mittels Pinzette. Rechts: Tauchung der Platte mit Entwicklungsgestell.

wird die Platte für 3s in die Färbelösung getaucht (Abb. 5). Bei längerer Färbzeit beginnt die Trennschicht, sich aufzulösen. Der Tauchvorgang muss schnell und gleichmäßig ablaufen. Danach kann die DC-Platte auf ein Färbegestell abgelegt und zur Schwärzung etwa 7-9min bei 160°C ausgeheizt werden. Die DC-Platte sollte aus dem Trockenschrank herausgenommen werden, sobald sie beginnt, bräunlich zu werden.

Bei der Quantifizierung von Lipiden, die nach der Trennung im unteren Drittel der Platte verbleiben, ist eine verkürzte Entwicklungszeit von 7min vorzuziehen, weil die Platte an dieser Stelle früher braun zu werden beginnt. Sobald die Platte wieder abgekühlt ist, kann sie mit dem Scanner ausgewertet werden. Die Platten sollten spätestens 2-3h nach der Entwicklung gescannt werden, da ihren Banden immer mehr ausbleichen. Die vom Scanner erhaltenen Daten können anschließend über Peakhöhe und Peakfläche ausgewertet werden. Bei kleinen Mengen des Lipids sowie guter Applikation der Proben hat sich die Auswertung nach Höhe als die bessere Methode erwiesen. Die Auswertung nach der Fläche sollte dann verwendet werden, wenn die Banden kegelförmig oder zu breit

Tab. 2: Vergleich der Handhabung verschiedener Lösemittelgemische beim Auftragen auf die DC-Platte

Gemisch im Verhältnis 2:1	Auftragsvolumen [ $\mu$ l]	Verdampfungszeit [s]	Spotdurchmesser [mm]
Chloroform/ Methanol	1	8	3
	2	12	6
	3	14	7
1,2-Dichlorethan/ 2-Propanol	1	18	4
	2	24	5
	3	18	7
1,2-Dichlorethan/ 1-Propanol	1	32	4
	2	37	6
	3	45	7

sind. In diesem Fall wird der Spot größer und der Schwärzungsgrad geringer, weil dieser der Menge des Lipids auf einer bestimmten Fläche entspricht. Somit wird die Höhe kleiner als sie eigentlich bei dieser Lipidmenge sein sollte. Die Fläche verändert sich aber kaum, weil durch sie die Gesamtmenge erfasst wird.

### Neues Lösemittel zur Lagerung von Lipidstandards

Lipide haben die Eigenschaft sich aneinander zu lagern und Aggregate zu bilden. Da sowohl die polaren Kopfgruppen als auch die unpolaren Fettsäuren interagieren können, muss das Lösungsmittel in der Lage sein, beide Funktionen abzuschirmen. Deshalb ist es sinnvoll, ein Lösungsmittelgemisch

bestehend aus einer polaren und einer unpolaren Komponente zu benutzen. Dazu eignen sich Alkohole (polar) und Chlorkohlenwasserstoffe (unpolar).

Bisher war es Praxis, Lipide in einem Lösungsmittelsystem aus zwei Teilen Chloroform und einem Teil Methanol zu lösen und bei  $-20^{\circ}\text{C}$  zu lagern. Das Lösungsmittelgemisch besitzt jedoch einen so hohen Dampfdruck, dass es sogar bei  $-20^{\circ}\text{C}$  durch die Teflondichtung der Verschlusskappen der Probegläschen diffundiert. Dadurch steigt die Konzentration der Lipide in der Lösung. Um die Vergleichbarkeit der Lösungen zu bewahren ist es aber nötig, die Konzentrationen konstant zu halten. Dies trifft besonders auf die Lipidstandards zu. Um Lipidklassen zu quantifizieren, musste bislang an jedem Versuchstag eine neue Standardlösung und nachfolgend eine Verdünnungsreihe hergestellt werden. Für eine praktikable Methode wäre dies ein zu großer Aufwand. Es war daher nötig, ein neues Lösungsmittelsystem mit besonderen Anforderungen zu entwickeln; Der Gefrierpunkt des Lösungsmittels muss unterhalb von  $-80^{\circ}\text{C}$  liegen, aber es darf bei  $-20^{\circ}\text{C}$  nur geringe Verdunstung auftreten. Die Oberflächenspannung der Lösung muss relativ hoch sein, damit der Tropfen auf der DC-Platte nicht zu breit verläuft. Das Lösevermögen sollte dasjenige des Chloroform/Methanol-Gemisches nicht unterschreiten. Die Komponenten des Lösungsmittels müssen sehr ähnliche Siedetemperaturen besitzen, damit ihr Verhältnis auch bei Verdunstung konstant bleibt. Es wurden mehrere Lösemittelsysteme

ausprobiert, von denen sich zwei als besonders geeignet herausstellten:

- 1,2-Dichlorethan (Kp.  $83^{\circ}\text{C}$ , Fp.  $-36^{\circ}\text{C}$ ) und 2-Propanol (Kp.  $82^{\circ}\text{C}$ , Fp.  $-88^{\circ}\text{C}$ )
- 1,2-Dichlorpropan (Kp.  $96^{\circ}\text{C}$ , Fp.  $-100^{\circ}\text{C}$ ) und 1-Propanol (Kp.  $97^{\circ}\text{C}$ , Fp.  $-126^{\circ}\text{C}$ )

Die Lösungsmittel wurden auf ihre Eigenschaften geprüft, und diese mit jenen von Methanol/Chloroform-Gemisch verglichen (Tab. 2).

Das Gemisch 1,2-Dichlorpropan/1-Propanol, welches den geringeren Dampfdruck besitzt und somit schwerer flüchtig ist, hat für diese Methode gegenüber 1,2-Dichlorethan/2-Propanol keine signifikanten Nachteile. Aber liegen die Schmelztemperaturen beider Fraktionen liegen deutlich unter  $-80^{\circ}\text{C}$ , im Gegensatz zum anderen Gemisch. Aus diesen Gründen wurde das Lösungsmittelsystem 1,2-Dichlorpropan/1-Propanol neu eingeführt. Bei einem Mischungsverhältnis von zwei zu eins löst sich darin wesentlich mehr Lipid als in Chloroform/Methanol. Zur weiteren Untersuchung der Lösemitteleigenschaften wurde eine Reihe von Langzeitversuchen durchgeführt. Um die Verdunstung vollständig auszuschließen, wurden weiterhin Gefäße entworfen, in denen durch Einfüllen des Lösemittels in ein getrenntes Reservoir eine lösemittelgesättigte Atmosphäre entsteht. Dadurch ist eine Verdunstung und die damit einhergehende Volumenabnahme der Lösungen nahezu ausgeschlossen.

### Optimierung des Verfahrens

Ausgehend von der Vorschrift von Yao und Rastetter (Analytical Biochemistry 150: 111-116, 1985) wurde eine Anzahl von DC-Platten entwickelt, wobei verschiedene Parameter variiert und die Auswirkungen beobachtet wurden. Die ersten fünf Platten wurden in horizontalen Kammern (Fa. Camag) entwickelt, wobei mehrere mögliche Methoden erprobt wurden. Es ließ sich auswählen,



Abb. 6: Oben: Mit Standard-Lipidmix beladene DC-Platte in der Horizontalkammer entwickelt. Unten: identische DC-Platte in der Vertikalkammer entwickelt.

ob die Atmosphäre in der Kammer mit dem jeweiligen Laufmittel, mit Schwefelsäure oder gar nicht vorkonditioniert wurde. Dabei ließ sich jedoch keine gerade Laufmittelfront bei allen Laufmitteln erreichen. Die Standardabweichung lag bei allen Entwicklungen über 10 Prozent bis teilweise über 30 Prozent. Daher wurde die vertikale Entwicklung der horizontalen vorgezogen (Abb. 6).

Es wurden mehrere Platten in Vertikalkammern ohne Auskleidung sowie in Vertikalkammern mit Auskleidung durch Filterpapier (zur besseren Atmosphärensättigung mit dem Laufmittel) entwickelt. Die Laufzeit lag bei der Entwicklung ohne Auskleidung bei 30min für LM1 sowie bei 15-18min für LM2 und LM3. Durch die Auskleidung ließ sich die Entwicklungszeit auf unter 20min bei LM1 sowie auf 10-13min bei LM2 und LM3 verringern. Die Trennung wurde dabei ebenfalls verbessert. Es stellte sich heraus, dass eine Entwicklung auf 5cm Trennschicht mit LM1 bessere Ergebnisse lieferte als die in den Vorarbeiten empfohlene Entwicklung auf 4,5 cm.

Es wurde ein Entwicklungsgestell entworfen, in das die DC-Platte hineingelegt werden kann. Das Entwicklungsgestell passt genau in die Halterung der Entwicklungskammern und bringt auch beim Tauchen in die Färbelösung einen großen Vorteil. Zu Beginn wurde die DC-Platte mit einer Pinzette gehalten und dabei in die Färbelösung getaucht. Dies stellt eine Schwierigkeit dar, weil die Pinzette keine große Auflagefläche auf der Platte haben darf, damit jene nicht zerkratzt wird. Andererseits muss eine sichere und gleichmäßige Tauchung der Platte in das Färbbad gewährleistet sein. Diese Anforderung wird durch das Entwicklungsgestell erfüllt (Abb. 4).

Weiterhin wurde die Reproduzierbarkeit der Auftragung von Hamiltonspritzen (1µl) mit flacher und schräger Kanülen-Spitze miteinander verglichen. Dazu wurde mit diesen abwechselnd je 1µl

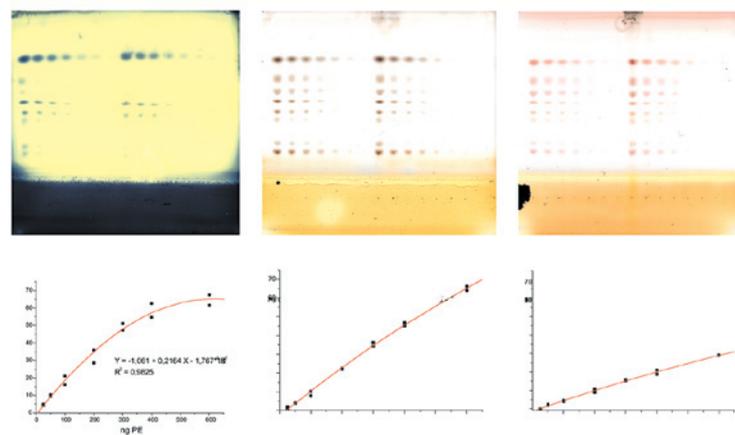


Abb. 7: Färbeverfahren mit Auswertungen im Vergleich: Links: Molybdophosphorsäurefärbung durch horizontale Tauchung. Mitte: Kupfersulfat/Phosphorsäure-Färbung. Rechts: Manganchlorid/Schwefelsäure-Färbung.

des Lipidmix jeweils 16 mal aufgetragen und nach der Entwicklung die zugehörigen Standardabweichungen miteinander verglichen. Die Standardabweichung bei der schrägen Spitze war mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu der abgeflachten Spitze. Dies ergab sich unter anderem dadurch, dass bei der schrägen Spitze ein kleiner Anteil der Lipidlösung in die Schablone gelangte, und die aufgetragene Lipidmenge kleiner wurde. Das Auftragevolumen wurde zwischen 0,3µl und 1µl variiert. Die beste Bandenform lässt sich durch eine Applikation von 0,7µl erreichen.

### Vergleich verschiedener Färbemethoden

Neben dem Kupfersulfat/Phosphorsäure-Färbeverfahren wurden zahlreiche andere Techniken erprobt (Abb. 7).

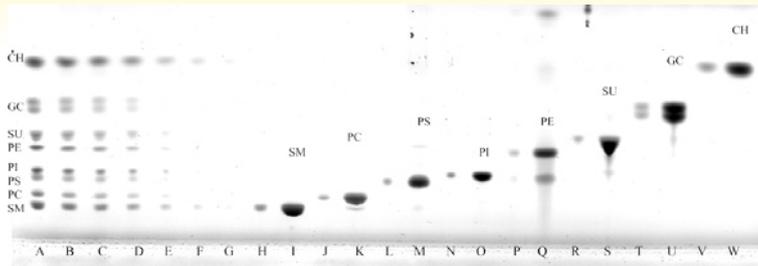
Alternativ wurde eine Anfärbung der Banden durch eine Lösung, bestehend aus 3,2g  $MnCl_2$ , 32ml  $H_2SO_4$ , 480ml  $H_2O$  und 480ml Methanol, durchgeführt. Dieses Verfahren ist aufwändiger und weniger empfindlich. Die Banden werden erst beim Überschreiten von 50ng pro Spot sichtbar. Der Anstieg der Signale mit zunehmender Lipidmenge ist außerdem kleiner, was eine schlechtere Empfindlichkeit bedeutet.

Eine andere Möglichkeit der Messung bestand darin, mit Fluoreszenzfarbstoff vorbehandelte

Platten zu verwenden. Dabei ergibt sich an den Banden eine teilweise Auslöschung der Eigenfluoreszenz der Platte. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass gleich nach dem Trennen gescannt werden kann. Die Wellenlänge des Fluoreszenzfarbstoffes liegt bei 254nm. Weil aber nicht alle Lipide den Effekt der Fluoreszenzlöschung zeigen und zudem auch die Empfindlichkeit schlecht ist, konnte auch diese Methode verworfen werden.

Ein weiteres Verfahren, das gleichgute bzw. empfindlichere Signale liefert als das Kupfersulfat/Phosphorsäure-Färbeverfahren, ist das Besprühen der Platte mit der Molybdophosphorsäurelösung (Fa. Merck). Nach dem Trocknen der Platte wird diese gefönt und ausgeheizt. Die Temperatur des Ofens wurde variiert. Die dabei entstehenden blauen Banden werden bei 700nm mit Wolframlampe ausgewertet. Eine erhebliche Schwierigkeit bei der Auswertung besteht darin, dass die Färbeflüssigkeit sehr ölig ist und bei einer Besprühung oder vertikalen Tauchung Schlieren hinterlässt, welche die homogene Färbung der Platte unmöglich machen. Es lassen sich dadurch Signale messen, die bezüglich ihrer Intensität mit Lipidbanden vergleichbar sind, aber keinem Lipid zugeordnet werden können. Dieses Problem kann aber behoben werden, indem die Platte horizontal getaucht

Abb. 8:A-G: Gesamtlipidstandard (von links nach rechts: 600, 400, 300, 200, 100, 50, 25ng jeweils von CH, GC, SU, PE, PI, PS, PC, SM von oben nach unten); H-W: jeweils sechs Monate bei -20°C gelagerte Einzelstandards (das Auftragevolumen entspricht bei den vor sechs Monaten hergestellten Konzentrationen jeweils 200 bzw. 2000ng je Lipid)



Lipid	SM	PC	PS	PI	PE	Sulf.	GC	Chol.
Menge [ng]	250	330	380	295	175	270	485	200

Tab. 3: Lipidmengen verschiedener Proben nach 60 Monaten Lagerzeit, Ausgangsmenge 200 ng, Konzentrationserhöhung durch Verdunstung.

wird. Eine solche Vorrichtung lässt sich dadurch erreichen, dass eine Petrischale mit vier kleinen Auswölbungen versehen wird, auf welche die Platte mit der Schicht nach unten abgelegt wird. Dadurch kann eine homogene Färbung der Platte erreicht werden.

### Quantifizierung mittels Verdünnungsreihen

Zur Erstellung von Verdünnungsreihen wurde von jeder Lipidklasse eine Stammlösung der Konzentration 5mg/ml hergestellt. Dazu wurden leere Gefäße auf fünf Nachkommastellen genau gewogen, Lösungen der Lipide (Sigma-Aldrich, geliefert in Chloroform/Methanol) eingefüllt und das Lösemittel verdampft. Die Massedifferenz wurde bestimmt, und das für die Einstellung der Konzentration von 5mg/ml notwendige Volumen neuen Lösemittels aufgefüllt. Wichtig war dabei, die Gläser stets mit einer sauberen Pinzette zu handhaben, da sonst Hautlipide am Gefäß anhafteten und die Wägung verfälschten. Jede Verdünnungsreihe wurde separat auf eine DC-Platte aufgetragen. Es sollte untersucht werden, in welchem Bereich die Schwärzungsintensität der Banden proportional der applizierten Lipidmenge ist, und ab welcher Menge eine Sättigung auftritt.

Die Ergebnisse wurden über Peakhöhe und Peakfläche ausgewertet und für jede Lipidklasse in einer Tabelle zusammengefasst. Diese Tabellen wurden mit dem

Programm Origin (Fa. Microcal) graphisch dargestellt und mittels eines Polynoms 2. Grades ausgewertet. Durch einen R-Wert wird beschrieben, wie gut die Kurve mit den einzelnen Punkten übereinstimmt. Wenn alle Punkte exakt auf der Kurve liegen, beträgt dieser Wert 1. Bei Abweichungen der Punkte von der Kurve nimmt dieser ab. Bei allen acht Reihen der Säugetierlipidproben lagen in unseren Experimenten die R-Werte über 0,98; die besten über 0,998. Dies bedeutet eine sehr gute Quantifizierungsmöglichkeit durch die Methode.

Die Intensität der Färbung ist von dem jeweiligen Lipid abhängig. Beispielsweise färbt Cholesterin bei schon wesentlich kleinerer Auftragemenge als andere Lipide (ab 10ng). Sulfatide hingegen liefern erst im Bereich von 50-100ng die ersten Werte. Die Erklärung dafür liefert eine Betrachtung des Aufbaus verschiedener Lipidklassen. So bestehen Steroide aus einem kondensierten Kohlenwasserstoff-Ringsystem; sie besitzen nur wenige Heteroatome. Andere Lipidklassen enthalten noch zusätzlich Phosphor, Schwefel oder Stickstoff. Der Schwärzungsgrad aber ist desto höher, je größer der Kohlenwasserstoffanteil im Lipid ist.

### Langezeitversuche

Die hergestellten Verdünnungsreihen wurden bei -20°C im neu entwickelten Lösemittel gelagert.

Für die Lagerung wurde ein Kasten gewählt, in den 96 Behälter mit je 0,8ml Fassungsvermögen passen. Im Kasten befanden sich außerdem offene Flaschen mit Lösemittel, um die Atmosphäre etwas mit dem Lösemittel zu sättigen. Nach sechs Monaten Lagerungszeit wurde die Konzentration der Lipide bei der vierten Verdünnung (200µl/ Spot) gegen eine frisch angesetzte Gesamtlipidstandardreihe entwickelt. Dabei sollten die Effekte der Konzentrations- und der Lipidstabilität bei den gewählten Lagerungsbedingungen untersucht werden.

Die ursprüngliche Menge betrug 200ng. Die nach sechs Monaten Lagerung bestimmte Menge schwankt stark je nach Probe. Dies könnte eine Folge der unterschiedlichen Verletzung der Septumkappen durch Entnahme vor der Lagerung sein. Außerdem überkompensiert beispielsweise der Zerfall von PE den Verdampfungseffekt des Lösemittels. Die durchschnittliche Menge nach der Verdampfung liegt bei 297ng. Der daraus sich ergebende Verdampfungsanteil in sechs Monaten beträgt 33% des Gesamtvolumens. Daraus ergibt sich eine Volumenabnahme von ca. 0,2% pro Tag. Weil die Standardabweichung der Methode selbst 5 Prozent beträgt, lassen sich die Standards etwa zehn Tage bei -20°C lagern, ohne dass dadurch die Ergebnisse beeinflusst werden. Durch eine Lagerung bei -80°C kann die Konzentrationsstabilität gesteigert werden. Bei dieser Temperatur kann die Stammlösung gelagert werden, aus welcher bei Bedarf Verdünnungsreihen hergestellt werden können. Es konnten außerdem Schlüsse gezogen werden über die Stabilität der Lipidklassen bei den gewählten Lagerungsbedingungen. Bekannt war, dass PE relativ instabil ist, und mit der Zeit zerfällt, wobei vermutlich eine Fettsäure abgespalten wird; dies steht im Einklang mit den Beobachtungen. Es konnten aber noch zusätzliche Informationen über die anderen Lipidklassen gewonnen werden. So zersetzt sich PS durch Bildung

von mehreren kleinen Molekülen; Sulfatide spalten die Sulfatgruppe ab, wobei sich GC bildet (Abb. 8).

### Pflanzliche und bakterielle Proben

Es war wichtig zu zeigen, dass die optimierte Methode ebenfalls auf bakterielle und pflanzliche Lipide anwendbar ist, um alle Lipidklassen abzudecken. Dazu wurde ein Gesamtstandard bakterielle Lipide bestehend aus Cardiolipin, Triglyceriden, PE, PG und PC hergestellt und mit Lipidextrakten aus bakteriellen Zellwänden sowie aus integralen Membranproteinen (TatA und TatC) verglichen. Die Membranproteine wurden davor einer Reinigungsprozedur unterzogen. Die Lipide wurden mit Chloroform/Methanol extrahiert. Es stellte sich heraus, dass TatA alle bakterielle Lipidklassen in demselben Verhältnis wie die bakterielle Zellwand enthielt; dadurch wurde nachgewiesen, dass das Reinigungsverfahren von Proteinforschern einer Verbesserung bedarf. Bei TatC ließ sich hingegen lediglich eine sehr starke Triglyceridbande nachweisen, was auf funktionelle Merkmale des Proteins schließen lässt. Es wird die Ausbildung eines starken Lipid-Protein-Komplexes vermutet. Dieses Protein könnte durch Bereitstellung von Energiespeichern, den Triglyceriden, an der Energiebereitstellung beteiligt sein. Dies wird weiterhin erforscht.

Zur Untersuchung von pflanzlichen Lipiden wurde eine Lipidextraktion aus Maismehl und Mais-Gluten, einer Proteinfraktion, durchgeführt. Die extrahierten Lipide wurden aufgetragen und mit tierischen Standards verglichen. Es stellte sich heraus, dass sowohl Maismehl, vor allem aber Mais-Gluten neben den unpolaren Lipidklassen einen Anteil an PC, PI, PE und den Sulfatiden besitzen. Die unpolaren Lipidklassen lassen sich ebenfalls quantitativ bestimmen.

### Diskussion

Cholesterin stellt bei der Analytik von acht verschiedenen Lipid-

klassen aus Säugetiergewebe die Unpolarste dar. Es lässt sich knapp unterhalb der Laufmittelfront von LM1 nach der Entwicklung mit LM1, LM2 und LM3 finden. Daraus lässt sich folgern, dass Cholesterin kaum eine Retention auf dem Kieselgel während der Entwicklung mit LM1 erfährt, und auch durch LM2 und LM3 noch teilweise transportiert wird. Seine Struktur verdeutlicht dies (Abb. 9). Dadurch, dass das Steroidsystem unpolar ist, wird die Substanz kaum von den Hydroxylgruppen der Trennschicht zurückgehalten. Nur bei schwach polaren LM2/3 kann die Hydroxylgruppe mit der Kieselgelschicht interagieren und die Substanz etwas zurückhalten.

Andere Lipidklassen lassen sich in zwei große Kategorien einteilen. Phospholipide besitzen ein Glycerol-Rückgrat mit zwei ankondensierten Fettsäuren; an das dritte C-Atom ist – in der Regel über eine Esterbindung – die Kopfgruppe kondensiert. Bei der zweiten Kategorie besteht das Rückgrat aus Sphingosin, welches mit einer Fettsäure verestert ist. Die Kopfgruppe ist über eine Sauerstoffbrücke an Sphingosin gebunden.

Bei dem hier verwendeten Chromatographieverfahren ist die Trennung von Phosphatidylserin und Phosphatidylinositol die Schwierigste. Sie lässt sich nicht bei der Entwicklung mit LM1 auf 4,5cm Trennschicht erreichen; erst bei der Vergrößerung der Trennschichthöhe auf 5cm resultiert eine gute Trennung. Bei einer Entwicklung auf mehr als 5cm Trennschicht mit LM1 beginnen die Banden von Phosphatidylethanolamin und Sulfatid zu überlappen.

Sphingolipide enthalten zum Teil Fettsäuren, die am ersten Kohlenstoffatom nach der Carboxylgruppe ( $C_{\alpha}$ ) hydroxyliert sind. Diese hydroxylierten Lipide erfahren eine geringfügig stärkere Retention auf der DC-Platte im Vergleich zu ihren nicht hydroxylierten Counterparts. Bei einer Entwicklung mit LM1 auf volle

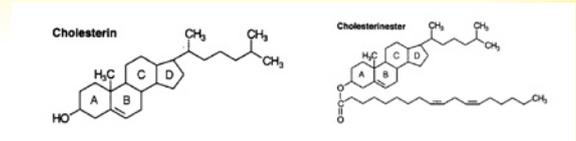


Abb. 9: Chemische Struktur von Cholesterin und Cholesterinestern. Bei den Cholesterinestern ist die freie OH-Gruppe des A-Rings durch eine meist ungesättigte Fettsäure (ölsäure, Unölsäure) verestert. [2]

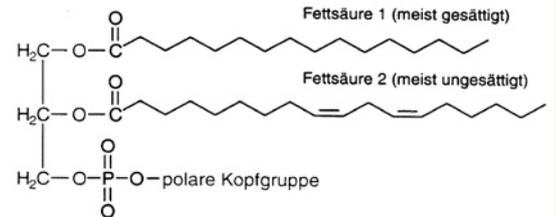


Abb. 10: Chemische Struktur von Phospholipiden.

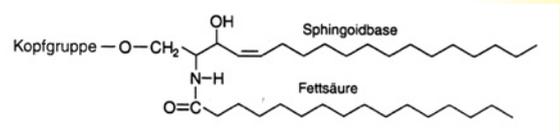


Abb. 11: Chemische Struktur von Sphingolipiden.

Länge ließen sich hydroxyliertes und nicht hydroxyliertes Sphingomyelin bzw. Galactosylceramid voneinander separieren; allerdings wurden dafür andere Banden unscharf. Bei einer Entwicklung mit LM1 auf 5cm Trennschicht lässt sich bei der Auswertung das Vorhandensein zweier Formen von Sphingomyelin nicht erkennen; bei Galactosylcerebrosid treten zwei ineinander verschwimmende Banden hervor.

Da diese Trennung aber nicht von erheblicher Bedeutung für die Analyse der Lipidklassen ist, wurde auf sie verzichtet. Sphingomyelin war die polarste der acht Säugetierlipidklassen; Galactosylcerebrosid ließ sich als das zweitunpolarste Lipid unter Cholesterin nachweisen.

### Lösungen zu Seite M56:

1 b, d; 2 b, d, e; 3 b, e; 4 d; 5 b, d; 6 a, c, d; 7 d; 8 a, b, d

## Notfallchemie:

## Vorsicht mit „alten“ Alkalimetallen

Günter Sorbe, Hürth

**Wie nachstehender Vorfall zeigt, ist beim Umgang mit „alten“ Alkalimetallen besondere Vorsicht angezeigt. Hier wollte ein Chemiker zwei Musterflaschen mit Na-Dispersion (je 1,2 Kilogramm Na-Dispersion, 33prozentig, in Xylol), die mindestens 16 Jahre alt waren, vernichten. Die Musterflaschen waren noch in der Originalverpackung, das Alter konnte anhand der Lagerliste im Chemikalienlager ermittelt werden.**

Schon äußerlich war zu erkennen, dass sich die Dispersionen während der ungewöhnlich langen Standzeit verändert hatten. Während sich normalerweise eine Na-Dispersion in Xylol innerhalb kurzer Zeit absetzt und neben einem grauen Bodensatz aus Natrium eine überstehende, farblos klare Xylolschicht ausbildet, hatte sich im vorliegenden Fall die Xylolschicht in eine feste, weiß-gelbliche Schicht umgewandelt.

Beim Versuch, mit einem Metallspatel eine Probe dieser Schicht aus der Flasche zu entnehmen und in Ethanol einzutragen, kam es zu einer heftigen Detonation. Hierbei wurde der Chemiker schwer verletzt und das Laborinventar erheblich beschädigt. Im Chemiebetrieb fand man keine Erklärung für diese während der extrem langen Lagerzeit stattgefundenen Veränderung. Man empfahl lediglich, solche alten Muster unter entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen von der Werksfeuerwehr durch Verbrennen auf zugelassenen Brandplätzen im Freien zu vernichten.

Doch warum hat es hier „geknallt“? Aus der Unfallbeschreibung geht nicht hervor, ob das Volumen in der Flasche noch den Stand wie vor 16 Jahren hatte oder ob Xylol entweichen konnte. Bei Luftzutritt kann Peroxidbildung nicht ausgeschlossen werden. Diese Alkaliperoxide sind gegen Reibung, wie hier mit dem Metallspatel, sehr empfindlich.

Darauf wird in der Literatur, zum Beispiel in Bretherick, Handbook of Reactive Chemical Hazards am Beispiel „Kalium“ hingewiesen.

Alte Bestände mit einem orange oder gelben Überzug sollen nicht mehr mit einem Metallspatel oder -messer geschnitten werden. Sie müssen durch Verbrennen in einem offenen Feuer – wie oben angeführt – oder durch Eintragen in tert.-Butanol in kleinen Portionen unter Xylol in einem geeigneten Abzug vernichtet werden. Wegen der erhöhten Reaktionsfähigkeit von Alkalimetallen mit Methanol beziehungsweise Ethanol sind aus Sicherheitsgründen höhere Alkohole, wie zum Beispiel Butanole, sicherer.

Dieser Unfall gibt Veranlassung, Labor- und Lagerbestände an Alkalimetallen oder deren Dispersionen laufend zu überprüfen, mit einem „Verfalldatum“ zu versehen und „ältere Semester“ unter den zuvor genannten Sicherheitsmaßnahmen zu vernichten.

## Fragen zu Grundlagen der Chemie

*Es kann mehr als eine Antwort richtig sein.*

1 Welcher dieser Vorgänge ist kein chemischer Vorgang?

- a Oxidation
- b Destillation
- c Neutralisation
- d Filtration

2 Welcher dieser Vorgänge ist ein chemischer Vorgang?

- a Sublimation
- b Reduktion
- c Verbrennung
- d Verdauung

3 Welcher dieser Stoffe ist ein chemisches Element?

- a Messing
- b Magnesium

- c Harnstoff
- d Kochsalz
- e Jod

4 Welche Stoffeigenschaft ist nicht die Grundlage für das angegebene Trennverfahren?

- a Siedetemperatur: Destillation
- b Löslichkeit: Extraktion
- c Molekülgröße: Dialyse
- d Dichte: Umkristallisation
- e elektr. Ladung: Elektrophorese

5 Was ist keine Dispersion?

- a Granit
- b Kochsalzlösung
- c Milch
- d Bronze

6 Wie lassen sich homogene Gemische trennen?

- a Kristallisieren
- b Dekantieren
- c Destillieren
- d Extrahieren
- e Zentrifugieren

7 Welche Zuordnung von Element und Symbol ist falsch?

- a Blei Pb
- b Eisen Fe
- c Zink Z
- d Kupfer K
- e Schwefel S

8 Welches Element ist ein Reinelement?

- a F
- b Na
- c Au
- d As
- e H

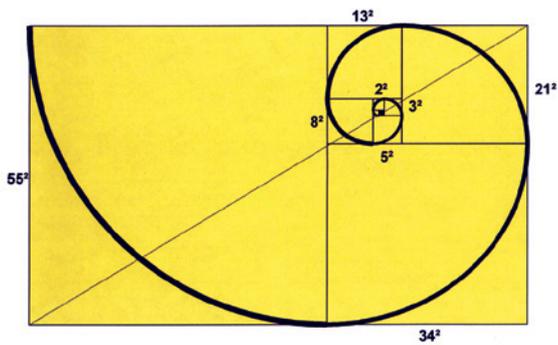


Abbildung 1: Die ideale Fibonacci-Schnecke

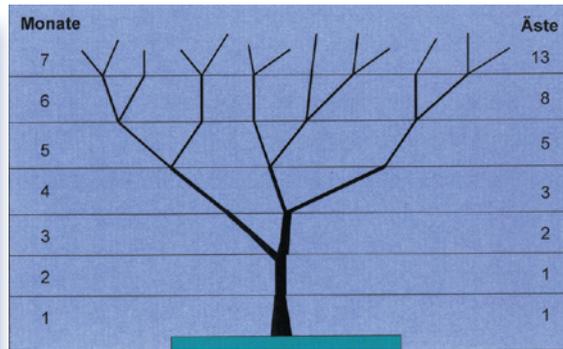


Abbildung 2: Verzweigungen eines Fibonacci-Baumes



Ebenso fanden Mathematiker einige Wege, um die Kreisconstante  $\pi$  exakt mit 3,1415926535... zu bestimmen. Einer der gebräuchlichsten von ihnen, entwickelt von James Gregory, basiert auf dem Tangens und der Verknüpfung mit den Fibonacci-Zahlen.

### Fibonacci-Zahlen in der Natur

Die Fibonacci-Zahlenreihe hat erstaunlich viele Beispiele in der Natur. Die Wachstumsrate der Kaninchen-Paare, beschrieben in seiner Abhandlung Liber Abaci 1202, wurde bereits erwähnt. Ähnlich ging der Engländer Henry E. Dudeney (1857 - 1930) bei seinem beschriebenen Problem vor, mit wievielen Rindern man nach 12 Jahren rechnen kann. Dabei ersetzte er die Kaninchen durch Bullen und Kühe. Und wenn keines der Rinder krank wird oder stirbt, ergibt das Fibonacci-Fortpflanzungsmodell wieder 144 Tiere.

Auch die komplizierteren Fortpflanzungs-Verhältnisse in einem Bienenstock gehorchen der Fibonaccireihe:

- Das einzige fruchtbare Weibchen ist die Königin.
- Männchen, die Dronen, entwickeln sich aus unbefruchteten Eiern.
- Einige Weibchen werden mit dem Gel Royal gefüttert und reifen zu Königinnen heran.
- Weibchen haben zwei Eltern, Dronen nur die Königin als Mutter.

Schauen wir auf den Stammbaum einer weiblichen Biene, so hat sie zwei Eltern, drei Großeltern, fünf Urgroßeltern und acht Ururgroßeltern, während eine Drone ein Elternteil, zwei Großeltern, drei Urgroßeltern, fünf Ururgroßeltern und acht Urururgroßeltern hat. Diese Stammbäume setzen sich wieder mit der Fibonacci-Reihe in die Vergangenheit fort.

### Schnecken, Bäume und Blüten

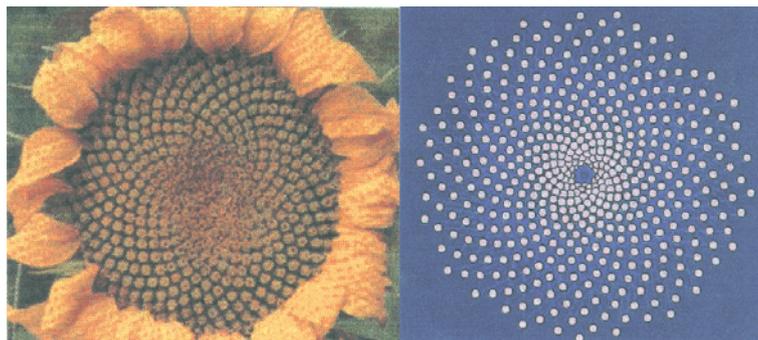
Eine reguläre Spirale läßt sich aus den in Quadrate eingeschriebenen Viertel-Kreisen konstruieren, deren Seitenlängen nach der Fibonacci-Reihe stetig anwachsen, wenn die Quadrate spiralförmig aneinandergereiht werden. Beginnend mit 1 mm<sup>2</sup>, 2 mm<sup>2</sup>, 3 mm<sup>2</sup>,

5 mm<sup>2</sup>, 8 mm<sup>2</sup>, 13 mm<sup>2</sup> entsteht eine Spirale, die wir an vielen Schneckengehäusen an Land und im Meer finden. Auch die Nautilus oder Perlboot läßt sich mit dieser Fibonacci-Spirale in etwa zur Deckung bringen. Mitunter sind die Quadrate auch durch Rechtecke zu ersetzen, um sie der natürlichen Formgebung anzupassen. Abbildung 1 zeigt die Konstruktion der idealen Schnecke aus den Quadraten der Fibonacci-Zahlenreihe. Das Auge der Schnecke liegt auf der Diagonalen und teilt diese im Verhältnis des Goldenen Schnitts: 0,618 + 0,382.

In der Verzweigung mancher Pflanzen und Bäume ist die besagte Zahlenreihe ebenfalls zu erkennen. Am deutlichsten wurde die Fibonacci-Verästelung an der Sumpfgarbe, achillea ptarmica, beobachtet. Ein Sproß hat zwei Monate zu warten, bis er erneut austreiben kann. Betrachtet man unter dieser Bedingung die monatlichen Verzweigungen, gelangt man zur Abbildung 2.

Zahlreiche Blüten weisen bogenartige Muster im Zentrum auf. Als Beispiele sind Gänseblümchen, Margeriten, Astern und im besonderen die Sonnenblume zu nennen. An den Kernen der Sonnenblume in den ausgewachsenen Blüten lassen sich die links- und rechts herum geschwungenen Bögen am leichtesten in der verwirrenden Dichte erkennen. In der Anzahl der Bögen finden sich erstaunlicherweise die Fibonacci-Zahlen wieder (Abbildung 3). Die Natur hat auf engstem kreisrunden Raum die maximal mögliche Anzahl von Samen plaziert und damit die Nachkommenschaft gesichert. Ähnliche bogenförmige

Abbildung 3: Dichteste bogenförmige Anordnung der Samen in einer Sonnenblume: In Natur und Computersimulation nach [www.alfredhoehn.ch/Phyll\\_Index.htm](http://www.alfredhoehn.ch/Phyll_Index.htm)



Anordnungen wurden an den Lamellen der Tannenzapfen und den Schuppen der Ananas beobachtet und ausgemessen. An Obst und Gemüse sind ähnliche links- und rechtsdrehende Spiralen zu beobachten, wie am Blumenkohl, Broccoli, am Gehäuse in einem quer durchgeschnittenen Apfel oder in der Schnittfläche einer halbierten Banane.

Fast 90% der Pflanzen, so fanden Botaniker heraus, folgen in ihrer Blattanordnung an den Ästen einem ähnlichen Prinzip auf der Basis der Fibonacci-Reihe: Schauen wir entlang eines Astes, so fällt uns sofort die phantastische Verteilung auf. Kein Blatt verdeckt ein anderes. So erhält die Pflanze optimale Lichtausbeute. Aber auch die Auffangfläche, um den Regen zum Zentrum in die Wurzelregion zu leiten, birgt einen Hauch an Genialität.

Auf die Fibonacci-Zahlen stoßen wir auch, wenn wir die Blätter, die auf einer Kreisspirale um den Stengel angeordnet sind, zählen. Im Uhrzeigersinn und entgegen gezählt, kommen wir zu unterschiedlichen Fibonacci-Zahlen. Die Anzahl der Blätter je Spiral-Periode und die Zahl der Spiralkreise innerhalb einer Periode entsprechen in den meisten Fällen Fibonacci-Zahlen. Bei Weiden, Rosen und Steinobst sind es zwei Umläufe bis zur Wiederholung mit fünf Blättern je Periode. Bei Kohl und Astern sind es drei Umläufe mit acht Blättern.

### Anwendung der Fibonacci-Zahlen in der Technik

Für den Einsatz von Fibonacci-Zahlen in der Praxis weist die Literatur noch nicht viele Zitate aus. Zwar sind sie in einigen Verteilungsfunktionen und Spieltheorien enthalten, auch wurden Peptid-Ketten auf das Vorhandensein der Fibonacci-Systematik untersucht oder Produktumsätze in der Reaktionstechnik mit der Zahlenreihe abgeglichen, von einer breitgefächerten Anwendung ist man jedoch noch weit entfernt.

Immerhin symbolisiert die Fibonacci-Reihe hinreichend Dynamik, Wachstum und kreatives Problemlösungspotential, dass die Dechema, die Deutsche Gesellschaft für Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V. in Frankfurt am Main, sie charakterisiert mit blauen Streifen im Stärken-Verhältnis 1:1:2... in ihr Logo aufnahm (Abbildung 4).

Es bleibt die Herausforderung, über weitere Anwendungen der Fibonacci-Reihe in der Technik nachzudenken: beispielsweise in der Temperaturab-



Abbildung 4: Dechema-Logo mit der Fibonacci-Skala

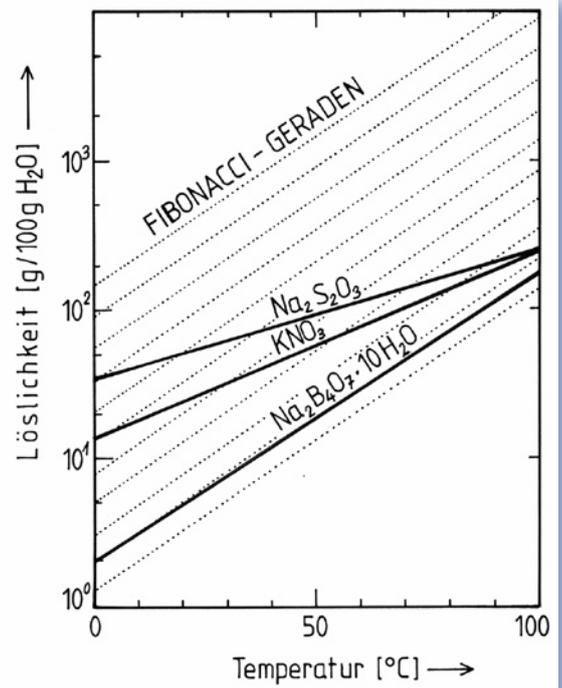
hängigkeit von chemischen Gleichgewichten oder in realen Kettenreaktionen, sowie in der Konstruktion von Führungsscheiben, Bohrern, Bürsten und Fotozellen- bzw. Schmelz-Gussbäumen, Lichtleitkabeln, usw.

### Löslichkeit von Salzen

In der Regel bildet das Diagramm mit der logarithmischen Auftragung der Löslichkeiten in g/100g Wasser und den Temperaturen in °C eine Gerade. Ebenso entsteht aus der Auftragung der Logarithmen der Fibonacci-Zahlen und der Zuordnung von Temperaturen in 10 °-Schritten auf der Abzisse eine parallele Geraden-Schar im Diagramm, die je nach Verschieben der Skalen die Ordinate an verschiedenen Punkten schneiden (Abbildung 5).

Nur Salze mit hohem Hydratwasser-Anteil lassen sich mit dieser Geradenschar zur Deckung bringen:  $\log F_n = f(T) = \log L_m = f(T)$ , wobei  $F_n$  für die Fibonacci-Reihe steht. Die Bilanz zwischen Gitterenergie und Solvationsenergie ist bei den Hydraten bereits in Richtung abgeschwächten Gitterenergie verschoben. Hier sind besonders hohe Löslichkeitsunterschiede in Abhängigkeit von der Temperatur zu verzeichnen. Es sieht fast so aus, als ob die Fibonacci-Geraden der Steigung  $\log 100/100 (= 0,02)$  g/100g Wasser/°C als maximaler Temperaturgradient der Löslichkeit aufzufassen ist.

Abbildung 5: Fibonacci-Geraden der Funktion  $\log L_n = 0,02 T + F_m$  ( $L$  = Löslichkeit [g/100g Wasser],  $T$  = Temperatur [°C],  $F$  = Fibonaccizahlen) und Löslichkeit von Natriumthiosulfat, Kalisalpeter und Borax



## Reale Kettenreaktionen

Beim radioaktiven Zerfall eines Uran-Atoms sorgen drei freigesetzte Neutronen für die energiebringende Kettenreaktion. Durch Modulation sind die Ketten teilweise unterbrochen, so dass sie sich der Fibonacci-Reihe nähern können. Ähnliches gilt auch für die Freisetzung zweier Radikale bei chemischen Kettenreaktionen: Die Fibonacci-Reihe liegt mit 1-1-2-3-5-8-13-21-34... deutlich unterhalb der Verdopplungsreihe mit 1-2-4-8-16-32-64-128-256-. Da die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass nicht jedes Teilchen auf einen aktivierbaren Kern trifft, ist die Fibonacci-Reihe unter Umständen die realistischere Beschreibung von selbstbeschleunigenden Reaktionen.

Die Dichte, mit der die Samen der Sonnenblume oder eines Tannenzapfens mit dem Maß der Fibonacci-Zahlen plaziert sind, lässt eine Reihe von Übertragungen zu: beispielsweise auf die Borstenbüschel an Bürsten, Schleif- oder Mahlscheiben, auf Katalysatorträger, Rückstrahler und die Zapfen für platzsparende Behälter für Mikroteile, wie Chips, Pillen oder Kleinbauteile. Die enge Anordnung der Sonnenblumenkerne kann auch Pate für Fotozellen und Sensoren stehen. Auch Bilder könnten über Lichtleiter so auf Monitore übertragen werden. Die äußerst rationelle Blattanordnung an Ästen kann Vorbild für Fotovoltaik-Anlagen sein, da sie dem Sonnenlicht optimale Flächen und Winkel entgegenstrecken.

In der Gusstechnik arbeiten Metallurgen und Goldschmiede beim Wachsauerschmelzverfahren mit Guss-

bäumchen (Abbildung 6), indem sie als Positivform an einen Wachsstab ihre Schmückstück-Rohlinge, Zahnkronen und andere Kleinteile aus geformtem Wachs anschmelzen. Diese Wachsbaumchen werden jeweils in eine Einbettmasse gegeben, die nach dem Aushärten bei Raumtemperatur im Ofen zu einer Negativform ausgeglüht wird. In diese Hohlformen fließt unter Vakuum die Schmuck-, Zahn- oder Endformlegung: ein vielfach verwendeter Prozess. Von der spiralförmigen Anordnung der Blätter können sich Metallurgen die optimale Anordnung ihrer Gußbaumchen anschauen, wenn es gilt, möglichst viele Gussobjekte zu plazieren bzw. mit einem möglichst kleinen Gussbaumchen auszukommen.

Die Menschen haben mit der Fibonacci-Zahlenreihe und dem darin enthaltenen Goldenen Schnitt einen entscheidenden Bauplan der Natur entdeckt. Sie offenbart uns ein überschaubares ordnendes Prinzip. Sie kann aber auch in der Abschätzung von Populationsketten, Arbeitsplänen, Reaktionstechnik und vielen anderen technischen Anwendungen hilfreich bei der Entwicklung neuer Ideen, Patente und Innovationen zur Seite stehen.



Abbildung 6: Gussbaum

# Rubikon

Agentur und Verlag für technische und wissenschaftliche Fachinformation



- Zeitschriften
- Broschüren
- Korrespondenzen

verständlich über  
technische und wissenschaftliche  
Themen im Zusammenspiel mit  
Wirtschaft, Umwelt  
und Gesellschaft

in Eigenproduktion  
und Auftragsarbeit

weitere Informationen:  
Tel. 06223 / 9707-43 oder  
[www.rubikon.de](http://www.rubikon.de)

Wir helfen  
bei Ihrer  
Kommunikations-  
aufgabe

## Kongress Gentechnologie – Nanotechnologie – Künstliche Intelligenz Findet die Zukunft ohne uns statt?

**Die auf dem Kongress „Die Zukunft des Menschen – Gentechnologie – Nanotechnologie – Künstliche Intelligenz“ am 7. und 8. Juli in Stuttgart gestellte Frage rief widerstrebende Gefühle bei Referenten und Zuhörerschaft hervor. Jeder verstand sie anders und antwortete auch unterschiedlich. Unbegründete Ängste und realistische Hoffnungen zeigten sich ebenso wie sinnvolle Warnungen und unrealistische Träume. Denn: Was gestern noch Science Fiction war, ist heute schon Realität – aber vieles von dem, was enthusiastische Forscher versprechen, wird wohl auch Zukunftsmusik bleiben.**

Zukunftsvisionen sind den Aussagen der Experten gemäß Nervenzellsensoren, die bisher an dem kaum realisierbaren Kontakt zwischen Nervenzellen und Elektroden scheitern. Ebenso visionär sind molekulare Motoren, „Nanobots“. Die berückende Vorstellung, dass Arzneimittel angetrieben von kleinen Motoren durch die Blutbahn an ihren Bestimmungsort gelangen, ist noch weit von jeglicher Realisierung entfernt. Bisher ist nicht einmal geklärt, ob das makroskopisch bekannte Prinzip des Vortriebs durch Rotation im Nanobereich Gültigkeit besitzt.

Ebenso wie befürchtet wird, „Nanobots“ könnten die Maschinisierung des Menschen vorantreiben, bestehen Ängste vor der Vermenschlichung der Maschine.

Prof. Dr. Thomas Christaller vom Fraunhofer-Institut für Autonome Intelligente Systeme beschrieb verschiedene humanoide Roboter und zeigte auf, dass diese noch lange nicht perfekt sind.

Prof. Dr. Helge Ritter, Bielefeld, sieht die Entwicklung der künstlichen Intelligenz und der Roboter eher rasant vor sich gehen. Seine These: Roboter und KI-Systeme werden sich nach ähnlichen Gesetzen wie eine biologische Spezies entwickeln, nur in anderen „Biotopen“ und in augenscheinlich kürzeren Zyklen.

Prof. Dr. Ortwin Renn, leitender Direktor des Bereichs „Nachhaltige Entwicklung“ an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, an der der Kongress anlässlich des zehnjährigen Bestehens dieser Einrichtung stattfand, nannte als Orientierungshilfe der technologisch-gesellschaftlichen Entwicklung drei Maktotrends: Bei den ökologischen Trends müsse man die Bevölkerungsentwicklung sowie die globale Gefährdung von Kultur und Natur beobachten. Bei den wirtschaftlichen Trends verlören Ort und Zeit an Bedeutung, Wissen werde eine Schlüsselvariable. Im sozialen und kulturellen Bereich schließlich vergrößere sich eine Gerechtigkeitslücke. Individualisierung der Lebensansprüche bei gleichzeitiger Universalisierung von Teilkulturen nähmen zu, ebenso die Bedrohung der kulturellen Identität.

Der Baden-Württembergische Wissenschaftsminister Prof. Dr. Peter Frankenberg, Stiftungsratsvorsitzender der Akademie, verlangte den Verbund fachwissenschaftlicher Informationen mit einer kulturwissenschaftlichen Reflektion. Beispielsweise könnten die Eingriffsmöglichkeiten der Gentechnik in die biologische Identität des Menschen sowohl Bestürzung als auch Beglückung auslösen. Die Gentechnik verspreche Heilung

für viele Krankheiten und rufe gleichzeitig die Schreckensvision von „Designerbabies“ hervor. Es bedürfe des Sachwissens, um die Möglichkeiten, Grenzen und Unsicherheiten neuer technischer Potenziale aufzuzeigen. Ebenso notwendig seien aus grundlegenden Menschenrechten abgeleitete und auf einem breiten gesellschaftlichen Konsens fußende Maßstäbe, um die technischen Möglichkeiten bewerten zu können. Am Ende aller Diskussionen müsse politisch gehandelt werden. Eine kürzlich getroffene politische Entscheidung ist der Stop der Forschung an humanen embryonalen Stammzellen zugunsten des Forschungsprogramms „Adulte Stammzellen“ in Baden-Württemberg. Hier zeige sich der Einfluß der Politik auf die grundgesetzlich garantierte Forschungsfreiheit, wie der Baden-Württembergische Justizminister Prof. Dr. Ulrich Goll kritisch anmerkte.

Einen ähnlichen Eingriff in die Freiheit der Forschung stellen zum Beispiel Geldmittelzuwendungen für den Bereich Nanotechnologie dar. Durch eine solche Programmforschung mit vom Staat vorgegebenen Themen könne die Qualität der Forschung leiden, führte Nobelpreisträgerin Prof. Dr. Christiane Nüsslein-Volhard vom Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie aus. Gefördert würden Wissenschaftler, die an politisch genehmen Projekten arbeiteten und nicht unbedingt diejenigen mit den brilliantesten Ideen. Für Prof. Dr. Christiane Ziegler vom Kompetenzzentrum Nanotechnologie in Kaiserslautern ist Nanotechnologie kein geschlossenes Forschungsgebiet. Vielmehr könnten Nanotechniken, die sich häufig von anderen nur durch die Größenordnung, in der gearbeitet wird, unterscheiden, in vielen verschiedenen Bereichen angewendet werden. Beispielsweise geschieht

Während der Videokonferenz schwebte Prof. Christaller über den Diskussions- teilnehmern Prof. Ritter (links) und Prof. Weizenbaum (rechts) (Fotos: Bulmahn)



der Einsatz des Rastkraftmikroskops in der Nanobioanalytik mit großem Erfolg. Cantilever-Sensoren sind 1000mal empfindlicher als herkömmliche Schwingquarze. Nanomaterialien werden vom Immunsystem nicht als Feinde erkannt und können so zur Heilung eingeschleust werden. Dementsprechend dienen aus Eisenoxid bestehende magnetische Nanopartikel zur ergänzenden Tumorbehandlung durch Hyperthermie, indem ein oszillierendes Magnetfeld eine lokale Erwärmung erzeugt.

Die Gründung der Akademie für Technikfolgenabschätzung

in Baden-Württemberg im Jahre 1992 erfolgte mit dem Auftrag, systematisch, wissenschaftlich abgesichert und überparteilich die Folgen des technischen Wandels zu erforschen und zu bewerten. Zehn Jahre später schätzt Ortwin Renn die Geschwindigkeit dieses Wandels als schwindelerregend ein und nennt als dessen Folge die allgemeine Verunsicherung durch Nichtwissen. Dabei sei es entscheidend, dass sich die Halbwertszeit des angewandten Wissens ständig verringert. In Renns Augen ist die Bewältigung der Dynamik in der globalen Entwicklung auf einen

diskursiven Prozess der Erfassung, Orientierung und Optionenbewertung angewiesen. Allerdings zeigte Prof. Dr. Hans Mohr, Freiburg, auf, dass trotz aller Aufklärung immer wieder Panikreaktionen der Bevölkerung auftreten können, wie die erst kürzlich in England entstandene Furcht vor Staphylokokkeninfektionen durch transgenen Weizen, die durch einen Science Fiction Roman ausgelöst wurde, der jeglicher wissenschaftlicher Grundlage entbehrt.

*Maren Bulmahn*



## Stellenangebote

Mit Sicherheit dabei



Wir sind ein weltweit tätiger und führender Hersteller von hochwertigen Spezialpapieren. Unser Haus gehört zur Unternehmensgruppe Giesecke & Devrient GmbH, die auf dem Gebiet der Wertpapierherstellung international zu den Marktführern zählt.

Für unser neues QS-Labor am Standort Louisenthal suchen wir zum nächstmöglichen Einstellungstermin eine/n

### Chemie- oder Physiklaboranten/in

Das Aufgabengebiet umfasst die Durchführung von chemischen und physikalischen Messungen und Prüfungen in verschiedenen Bereichen, wie z. B. Eingangskontrolle, Qualitätsüberwachung, Umweltanalytik, in enger Zusammenarbeit mit Forschung und Entwicklung. Dabei haben Sie die Gelegenheit beim Aufbau einer neuen Produktlinie von Anfang an mitzuarbeiten.

Für diese vielseitige und interessante Tätigkeit in unserem modernst ausgerüsteten Labor ist eine Ausbildung als Chemie- oder Physiklaborant/in bzw. ein gleichwertiger Berufsabschluss erforderlich.

Wir bieten leistungsgerechte Bezüge, angenehme Arbeitsbedingungen und zeitgemäße Sozialleistungen eines erfolgreichen Großbetriebes.

Wenn Sie diese Position als persönliche Herausforderung sehen, dann senden Sie Ihre aussagefähigen Unterlagen mit möglichem Eintrittstermin an unsere Personalabteilung.

**Papierfabrik Louisenthal GmbH**

Postfach 11 85, D-83701 Gmund/Tegernsee

Telefon (0 80 22) 7 60-01

## Bionik

# Die Natur als Vorbild

**Auf Grund der Tatsache, dass durch Evolution und Koevolution in der Natur die Lebenstechniken optimiert und aufeinander abgestimmt sind, besteht die Chance, durch Nachbildung dieser biologischen Prinzipien neue, der Umwelt angepasste Lösungen zu finden. Prof. Werner Nachtigall, einer der renommiertesten Bionik-Forscher in Deutschland von der Universität des Saarlandes, warnt jedoch vor einem weit verbreiteten Irrtum: „Die Meinung, die Natur würde Blaupausen für die Technik bereitstellen, die man nur ausführen müsste, weist in eine Sackgasse“.**

Bionik ist ein Kunstwort aus den Begriffen Biologie und Technik. Es wurde bereits 1960 von dem amerikanischen Luftwaffenmajor J.E.Steele auf einem Kongress in Dayton (Ohio) geprägt, und er meinte damit das „Lernen von der Natur“. Doch schon viel früher hat dieses Lernen von der Natur begonnen. Längst nicht das erste Beispiel ist das Flugzeug: Lilienthal nahm sich für seine Flugversuche den Vogel als Vorbild. Heute ist der Vogel für Innovationen in der Flugzeugentwicklung noch immer gut. Neueste Konstruktionen besitzen schwunghfederähnliche Flügelspitzen. Weitergehende Pläne der Bioniker sehen die Nutzbarmachung der aeroflexiblen Tricks des Vogelflügels für Flugzeuge vor.

Ein vom BMBF gefördertes Gemeinschaftsprojekt ist das Bionik Kompetenznetz (BioKoN), das die Universitäten Berlin (TU), Bonn, Ilmenau (TU), Münster und des Saarlandes sowie das Forschungszentrum Karlsruhe verbindet. Unter der Leitung von Dr. Rudolf Bannasch sollen der Industrie Wege zu bionischen Problemlösungen durch die im BioKoN vertretenen Experten aufgezeigt werden.

Im Blick auf Bionik Workshops, Lehrgänge und Diskussionsforen im Internet ([www.bionik-netz.de](http://www.bionik-netz.de)) war der erstmalige Auftritt im Rahmen von Research & Technology der Hannover Messe 2002 zu sehen. Unter dem Motto „Das geniale Ingenieurbüro der Natur“ präsentierte sich das Zwitterthema auf einem Gemeinschaftsstand.

Selbstreinigende Fassadenfarben, Dachziegel und auch Holzlasuren sind bereits zur Marktreife gediehen. Sie gehen auf die Entdeckung der rauen wasserabweisenden Mikrostruktur von Lotusblättern durch den Bonner Botaniker Prof. Wilhelm Barthlott zurück. Bei der schmutzabweisenden Ausrüstung weiterer Materialien gab es Schwierigkeiten, die bei Waschbecken und anderen Keramikgegenständen inzwischen behoben sein sollen. Mit dem neuen Verfahren, das jetzt von einem Fraunhofer-Institut präsentiert wurde und im Laufe des Jahres auf den Markt kommen soll, können sogar galvanisch verchromte Oberflächen mit einer Schicht aus Sol/Gel überzogen werden. Auch die Deutsche Bahn setzt auf schmutzabweisende Anstriche, um „Kunstwerke“ der Graffiti-Sprayer leichter beseitigen zu können.

Überhaupt scheinen Oberflächeneigenschaften in der Natur bisher das Hauptbetätigungsfeld der Bionik-Experten zu sein. Neben der Eigenschaft des Lotus-Blattes fand auch die Selbstreinigungseigenschaft der Delphinhaut das Interesse der Bioniker. Unter Leitung von Prof. Lutz-Günther Fleischer (Biotechnologie Centrum der TU Berlin) sind die TU Berlin, die Tierärztliche Hochschule Hannover und das Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven beteiligt. Die Delphinhaut ist glatt (nanorauh), viskoelastisch und stressdämpfend sowie mit hydrolytischen Enzymen ausgestattet. Während der Sprungphase der Delphine entwickeln

sich Luftblasen und Scherströmungen, die eine Selbstreinigung der Haut bewirken und somit dem Schutz vor Biofouling dienen. Die Untersuchungen sollen den Weg für eine neue Generation von Bewuchsschutzfarben ebnen, die einen deutlichen Antifouling-Effekt zeigen, dabei aber umweltneutral sind. In der Schifffahrt führt der Aufwuchs von Algen, Seepocken u.ä. an der Schiffshaut zu Schädigungen und einem erhöhten Kraftstoffverbrauch.

Die Reduktion der Strömungsreibung von Haifischschuppen wird für ein neues Produkt genutzt. Untersuchungen am Palaeontologischen Institut der Universität Tübingen zeigten eigenartig geriefte Schuppen der Raubfische, wodurch sie offenbar besonders schnell schwimmen können. Ein Technologiekonzern in Neuss entwickelte analoge eng geriefte Klebefolien mit einer Mikrostrukturierung. Eine Verminderung des Reibungswiderstandes von bis zu acht Prozent konnte die Deutsche Forschungsgesellschaft für Luft- und Raumfahrt im Strömungskanal feststellen. Airbus, Hamburg, beklebte einen A 320 mit der Folie und erreichte eine Treibstoffersparnis zwischen 1,5 und drei Prozent. Für Prof. Nachtigall war diese Entwicklung ein „bionisches Vorgehen par excellence“:

Ein Waschmaschinenhersteller entdeckte in Zusammenarbeit mit Prof. Frank Mirtsch (Techn. Fachhochschule, Berlin) das Prinzip des „Wölbstrukturierens“. Wie der Panzer der Schildkröte ist die Trommel der Waschmaschine geformt. Dadurch entsteht auch bei sehr dünnen Materialien eine hohe mechanische Stabilität. „Wir haben festgestellt, dass sich dünnes Material, wie Blech und Folien aller Art, am einfachsten und besten versteift, wenn es sich unter minimaler hydraulischer Belastung quasi von selbst in die dritte Dimension verformt“; so der Experte der Firma, die diesen „Plopp-Effekt“ zur Leichtbauweise von Waschmaschinentrommeln nutzt. Sie sollen besonders schnell

waschen und erhöhte Schleuderzahlen (bis 1800 Umdrehungen/Minute) erreichen. Die Wäsche wird durch einen sanft gleitenden Wasserfilm beim Waschen und dem reduzierten Fadenzug sowie dem Unterbleiben einer Noppenbildung beim Schleudern geschont.

Die schillernden Flügel des Rosenkäfers lieferten die Idee zu Druckfarben mit einer völlig neuartigen optischen Wirkung. Sie schillern je nach Perspektive des Betrachters in immer wieder anderen Farben: von Blau bis Türkis oder Rotbraun bis Grün. Und sie enthalten weder Pigmente noch Farbstoff. Stattdessen bestehen sie aus so genannten cholesterischen Flüssigkristallen, einer Schicht von Molekülen, die spiralförmig angeordnet sind. Abhängig vom Blickwinkel reflektieren diese Moleküle Licht unterschiedlicher Wellenlänge. Dadurch entsteht der Eindruck, dass die Farbe schillert und der Farbton wechselt. Das Produkt, Ultraking-Paliocolor (BASF) wird in 14 Farben angeboten und eignet sich

für alle gängigen Druckverfahren, die mit UV-Trocknung arbeiten.

Eine neue Methode zur Füllstandsmessung in Abfüllanlagen verwendet das Ultraschallverfahren, das Fledermäuse zur Navigation benutzen. Beim Abfüllen der Flaschen wird ein Ultraschallsignal in die leeren Behälter geschickt. Das Mess-Signal tritt dabei von oben in die Flasche ein, geht bis zum Boden bzw. zur ansteigenden Flüssigkeitsoberfläche und wird von dort wieder zum Messgerät reflektiert. Die Flüssigkeitszufuhr wird sofort gestoppt, wenn die vorgesehene Menge erreicht und die Echozeit einen bestimmten Wert erreicht haben. Das Verfahren ist berührungsfrei und deshalb besonders hygienisch.

Die Natur erweist sich als unerschöpflicher Ideen-Pool für energieeffektive, ressourcenschonende und innovative Lösungen.

Eine Bioinformatik-Gesellschaft bietet auf evolutionären Algorithmen basierende Softwarelösungen für die pharmazeutische und biotechnologische Industrie an: Das

sind spezielle Prognosesysteme für zum Beispiel Moleküleigenschaften (pharmakologische Wirkung oder Toxizität), Aktivitätsbeziehungen (QSAR) sowie Sequenzanalysen von Proteinen und DNA.

Von Prof. Bernd Hill stammt eine naturorientierte Innovationsstrategie für den Entwicklungsprozess von Produkten:

1. Bestimmung des Standes der Technik/Mängelaufdeckung
2. Aufdeckung der Entwicklungsreserven
3. Kennzeichnung der Effektivitätsfunktion
4. Bestimmung des Widerspruchs und Formulierung der paradoxen Forderung
5. Aufdeckung relevanter biologischer Strukturen
6. Ableitung von Lösungsansätzen durch Variation und/oder Kombination
7. Ausgearbeitete technische Lösung.

Das Lernen von der Natur geht weiter und für die Bioniker werden sich weitere Arbeitsfelder eröffnen. *Hans-G. Winkler*

## Revolution in der Prothetik

### Mit Mikro-Fluidaktoren leicht und flexibel

**Jetzt wurde an der Orthopädischen Klinik der Universität Heidelberg erstmals ein Prothesenträger mit dem Prototyp einer im Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten künstlichen Hand ausgestattet. Sie ist 860 Gramm leicht, flexibel, sehr beweglich und fühlt sich natürlich an. Weltweit erstmalig können mit dieser Prothese die fünf wichtigsten Griffmuster realisiert werden.**

Die Handprothese ist mit einer Mikro-Fluidaktor-Technik ausgestattet. Die Technologie dafür stammt von der Forschergruppe um Stefan Schulz im Institut für Angewandte Informatik. Das einzelne Funktionselement, der Aktor, besteht aus einer Kammer, die über einen Steuerkanal mit Flüssigkeit befüllbar ist, also quasi hydraulisch

arbeitet. Die Kammer verformt sich beim Befüllen und erzeugt dabei eine mechanische Bewegung. „Die Handprothese ist aus vielen solcher Kammern aufgebaut, um ein umfassendes Bewegungsspektrum zu ermöglichen“, erläutert Stefan Schulz. „Dazu wurden miniaturisierte Ventile, Sensoren und eine Druckerzeugungseinheit in die künstliche Hand integriert.“ Sensoren am Armansatz der künstlichen Hand nehmen Muskelbewegungen aus dem Armstumpf auf, die über eine Mikroprozessor-Steuerung bestimmte Griffmuster einleiten. Fünf im alltäglichen Leben wichtige Handbewegungen können umgesetzt werden: Die Hand kann mit dem Pinzettengriff kleine Gegenstände greifen, mit dem Zylindergriff eine Flasche kraftvoll umfassen und

hochheben, mittels des Lateral-(oder Schlüssel-)griffs flache Gegenstände aufnehmen und halten oder mit dem Hakengriff eine Tasche am Henkel tragen. Schließlich lässt sich der Zeigefinger ausstrecken und damit die Tastatur eines Computers oder ein Schalter bedienen. Zukünftig soll die Hand über eine Feedback-Funktion eine Art Tastsinn erhalten und sich durch Lernfähigkeit auf die Gewohnheiten des Trägers einstellen können.

Die neue Handprothese (kleines Bild sowie die Flasche umfassend) kann fünf Bewegungen umsetzen (Abb.: fzk).



## „Progress in Analytical Chemistry in the Steel and Metal Industries“

# Spektrometrie und Laser in der Metallanalytik

**D**as „European Committee for the Study and Application of Analytical Work in the Steel Industry“ (CETAS), der Europäische Chemikerausschuss der Stahlindustrie, veranstaltete mit Unterstützung der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) im Mai 2002 in Luxemburg seine 6. Internationale Tagung. Das Ziel dieser Veranstaltung war es, Chemiker aus aller Welt, die in der Stahl- und der Nichteisenmetallindustrie beschäftigt sind, zu einem Erfahrungsaustausch über die von ihnen eingesetzten analytischen Methoden zusammenzuführen. Dabei wurde traditionell auch der Dialog mit den in Forschungsinstituten, Hochschulen und behördlichen Einrichtungen tätigen Analytikern gesucht.

Die Tagung wurde von mehr als 250 Teilnehmern aus 16 europäischen Ländern und aus Übersee (Australien, Brasilien, Japan, Korea, Mexiko, USA) besucht. Verantwortlich für die Organisation war der Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), wobei die EGKS eine wesentliche finanzielle Unterstützung gewährte. Die Leitung der Tagung und der Vorsitz des Organisationskomitees lag in den Händen von Dr. Dieter Sommer, Thyssen Krupp Stahl AG, Duisburg. Das Programm, das in 24 Sitzungen gegliedert war, umfasste Vorträge, Podiumsdiskussionen und Posterpräsentationen. Rege Diskussionen und vertiefende Gespräche in den Pausen und bei informellen Treffen trugen wesentlich zu dem angestrebten Erfahrungsaustausch bei.

Im Anschluss an die Begrüßung der Teilnehmer durch die Ministerin für Kultur, Bildung und Forschung, Frau E. Hennicot-Schoepges, folgten zwei Plenarvorträge: Im ersten Beitrag wurden die in der jüngsten Zeit erzielten wissenschaftlich-technischen Fortschritte und ihre wirtschaftliche Bedeutung gewürdigt und

daraus folgernd ein Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen in der metallurgischen Analytik von der Prozessanalytik bis hin zu den komplexen Methoden der Werkstoffcharakterisierung gegeben (K.H. Koch, D). Danach wurde die Zukunft der Metalle und ihr Innovationspotenzial betrachtet und die Frage, ob ein neues Zeitalter der Metalle anbricht, mit einem positiven Votum diskutiert (R. Boom, NL). Die dabei als Ausgangspunkt angestellte Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der Erzeugung von Stahl (Eisen), Aluminium und Magnesium als Hauptvertreter der industriell hergestellten Metalle unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kenndaten führte zu dem Schluss, dass trotz des um 1968 einsetzenden und technisch wie wirtschaftlich für den Fortschritt bedeutsamen „Silicium-Zeitalters“ und des wachsenden Ersatzes von Stahl durch Kunststoffe aller Art das Zeitalter andauert, das durch das Element Eisen bestimmt wird. Allerdings sind wir durch eine Reihe produktions- und werkstofftechnischer Neuerungen (Verbundwerkstoffe, oberflächenveredelte Werkstoffe, Leichtbauweisen) in eine neue Phase des Metallzeitalters eingetreten. Die Anwendung der Glimmlampen-Emissionsspektrometrie (GDOES) insbesondere zur Untersuchung dünner Schichten und zur quantitativen Charakterisierung anorganischer und organischer Beschichtungen, die metallurgische Prozessanalytik bei der Elektrostahterzeugung sowie die des Roheisens und der Schlacke und drittens die Anwendung der ICP-Massenspektrometrie zur Bestimmung von Spurenanteilen in Stählen, Stahlprodukten und Einsatzstoffen bildeten den nächsten Tagungsabschnitt.

Breiter Raum wurde den Lasermethoden gewidmet, wobei sich der Bogen von ihrem Einsatz zur Prozesskontrolle der Roheisen- und der Stahterzeugung bis hin zu den

Möglichkeiten bei der Qualitätssicherung spannte. Eine Podiumsdiskussion „Laser in Analysis, quo vadis?“ bot außerdem die Möglichkeit zur Vertiefung der Thematik. Die Tagung zeigte, dass inzwischen auch in den Metallindustrien die organische Analytik eine beachtliche Bedeutung besitzt. Beispielhaft seien die Online-Analyse von Walzölemulsionen, die Untersuchung von Entfettungssystemen und von Glühprozessen bei der Stahlweiterverarbeitung sowie die technisch notwendige und wirtschaftlich bedeutsame Anwendung in der Tribotechnik erwähnt. Ein besonders originäres Interesse besteht zunehmend bei allen Fragen, die die Reinheit des Stahls, die Bestimmung oxidischer Einschlüsse in Stählen, die Sauberkeit von Stahloberflächen sowie die Charakterisierung von Oberflächenschichten und von Beschichtungen betreffen.

Weitere Sitzungen betrafen die Umweltanalytik (Dioxin-Analyse, Wasserbehandlung, Elektroofenstaub), die Herstellung von zertifizierten Referenzmaterialien, die Labor-Automation und den Einsatz der  $\gamma$ -Spektrometrie zur Untersuchung von Stahlschrott aus stillgelegten Reaktoranlagen. Den neueren methodischen Entwicklungen auf den Gebieten der optischen Emissionsspektrometrie, der Röntgenfluoreszenzanalyse und des Einsatzes der Laser-Spektroskopie zur Schlackenanalyse waren eigene Sitzungen gewidmet. Mit einer Diskussion über die Zukunft der EGKS endete diese hervorragend vorbereitete und für die Entwicklung der Analytik in der Stahl- und der Nichteisenmetallindustrie so überaus wichtige Tagung.

Alle Vorträge werden in einem von der Europäischen Kommission herausgegebenen Tagungsband veröffentlicht. Den Regeln der CETAS folgend wird das nächste Symposium in drei Jahren von der Eisenhütte Österreich organisiert.

*Prof. Dr. Karl Heinz Koch*

## Bildungsplanung und Forschungsförderung

# Zuwendungserhöhungen für viele Projekte

**Die Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) empfiehlt den Regierern von Bund und Ländern, im Haushaltsjahr 2003 für die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) und für das von Bund und Ländern gemeinsam finanzierte Akademienprogramm Zuwendungen von insgesamt rund 2,3 Milliarden Euro. Das Kuratorium der von der Bundesrepublik und dem Land Niedersachsen gegründeten Volkswagenstiftung schlägt für verschiedene Forschungsvorhaben Zuwendungen aus dem Stiftungsvermögen im Gesamtbetrag von 33,8 Millionen Euro vor.**

Der DFG sollen laut BLK im Haushaltsjahr 2003 rund 1 262 Millionen Euro zugewiesen werden. Dies entspricht einem Zuwachs von 3,5 Prozent gegenüber dem laufenden Jahr. Die DFG organisiert als größte deutsche Forschungsförderungsorganisation und mit Abstand größte Drittmittelgeberin der deutschen Hochschulen den Wettbewerb der besten wissenschaftlichen Projekte.

Für die MPG hat die Kommission eine gemeinsame Förderung von insgesamt etwa 963 Millionen Euro vorgesehen. Das ist eine Steigerung von drei Prozent für das kommende Haushaltsjahr. Die MPG fördert die Grundlagenforschung außerhalb der Hochschulen in der biologisch-medizinischen, der chemisch-physikalisch-technischen sowie der geisteswissenschaftlichen Forschung. Sie unterhält über 80 Institute und sonstige Forschungseinrichtungen.

Die Kommission schlägt für das Akademienprogramm eine Zuwendung in Höhe von rund 43 Millionen Euro vor – eine Steigerung gegenüber dem Vorjahr von 3,8 Prozent. Im Haushaltsjahr 2003

wird die Union der Akademien 162 überwiegend geisteswissenschaftliche Langfristvorhaben an 210 Arbeitsstellen durchführen; darunter sind acht neue Vorhaben, von denen drei bislang von der DFG gefördert wurden; sechs Vorhaben scheiden zum Ende des laufenden Haushaltsjahres aus der gemeinsamen Förderung aus.

In der 1961 verabschiedeten Satzung der von der Bundesrepublik und dem Land Niedersachsen gegründeten Volkswagenstiftung ist festgeschrieben, dass ein bestimmter Teil der zur Verfügung stehenden Fördermittel vorweg an wissenschaftliche Einrichtungen im Land Niedersachsen zu vergeben ist. Im Rahmen dieses „Niedersächsischen Vorab“ hat das Kuratorium der Stiftung auf seiner Sommersitzung 22,2 Millionen Euro für Forschungseinrichtungen des Landes bewilligt – unter anderem für das Deutsche Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung in Wilhelmshaven, den Aufbau des Europäischen Neurowissenschaftlichen Instituts (ENI) in Göttingen und den Ausbau des Fraunhofer Instituts für Toxikologie und Aerosolforschung in Hannover. Von den bewilligten Fördermitteln gehen 9,1 Millionen Euro an die Biowissenschaften, 6,9 Millionen an die Ingenieur- und 3,9 Millionen an die Naturwissenschaften. 2,1 Millionen Euro wurden für wissenschaftsbereichsübergreifende Zwecke vergeben, zur Unterstützung und als Anreiz für die Beteiligung niedersächsischer Hochschulen an dem Programm „Einrichtung von Juniorprofessuren“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Auch im sechsten Jahr seines Bestehens stößt das Förderprogramm „Nachwuchsgruppen an Universitäten“ der Volkswagenstiftung auf großes Interesse. Das Kuratorium der Stiftung hat jetzt über 35 Anträge zur Einrichtung einer

selbstständigen Forschergruppe an einer deutschen Hochschule entschieden und insgesamt rund 10,5 Millionen Euro für zehn neue Gruppen bewilligt. Damit hat die Stiftung insgesamt 58 Nachwuchsgruppen an 23 Hochschulstandorten ermöglicht (siehe Karte).

Ein Beispiel ist Dr. Andreas Marx, der am Kekulé-Institut für Organische Chemie und Biochemie der Universität Bonn eine Nachwuchsgruppe aufbauen wird, die sich mit der Schlüsselrolle der DNA-Polymerasen in biologischen Prozessen beschäftigen soll. Das für die exakte Verdopplung des Genoms vor der Zellteilung verantwortliche Enzym wird wegen seiner „Synthese-Fähigkeiten“ auch in zahlreichen wichtigen Methoden der Molekularbiologie und der Biotechnologie verwendet. In seinem an der Grenze von Chemie und Biologie angesiedelten Vorhaben möchte Marx das natürlich vorkommende funktionelle Repertoire der DNA-Polymerasen erweitern, um so möglicherweise wertvolle Werkzeuge für zahlreiche Anwendungen von der (Nano-) Biotechnologie bis zur Diagnostik und Arzneimittelsynthese entwickeln zu können.

Die Karte zeigt die Verteilung der durch die Volkswagenstiftung geförderten Nachwuchsgruppen auf die Universitäten (Abbildung: Volkswagenstiftung).



Mit ihrem Programm zur Nachwuchsförderung in der fächerübergreifenden Umweltforschung fokussiert die Volkswagenstiftung auf junge Forscher und die Kooperation unterschiedlicher Wissenschaftsbereiche. Dieser Ansatz kennzeichnet auch die drei Projekte, die sich jetzt im Wettbewerb durchsetzen konnten:

661 600 Euro gibt die Stiftung für „Ozean-Sequestrierung von CO<sub>2</sub> und die Transformation des Energiesystems“ am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

415 700 Euro erhält das Projekt „Räumlich aufgelöste Untersuchung des Schadstoffabbaus in Biofilmen und deren Formation mit Methoden der Mathematischen

Biologie und des Wissenschaftlichen Rechnens“ am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg.

54 500 Euro unterstützen die Universität Tübingen bei „Das menschliche Umweltverhalten – eine Synthese archäologischer, naturwissenschaftlicher und ethnographischer Untersuchungen“.

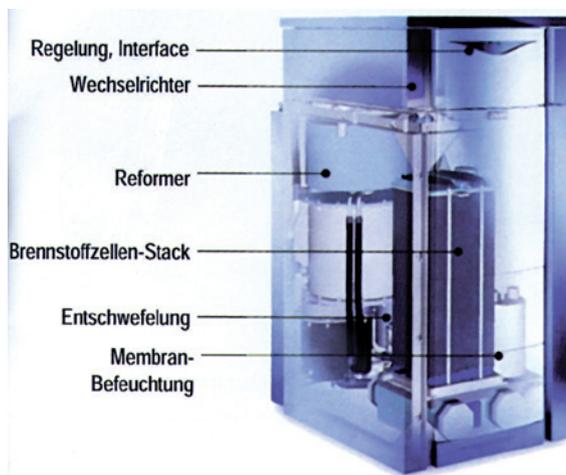
## Dezentrale Energieerzeugungsanlagen

# Brennstoffzellen bilden „virtuelle Kraftwerke“

**D**er Trend zur Dezentralisierung in der Stromwirtschaft ist unaufhaltsam. Übertragungs- und Verteilnetze müssen auf eine zunehmende Zahl an Windkraftwerken, Photovoltaikanlagen oder Blockheizkraftwerken ausgerichtet werden. Energieversorger untersuchen derzeit, wie sie zukünftig eine Vielzahl kleiner Brennstoffzellenheizgeräte integrieren können, die insgesamt die Größe konventioneller Kraftwerke erreichen könnten.

Mitte Mai ging die Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) in dem Workshop „Netzanschluss von Brennstoffzellen und anderen kleinen dezentralen Energieerzeugungsanlagen“ in Frankfurt/Main den Fragen der technischen Anschlussbedingungen, Schutzkonzepte und der hierfür erforderlichen Datenkommunikation nach.

Typischer Aufbau einer Brennstoffzelle (Abbildung: VDE dialog).



Als Kleinkraftwerk mit zum Beispiel 250 Kilowatt bieten Brennstoffzellen-Kraftwerke eine Alternative zu Blockheizkraftwerken und ebnen den Trend zur Dezentralisierung der Stromversorgung. Nach allgemeiner Einschätzung wird sich der Anteil dezentraler Stromerzeugungsanlagen von derzeit rund 15 Prozent innerhalb der nächsten zehn Jahre auf 30 Prozent verdoppeln. Während die Heizgeräte-Hersteller Vaillant und Sulzer Hexis den Markt für Haus-Brennstoffzellen (ein bis fünf Kilowatt) in Europa auf rund 250 000 Geräte in 2010 schätzen, erwartet die Unternehmensberatung Frost & Sullivan sogar einen Absatz von 300 000 Stück pro Jahr.

Neue Informationstechniken sind nötig, um langfristig mit vielen dezentralen Anlagen die Stromqualität zu sichern. In etwa drei bis fünf Jahren sollen Brennstoffzellenkraftwerke in größeren Stückzahlen auf den Markt kommen. Sie stellen die traditionell „Top-down“-orientierte Stromversorgung im wahren Sinne auf den Kopf. Während Windkraftwerke oder Photovoltaikanlagen bislang nur abhängig von der Wetterlage Strom ins Netz einspeisen, können Brennstoffzellenkraftwerke auch von einer Leitstelle aus gesteuert zur Stromproduktion eingesetzt werden. Die Energieversorger könnten dann auch interessiert sein, ihren Kunden die Haus-Brennstoffzellenkraftwerke per Contracting in den Keller zu

stellen, sie zu finanzieren, zu warten und zentral zu steuern. Dann kommen die Vorteile dieser neuen Entwicklung voll zum Tragen: Denn ein aus tausenden kleiner Brennstoffzellenkraftwerke gebildetes „virtuelles Kraftwerk“ kann, wenn es vom Energieversorger betrieben und gesteuert wird, zur Erzeugung von „teurem Spitzenlast-Strom“ eingesetzt werden und so ökonomisch und ökologisch sinnvoll den Kraftwerkspark erweitern.

Für die Einbindung in ein dezentrales Energiemanagement-System (DEMS) wird eine moderne Kommunikationstechnik benötigt, um jede Anlage individuell ansprechen zu können. Als Kommunikationswege bieten sich zum Beispiel Telefonnetze oder das Stromnetz selber (Powerline) an.

Bis es soweit ist, müssen noch eine Reihe technischer, wirtschaftlicher und auch rechtlicher Fragen zum Netzanschluss geklärt werden, was auch auf dem ETG Workshop deutlich wurde. Einigkeit bestand darin, dass der vermehrte Einsatz kleiner dezentraler Erzeugungsanlagen bedeutenden Einfluss auf Planung und Betrieb der Stromnetze nimmt. Als besonders wichtig wurde auch die Festschreibung einfacher und für alle Anlagentypen einheitlicher Anschlussbedingungen hinsichtlich Elektrotechnik und Datenkommunikation hervorgehoben – nicht zuletzt vor dem Hintergrund des internationalen Normenwesens.

*Prof. Thomas Hartkopf*

## Weltrekord in Leistung und Größe bei Brennstoffzellen

# 40 planare Zellen liefern 9,2 Kilowatt

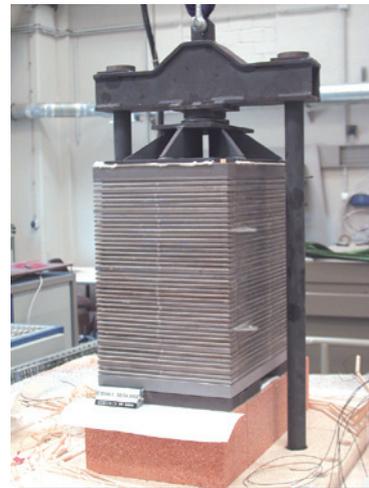
**E**in im Forschungszentrum Jülich in Betrieb genommener Brennstoffzellenstapel (Stack) aus nur 40 planaren Einzelzellen lieferte bei einer mittleren Betriebstemperatur von 850 Grad Celsius mit Wasserstoff als Brenngas eine Leistung von 9,2 Kilowatt. Betrieben mit Methan erreichte der Stapel 5,4 Kilowatt. Für ein planares System ist dies sowohl bezüglich der Leistung als auch hinsichtlich der Zellengröße von 20 mal 20 Zentimeter ein neuer Weltrekord.

Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit Festelektrolyt (SOFC = Solid Oxide Fuel Cell) sind vor allem für die stationäre Strom- und Wärmeerzeugung in Kraftwerken und Gebäuden interessant. Doch auch für mobile Anwendungen werden sie verstärkt diskutiert. SOFCs versprechen höchste Wirkungsgrade und damit eine rationelle, umweltfreundliche Brennstoffnutzung. Dem Design mit planaren Zellen und dünnem Elektrolyten wird von Experten ein hohes Marktpotential vorausgesagt. Denn: Systeme mit planaren SOFCs erreichen hohe Leistungen bei kleinem Volumen und niedriger Arbeitstemperatur. Die Jülicher Arbeiten werden unter anderem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Den Rekordstapel aus 40 Einzelzellen haben die Wissenschaftler aus dem Jülicher Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik (IWV) und der Zentralabteilung Technologie (ZAT) zunächst direkt mit Wasserstoff bei im Mittel 850 Grad betrieben. Er lieferte die Leistung von 9,2 Kilowatt – gegenüber der Bestmarke aus dem letzten Jahr eine Steigerung auf mehr als das Doppelte. Zudem gelten Temperaturen unterhalb 900 Grad in der Welt der Hochtemperatur-Brennstoffzellen als moderat. Das ist günstig für die

Lebensdauer aller Materialien und erlaubt den Einsatz vergleichsweise billiger metallischer Werkstoffe. Anschließend stellten die Wissenschaftler den Stapel auf Methan als Brenngas um. Dieses wird direkt in der Zelle zu Wasserstoff umgesetzt. Dadurch wird der Einsatz von Erdgas als Brennstoff ohne aufwändige Gasaufbereitung möglich. „Gegenüber dem Vorjahr konnten wir die Leistung im Methan-Betrieb mehr als verfünffachen“, freut sich Dr. Robert Steinberger-Wilckens, seit Februar 2002 Leiter des Projekts Brennstoffzelle am Forschungszentrum Jülich.

Zurzeit kann sich die SOFC auf dem Markt noch nicht durchsetzen, denn Werkstoffe, Komponenten und Herstellverfahren sind deutlich zu teuer. Doch die Jülicher Forscher arbeiten bereits intensiv an neuen Materialien, mit denen sie höchste Leistungen und die Langzeitstabilität der Zellen kostengünstig realisieren können. Ihr erklärtes Ziel ist ein 20-Kilowatt-System. „Diese Leistung liegt an der oberen Grenze, um ein Mehrfamilienhaus mit Strom- und Wärme zu versorgen,



Der Rekordstapel der Jülicher Wissenschaftler ist etwa 30 Zentimeter hoch. Jede der 40 Zellen misst 20 mal 20 Zentimeter. Die Gesamtleistung beträgt im Betrieb mit Methan 5,4 Kilowatt bei im Mittel 850 Grad Celsius (Foto: FZ Jülich).

und an der unteren Grenze, um ein Blockheizkraftwerk für eine Siedlung zu betreiben“, erklärt Steinberger-Wilckens und fügt hinzu: „Ein komplettes, in einem Gebäude einsetzbares 20-Kilowatt-SOFC-System haben wir für 2004 fest angepeilt.“

### Lebensmittelanalytik

## IR-Methode erkennt Fleischverderb in Sekunden

**F**orscher der University of Wales, Aberystwyth (UWA) haben jetzt ein neuartiges Verfahren entwickelt, mit dem Nahrungsmittelproduzenten bakterielle Verunreinigungen in Fleischprodukten sehr viel schneller als bisher erkennen können sollen.

Es handelt sich um eine Analysemethode, die die Detektion des mikrobiellen Verderbs beschleunigt und die quantitativen Ergeb-

nisse im Echtzeit-Modus liefert. Die Ergebnisse wurden in der aktuellen Ausgabe von Applied and Environmental Microbiology veröffentlicht.

Roy Goodacre und David Ellis vom Institute of Biological Sciences nutzten die Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (FT-IR). Damit erstellten sie einen „Fingerprint“ der biochemischen Veränderungen, die auf der Oberfläche von Hühnerfleisch infolge

eines Mikroorganismen-Wachstums erfolgen. Diese metabolischen Veränderungen führen zu organoleptischen Merkmalen, die das Fleisch für den Konsumenten ungenießbar machen. Zu diesen Veränderungen zählen unter anderem Verfärbungen und die Entwicklung von unangenehmem Geruch und Geschmack. „Bei der spektrometrischen Analyse wird nicht die Anwesenheit von Bakterien auf der Fleischoberfläche per se gemessen. Mit der FT-IR-Methode werden biochemische Veränderungen im Fleisch verfolgt“, erklärte Goodacre. Der Wirkungsgrad der Technik wurde mit einer detaillier-

ten Untersuchung des natürlichen Verderb-Prozesses von Hühnerfleisch ermittelt. Die Methode arbeite äußerst rasch. Der Nachweis des Verderbs erfolge in wenigen Sekunden und nicht wie bisher in Stunden bis Tagen.

„Bisher wurden mehr als 40 Methoden zur Messung des bakteriellen Verderbs in Fleisch vorgeschlagen“, so Goodacre. Die Nachteile lagen hauptsächlich im Zeit- und Arbeitsaufwand beziehungsweise erwies es sich als schwierig, rückblickend Informationen über die Kontamination zu liefern. Die aktuelle Methode erfülle alle wesentlichen Kriteri-

en, so der Mikrobiologe. Sie sei schnell, nicht invasiv und „relativ“ kostengünstig. Im nächsten Schritt soll getestet werden, wie sich das Verfahren in der Praxis bewährt und routinemäßig eingesetzte Qualitätskontroll-Systeme unterstützt. Das Dreijahresprojekt des Instituts wird vom britischen Biotechnology and Biological Sciences Research Council finanziert. Das Institute of Biological Sciences der UWA zählt zu den größten biowissenschaftlichen Abteilungen Großbritanniens. Im vergangenen Jahr erhielt das Institut Forschungszuwendungen von 3,6 Mio. Euro.

## Blei im Trinkwasser

### Bald ein Sensor für alte Rohre?

**N**och immer sind nicht alle alten Bleileitungen in Privathaushalten ausgetauscht, wie jetzt eine Studie der Universität Göttingen ergab. Mit dem in Taiwan entwickelten „Chemosensor 1“ ließen sich möglicherweise Prüfungen auf Bleirohre effektiver durchführen.

Alte Bleileitungen im Haushalt belasten auch heute noch das Trinkwasser. Das hat eine Studie der Abteilung Allgemeine Hygiene und Umweltmedizin des Bereichs Humanmedizin der Universität Göttingen ergeben. „Mit unserer Untersuchung haben wir diese Problematik am Beispiel von zwei kommunalen Versorgungsgebieten (Berlin, Göttingen und Umgebung) aufgegriffen. Unser Ziel war es, die Häufigkeit erhöhter Bleikonzentrationen im Trinkwasser von Wohnungen mit Familien mit Kleinkindern in den unterschiedlichen Wohnbezirken zu ermitteln. Außerdem haben wir betroffenen Familien Maßnahmen, wie zum Beispiel den Austausch der Leitungen, empfohlen, um die Bleiaufnahme zu vermindern,“ sagt Professor Dr. Hartmut Dunkelberg,

Leiter der Abteilung Allgemeine Hygiene und Umweltmedizin.

Für Leitungswasser hat die World-Health-Organisation (WHO) als Richtwert eine maximale Konzentration von zehn Mikrogramm je Liter angegeben. Im Raum Göttingen wurde das Trinkwasser von etwa 1500 Wohnungen untersucht. Erhöhte Bleikonzentrationen im Trinkwasser waren dabei regional unterschiedlich häufig. So lag der Anteil mit einer Bleikonzentration von über zehn Mikrogramm je Liter im Stadtgebiet Göttingen bei 1,6 Prozent, in Friedland bei 11,1 Prozent. In Berlin wurde etwa 10000 Familien angeboten, ihr Trinkwasser auf Bleispuren hin zu untersuchen. Bei den beiden untersuchten Tagesprofilen hatten 5,6 Prozent beziehungsweise sieben Prozent aller Haushalte Bleiwerte über dem WHO-Wert von zehn Mikrogramm je Liter, der höchste Messwert lag bei 186 Mikrogramm je Liter.

Forscher der National Taiwan University in Taipei haben ein Molekül entwickelt, das in Kontakt mit Blei türkisfarben leuchtet. Die Wissenschaftler kombinierten zwei verschiedene Moleküle, von denen

das erste eine gezackte Oberfläche besitzt, an die Bleiionen gut anknüpfen können, während das zweite die fluoreszierende Substanz beisteuert. Durch den Kontakt mit Blei steigert sich die Leuchtkraft des kombinierten Moleküls um das Vierzigfache. Dies überrascht, denn Blei war bisher dafür bekannt, fluoreszierende Stoffe zu blockieren.

Der Prototyp des „Chemosensor 1“ könnte zur Detektion giftiger Metalle und zur Überwachung der Bleiwerte in der Trinkwasserversorgung eingesetzt werden. Noch ist der Chemosensor aber nicht wasserlöslich und daher für das Monitoring von bleihaltigem Wasser nicht ideal. Die Forscher Chao-Tsen Chen und Wan-Pei Huang testeten auch noch nicht, ob der Chemosensor für menschliche Zellen toxisch ist bzw. ob die Substanzen in die Zellen eindringen können. Ist es möglich, eine ungiftige Version zu entwickeln, könnte laut dem Chemosensor-Pionier Anthony Czarnic vom US-Unternehmen Sensors for Medicine and Science der Sensor auch die Wirkung von Blei im Körper erforschen. MB

## Nano-Röhrchen und -Drähte in der Elektronik Spiel mit einzelnen Molekülen

**N**anoröhrchen und Nanodrähte mit Durchmessern von einigen wenigen bis zu einigen Hundert Nanometern besitzen ein großes Anwendungspotential, beispielsweise als winzige elektronische Bauteile.

**IBM-Wissenschaftler** haben Feldeffekttransistoren aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen konstruiert, deren elektrische Kenndaten mit aktuellen Transistoren auf Silizium-Basis vergleichbar sind. Bis solche „Kohlenstoff-Transistoren“ allerdings kommerziell angewandt werden können, sind nach Auffassung der Wissenschaftler noch einige Jahre Forschungsarbeit notwendig.

Wissenschaftler von **Infinion Technologies** züchteten Nano-Röhrchen auf einem 6-Zoll-Wafer und wollen sie als Kontaktbrücken zwischen zwei Metallschichten in ICs verwenden. Es wäre nach Auffassung der Infineon-Forscher denkbar, sämtliche metallischen Leiterbahnen im Chip durch Kohlenstoff-Nanoröhrchen zu

ersetzen. Infineon Technologies rechnet allerdings frühestens 2005 mit dem Einsatz von Kohlenstoff-Nanoröhrchen in Chips.

Eine Forschungsgruppe vom **Institut für Organische Chemie** der Universität Erlangen-Nürnberg hat Drähte aus aneinandergereihten Kohlenstoffatomen mit einer Isolierung aus Methylengruppen hergestellt. Wie eine Bohnenpflanze sich beim Wachsen um die Kletterstange windet, legen sich biegsame Methylen-Ketten spiralförmig um eine starre Kohlenstoff-Brücke, die zwei Metallzentren verbindet (Abbildung 1). Dabei entsteht eine Doppelhelix, die in ihrer Struktur der DNS gleicht, aber ohne die „Querstützen“, welche die zwei Stränge im Zellkern wie bei einer Leiter zusammenhalten. Derartige Moleküle waren bisher nicht bekannt.

Chemikern an der **Washington University** in St. Louis ist es gelungen, Nanodrähte aus Bor mit Halbleitereigenschaften herzustellen.

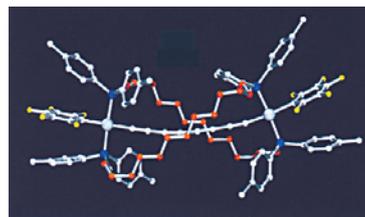


Abbildung 1: Isolierung einer linearen Kohlenstoffkette durch Selbstorganisation einer Methylen-Doppelhelix (Foto Universität Erlangen).

Viele interessante Materialien mit vorteilhaften Eigenschaften, beispielsweise Teflon, Leuchtpolymere, Copolymere oder Materialmischungen mit definierter Zusammensetzung lassen sich nicht zu Nanoröhrchen formen. Chemikern und Physikern vom **Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik** in Halle/Saale und dem Institut für Physikalische Chemie der Philipps-Universität Marburg ist es jetzt gelungen, ein universell einsetzbares Verfahren zu entwickeln, mit dem Nanoröhrchen aus einer Vielzahl von Stoffen oder Stoffmischungen hergestellt werden können. Sie verwendeten kleine Plättchen aus Silizium- oder Aluminiumoxid, die von hochgeordneten Strukturen aus winzigen Poren durchzogen sind. Werden flüssige Polymere oder Lösungen, die Polymere enthalten, in Kontakt mit diesen Porenstrukturen gebracht, bildet sich ein etwa 20 Nanometer dünner Film auf den Porenwänden. Durch Kühlen oder Verdampfen des Lösungsmittels erstarrt dieser Film und bildet Nanoröhrchen (Abbildung 2).

## Fluoreszierender Zuckersensor

**P**flanzenphysiologen haben als Prototyp einen Sensor entwickelt, der die Konzentration von Maltose direkt in der Zelle messen kann.

Die Forscher vom Zentrum für Molekularbiologie der Universität Tübingen bedienen sich eines Maltose-Bindungsproteins aus Bakterien (periplasmic binding proteins, PBPs). Das Maltose-PBP klappt bei der Bindung der Maltose durch eine scharnierartige Bewegung zusammen – ähnlich wie die Fangorgane der fleischfressenden Pflanze Venusfliegenfalle beim Fangen eines Insekts. Dabei werden zwei fluoreszierende Proteine näher zusammengebracht, von denen eines durch blaues Licht angeregt wurde. Das zweite fluoreszierende Protein

übernimmt die Resonanzenergie des ersten und leuchtet in einer anderen Farbe. Das Licht wird gemessen und liefert so indirekt Informationen über die Konzentration an Maltose in der Zelle. Es können in Lösungen und in lebenden Zellen sehr schnell auch winzige Konzentrationsänderungen im Nanobereich festgestellt werden. Für mindestens 50 weitere Stoffe sind PBPs aus Bakterien, bekannt. Nach Ansicht der Wissenschaftler lassen sich damit zahlreiche weitere Stoffwechselprodukte messen. Die Messmethode ist nicht auf pflanzliche Zellen beschränkt. Die Forscher wollen das Verfahren zum Beispiel auch zur Messung der Zuckerkonzentration in menschlichen Zellen weiterentwickeln.

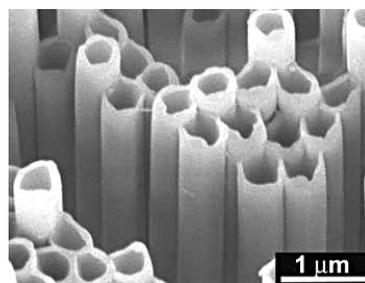


Abbildung 2: Nano-Röhrchen-Arrays aus Polystyrol. Die Röhrchen haben einen Durchmesser von circa 400 Nanometern (Foto: MPI für Mikrostrukturphysik).

[www.analytik-news.de](http://www.analytik-news.de)  
Aktuelle Stellenangebote

## Unterstützung für „Forscher im Kleinen“

Die Nanotechnologieforschung soll durch Koordinierung auf EU-Ebene an Effizienz gewinnen. Die **EU-Kommission** wird daher innerhalb des Sechsten Forschungs-Rahmenprogramms 700 Millionen Euro für die Nanotechnologieforschung bereitstellen. Ohne die Maßnahmen wird es nach Ansicht der EU diesem Sektor in Europa nicht gelingen, die Rentabilitätsschwelle zu erreichen und sein Potenzial voll zu entfalten.

Die Capsulation NanoScience AG aus Berlin erhält vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung** (BMBF) eine Förderung aus dem Rahmenprogramm „Nanobiotechnologie“. Ziel des Projektes ist die Entwicklung von künstlichen Zellen, die als Wirkstofftransporter in der Medizin und als nanoskalige Sensoren im

Diagnostikbereich eingesetzt werden. Das Projekt, das vom BMBF mit mehr als einer halben Million Euro gefördert wird, soll zusammen mit dem Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm bei Potsdam und dem Institut für medizinische Biophysik der Universität Leipzig realisiert werden.

Ein interdisziplinäres Forscherteam aus dem Center for Nanoscience (CeNS) der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) hat Membranströme in einer Zelle mit einem Biochip gemessen. Die Wissenschaftler der LMU übertrugen das klassische Verfahren des patch clamping auf die Oberfläche eines flachen Glasplättchens. In der nächsten Stufe soll das System, an dem das Münchener Start-up Unterneh-

men Nanion Technologies GmbH nun mit Unterstützung der **Deutschen Forschungsgemeinschaft** (DFG) arbeitet, zum Beispiel neue Substanzen sehr viel schneller und wirtschaftlicher als bisher auf ihre Wirkung an Ionenkanälen testen.

Ein Analyselabor auf einem daumennagelgroßen Chip strebt der Forschungsverbund „Miniaturisierte Analyseverfahren durch Nanotechnologie in Biochemie, Chemie und Physik“ (ForNano) in den nächsten drei Jahren an. Neun Arbeitsgruppen aus den beiden Münchener Universitäten und der Universität Würzburg arbeiten zusammen mit Industriepartnern (Advalytix AG, Garching Analytics GmbH, Nanoplus GmbH, Nanotype GmbH, Nanoscape AG, Nimbus GmbH) an neuen Labordiagnostikverfahren. Der **Bayerischen Forschungsförderung** ist dieses Projekt drei Millionen Euro wert.

## Ein Überblick über die Lebenswissenschaften

Verband deutscher Biologen (Hrg.): **Wohin die Reise geht ... Lebenswissenschaften im Dialog**; 110 Seiten mit vielen farbigen Abbildungen; Wiley-VCH-Verlag, Weinheim 2002; ISBN 3-527-30567-X; 15,90 Euro.

Das Buch zum Jahr der Lebenswissenschaften 2001 gibt einen Überblick über die wesentlichen Themengebiete dieses Bereiches von der Bioethik über die Genetik bis hin zur Verhaltensbiologie. Es bietet einen anschaulichen und spannenden Exkurs über die Grundlagen, Chancen und Risiken der modernen Biowissenschaften und richtet sich an die breite Öffentlichkeit. Kompetente und prominente Wissenschaftler (zum Beispiel Christiane Nüsslein-Volhard, Bettina Schöne-Seifert, Helmut Kettenmann,

Rüdiger Marquardt, Werner Nachtigall, Norbert Sachser, Erko Stackebandt, Jörg Wadzack, Eckhard Wolf u.a.m.) beschreiben in zwölf Beiträgen jeweils ihren Forschungszweig.

Beispielsweise gibt das Kapitel „Gene und Krankheit: Die Konsequenzen des Humangenomprojektes für die Medizin“ einen Einblick in die Anwendung von genetischen Tests zur Absicherung von Diagnosen und die Wirkung von Medikamenten. Das Kapitel „Bioplastik, Phytofarming und andere grüne Wunder: Neue Wege in der Pflanzenzucht“ regt

zu eigenen Forschungen nicht nur im Internet an und zeigt das Zusammenspiel der klassischen Züchtung durch Kreuzung und Selektion mit molekularen Techniken. Im Kapitel „Erforschen, nutzen, schützen: Biodiversität – die Vielfalt, in der wir leben“ wird eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Ökologie und ökonomischem sowie ökologischem Natur-Management geschlagen. Als letztes Beispiel sei das Kapitel „Wege zur Erkenntnis des eigenen Ichs: Forschung im Kosmos Gehirn“ erwähnt, das über Tätigkeiten und Erkenntnisse des Neurowissenschaftlers berichtet.

Die verständlich geschriebenen Beiträge ergänzen farbige Abbildungen, übersichtliche Tabellen und einen schnellen Einblick gebende Zwischenüberschriften. Alle Kapitel enthalten Literaturhinweise und ein Glossar, in dem den Autoren wichtig erscheinende Wörter erklärt werden. Hier wäre eine intensivere Kommunikation wünschenswert gewesen. So werden die Begriffe Sequenzierung, sequenzieren, DNA-Sequenz gleich mehrfach erwähnt, während Fachausdrücke wie exprimieren, die nicht einmal der Duden (21. Aufl.) listet, unberücksichtigt bleiben.

Zusammenfassend kann das großformatige Buch durchaus dem Ziel des Verbands deutscher Biologen dienen: „der Förderung des Verständnisses der Biowissenschaften in der Öffentlichkeit als Informationsschnittstelle von Grundlagenforschung und Anwendung in Unternehmen und Industrie“. Darüber hinaus bietet es dem Leser Aufklärung über zur Zeit viel beachtete Themen und das Vergnügen, in einem schönen Werk zu blättern. MB



## ERMITTLUNG der Messunsicherheit bei analytischen Messungen

Die deutsche Übersetzung der zweiten Auflage des **Eurachem/Citac-Guide** „Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement“ kann als PDF-Datei aus dem Internet heruntergeladen werden: [www.uni-stuttgart.de/eurachem/pdf/quam2000de\\_v1.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/eurachem/pdf/quam2000de_v1.pdf)

## HUMANGENOMPROJEKT

Die vollständig überarbeitete und inhaltlich erweiterte zweite Auflage der Broschüre „Das Humangenomprojekt – Von den Grundlagen zur Anwendung in der modernen Medizin“ liefert allen Interessierten Informationen zu den verschiedenen Aspekten der Humangenomforschung. Sie kann kostenlos bezogen werden über [www.dhgp.de/deutsch/medien/index.html](http://www.dhgp.de/deutsch/medien/index.html).

**KENNZEICHNUNG** In seinem Spezialkatalog zeigt der Schilderhersteller **Kroschke** neben dem Standardprogramm an Sicherheitskennzeichen, Prüfplaketten, Inventar- und Lageretiketten ein erweitertes Sortiment an individuell gestaltbaren Schildern und Aufklebern. Tel.: 0531 318318 oder [www.kroschke.com](http://www.kroschke.com)

**MAINTAINING Your Agilent GC System** Dieser 60seitige Leitfaden erläutert die Komponenten des GCs, bietet Tipps zur Fehlersuche, Empfehlungen für Wartung und Reparatur sowie Informationen zur Bestellung von Ersatz- und Zubehörteilen. [www.agilent.com](http://www.agilent.com)

**SYNTHETIC ORGANIC COMPOUNDS** Diese 54seitige Publikation enthält Tausende von organischen Verbindungen und informiert über die **Alfa Aesar** Produktionsmöglichkeiten in der Avocado Produktionsstätte für organischen Chemikalien. Gebührenfreie Bestellung unter 00800 45664566 oder [www.alfa-chemcat.com](http://www.alfa-chemcat.com)

**VERPACKUNGSKATALOG** **Licefa** hat einen Verpackungskatalog von nun mehr 124 Seiten herausgebracht. Für alle offenen Verpackungsfragen gibt es die Verpackungs-Hotline 05222 280412 oder [www.liceфа.com](http://www.liceфа.com).

talog von nun mehr 124 Seiten herausgebracht. Für alle offenen Verpackungsfragen gibt es die Verpackungs-Hotline 05222 280412 oder [www.liceфа.com](http://www.liceфа.com).

## TERMINE

09.08.2002, 17 Uhr

### Fürstliche Küchenchemie – lebensmittelchemische Experimente mit historischen Ingredienzen

Experimentalvortrag, Residenzschloß Ludwigsburg  
[www.clb.de](http://www.clb.de)

25.08.2002

### Rüdestorfer Kalkstein – wertvoller und sehenswerter Naturrohstoff vor den Toren Berlins

Gesteinskundliche Führung zum Jahr der Geowissenschaften der TU Berlin  
Tel. 030 5090615; [www.tu-berlin.de/presse/pi/2002/pi102.htm](http://www.tu-berlin.de/presse/pi/2002/pi102.htm)

24.-29.08.2002

### 17th International Symposium on Gas Kinetics

Institut für Physikalischen und Theoretische Chemie, Universität Essen  
Tel. 0201 1823073; [www.uni-essen.de/gaskinetics](http://www.uni-essen.de/gaskinetics)

16.-17.09.2002

### Rhetorik-, Vortrags- und Präsentationstechnik für Chemiker

Seminar im Haus der Technik, Essen  
Tel. 0201 18031; [www.hdt-essen.de](http://www.hdt-essen.de)

17.09.2002

### Netzanschluss von Brennstoffzellen

Workshop, VDE, Frankfurt/Main  
Tel. 069 6308381; [www.vde.com/brennstoffzellen](http://www.vde.com/brennstoffzellen)

18.09.2002

### Elektroden in der Potentiometrie – Grundlagen, Applikationen und Neuentwicklungen

Seminar, Deutsche Metrohm, Filderstadt  
Tel. 0711 7708812; [www.metrohm.de](http://www.metrohm.de)

25.-27.09.2002

### Notfallübungen bei Ammoniakleckagen

Seminar des Instituts für Kälte-, Klima-, Energie-Technik GmbH  
Tel. 0201 8127341; [www.iket.de](http://www.iket.de)

16.-17.10.2002

### Ortsaufgelöste Analytik – Elektronenstrahlmikrosonde, Röntgenspektroanalytik, Sekundärionenmassenspektrometrie, Photoelektronenspektroskopie

Fortbildungspraktikum der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) in Darmstadt  
Tel. 069 7917750; [www.dgm.de](http://www.dgm.de)





## Durchblick mit See Through

Die See-Through-Hohlkathodenlampe von LOT Oriel dient als Frequenznormal für abstimmbare monochromatische Lichtquellen, insbesondere Laser (zum Beispiel zur Wellenlängeneinstellung für Farbstofflaser oder zur Wellenlängens Stabilisierung von Halbleiterlasern). Der Durchgang eines Lichtstrahls durch die Kathode ermöglicht eine resonante Wechselwirkung mit einer charakteristischen Spektrallinie der Hohlkathodenlampenentladung. Die daraus resultierende Impedanzänderung der Hohlkathodenlampe kann mit der Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls korreliert werden.

Als Kathode werden die meisten der in Standard-Hohlkathodenlampen eingesetzten Elemente angeboten. Bei Anwendungen, für die kein spezielles Kathodenmaterial erforderlich ist, wird aufgrund der hohen Intensität das Element Eisen empfohlen. Als Füllgase stehen Neon, Argon, Xenon, Krypton, Helium, Wasserstoff und Deuterium zur Auswahl. Auch Gasgemische sind möglich. Das Fenstermaterial ist hochreines Quarz mit einem Transmissionsbereich von 200 bis 5000 Millimeter.

LOT-Oriel GmbH & Co. KG  
Im Tiefen See 58, D-64293 Darmstadt  
Dr. Joachim Wess  
Tel.: 06151 880672; Fax: 06151 896667  
weiss@lot-oriel.de, www.lto-oriel.de

## Variable LC/GC-MS-Kopplung

Das Grundmodell 1200L von Varian besteht aus einer LC/MS-Kopplung mit single-Quadrupol, der zu einem triple Quadrupol aufgerüstet werden kann. Zusätzlich kann der Anwender mit Hilfe eines einfachen Interfaces in beiden Konfigurationen zwischen LC/MS und GC/MAS hin- und herschalten.

Im Zentrum des 1200L Systems steht das neue Quadrupol Massenspektrometer mit bester Sensitivität und Selektivität. Jeder Quadrupol zeigt eine verbesserte Signalübertragung, die nochmals optimiert wird, da zwischen den einzelnen Quadrupolen keine Linsen sind. So werden auch Einstellungen erleichtert.

Das 1200L MS bietet viele Möglichkeiten, Hintergrundrauschen zu minimieren. Der Multiplier (+/- 5 kV) ermöglicht ein geringeres Grundrauschen als Multiplier, die bei höheren Spannungen arbeiten. In einer Tandem MS/MS Konfiguration liefert das 1200L insbesondere für komplexe Matrices hervorragende Nachweisgrenzen, da chemisches Rauschen eliminiert wurde.

Varian Deutschland GmbH  
Alsfelder Strasse 6, D-64289 Darmstadt  
Tel. 06151 7030  
de.info@varianinc.com;  
www.varianinc.com



## Sparsame Dispersiereinheit

Die neue Hydro 2000 Micro Precision Dispersiereinheit für den Mastersizer 2000 von Malvern Instruments ist insbesondere für die genaue Partikelgrößenbestimmung sehr kleiner Probenmengen ausgelegt.

Da die Einheit nur ca. 18-20 ml Dispersiermittel benötigt, können beim Dispersiermittelverbrauch und speziell bei der Abfallentsorgung, aber auch bei den Kosten für das Probenmaterial, große Einsparungen erzielt werden.

Wie jedes Mastersizer 2000 Zubehör kann auch die neue Dispersiereinheit exakt mit Hilfe von SOPs (Standard Operating Procedures) gesteuert werden. Die neue Ultraschalltechnik ermöglicht konsistente Dispersion. Zur vollständigen Kontrolle steht eine Temperaturüberprüfung bereit.

Mit dem Mastersizer 200 stellt Malvern ein Tool zur Verfügung, das den gesamten Validierungsprozess insbesondere in der Pharmazeutischen Industrie unterstützt. Die Software entspricht den Anforderungen der FDA.

Malvern Instruments GmbH  
Rigipsstr.19, D-71083 Herrenberg  
Tel: 07032 97770, Fax: 07032 77854  
www.malvern.co.uk



## Kontaminationsfreies Nachfüllsystem

Das neue Nachfüllsystem von Eppendorf ist das Ergebnis einer konsequenten Weiterentwicklung des bewährten Eurosystems. Es besteht aus einer autoklavierbaren Arbeitsbox, der eptips Box, und praktischen Nachfüll-Trays, den eptips Reloads.

Das System vereint einfachstes Handling mit platzsparender Verpackung und ist zudem umweltgerecht. Die Reloads werden jeweils in der kompaktesten Verpackungsform angeboten: Dies ist je nach Spitzentyp entweder die bekannte doppelseitige Verpackung oder ein Stacksystem. Das Handling der Reloads ist dabei natürlich einheitlich.

Durch das vielfach geringere Abfallvolumen gegenüber Einwegboxen wird das System auch der Umwelt gerecht. Dabei sind alle Komponenten selbstverständlich zu 100 Prozent recycelbar.

Das System ermöglicht ein kontaminationsfreies Handling der Nachfüll-Trays: Kunststoffdeckel schützen die Trays vor direkter Berührung während des Transfers in die Arbeitsbox. Die standfeste Box verleiht den Trays stabilen Halt – optimal für die Arbeit mit Mehrkanalpipetten.

Die Reloads sind bereits in ihrer Verpackung auf Vorrat autoklavierbar, wodurch der Anwender nicht durch die Anzahl an verfügbaren Arbeitsboxen limitiert ist. Die bewährte Farbkodierung der Trays ermöglicht die einfache Identifikation der Spitzen und gleichzeitig

die Zuordnung zur passenden Eppendorf Pipette.

Die Reloads sind in zwei Reinheitsqualitäten erhältlich: „Eppendorf Quality“ & „PCR clean“. PCR clean bedeutet frei von Human-DNA, DNase, RNase und PCR-Inhibitoren und ermöglicht somit ein sorgenfreies Arbeiten im molekularbiologischen Labor.

Eppendorf Vertrieb Deutschland GmbH  
Friedensstr. 116, D-51145 Köln  
Tel.: 0180 3255911, Fax: 02203 927655  
www.eppendorf.de,  
vertrieb@eppendorf.de

## Hirschmann präsentiert

die Höhenjagd beim 24. Internationalen Hochsprung-Meeting in Eberstadt. 2 Weltrekorde, 4 Europarekorde, 1 Asienrekord und 15 Landesrekorde wurden bereits bei diesem bedeutendsten Hochsprungmeeting der Welt erzielt. Exklusiv von Hirschmann präsentiert, tritt jetzt erstmalig auch die Weltklasse des Frauenhochsprungs in Eberstadt an.

Das Starterfeld ist imponierend. Hallen-Europameisterin Marina Kuptsowa (Russland) wird ebenso wie die amtierende Hallenweltmeisterin 2001 Kajsa Bergqvist (Schweden) mit anderen 2-Meter-Springerinnen um den Sieg kämpfen.

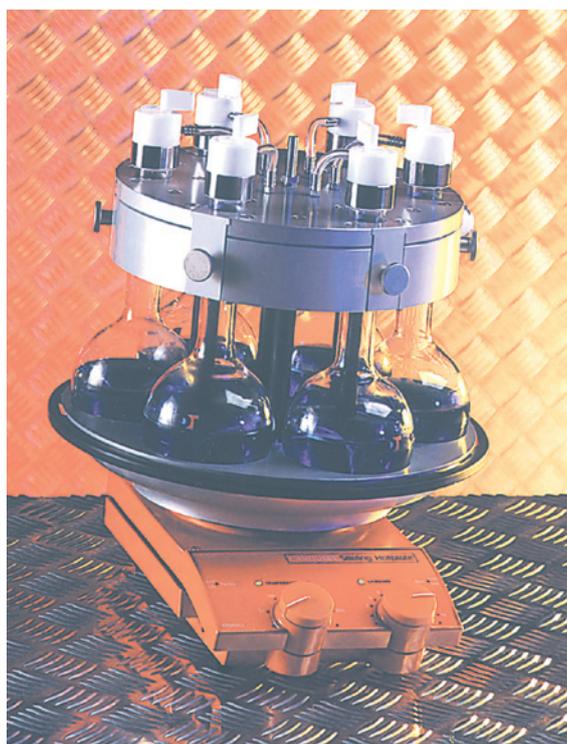
Sonntags ist die Weltspitze der Herren dran. Wjatscheslaw Woronin (Russland) will zum dritten Mal in Folge gewinnen. Der Sieger

von '99 Mark Boswell (Kanada) hat dieses Jahr bereits 2,33 m vorgelegt und der erst 20jährige Jaques Freitag (Südafrika) übersprang im März 2,37 m. Eingreifen in den Kampf um den Titel werden Weltmeister Martin Buß, Vize-Weltmeister Jaroslaw Rybakow (Russland), der derzeitige Zweite der Weltrangliste Charles Clinger (USA), Hallen-Europameister Stefan Strand und Hallen-Weltmeister Stefan Holm (beide Schweden). Mit weiteren Top-Springern wird verhandelt.

Anlässlich dieses Ereignisses gibt Hirschmann die ceramus-Sportedition heraus: ein 2-10 ml-ceramus mit Hochsprung-Sonderbedruckung, eine präzise Stoppuhr und eine signierte Autogrammkarte der Siegerin – in limitierter Auflage, ohne Aufpreis und nur bis zum 30.08.02.

Hirschmann Laborgeräte GmbH & Co.KG  
Hauptstraße 7-15, D-74246 Eberstadt  
Tel.: 07134 5110, Fax 07134 51190  
www.hirschmann-laborgeraete.de,  
info@hirschmann-laborgeraete.de





## Mehr Chemie fürs Geld

Die neue Carousel 6 Place Station von RDT bietet Chemikern die Chance, ihre Produktivität bei größeren Synthesen wie zum Beispiel während der Prozessentwicklung und der Produktion von Zwischenprodukten zu erhöhen. Die praktische und innovative Synthesestation kombiniert die bewährte Technik des 12 Place Carousel mit gewöhnlichen 250 Milliliter-Rundkolben. Mit etwas Übung lassen sich die sechs heiz- und rührbaren Positionen auf einem konventionellen heizbaren Rührer leicht bestücken. Mit der starken Heiz- und Rührkraft bringt das 6 Place Carousel sechs Kolben, gefüllt mit je 150 Milliliter Wasser, in weniger als 25 Minuten zum Kochen. Die neuen elliptischen Seltene Erd-Rührfische erreichen kraftvolles Rühren und einen tiefen Strudel. Jeder Kolben ist gut sichtbar, leicht für Reagenzien- oder Lösungsmittelzugabe zu erreichen und kann direkt zu einem Standard-Rotationsverdampfer überführt werden. Das Carousel 6 Place ist wartungsfrei, da es keine beweglichen Teile enthält, die Reparaturen oder Wartung benötigen.

RDT Radleys Discovery Technologies  
 Distributor: Zinsser Analytic GmbH  
 Eschborner Landstr. 135  
 D-60489 Frankfurt  
 Tel: 069 7891060, Fax: 069 78910680  
 h.tessner@zinsser-analytic.com  
 www.radleys.com

## Fluorierung von Kunststoff-Fertigteilen

Dank ihrer einfachen Verarbeitung und herausragenden Eigenschaften haben Kunststoffe in der industriellen Anlagentechnik heute einen hohen Stellenwert. Unbehandelte Kunststoffteile weisen jedoch für bestimmte Anwendungen einen wesentlichen Nachteil auf: Ähnlich wie Wassertropfen perlen auch Farben und Lackierungen von ihrer Oberfläche ab und können so die Fertigungsprozesse erschweren. Ein Manko, das Uponor Industrial Applications mit einem speziellen Verfahren – der Fluorierung – zuverlässig behebt.

Die Fluorierung eignet sich vor allem für Kunststofftypen, die aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind. Hierunter fallen beispielsweise Polypropylen, Polyethylen, Polystyrol sowie Acrylnitril-Butadien-Styrol. Aber auch Kunststoffe mit Sauerstoff oder Chlor-Verbindungen können entsprechend behandelt werden. Die fertigen Kunststoffbauteile werden bei Uponor Industrial Applications leicht vorgewärmt in einer speziellen Anlage, dem so genannten „Behandlungs-Autoklav“, einem Inertgas-Fluorgemisch ausgesetzt. Im Laufe der chemischen Reaktion ersetzen die Fluoratome 40 bis 60 Prozent der Wasserstoffatome an der Kunststoffoberfläche.

Die vormals glatte Oberfläche erscheint nach der Behandlung unter dem Mikroskop aufgeraut und bildet so eine optimale Haftungsgrundlage für Klebstoffe, Lackierungen, etc. Der Grad des „Aufrauens“ lässt sich durch die Fluorkonzentration und die Behandlungsdauer beeinflussen.

Nach dem Fluorierungsprozess saugt eine Vakuumpumpe das Inertgas-Fluorgemisch aus dem Behandlungs-Autoklav und ein angeschlossener Absorber neutralisiert es, so dass es zu keinerlei Umweltbelastung kommt.

Hohe chemische Stabilität kennzeichnet die aufgeraute und gut verarbeitbare Oberfläche. Die neu entstandenen Kohlenstoff-Fluor-Bindungen sind äußerst beständig und lassen sich nur durch Verbrennen wieder spalten. Neben den verbesserten Beschichtungseigenschaften sorgt die Fluorierung auch für ein verbessertes Permeationsverhalten der Kunststoffteile – sie werden nahezu diffusionsdicht gegenüber unpolaren Stoffen wie beispielsweise Benzin.

Uponor Industrial Applications  
 c/o Hewing GmbH  
 Waldstraße 3, D-48607 Ochtrup  
 Fax: O 2553 70979  
 industrial.applications@uponor-europe.com

## GMP-/GLP-gerechtes Reinstwassersystem

Die GMP-/GLP-gerechte Reinstwasseraufbereitung Nanopure Diamond der Wilhelm Werner GmbH ist direkt an vollentsalztes Wasser anzuschließen. Mehrsprachiges Display, RS232-Schnittstelle gem.ä. USP 24, einstellbare Volumen- und Zeitparameter, einfacher Kartuschentausch mit einem Handgriff, automatische Desinfektion, dezentraler Aufbau des Control-Moduls für Einbau-Lösungen, GMP-gerechte Kalibrierung, erhältlich in 4 Ausführungen.

Wilhelm Werner GmbH  
 Maybachstrasse 29, D-51381 Leverkusen  
 Tel.: 02171 76750, Fax: 02171 767510  
 info@werner-gmbh.com

**CLB-Mediadaten und  
 Links zu Firmenseiten:  
[www.clb.de](http://www.clb.de)**

# Bezugsquellenverzeichnis

## ANALYSEN

**Analytische Laboratorien**  
Prof. Dr. H. Malissa u. G. Reuter GmbH  
Postfach 1106, D-51779 LINDLAR  
Tel. 02266 4745-0, Fax 02266 4745-19

## ARÄOMETER

**Amarell GmbH & Co KG**  
D-97889 Kreuzwertheim  
Postfach 1280  
Tel. 09342 9283-0  
Fax 99342 39860



## ARBEITSSCHUTZARTIKEL

**Carl Roth GmbH + Co.**  
Postfach 21 11 62  
D-76161 Karlsruhe  
Tel. 0721 56060



## BIMSSTEINGRANULATE UND -MEHLE

**Joseph Raab GmbH & Cie. KG**  
Postfach 2261  
D-56512 Neuwied  
Tel. 02631 913-178  
Fax 02631 913-170



## BSB-BESTIMMUNG

**WTW, Weilheim**  
Tel. 0881 183-0 Fax 0881 62539

## CHEMIKALIEN

**Carl Roth GmbH + Co.**  
Postfach 21 11 62  
D-76161 Karlsruhe  
Tel. 0721 56060



## DEUTERIUMLAMPEN

**LOT**  
Tel. 061 51/88 06-0  
Fax 061 51/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com



## DICHTUNGSSCHEIBEN AUS GUMMI MIT AUFVULKANISIERTER PTFE-FOLIE

**GUMMI WÖHLEKE GmbH**  
Siemensstr. 25, D-31135 Hildesheim  
Teletex 5 121 845 GUMWOE  
Tel. 05121 7825-0

## DOSIERPUMPEN

**LEWA Herbert Ott GmbH + Co.**  
Postfach 1563, D-71226 Leonberg  
Tel. 07152 14-0  
Fax 07152 14-1303  
E-mail: lewa@lewa.de  
http://www.lewa.de

## FTIR-SPEKTROMETER-ZUBEHÖR

**LOT**  
Tel. 061 51/88 06-0  
Fax 061 51/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com



## GEFRIERTROCKNER

**Zirbus technology**  
D-37539 Bad Grund  
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 8380-80  
Internet: http://www.zirbus.de

## GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN

**CHAIST**  
Gefriertrocknungsanlagen  
**Martin Christ GmbH**  
Postfach 1713  
D-37507 Osterode/Harz  
Tel. 05522 5007-0  
Fax 05522 5007-12



## STERIS

**Steris GmbH**  
Kalscheurener Str. 92  
D-50354 Hürth/Germany  
Tel. 02233 6999-0  
Fax 02233 6999-10



## HOHLKATHODENLAMPEN

**LOT**  
Tel. 061 51/88 06-0  
Fax 061 51/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com



## KALIBRATIONSSTANDARD

**Starna GmbH**  
Postfach 1206, D-64311 Pfungstadt  
Tel. 06157 2813, Fax 06157 85564  
www.starna.de, starna@t-online.de

## KÜHL- UND TIEFKÜHLGERÄTE

**Hettich**  
ZENTRIFUGEN  
Gartenstr 100  
D-78532 Tuttlingen  
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125  
www.hettichlab.com  
info@hettichlab.com



## Kendro

**Kendro Laboratory Products GmbH**  
Herausstr. 12-14, D-63450 Hanau  
Tel. 01805 536376 Fax 01805 112114  
www.kendro.de, info@kendro.de



## KÜVETTEN

**HELLMA GMBH & CO. KG**  
Postfach 1163  
D-79371 Müllheim  
Tel. 07631 182-0  
Fax 07631 135-46  
www.hellma-worldwide.com  
aus Glas, Spezialgläser, Quarzgläser

**Starna GmbH**  
Postfach 1206, D-64311 Pfungstadt  
Tel. 06157 2813, Fax 06157 85564  
www.starna.de, starna@t-online.de

## LABORCHEMIKALIEN

**Carl Roth GmbH + Co.**  
Postfach 21 11 62  
D-76161 Karlsruhe  
Tel. 0721 56060



## LABOREINRICHTUNGEN

**Köttermann GmbH & Co KG**  
Industriestr. 2-10  
D-31311 Uetze/Hänigsen  
Tel. 05147 976-0 Fax 05146 976-844  
http://www.koettermann.com

**Waldner Laboreinrichtungen**  
GmbH & Co. KG  
Haidösch 1, D-88239 Wangen  
Tel. 07522 986-480, Fax 07522 986-418  
www.waldner.de, labor@waldner.de

**Wesemann GmbH & Co.**  
Postfach 1461, D-28848 Syke  
Tel. 04242 549-0, Fax 04242 549-39  
http://www.wesemann.com

## LABORHILFSMITTEL

**Carl Roth GmbH + Co.**  
Postfach 21 11 62  
D-76161 Karlsruhe  
Tel. 0721 56060



## LABOR-SCHLÄUCHE UND -STOPFEN AUS GUMMI

**GUMMI WÖHLEKE GmbH**  
Siemensstr. 25, D-31135 Hildesheim  
TeleTex 5121845 GUMWOE  
Tel. 05121 7825-0

## LABORZENTRIFUGEN, KÜHLZENTRIFUGEN

**Hettich**  
ZENTRIFUGEN  
Gartenstr 100  
D-78532 Tuttlingen  
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125  
www.hettichlab.com  
info@hettichlab.com



## Kendro

**Kendro Laboratory Products GmbH**  
Herausstr. 12-14, D-63450 Hanau  
Tel. 01805 536376 Fax 01805 112114  
info@kendro.de, www.kendro.de



**Sigma Laborzentrifugen GmbH**  
Postfach 1713  
D-37507 Osterode/Harz  
Tel. 05522 5007-0  
Fax 05522 5007-12



Große Anzeigen zu teuer? Hier kostet ein Eintrag nur 4,50 Euro pro Zeile, ein Millimeter pro Spalte 2,25 Euro!

## LEITFÄHIGKEITS-MESSGERÄTE



HANNA Instruments  
Deutschland GmbH  
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6  
D-77694 Kehl am Rhein  
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

## LEITFÄHIGKEITSMESSUNG

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539

## MIKROSKOPE



**Labor- und Routine-  
Mikroskope  
Stereolupen und  
Stereomikroskope**

Helmut Hund GmbH  
Postfach 1669 · 35526 Wetzlar  
Telefon: (0 64 41) 20 04-0  
Telefax: (0 64 41) 20 04-44

**OLYMPUS OPTICAL CO.  
(EUROPA) GMBH**  
Produktgruppe Mikroskope  
Wendenstr. 14-18  
D-20097 Hamburg  
Tel. 040 237730  
Fax 040 230817  
email: microscopy@olympus-europa.com

## OPTISCHE TAUCHSONDEN

**HELLMA GMBH & CO. KG**  
Postfach 1163  
D-79371 Müllheim  
Tel. 07631 182-0  
Fax 07631 135-46  
www.hellma-worldwide.com  
aus Glas, Spezialgläser, Quarzgläser

## PARTIKELANALYSE



0 61 51/88 06 - 0  
Fax 0 61 51/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com

## PH/REDOX-ISE-MESSUNG

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539

## PH-MESSGERÄTE

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539



HANNA Instruments  
Deutschland GmbH  
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6  
D-77694 Kehl am Rhein  
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

## PHOTOMETR. WASSERANALYSE GERÄTE UND TESTSÄTZE

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539

## POLARIMETER



SCHMIDT + HAENSCH GmbH & Co  
Waldstr. 80/81; D-13403 Berlin  
Tel: 030 417072-0; Fax 030 417072-99

## REFRAKTOMETER



SCHMIDT + HAENSCH GmbH & Co  
Waldstr. 80/81; D-13403 Berlin  
Tel: 030 417072-0; Fax 030 417072-99

## REINIGUNGSMITTEL FÜR LABORGLAS



**Carl Roth GmbH + Co.**  
Postfach 21 11 62  
D-76161 Karlsruhe  
Tel. 0721 56060

## SAUERSTOFF-MESSGERÄTE



HANNA Instruments  
Deutschland GmbH  
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6  
D-77694 Kehl am Rhein  
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539

## STERILISATOREN

**Zirbus technology**  
D-37539 Bad Grund  
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 838080  
Internet: <http://www.zirbus.de>

## TEMPERATUR-MESSGERÄTE

**Amarell GmbH & Co KG**  
D-97889 Kreuzwertheim  
Postfach 1280  
Tel. 09342 9283-0  
Fax 99342 39860



HANNA Instruments  
Deutschland GmbH  
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6  
D-77694 Kehl am Rhein  
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

WTW, Weilheim  
Tel. 0881 183-0, Fax 0881 62539

## THERMOMETER

**Amarell GmbH & Co KG**  
D-97889 Kreuzwertheim  
Postfach 1280  
Tel. 09342 9283-0  
Fax 99342 39860



## TIEFSTTEMPERATURMESSUNG

**Cryophysics GmbH**  
Dolivostr. 9, D-64293 Darmstadt  
Tel. 06151 8157-0, Fax 06151 8157-99  
[info@cryophysics.de](mailto:info@cryophysics.de)

## VAKUUMKONZENTRATOREN



Gartenstr 100  
D-78532 Tuttlingen  
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125  
[www.hettichlab.com](http://www.hettichlab.com)  
[info@hettichlab.com](mailto:info@hettichlab.com)

**Zirbus technology**  
D-37539 Bad Grund  
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 838080  
Internet: <http://www.zirbus.de>

## WASSERDESTILLIERAPPARATE

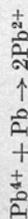


Ges. f. Labortechnik mbH  
Postfach 1152  
D-30927 Burgwedel  
Tel. 05139 9958-0  
Fax 05139 9958-21  
[info@GFL.de](mailto:info@GFL.de)  
[www.GFL.de](http://www.GFL.de)

**Große Anzeigen zu teuer? Hier kostet ein Eintrag nur 4,50 Euro pro Zeile, ein Millimeter pro Spalte 2,25 Euro!**

diese Weise hat man die Auflösung des Zinks in Säuren in zwei Teilreaktionen zerlegt und elektrischen Strom gewonnen.

Der Bleiakkumulator beruht auf der Reaktion:



Die Ausgangslage wird dabei jeweils auf elektrolytischem Weg, d. h. durch „Laden“ des Akkumulators hergestellt. Liefert das Element Strom, dann geht an der Anode vierwertiges Blei in zweiwertiges über unter Aufnahme von Elektronen. ( $\text{Pb}^{4+} + 2e = \text{Pb}^{2+}$ ). Die vorher braune Anode wird mehr oder weniger grauweiß. Die dazu benötigten Elektronen werden von der negativen Platte, der Kathode, über den verbindenden Leiter hinweg geliefert, die nach der Gleichung:  $\text{Pb} = \text{Pb}^{2+} + 2e$  gleichzeitig Bleiionen bildet, die in Gegenwart von Schwefelsäure natürlich sofort als schwerlösliches Bleisulfat festgelegt werden. Man erkennt auch hier wieder das Prinzip, eine Umsetzung in zwei Teilreaktionen zu zerlegen, und die normalerweise direkt ausgetauschten Elektronen unter Gewinn von elektrischer Energie durch Leiter zu übertragen.

Da ein wesentlicher Teil der in unseren Brennstoffen steckenden Energie in elektrischen Strom umgewandelt wird, wäre es von allergrößter Bedeutung, wenn es gelänge die Verbrennung des Kohlenstoffs so zu lenken, daß sie nicht Wärme, sondern elektrischen Strom liefert.

Die Versuche, ein Kohlebrennstoffelement zu konstruieren, sind freilich nicht über das Laboratoriumsstadium hinweggekommen. Immerhin hat man schon bei Versuchen die Kohleverbrennung direkt zur Stromerzeugung ausnutzen können. Die große Schwierigkeit dabei ist und bleibt die Reaktionsträgheit sowohl des Kohlenstoffs als auch des Sauerstoffs, die beide erst bei höheren Temperaturen miteinander reagieren. Man ist also gezwungen, das Element zu heizen, wodurch ein beträchtlicher Teil der gewonnenen Energie wieder verbraucht wird. Außerdem muß man als Elektrolyten geschmolzene Natronlauge verwenden, die mit der gebildeten Kohlensäure Carbonat liefert, das entweder auf kostspieligem Weg regeneriert oder verworfen werden muß.

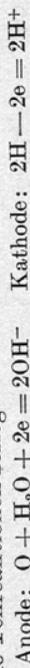
Etwas günstiger ist man bei der Verbrennung von Wasserstoff daran. Die Knallgasreaktion



bietet größere Möglichkeiten der direkten Erzeugung von elektrischer Energie. Man verfügt nämlich in den Metallen über Katalysatoren, die die bei Zimmertemperatur unmeßbar langsam verlaufende Reaktion zu beschleunigen vermögen. Wegen dieser besonderen Vorteile hat sich das

englische Ministerium für Brennstoffe und Energie zusammen mit privaten Unternehmungen des Problems erneut sehr intensiv angenommen. Leiter der Arbeitsgruppe ist *F. T. Bacon*, der eine Zellkonstruktion entwickelt hat, die zu großen Hoffnungen berechtigt.

Ausgehend von dem Gedanken, daß sowohl Wasserstoff als auch Sauerstoff aktiviert werden müssen, hat *Bacon* Anode und Kathode seiner Zelle aus porösem Nickel gebaut, dessen katalytische Fähigkeiten gerade bei der Aktivierung von Wasserstoff bekannt sind. Elektrolyt ist eine 27-proz. Kallauge. Die Gase werden von außen durch die porösen Elektroden hindurchgepreßt, so daß sich die Reaktionen in den Poren des Metalles abspielen. Die Gesamtreaktion der Wasserstoffverbrennung wird dabei in folgende Teilreaktionen zerlegt:



OH<sup>-</sup>- und H<sup>+</sup>-Ionen vereinigen sich im Elektrolyten zu Wasser.

Das Element liefert die besten Ergebnisse bei einer Arbeitstemperatur von 240° C und einem Gasdruck von 40 Atmosphären. Die Zellen haben bis jetzt über 800 Stunden gearbeitet, sie liefern bei einer Zellenspannung von 0,8 — 1 V eine Ausbeute von 54 bis 67% der theoretisch möglichen. Falls es gelingt, die Arbeitstemperatur des Aggregates herabzusetzen, dürfte sich die Bilanz der Baconzelle noch verbessern.

Das Gerät ist in erster Linie als Akkumulator gedacht. Man kann nämlich Wasserstoff und Sauerstoff leicht durch Elektrolyse sofort unter dem benötigten Druck herstellen, und beispielsweise in den üblichen Druckbehältern speichern. Wenn Strom benötigt wird, kann dieser durch Umsetzung der Gase in der *Baconzelle* nach beliebig langer Zeit hergestellt werden. Dieses Speicherverfahren hat besonderes Interesse für unregelmäßig fließende Kraftquellen, beispielsweise für die Windenergie, deren Nutzbarmachung gerade in England auf der Basis der *Baconzelle* eifrig studiert wird.

Aber auch an anderen Stellen, an denen Wasserstoff als Nebenprodukt abfällt, wie in der Erdölindustrie, könnte die „Knallgaszelle“, wie sie auch genannt wird, billigen Strom liefern.

Unabhängig davon, ob die *Baconzelle* zunächst schon rentabel und brauchbar ist, bietet sich hier auf weite Sicht gesehen eine interessante Möglichkeit zur Erzeugung von Energie. Es scheint doch so, als ob das Atomkraftwerk nicht unbedingt, und nicht für alle Fälle, die beste aller möglichen Lösungen darstellt, und es lohnt sich offenbar auch weiterhin, nach anderen günstigen Energiequellen Ausschau zu halten. E.F.

# CLB

**FAX-Hotline: 06223-9707-41**

Für nur 70,50 Euro pro Jahr (incl. 7 % MWSt., zzgl. Versandkosten) erhalten Sie regelmäßig die CLB mit dem MEMORY-Teil. Damit sind Sie ständig informiert über aktuelle Entwicklungen in der Chemie, können diese mit der präsenten Kenntnis der Grundlagen klassifizieren, bewerten und nutzen!

## Abo-Bestellcoupon

- JA, ich möchte die CLB abonnieren. Ich erhalte die CLB zunächst für ein Jahr (=12 Ausgaben) zum Preis von 70,50 Euro zzgl. Versandkosten (Inland: 11,70 Euro, Ausland: 21,20 Euro). Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn es nicht bis acht Wochen vor Ende des Bezugsjahres gekündigt wird.

Datum / 1. Unterschrift

Name / Vorname

Widerrufsrecht: Diese Vereinbarung kann ich innerhalb von 20 Tagen beim Agentur und Verlag Rubikon Rolf Kickuth, Bammertaler Straße 6-8, 69251 Gaiberg, schriftlich widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Gesehen, gelesen, unterschrieben. Ich bestätige die Kenntnisnahme des Widerrufsrechts durch meine 2. Unterschrift.

Straße / Postfach

Land / PLZ / Ort

Datum / 2. Unterschrift

Telefon oder e-Mail



**CLB**  
vermittelt  
Wissen  
konzentriert  
Monat für Monat  
aus Analytik, Biochemie  
und anderen Bereichen moderner Chemie  
als abonentenstärkste Chemiezeitschrift Deutschlands\*.

[www.clb.de](http://www.clb.de)

\*von iwv-registrierten Zeitschriften  
laut iwv-Auflagenliste 1/2002 in der Kategorie  
Fachzeitschriften: Wissenschaftliche Zeitschriften (09),  
außer Mitgliedszeitschriften wissenschaftlicher Gesellschaften