

# CLB

*Chemie in Labor und Biotechnik*

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung



- Phytobodensanierung
- Ionenchromatographie
- Liebig und seine „neue“ Schule der Chemie
- Englischsprachige Elemente im Chemieunterricht

## Moderne chemische Analytik 9.

## Harzaustauscher in der qualitativen Analyse

Von Birgit Fresenius, Wiesbaden

Die Schwierigkeit des Nachweises einzelner Kationen in Gegenwart von Phosphat-Ionen hat immer wieder dazu angeregt, neue Wege zu finden, um die Störung der Phosphat-Ionen zu beseitigen. Sind in einer Lösung z. B. Erdalkalien neben Phosphat-Ionen vorhanden, so fallen auf Zusatz von Ammoniumsulfid die Erdalkaliphosphate im Niederschlag der Metalle der Eisengruppe aus und erschweren den Nachweis der einzelnen Metalle. Es sind verschiedene Verfahren angegeben worden, um die störende Phosphorsäure vor der Ausfällung der Eisengruppe zu entfernen. Dies gelingt mit Metazinn säure, Titan-, Zirkon-, Wismutsalz usw. Jedes dieser Verfahren hat aber Mängel. Außerdem bedeutet es schon deshalb keine ideale Lösung, weil außer Phosphat-Ionen auch gewisse andere Anionen wie z. B. Fluor-Ion, Borat-Ion, Oxalat-Ion und weitere organische Anionen störend wirken, und man besondere Maßnahmen anwenden muß, um auch diese Störungen zu beseitigen. In neuerer Zeit ist nun durch die Harzaustauscher die Möglichkeit gegeben, die störenden Einflüsse der Phosphorsäure und anderer Anionen recht einfach zu beseitigen.

*Was sind Harzaustauscher?*

Die verschiedensten Harzaustauscher finden in der analytischen Chemie Verwendung. Viel verwendet werden die im Handel unter dem Namen „Wofatite“ (Warenzeichen) bekannten Austauscher. (Es gibt natürlich auch noch andere Austauscher, insbesondere sind die sogenannten „Amberlite“ der Firma Rohm & Haas aus USA bekannt geworden.) Dabei müssen wir zwischen Kationen- und Anionen-Austauschern unterscheiden<sup>1)</sup>. Die Wofatite sind unlösliche, körnige, braunschwarze Produkte. Es handelt sich meist um Kunstharze, die Amino- oder Iminogruppen (Kationen-Austauscher) oder Carboxyl-, Sulfosäure-, phenolische Hydroxylgruppen (Anionen-Austauscher) enthalten. In dem im folgenden Beschriebenen handelt es sich um den Kationen-Austauscher Wofatit KS (22) (Bayer, Leverkusen).

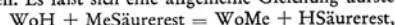
<sup>1)</sup> Vgl. diese Ztschr. 1. 323 ff [1950]

Die ersten Austauschphänomene beobachtete man an Bodenproben. Für technische Zwecke benötigt man Adsorbentien wie zum Beispiel Ruß, Silikagel und Schlammkreide. In den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts stand in Wolfen die Wiege der industriellen Ionenaustauscherproduktion in Deutschland. Den erfolgreichen Einsatz solcher Ionenaustauscher, Kunstharzen mit je nach gewünschtem Effekt unterschiedlichen funktionellen Gruppen, zeigt der Artikel von Birgit Fresenius aus dem Jahre 1951. Auch die Entwicklung einer quantitativen Methode, der Ionenchromatographie, ist verknüpft mit der Wahl geeigneter Austauschermaterialien.

**Auf den CLB-Memory-Seiten M89 bis M91 gehen wir in einem ersten Teil einer Serie über moderne Ionenanalytik auf die Geschichte der Ionenchromatographie ein.**

(Fortsetzung auf Umschlagseite 3)

Durch Salzsäure werden diese Kationen-Austauscher zunächst aktiviert, und dann die Wasserstoffionen durch die Kationen ausgetauscht. Geben wir eine Salzlösung auf Wofatit, so werden die Wasserstoff-Ionen des Wofatits durch die Kationen ausgetauscht, während die Wasserstoff-Ionen sich mit dem Säurerest zu der entsprechenden Säure verbinden und in Lösung gehen. Es läßt sich eine allgemeine Gleichung aufstellen



nach der Austausch der Kationen mit den Wasserstoff-Ionen quantitativ verläuft. Durch Behandeln des Wofatits mit einer stärkeren Säure werden die Kationen wieder herausgelöst, und die Wasserstoffform des Austauschers bildet sich zurück. Auf Grund dieser von Samuelson festgestellten Tatsache und weiterer Arbeiten von Klement usw., lassen sich sowohl in der qualitativen als auch in der quantitativen Analyse ganz neue Verfahren zum Nachweis und zur Bestimmung der Kationen und Anionen festlegen.

*Vorbereitung des Wofatits*

Das im Handel erhältliche Wofatit enthält in der lufttrockenen Substanz noch etwa 30% Wasser. Will man die Austauschfähigkeit festlegen, trocknet man das Material vor der Anwendung zweckmäßig bei 110 °C und verwendet davon etwa 30 g. Man wählt Wofatit möglichst gleicher Korngröße, da Austausch- und Filtriergeschwindigkeit dadurch bestimmt werden. Das Wofatit versetzt man zunächst in einem Becherglas mit einer reichlichen Menge 10%iger Salzsäure und läßt unter gelegentlichem Umrühren einige Zeit stehen. Hierdurch wird nicht nur das Wofatit aktiviert, sondern auch das meist im Wofatit festhängende Eisen, oft vom Rost der Verpackung, herausgelöst. Um das Eisen vollständig in Lösung zu bekommen, wiederholt man diesen Vorgang durch Dekantieren mit neuer Salzsäure am besten einige Male. Dann ersetzt man die Salzsäure durch mehrmaliges Dekantieren mit destilliertem Wasser und läßt das Wofatit über Nacht quellen.

*Beschicken der Filtersäule*

Als Filtersäule verwendet man ein Kugelrohr von etwa 22 mm Durchmesser und 220 mm Länge und einem darüber befindlichen Kugelraum für ungefähr 50 ml Inhalt. Das Rohr ist unten mit einem Glashahn oder einem Quetschhahn verschlossen. Nachdem man eine kleine Schicht Glas-

wolle hineingetan hat, füllt man das Rohr mit Wasser und spült dann das Wofatit hinein. Auf diese Weise lassen sich am einfachsten die Luftblasen zwischen den einzelnen Körnern vermeiden. Auf die oberste Schicht gibt man nochmal etwas Glaswolle und hat noch einen genügend großen Raum darüber frei zur Aufnahme der Lösung und des Waschwassers. Nachdem man die Säule gefüllt hat, wäscht man das Wofatit säurefrei, d. h. man läßt so lange Wasser hindurchlaufen, bis im Waschwasser mit Silbernitrat keine Chlor-Ionenreaktion mehr nachgewiesen werden kann. Dabei ist zu achten, daß das Wofatit immer mit Flüssigkeit bedeckt bleibt. Außerdem ist die Durchlaufgeschwindigkeit nicht zu groß zu wählen, da sonst das Auswaschen nur länger dauert. Die Wofatitsäule ist nun gebrauchsfertig.

*Binden der Kationen*

In der qualitativen Analyse handelt es sich ja meist um saure Lösungen, in denen die Trennung der Kationen und Anionen vorgenommen werden soll. Am zweckmäßigsten verwendet man erst das Filtrat der Schwefelwasserstofffällung, da die Trennung der Kationen dieser Gruppe nicht durch Anionen in dem anfangs beschriebenen Sinne beeinträchtigt wird. Außerdem können Kationen nur aus völlig dissoziierten Lösungen vollständig ausgetauscht werden, was z. B. für Quecksilberchlorid nicht zutreffen würde. Man dampft das Filtrat der Schwefelwasserstofffällung möglichst weitgehend ein und nimmt die Lösung mit n-Salzsäure auf, so daß das Gesamtvolumen etwa 20 ml beträgt. Das in der Säule befindliche Wasser wird bis an den oberen Rand der Glaswolle abgelassen und die Lösung auf die Säule gegeben. Von dem Wasser läßt man nun noch ungefähr so viel ab, daß die saure Lösung dreiviertel des Wofatits einnimmt. Man wartet etwa eine halbe Stunde, bis der Austausch der Kationen stattgefunden hat, danach läßt man die Lösung ab, aber so, daß das Wofatit immer noch mit Flüssigkeit bedeckt bleibt, und wäscht zunächst mit kleinen Mengen destillierten Wassers nach. Dann gibt man viel Waschwasser auf die Säule und wäscht bis zur Chlor-Ionen-Freiheit aus. In der abgelassenen Flüssigkeit liegen die Anionen als Säuren vor und können wie sonst üblich nachgewiesen werden.

*Freimachen der Kationen*

Auf die Wofatitsäule gibt man 80 bis 100 ml 5n-Salzsäure und läßt kurze Zeit stehen, um die Kationen wieder herauszulösen. Dann läßt

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

auch wenn Prognosen prinzipiell schwierig sind, bin ich sicher: Die CLB wird im nächsten Jahr wieder interessante Themen aufgreifen, ebenso Grundlagen verständlich vermitteln. Schon in dieser Ausgabe beginnen wir mit einer großen Serie, die moderne Ionenanalytik beleuchtet, von den geschichtlichen Entwicklungen her über die theoretischen Grundlagen bis hin zu praktischen Versuchen.

Interessante Thematiken beziehen ihre Spannung immer mehr durch fachübergreifende Arbeiten. Wir werden dazu schon in den Ausgaben Januar und Februar ein besonders prägnantes Beispiel liefern: Forschungen zum kleinsten funktionalen Genom fasst dann CLB-Korrespondent Dr. Röbbke Wünschiers zusammen. Er geht mit dem Thema gleichermaßen auf Fragen der Bioinformatik wie auch auf solche der Molekularbiologie ein.

Aber versäumen Sie bei diesen Ankündigungen nicht, diese Ausgabe zu lesen. Auch sie hat themenübergreifende Artikel parat, so den von Dr. Uta Neubauer über Pflanzen, die Schadstoffe aus Böden herausziehen.

Nicht zu vergessen: Das kommende Jahr ist das „Jahr der Chemie“. Wohl ausgebucht aufgrund seiner hervorragenden Vortragskünste ist dabei CLB-Mitherausgeber Prof. Georg Schwedt. In dieser Ausgabe beschreibt er Leben und Wirken von Justus Liebig, dessen 200ster Geburtstag im kommenden Jahr ansteht.

Ab dem Herbst kommenden Jahres wird schon in der ersten Klasse der Grundschulen Baden-Württembergs Englisch unterrichtet. Wie man in Deutschland Chemie in dieser Fremdsprache vermitteln kann verrät der Artikel von Prof. Volker Wiskamp ab Seite 457.

Das Verhältnis von Wissenschaft und Politik ist derzeit sehr gespannt, auch wenn es wohl anders geplant war: Das Foto zeigt ein Wahlplakat der SPD von 1998.



Dieses Jahr hat ja in Deutschland eher einen negativen Beigeschmack, insbesondere was die wirtschaftliche Entwicklung angeht. Motor dieser Entwicklung ist langfristig nach wie vor der Fortschritt in Naturwissenschaft und Technik, auch wenn es zur Zeit nicht so aussieht. Die jedoch schreitet konsequent voran, wie wieder einmal Entwicklungen der Nanotechnik deutlich machen, in dieser Ausgabe auf den Seiten 461 bis 464 mit der Darstellung von Arbeiten über Nanoröhren und -drähte. Phantasien gehen dabei bis zu „Himmelsaufzügen“; realistisch sind jedoch in Kürze Sensoren beispielsweise auf Krebsmarker im Blut.

Aber auch die Analytik erschließt sich neue Fenster, etwa mit Freie-Elektronen-Lasern im Röntgenstrahlungsbereich oder durch völlig neue Geräte im Terahertzbereich (Seiten 465 und 466). Wir stellen ‚hüllenlos‘ die Möglichkeiten dieser Technik dar, die auch aus Geldtöpfen für Sicherheit und Verteidigung ihre Erfolge zieht. Nicht zuletzt die Grundlagenforschung stößt neue Türen auf; dies zeigt in dieser Ausgabe der Artikel über das erste Bose-Einstein-Kondensat mit Cäsiumatomen auf Seite 471. Damit ergeben sich wohl neue Möglichkeiten zur Überprüfung von Naturkonstanten und von dem Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Zeit.

Neue Entwicklungen und Ideen sind – wie angesprochen – die Grundlage für wirtschaftliches Fortkommen. Betrachtet man die hier angerissenen Themen als Beispiele dafür, kann man für die Zukunft Hoffnung auf positive Entwicklung schöpfen. Nur passt in dieses Bild überhaupt nicht die Kürzung der Forschungsförderungen durch die Bundesregierung (siehe Seite 472), die sich bei Amtsantritt vor mehr als vier Jahren auch einer nachhaltigen Förderung von Forschung und Wissenschaft verschrieben hatte – offenbar nur ein Wahlversprechen ohne Folgen. Deutschland ist schon das Schlusslicht der EU in der wirtschaftlichen Entwicklung. Mit einer solchen Einstellung gegenüber Forschung und Wissenschaft zementiert man dies langfristig. Hoffen wir auf bessere Rahmenbedingungen!

Ich wünsche Ihnen für das kommende Jahr alles Gute und zuvor ein frohes, besinnliches Weihnachtsfest!

Ihr

# INHALT

## Aufsätze

Liebig und seine neue Schule der Chemie Einheit von Forschung und Lehre _____	448
Bodensanierung mit Pflanzen Schadstoffe ernten statt Boden abtragen _____	452
Englischsprachige Elemente im Chemieunterricht Lingua Franca in Naturwissenschaft und Technik _____	457



J. Liebig (1803-1873)

## Rubriken

Editorial _____	441
Impressum _____	443
F & E im Bild _____	443
Unternehmen _____	444
Personalia _____	446
Förderungen / Preise _____	447
<b>Umschau</b>	
Nanoröhren und Nanodrähte	
Bald tonnenweise Produktion, aber Probleme mit der Reinheit _____	461
Neuer „Freie-Elektronen-Laser“	
Explosion von Xenon-Clustern _____	465
Terahertz-Wellen mit ungeahnten Anwendungen	
Spektroskopie, Astronomie, Mikroskopie, Sicherheit _____	465
Forschung und Technik _____	467
Wirtschaft _____	472
Literatur _____	474
Service _____	475
Neue Produkte _____	476
Bezugsquellenverzeichnis _____	479



Zum Titelbild:  
Bestimmte Pflanzen, wie hier z. B. Tabak, können Schwermetalle aus dem Boden filtern und so zur Sanierung belasteter Böden beitragen (siehe dazu die Seiten 448 bis 453) (Foto: Kickuth).

## CLB-Memory

Moderne Ionenanalytik (Teil 1): Ionenchromatographie Dornröschenschlaf nach ersten Anfängen _____	M89
Notfallchemie	
Quacksalber und Quecksilber _____	M92
CIC vergibt FIZ Berlin-Preise 2002	
Chemo-Informatik: Eigenständiges Fach _____	M94
Ambivalenz von Drogen zwischen Heilen und Zerstören	
Verharmlosung ist gefährlich _____	M94
Zu CLB 9/2002, Seite M70:	
Mit Chitosan als Schiene wachsen Nerven wieder zusammen _____	M95
Der Blitzableiter feiert den 250. Geburtstag	
Man befürchtete früher, er lockt Blitze an _____	M96

## Bild mit 1024 Pixeln In Molekül gespeichert

**W**issenschaftler der Universität von Oklahoma haben in einem Molekül eines nematischen Flüssigkristalls ein Bild mit 1024 Pixeln gespeichert.

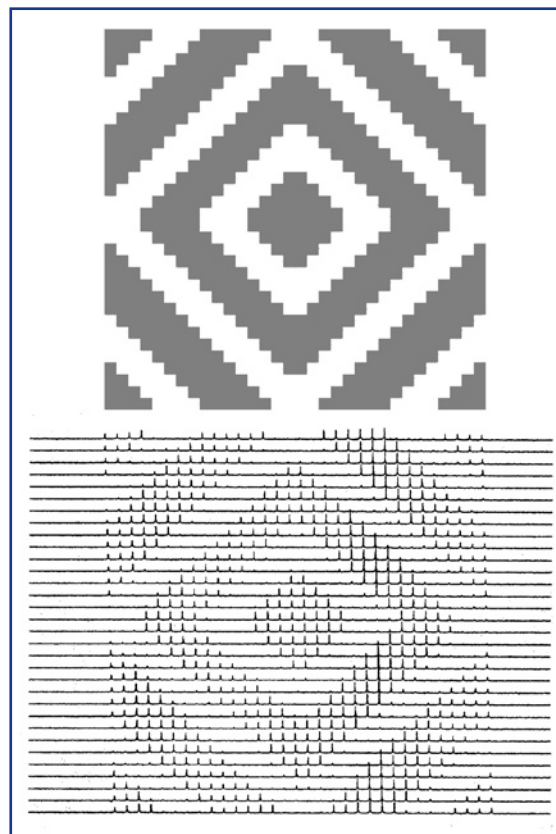
Einem Artikel der Fachzeitschrift „Journal of Chemical Physics“ nach speicherten Bing Fung und Kollegen die Daten in Form von Qubits (Quantum Bits). Die entscheidende Rolle spielen dabei Wechselwirkungen der magnetischen Momente der Wasserstoffatome in dem Flüssigkristall.

In ihren Experimenten haben die Forscher in einem Molekül ein quadratisches Schwarz/Weiß-Bild mit 32 Pixel Kantenlänge gespeichert. Dazu bestrahlten sie die Flüssigkristallprobe mit einem komplexen elektromagnetischen Impuls von rund 400 Megahertz. Mit einem zweiten Impuls, bei

dem die Frequenz leicht verschoben war, konnten die Wissenschaftler die Informationen aus dem NMR-Spektrum der Probe wieder auslesen.

Die „molekulare Fotografie“ soll laut einer Meldung von „Heise Online“ eines Tages dazu verwendet werden, um große digitale Datenmengen auf kleinstem Raum zu speichern, hofften die Forscher. Zwar sei das Bild jetzt in einer makroskopischen Probe gespeichert worden, prinzipiell sei es jedoch auch möglich, die Informationen in einzelnen Molekülen abzulegen.

Diese „molekulare Photographie“ zeigt das 32×32 bit-Bild, das man in einem Flüssigkristallmolekül speicherte (oben). Es wurde dann aus <sup>1</sup>H NMR-Spektren ausgelesen (unten; Abb.: Ermakov/Fung/Khitritin).



## 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. Fitzner, 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, Dieckholzen; Prof. Dr. Erika Krakovská, Kosice; Hans Dietrich Martin, Köln; Dr. Ognian Serafimov, Konstanz; Jürgen Wagner, Weinheim; Hans-G. Winkler, Meyenfeld; Dr. Röbbel 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.

**Anzeigenpreisliste:**  
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

**Die BASF verringert** weltweit die Stellen im Bereich Forschung und Entwicklung (F&E) im Pflanzenschutz in den nächsten drei Jahren um gut 20 Prozent auf rund 1130. In den F&E-Einheiten in Ludwigshafen und Limburgerhof werden in den nächsten drei Jahren insgesamt rund 100 Arbeitsplätze entfallen.

**Der Bayer-Konzern wird** weltweit bis 2005 etwa 15 000 Stellen abbauen. Davon sollen in Deutschland in den nächsten drei Jahren etwa 5400 Stellen entfallen.

**Die Geschäftseinheit „Nattermann“ der Aventis Pharma soll** zum nächstmöglichen Zeitpunkt aufgelöst werden. Die Nattermann-Produkte, freiverkäufliche Apothekenprodukte (OTC), werden vom Aventis-Standort Bad Soden übernommen. Von der Maßnahme sind 81 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Köln betroffen.

**Siemens Axiva plant und baut für Merck** in Darmstadt zwei thermische Abgasreinigungsanlagen für die Flüssigkristallproduktion. Beide Anlagen sollen im zweiten Halbjahr 2003 in Betrieb genommen werden.

**Die Inge AG hat** im Rahmen der chinesischen Messe „4th international Exhibition on Membrane and Water Treatment Technology & Equipment“ zwei Distributionsverträge unterzeichnet. Die zukünftigen Vertriebspartner sind: Spring Membrane Technology und Beijing Landi Technology.

**Celanese wird** 1 125 000 von 55 915 369 Stückaktien der Gesellschaft einziehen und bis zu 1 031 941 eigene Aktien zurückkaufen. Der Hauptversammlungsbeschluss schließt die Ermächtigung ein, die erworbenen Aktien einzuziehen. Dadurch wird das Grundkapital der Gesellschaft von 142 945 371,02 Euro auf 140 069 354,19 Euro herabgesetzt und der Bestand an eigenen Aktien der Gesellschaft von knapp zehn Prozent auf circa acht Prozent reduziert.



**Solvay ersetzt** im Werk Rheinberg die bestehende Diaphragma-Elektrolyse zur Herstellung von Natronlauge zum Teil durch eine moderne Membran-Elektrolyse. Das Investitionsvolumen für die neue Anlage wird 34 Millionen Euro betragen. Voraussichtlich 2004 soll die Membran-Elektrolyse ihre Arbeit aufnehmen.

**Die Degussa AG, Düsseldorf, und die Celanese AG, Kronberg, schlossen** ihre Verhandlungen zur Gründung eines Gemeinschaftsunternehmens für Propylen-basierte Oxo-Chemikalien in Europa erfolgreich ab. An dem europäischen Joint Venture werden beide Unternehmen je 50 Prozent halten. In der neuen Gesellschaft werden die kaufmännischen, technischen und operativen Aktivitäten des C3-Oxo-Geschäfts der Degussa-Tochtergesellschaft Oxeno in Marl und des Celanese-Standortes Oberhausen zusammengeführt.

## Bayer Chemicals

## Doppelkontaktanlage in Betrieb

**Der Teilkonzern Bayer Chemicals (BCH) modernisierte im Bayerwerk Leverkusen für 35 Millionen Euro den Schwefelsäure-Betrieb. Resultat des Umbaus ist eine neue Doppelkontaktanlage, die nun das Kernstück des Gesamtprojekts darstellt.**



In dieser Anlage wird hauptsächlich Oleum, eine Mischung aus Schwefelsäure und Schwefeltrioxyd, produziert. Oleum gehört zu einer Gruppe von Zwischenprodukten, die bei Bayer und anderen externen Kunden zur Herstellung verschiedener chemischer Substanzen benötigt wird. Die Kapazität liegt bei einer maximalen jährlichen Produktionsmenge von 150 000 Tonnen.

In der neuen Doppelkontaktanlage sind diverse technische Neuerungen verborgen, die vor allem hinsichtlich der Sicherheit einen Fortschritt bedeuten. Zu

den technischen Verbesserungen zählen: ein Niedertemperaturfen mit Schwefelverdüsung, eine Berstscheibe zum Schutz vor Überdruck, Notablasstanks zur Aufnahme von Oleum und Säure sowie der Einsatz von Edelstählen in der Konstruktion der Apparate.

Ein Nebeneffekt der Produktion ist der Energiegewinn, denn pro produzierter Tonne Schwefel werden 15 Prozent Dampf mehr gewonnen als in herkömmlichen Anlagen. Dieser Dampf wird an die Betriebe im Bayerwerk Leverkusen weitergegeben.

## Merck öffnet Weiterbildungsangebote

## Talente gewinnen

**In seinem Weiterbildungskonzept bietet Merck bereits den European Partnership MBA (in einem Konsortium mit der Deutschen Bank, Lufthansa und Bosch) an. Jetzt steht auch der erste Jahrgang des German Partnership MBA, der seit März 2001 in Kooperation mit der FH Pforzheim durchgeführt wird, kurz vor dem Abschluß. Den nächsten Start des Programmes möchte Merck mit einem Angebot an interessierte Unternehmen aus der Region verbinden.**

Ab 2003 können Mitarbeiter von Unternehmen der Region ebenfalls an diesem berufsbegleitenden Aufbaustudiengang partizipieren. Der Nutzen einer Kooperation im Rahmen eines MBA-Programmes liegt unter anderem im Lernen

von anderen Unternehmenskulturen, dem Bearbeiten von praxisorientierten Projekten im Team und kommt letztlich sowohl dem Teilnehmer selbst als natürlich auch dem Unternehmen zugute. Entscheidender Vorteil eines berufsbegleitenden MBA-Studiums gegenüber eines Vollzeit-MBAs ist die Möglichkeit, das erworbene General Management-Wissen direkt in die berufliche Praxis zu übertragen und dort anzuwenden.

Das Studium richtet sich an Mitarbeiter, die bereits ein Erststudium absolviert haben, meist Ingenieur- oder Naturwissenschaftler. Das Programm ist modular aufgebaut und dauert zwei Jahre. Wer nicht am kompletten Studium teilnehmen kann, hat auch die Möglichkeit, sich in Einzelmodulen zu qualifizieren.

## Eppendorf Young Investigator Award und Otto-Klung-Weberbank-Preis

### Reiche Ernte für Thomas Tuschl

Den „Eppendorf Young Investigator Award“ erhielt in diesem Jahr Dr. Thomas Tuschl vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen. Die Verleihung des Preises, der jährlich auf europäischer Ebene mit einer Summe von 15 000 Euro ausgelobt wird, erfolgte im Umfeld der „Medica“ am 21. November in Düsseldorf.

Damit wurde Tuschls Arbeit über die Abschaltung einzelner, spezifischer Gene in Humanzellen mit der Methode der RNA-Interferenz ausgezeichnet. Unter dem Vorsitz von Professor Ernst-Ludwig Winnacker, Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft, bewertet ein hochkarätig besetztes wissenschaftliches Gremium seit 1995 die für den o.g. Preis eingereichten Arbeiten. In diesem Jahr gab es mehr als 70 Bewerber. Eppendorf fördert mit diesem biomedizinischen Preis junge europäische Wissenschaftler, die nicht älter als 35 Jahre alt sind.

Die mit dem Forschungspreis ausgezeichnete Arbeit behandelt Methoden der RNA-Interferenz, die die Eiweißproduktion der Zellen beeinflusst. Einsatzmöglichkeiten erkennt man in Zellbiologie und Medizin, um durch die Abschaltung von einzelnen Genen ihre spezifische Funktion zu charakterisieren und Krankhei-

ten zu behandeln. Im Gegensatz zur etablierten Antisense-Technik ist das RNA-Interferenz-Verfahren zielgerichteter. Laut Tuschl ist es damit prinzipiell möglich, die Funktion aller 30 000 humanen Gene zu ermitteln. Das Prinzip der RNA-Interferenz (RNAi) beruht auf der Zerstörung der Boten-RNA (mRNA), welche unter anderem von der Zelle als Bauplan für die Herstellung von Proteinen verwendet wird. Durch den Einsatz von doppelsträngigen RNA-Molekülen (siRNAs) wird die Interferenz-Maschinerie in der Zelle gestartet: Dabei definiert die Sequenz der siRNAs die zu zerstörende Region der mRNA. Die so zerstörte mRNA kann im folgenden nicht mehr als Bauplan für die Übersetzung in das entsprechende Protein dienen und dieses von der Zelle folglich nicht mehr hergestellt werden. Dadurch soll in Zukunft die Produktion defekter Gene unterbunden werden, die Ursachen für Krankheiten sein können.

Der Eppendorf Young Investigator Award ist schon der zweite hochdotierte Preis, den Tuschl in jüngster Vergangenheit erhielt: Den Otto-Klung-Weberbank-Preis mit einem Preisgeld von 25 000 Euro konnte er nur einen Tag zuvor in Berlin in Empfang nehmen. Der Otto-Klung-Weberbank-Preis wird im jährlichen Wechsel zwischen den Disziplinen Chemie und Physik an



Der „Chefjuror“ des Eppendorf-Preises Ernst-Ludwig Winnacker (li.) mit dem Preisträger Thomas Tuschl (Foto: Kickuth).

herausragende jüngere deutsche Wissenschaftler vergeben, seit dem vergangenen Jahr in Kooperation zwischen der Otto-Klung-Stiftung an der Freien Universität Berlin und der Fördergesellschaft der Weberbank gGmbH.

Tuschl wurde 1966 in Altdorf geboren und studierte Chemie in Regensburg. Er promovierte 1995 in Göttingen. Nach der Promotion verbrachte er drei Jahre am MIT, Cambridge, USA, im Labor von Professor Philip Sharp, dem Entdecker des RNA-Spleißens, der dafür den Nobelpreis erhielt.

## Methylglukamin-Kartell

### EU verhängt Bußgeld gegen Aventis

Die EU-Kommission hat den Aventis-Konzern (Straßburg) wegen verbotener Absprachen mit einem Bußgeld 2,85 Millionen Euro bestraft.

Die beiden zum Aventis-Konzern gehörigen Aventis Pharma SA und Rhone-Poulenc Biochemie SA sowie der deutsche Hersteller Merck KGaA (Darmstadt) setzten

zwischen 1990 und 1999 bei dem Zwischenerzeugnis Methylglukamin Preise fest, entschied die EU-Kommission. Die Geldbuße gegen die Merck KGaA wurde erlassen, da das Unternehmen entscheidende Informationen vorgelegt hatte – zu einem Zeitpunkt, zu dem die Kommission noch keine Kenntnis von dem Kartell hatte.

Bei der Festsetzung der Geldbuße hat die Kommission auch den Umstand berücksichtigt, dass es sich beim Methylglukaminmarkt um den kleinsten Produktmarkt handelt, der je Gegenstand einer Kartellentscheidung war. Methylglukamin wird u.a. als chemisches Zwischenerzeugnis für Röntgenmedien verwendet.

**AiF Prof. Dr. Hubertus Christ**, Präsident des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), ist neuer Vorsitzender des Kuratoriums der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF). Er tritt die Nachfolge von Prof. Dr. Otto H. Schiele an, der das Kuratorium der AiF seit seiner Gründung im Jahr 1995 leitete.



Stadler

**BAYER** Der 53jährige Chemiker **Dr. Wolfgang Bieber** übernimmt zum 1. Januar 2003 die Leitung des Bayerwerks Krefeld-Uerdingen. Er tritt die Nachfolge von **Dr. Hartmut Fuhr** an, der nach 28-jähriger Tätigkeit für Bayer in den Ruhestand geht.



Wienecke



Bieber

**CHRIST** **Thomas Frank** übernahm im Oktober die Geschäftsführung der Christ GmbH, Stuttgart. Er verstärkt die Aktivitäten, um den Reinstwasserspezialisten als Kompetenzzentrum innerhalb der Christ Water Technology Gruppe zu etablieren.



Frank

**DYNAMIT NOBEL** Jörg Deisel (48) wird sein Mandat als Vorstandsvorsitzender der Dynamit Nobel AG, Troisdorf niederlegen. Neuer Vorstandsvorsitzender bei Dynamit Nobel wird Jürg Oleas (45). Der gebürtige Schweizer übernimmt diese Funktion zusätzlich zu seinem Amt als Mitglied des Vorstandes der MG technologies AG, in dem er für die MG chemical group verantwortlich ist. Klaus Edelmann (59), Finanzvorstand von Dynamit Nobel, wird gleichzeitig zum stellvertretenden Vorstandsvorsitzenden der Gesellschaft ernannt. Die Dynamit Nobel AG ist eine Tochtergesellschaft der mg technologies ag in Frankfurt.

**UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIEEN DER WISSENSCHAFTEN** Das Präsidium der Union hat Prof. Dr. Dr. Gerhard Gottschalk, Professor für Mikrobiologie und Genetik an der Universität Göttingen, zum Präsidenten und Prof. Dr. Dr. Helmut Sies, FRCP, Professor für Physiologische Chemie an der Uni-



Sies

versität Düsseldorf und Präsident der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften, zum Vizepräsidenten gewählt.

**VUP** **Karsten Wienecke**, Sofia GmbH (Berlin) vertritt den Verband Unabhängiger Prüflaboratorien (VUP) zukünftig in allen Gremien der Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH (DAP), Berlin.

## EHRUNGEN

Für ihr Projekt «Sanfte Chemie mit biologischen Katalysatoren» erhielten **Prof. Dr. Maria-Regina Kula** und **Dr. Martina Pohl** vom Institut für Enzymtechnologie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf den mit 250 000 Euro dotierten **Deutschen Zukunftspreis**. Lesen Sie mehr dazu auf Seite 467.



Für besondere Leistungen beim Forschungstransfer und bei der wissenschaftlichen Kooperation mit der Wirtschaft sind der Mediziner **Dr. Dietmar Enk** und der Chemiker **Dr. Heinrich Luftmann** von der Westfälischen Wilhelms-Universität ausgezeichnet worden. Die beiden Wissenschaftler erhielten den mit insgesamt 20 000 Euro dotierten und zum ersten Mal ausgeschriebenen **Transferpreis der Universität Münster**. Das Bild zeigt die Preisverleihung im Landtag von Nordrhein-Westfalen mit Landtagspräsident Ulrich Schmidt, Preisträger Dr. Heinrich Luftmann, Preisträger Dr. Dietmar Enk und Rektor Prof. Dr. Jürgen Schmidt (von rechts nach links).

**Prof. Roger Y. Tsien** vom Howard Hughes Medical Institute (HHMI) und der Universität von Kalifornien in San Diego (USA) gelang es, neuartige optische Techniken zu entwickeln, „die es erlauben, die grundlegenden Mechanismen des Lebens in intakten Zellen sichtbar zu machen“. Dafür ist er mit der **Max-Delbrück-Medaille** geehrt worden. „Durch eine Kombination von synthetischer organischer Chemie, von physikalischer Chemie und von Molekularbiologie hat er wesentlich zum Verständnis der Funktionen von Calcium Ionen und von Protein/Protein-Interaktionen in zellulären Signalverläufen beigetragen.“, heißt es in der Laudatio.



Die Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V. (DGO) hat **Gabriele Goet** mit dem **DGO-Nachwuchsförderpreis 2002** geehrt. Der Preis wird jährlich für wertvolle Beiträge auf dem Gebiet der Galvano- und Oberflächentechnik vergeben. Goet ist am Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM) als Ingenieurin in der Abteilung Fluidik und Simulation beschäftigt und hat dort im Rahmen ihrer Diplomarbeit Verfahren zur Herstellung metallischer Mikrostrukturen weiterentwickelt. Mit der Kombination von UV-Lithographie und elektrolytischer Legierungsabscheidung gelang es ihr, Strukturen aus Bronze in Schichtdicken von 500 Mikrometern herzustellen, die verbesserte Strukturtreue und Kantensteilheit von annähernd 90 Grad aufweisen. Mit Hilfe der neuen Verfahren können metallische Mikrostrukturen alternativ zu Ni/Fe-Legierungen auch aus Bronze hergestellt werden.





## Achema-Fernsehpreis

Die Dechema Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. vergibt anlässlich der 27. Achema im Mai 2003 bereits zum dritten Mal den Achema-Fernsehpreis. Vorschläge können noch bis spätestens **15. Januar 2003** eingereicht werden. Dieser mit 10000 Euro dotierte Preis wird an den Autor/die Autorin eines Fernsehfilmbeitrages aus dem deutschsprachigen Raum verliehen, der/die Themen aus den Bereichen Chemische Technik, Biotechnologie und Umweltschutz einer breiten Öffentlichkeit in hervorragender Weise objektiv und allgemeinverständlich vermittelt hat ([www.dechema.de/fernsehpreis](http://www.dechema.de/fernsehpreis)).

## Telekommunikations- experten gesucht

Den mit 10000 Euro dotierten Philipp-Reis-Preis vergibt der VDE an Elektroingenieure oder Naturwissenschaftler bis 40 Jahre, die mit ihrer Arbeit eine nachrichtentechnische Neuerung mit volkswirtschaftlicher Bedeutung geschaffen haben. Bewerbungen beziehungsweise Vorschläge bis zum **6. April 2003** an die ITG-Geschäftsführung.

## Bio Trends Award

Anlässlich des Biotechnologie-Kongresses "BioTrends", den die IIR Deutschland GmbH vom 11. bis 14. Februar 2003 in Berlin veranstaltet, wird der „Bio Trends Award“ für die beste Innovation im Bereich der Nanobiotechnologie vergeben. Präsentiert wird der mit 5000 Euro dotierte Preis vom Venture Capital Magazin, das soeben die erste Sonderausgabe "Nanotechnologie" publiziert hat, sowie von 3i, dem europäischen Marktführer im Bereich Venture Capital, welcher auch das Preisgeld stiftet. Bewerbungsschluss ist der **13. Januar 2003**.

## Förderprogramm für Existenzgründer

Bayer Industry Services (BIS) hat die „Bayer-Chemie-Start-Up-Initiative“ ins Leben gerufen – ein im Wettbewerb der deutschen Chemiepark-Standorte einzigartiges Förderprogramm, um junge zukunftsorientierte Firmen zu Neuansiedlungen zu bewegen.

Schon während der Ideenphase helfen Bayer-Experten auch bei der Prüfung der Finanzierungsmodelle, knüpfen Kontakte zu Wirtschaftsförderern, Geldinstituten und Investoren und recherchieren die passenden Förderprogramme. Darüber hinaus lösen sie Probleme bei komplizierten Genehmigungsverfahren und entwickeln – auf Wunsch – mit dem jeweiligen Partner Produktionskonzepte für die effiziente Einbindung in den Chemiepark Bayer. Wenn das neue Unternehmen an den Start geht, unterstützt BIS es vom ersten Tag seiner Entwicklung durch voll ausgestattete Labors inklusive aller benötigten Services – dazu gehören Energieversorgung,



Umweltschutzeinrichtungen, Logistik, Sicherheit, Werkstätten, Ausbildung, Kommunikation und vieles mehr.

Trotz aller Hilfestellungen durch Bayer sind die Jung-Unternehmer eigenständig – sie allein bestimmen, wer ihnen über die Schulter schaut und mit wem sie kooperieren wollen. Bayer setzt dabei auf langfristige, erfolgreiche Geschäftsbeziehungen und respektiert selbstverständlich die Betriebsgeheimnisse seiner Partner – absolute Vertraulichkeit wird vertraglich zugesichert.

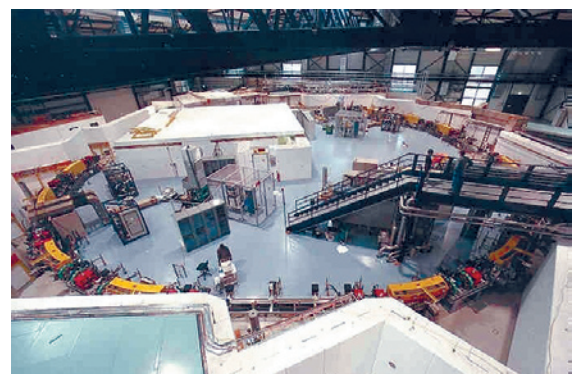
Dr. Jürgen Hinz (links), Geschäftsführer der Bayer Industry Services, und Peer Steinbrück, Ministerpräsident des Landes Nordrhein-Westfalen, beim Start zur „Bayer-Chemie-Start-Up-Initiative“ (Foto: Bayer AG)

## Superlicht für Wissenschaft und Industrie

Die Synchrotronstrahlungsquelle ANKA (Ångströmquelle Karlsruhe) wurde im Forschungszentrum Karlsruhe im Jahr 2001 in Betrieb genommen. Seither sind die Betriebsbedingungen optimiert und die Strahlrohre für analytische Messungen sowie für die Fertigung von Mikrobauteilen aufgebaut worden. Ab Anfang 2003 steht die Anlage uneingeschränkt für die wissenschaftliche und wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung. Während die Strahlzeit für Industriekunden von der eigens dafür gegründeten Anka GmbH vermarktet wird, koordiniert das Forschungszentrum die Nutzung durch Wissenschaftler von nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen. Strahlzeit für wissenschaftliche Vorhaben kann nun erstmals **bis zum 31. Dezember 2002** beantragt werden, danach jeweils zum

30. Juni und zum Jahresende. Eine internationale Expertenkommission begutachtet die Anträge und entscheidet über die Zuteilung der halbjährlich 3000 Stunden Strahlzeit.

Der Speicherring der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA hat einen Umfang von 110 Metern. Durch gelbe Ablenkmgneten wird die Synchrotronstrahlung erzeugt, die in Messhütten außerhalb der sternförmigen Beton-Ummantelung zur Verfügung steht (Foto: FZK).



## Einheit von Forschung und Lehre

Georg Schwedt, TU Clausthal

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich die Chemie an den Universitäten zu einem selbstständigen Fach in Forschung und Lehre. Entscheidenden Anteil daran hatte Justus Liebig in Gießen, dessen 200. Geburtstag im Jahre 2003 gedacht wird. Er entwickelte neue Ausbildungskonzepte und seine Schüler wurden nicht nur als Professoren an Universitäten sondern oft erstmalig in den unterschiedlichsten noch heute für Chemiker interessanten Berufsfeldern tätig.

Erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts konnte sich die Chemie aus ihrer allzu engen Bindung an die Medizin lösen. Und gegen Ende dieses Jahrhunderts wurden die ersten Professuren für Chemie aus der medizinischen Fakultät ausgegliedert und in die philosophische Fakultät übernommen – so 1789 unter dem Einfluss des Weimarer Ministers GOETHE für Johann Friedrich August GÖTTLING (1755-1809) in Jena, 1796 für Georg Friedrich HILDEBRANDT (1764-1816) in Erlangen, wo Liebig später studieren sollte, und 1807 dort für Karl Gottfried HAGEN (1749-1829), sowie 1810 für Friedrich STROMEYER (1776-1835) in Göttingen. Die Professoren beziehungsweise Dozenten für Chemie hatten überwiegend ein Studium der Medizin oder eine Ausbildung zum Apotheker absolviert.

### Die Chemie an den Universitäten vor Liebig

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts war die praktische Ausbildung in Chemie für Studierende an Universitäten in Deutschland kaum vorhanden. Ein vom Landgrafen MORITZ von Hessen 1609 in Marburg eingerichtetes Laboratorium für Johannes HARTMANN (1566-1631), o. Prof. für Chemiatrie, war längst zerfallen. Das gut eingerichtete chemische Laboratorium des Mediziners Johann Moritz HOF(F)MANN (1653-1727) wurde 1682 in Altdorf erbaut – für die Universität der freien Reichsstadt Nürnberg. Die Universität Altdorf bestand bis 1809 und wurde dann mit Erlangen vereinigt. In Würzburg wurden die Medizinstudenten seit der Studienordnung von 1734 im Apothekenlaboratorium des Juliusspitals mit chemischen Experimenten vertraut gemacht. Neben den staatlichen Apothekenlaboratorien spielten bis in das 19. Jahrhundert auch die Privatlaboratorien der Professoren eine wichtige Rolle. Es entwickelte sich eine Mischform zwischen gewerblichem Produktions- und



#### Der Autor

Der Buchautor und Mitherausgeber der CLB, Prof. Dr. Georg Schwedt (oben), ist seit 1987 Professor für Anorganische und Analytische Chemie an der Technischen Universität Clausthal.



Abbildung 1: Justus Liebig (1803-1873) im Alter von 38 Jahren – Porträt nach einem Gemälde von Carl Engel.

Unterrichtslaboratorium. So verknüpfte der Inhaber des ersten Würzburger Lehrstuhls für Chemie ab 1782 Georg PICKEL (1751-1838) seine Vorlesungen über *Philosophische und Pharmazeutische Chemie, theoretisch und praktisch* mit einem technisch-chemischen Kolleg im Labor seiner chemischen Fabrik, die sich vor den Toren Würzburgs befand. Der Apotheker Johann Bartholomäus TROMMSDROFF (1770-1837) betrieb in Erfurt ein privates chemisches Ausbildungsinstitut, ebenfalls in Verbindung mit einer chemischen Fabrik. Das Institut wurde u.a. auch von Heinrich Emanuel MERCK (1794-1855) besucht.

Die chemischen Unterrichtslaboratorien dienten damals jedoch fast ausschließlich der Demonstration chemischer Experimente, nur in wenigen Fällen durften auch Studenten, neben den Professoren und ausgewählten Assistenten, eigene praktische Arbeiten durchführen. Diese Situation galt nicht nur für Deutschland, sondern weitgehend für England, die Niederlande, Frankreich und Schweden, wo bereits bedeutende Chemiker tätig waren. So hielt der Straßburger Apotheker und Mediziner Jacob Reinhold SPIELMANN (1722-1781), seit 1759 Inhaber des Lehrstuhls für Medizin, Chemie, Botanik und Arzneimittellehre an der Universität, seine chemischen Experimentalvorlesungen in der eigenen Hirsch-Apotheke ab, die 1770 auch GOETHE besuchte. Der chemische Experimentalunterricht am Berliner Collegium Medico-Chirurgicum fand in der Mitte des 18. Jahrhunderts in der dortigen Hofapotheke statt. An der Georg-August-Universität in Göttingen (gegründet 1735) wurde 1783

ein „chemisches Laboratorium“ von Johann Friedrich Gmelin (1748-1804) eingerichtet. Sein Nachfolger Friedrich Stromeier (1776-1835) führte 1804/06 das Studentenpraktikum ein.

## Liebigs Werdegang

Die Wurzeln für Liebigs Interesse an seiner stofflichen Umwelt und deren Veränderungen – als eine neue zeitliche Definition der Chemie – sind sicher auf das Umfeld in seiner Kindheit zurückzuführen. Er wurde am 12. Mai 1803 als Sohn eines Materialwarenhändlers, eines Materialisten, den wir später als Drogisten bezeichnen würden, in Darmstadt geboren. Dieser Berufszweig beschäftigte sich mit der Herstellung und dem Vertrieb von Seifen, Ölen, Firnissen und Farben. Liebig besuchte auch Werkstätten anderer chemisch orientierter Handwerker wie Gerber, Färber und Seifensieder und sah bei der Vorführung chemischer Versuche, zum Beispiel bei der Herstellung von Knallerbsen auf Jahrmärkten, zu, worüber er selbst in seinen biografischen Aufzeichnungen berichtete.

Als Schüler war Liebig wenig erfolgreich: Mit 14 Jahren nahm ihn sein Vater vom Gymnasium in Darmstadt. Eine Lehre beim Apotheker Pirsch in Heppenheim brach er nach zehn Monaten ab. Er wollte nach eigenen Aussagen Chemiker und nicht Apotheker werden. Im Oktober 1820 begann er daher ein Studium in Bonn, wo Karl Wilhelm Gottlob Kastner (1783-1857) lehrte. Dieser war zuvor Professor in Heidelberg (1809) und in Halle (1812) gewesen, bevor er 1818 nach Bonn kam und von dort 1821 nach Erlangen wechselte, wohin ihm Liebig folgte. Im Mai 1822 erhielt Liebig auf Fürsprache Kastners ein Reisestipendium des hessischen Großherzogs Ludwig I. (1753-1830) für Paris. Hier lernte er die führenden Naturwissenschaftler seiner Zeit kennen und vor allem das exakte Experimentieren bei Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) und Louis Nicolas Vauquelin (1763-1829). In Paris erwarb sich Liebig das Rüstzeug sowohl im analytisch-chemischen (bei Gay-Lussac) als auch präparativen Arbeiten (Vauquelin). Hier lernte er Alexander von Humboldt kennen, der dem Großherzog in Darmstadt ein außerordentlich günstiges Empfehlungsschreiben schickte, so dass Liebig – nach seiner Promotion an der Universität Erlangen in absentia – bereits mit 21 Jahren ohne eine Stellungnahme der Fakultät die Bestallung zum ao. Professor an der Landesuniversität Gießen erhielt.

## Das chemische Laboratorium in Gießen

Die Geschichte des chemischen Laboratorium in Gießen beginnt auch hier mit der Loslösung der Chemie von der Medizin und speziell mit der Gründung einer fünften Fakultät, der ökonomischen, im Jahre 1777. Der bisherige Professor der Medizin, Landphysikus und Bergrat Dr. Baumer, wurde der neuen Fakultät zugeteilt und er erhielt einen besonderen Lehrauftrag

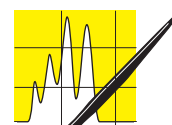
für Chemie und Mineralogie. Studierende der Kamealistik, die für das Verwalteramt von Staatsgütern ausgebildet wurden, sollten Vorlesungen dieser Fächer hören und auch in praktisches Arbeiten eingewiesen werden. Jedoch erst sechs Jahre später erfolgte in Gießen die Einrichtung eines Gartenhäuschens als Laboratorium, das bis 1824 auch als Auditorium genutzt wurde.

Als Liebig nach Gießen kam, las Wilhelm Ludwig Zimmermann (1780-1825) über „Experimentalchemie nach Döbereiners Lehrbuche (zweite Auflage) fünf mal von 11-12“. In den Ankündigungen zur „Naturlehre und Naturgeschichte“ heißt es weiter: „Analytische und andere chemische Uebungsarbeiten wird Derselbe von 3-5 Dienstags und Freitags vornehmen.“

Liebig begann seine Vorlesungen mit 12 Zuhörern in einem kleinen Wachthäuschen auf dem Seltersberg. Für Materialien, Reagentien und Instrumente waren ihm 100 Gulden jährlich bewilligt. Zwar war ihm der Mitgebrauch bereits vorhandener Instrumente der veralteten chemischen Sammlung ausdrücklich gestattet, aber der o. Prof. Zimmermann behielt alle Geräte in seinem Hause und gab keine ab. Am 7. Dezember 1825, wenige Monate nach dem Tod von Zimmermann, der im Alter von 42 Jahren in der Lahn erkrankte, wurde Liebig zum o. Prof. der Chemie ernannt – nun nicht mehr auf höchsten Befehl des Großherzogs, sondern nach einer Stellungnahme seiner Universitätskollegen, die inzwischen seine Fähigkeiten erkannt hatten.

## Die neue Gießener Schule der Chemie

Trotz aller Schwierigkeiten entwickelte sich in den folgenden Jahren eine neue Schule der Chemie in Gießen. Liebigs Laboratorium (Abbildung 2) wurde das erste Institut, in dem die Studenten eine systematische Ausbildung als Vorbereitung für eine eigenständige chemische Forschung erhielten. Liebig erhielt ein Wachthaus des 1817-1819 auf dem Seltersberg erbauten Kasernengebäudes, das nach



AUFsätze

Abbildung 2: Liebigs Gießener Laboratorium, ein ehemaliges Wachthaus, im Jahre 1841.



Abbildung 3: Das Ausbildungs- und Forschungslaboratorium von Liebig um 1840 mit seinen Schülern – dahinter der Hörsaal (erhalten geblieben im Liebig-Museum Gießen).



dem Abzug der Soldaten des 3. Großherzoglichen Infanterie-Regiments nach Streitigkeiten zwischen den Garnisonssoldaten und den Studenten, die im März 1821 in eine Schlägerei ausarteten, leer stand. Im Obergeschoss hatte Liebig später mit seiner Familie auch seine Privatwohnung, von der er ein Zimmer stundenweise als Hörsaal benutzte. Erst 1833 wurde nach Südwesten ein Anbau errichtet, als Liebig wegen Überarbeitung und deren gesundheitlichen Folgen eine Übersiedlung nach Darmstadt zur Errichtung einer privaten Chemieschule plante (Abbildung 2).

Zunächst waren Liebig's Studenten, von denen er entgegen der Tradition kein Abschlusszeugnis eines Gymnasiums forderte, überwiegend angehende

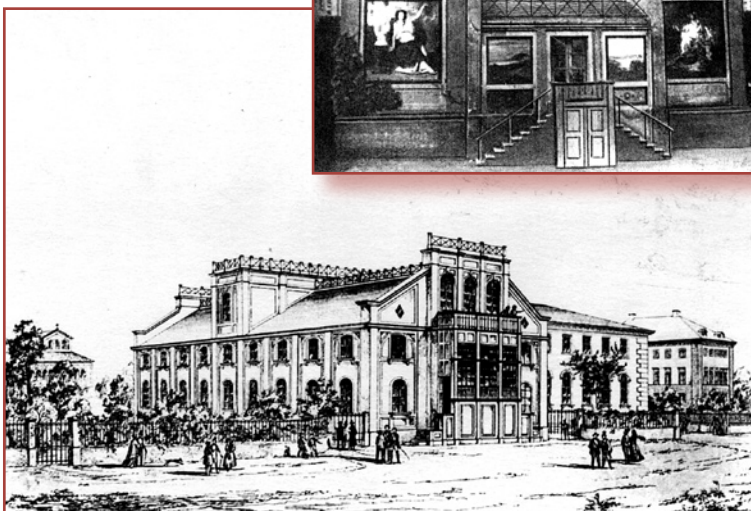
Pharmazeuten – denn er war zugleich Prüfer für künftige hessische Apotheker. Bis 1835 kamen seine Studenten vor allem aus deutschen und europäischen Ländern, danach studierten immer mehr Ausländer auch aus Übersee bei ihm.

Der neue Weg in der Ausbildung blieb bis in unsere Zeit, zumindest für das Grundstudium der Chemie, erhalten – auch eine Folge seiner zahlreichen bedeutenden Schüler, die er oft zielstrebig auf wichtige Professuren empfehlen konnte. Dieser neue Weg bestand in einer systematischen theoretischen und vor allem praktischen Ausbildung in der qualitativen und quantitativen Analyse, woran sich präparative Arbeiten anschlossen, welche zunächst das Ziel verfolgten, reine Substanzen in guter Ausbeute aus Rohstoffen zu gewinnen. Von dieser Grundausbildung leitete er dann zu Forschungsarbeiten über, die er selbst anregte und beaufsichtigte. In seinen ersten Jahren in Gießen entwickelte Liebig die Grundlagen für die Analyse organischer Stoffe – bisher hatte überall die anorganische Analyse im Vordergrund gestanden. Er schuf die *organische Elementaranalyse*. Sie bildete die Voraussetzung für die Untersuchung natürlich vorkommender organischer Stoffe und für beginnende Synthesen und auch für seine Arbeiten zur Systematisierung und Theoretisierung in der Chemie.

Obwohl von 1830 bis 1836 die Gesamtzahl der Studenten in Gießen von 500 auf 300 sank, erhöhte sich die Zahl der bei Liebig eingeschriebenen Studenten in Pharmazie und Chemie von 10 auf 20, die bis 1843 auf 65 anstieg. Ab dem Sommersemester 1838 übertraf auch die Zahl der Chemiestudenten diejenige der angehenden Pharmazeuten.

In seinen *Chemischen Briefen*, die als populärwissenschaftliche Darstellungen für ein breiteres (gebildetes) Publikum zunächst in der Augsburger Allgemeinen Zeitung erschienen, schrieb Liebig über die Aufgaben der Chemie und des Chemikers:

Abbildung 4: Das Liebig-Laboratorium in München hatte eine beeindruckende Größe. Gesamtansicht nach einer Lithographie von 1859. Die Nordfront zierten Wandmalereien (kleines Bild).



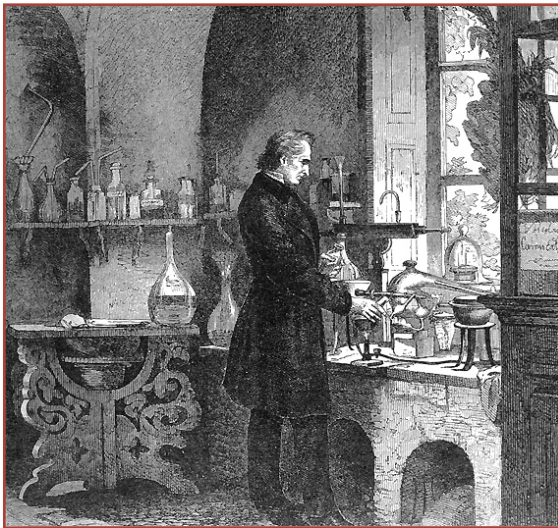


Abbildung 5: Liebig in seinem Laboratorium in München.

„Die letzte und höchste Aufgabe der Chemie ist die Erforschung der Ursachen der Naturerscheinungen, ihres Wechsels, so wie die Faktoren, welche verschiedenartige Erscheinungen mit einander gemeinsam haben; der Chemiker ermittelt die Gesetze, nach denen die Naturerscheinungen vor sich gehen, und er gelangt zuletzt, indem er alles durch die Sinne Wahrnehmbare und Erkannte zusammenfasst, zu einem geistigen Ausdruck der Erscheinungen, zu einer Theorie.“

Liebig entwickelte in Gießen einen systematischen experimentellen Unterricht in der Chemie an Universitäten (Abbildung 3), der aufgrund des Wirkens seiner zahlreichen Schüler, über die ein „Stammbaum der wissenschaftlichen Familie Justus v. Liebig“ im heutigen Liebig-Museum eindrucksvoll Auskunft gibt, in den Grundzügen bis heute seine Bedeutung behalten hat. Er schuf erstmals die *Einheit von Forschung und Lehre* – nicht nur für wenige Begünstigte wie in der Phase der „Handwerklichen Chemie“ im Meister-Schüler-Verhältnis – und darüber hinaus überhaupt den Beruf des wissenschaftlich ausgebildeten Chemikers. Seine breite Publikationstätigkeit verschaffte der Chemie zugleich – zum Beispiel durch seine bereits erwähnten *Chemischen Briefe* – gebildeten Schichten der Bevölkerung und damit einem wesentlichen, d.h. einflussreichen Teil der Öffentlichkeit, bekannt und verständlich. Aufbauend auf den von ihm geschaffenen Grundlagen der Chemie, die er als unabdingbare Voraussetzung für alle Anwendungsbereiche ansah, schuf und bearbeitete er das weite Feld der angewandten Chemie – so zum Beispiel in Bereichen der Physiologie, der Lebensmittel (genannt sei zum Beispiel *Liebig's Fleischextrakt*) und vor allem auch der Landwirtschaft mit seiner Düngerlehre. Dank seiner dynamischen Persönlichkeit, kämpferisch, sich selbst bis zur Erschöpfung fordernd, seiner Kontakte und Freundschaften zu bedeutenden Chemikern seiner Zeit, einer klugen Auswahl und Förderung zahlreicher begabter Schüler konnte Liebig für seine

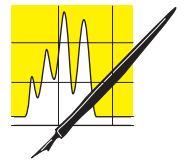
Wissenschaft, die Chemie, in den Universitäten und in der Gesellschaft mehr erreichen als viele andere Zeitgenossen, die ebenfalls einen wichtigen Platz in der Forschung beziehungsweise Chemiegeschichte einnehmen.

Seine Schüler wurden nicht nur auf Professuren berufen. Sie erschlossen darüber hinaus Berufsfelder in der öffentlichen Verwaltung (in naturwissenschaftlichen Museen, als Stadtchemiker in England), wurden Lehrer in Realschulen, Gewerbeschulen und auch Gymnasien, waren in Kliniken (als klinische Chemiker neben den Ärzten) tätig, im Publikationswesen (als Schriftsteller, Redakteure und Verleger), als freiberufliche Chemiker, als Privatgelehrte, in der Landwirtschaft (als Agrikulturchemiker) und in der sich rasch entwickelnden chemischen Industrie.

1852 nahm Liebig einen Ruf nach München an (Abbildung 4). Er widmete sich ohne Verpflichtung zu dem kräftezehrenden experimentellen Unterricht weiterhin praktischen Problemen in seinem eigens für ihn errichteten Laboratorium in der Arcisstraße 1 (Abbildung 5) und publizierte in dieser Zeit die Grundsätze seiner Agrikulturchemie sowie 1856 das Buch *Theorie und Praxis der Landwirtschaft*. Seine öffentlichen populären Abendvorlesungen mit Experimenten wurden auch von der königlichen Familie besucht (Abbildung 6). Am 18. April 1873 starb Liebig im Alter von fast siebzig Jahren. Seine Grabstätte mit Bronzestatue befindet sich auf dem heutigen Alten Südfriedhof. Schüler und Freunde errichteten ihm am Maximiliansplatz 1883 ein Denkmal, auf dessen Sockel Darstellungen zur Chemie, Agrikultur und Physiologie zu sehen sind.

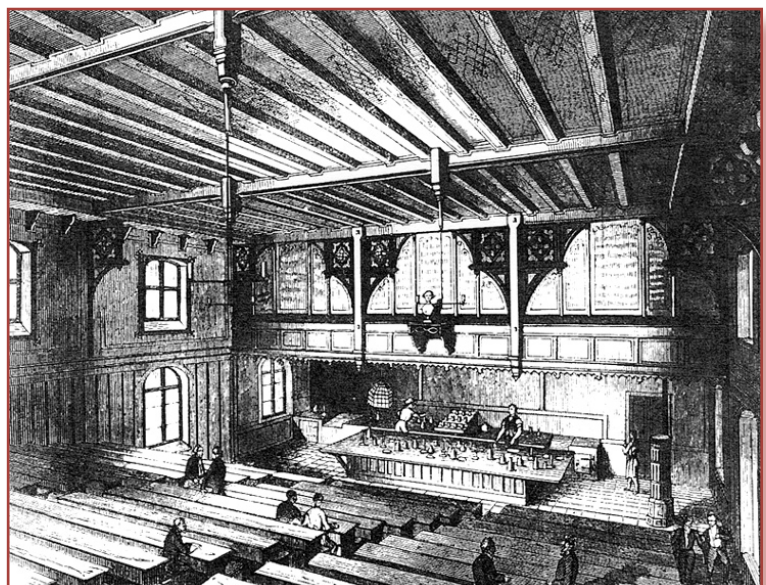
#### Literatur

- Brock, William H.: Justus von Liebig. Eine Biographie des großen Wissenschaftlers und Europäers, Vieweg Braunschweig/Wiesbaden 1999
- Schwedt, Georg: Liebig und seine Schüler, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2002



AUFSÄTZE

Abbildung 6: Liebig's Hörsaal in München, in dem auch öffentliche Abendvorlesungen stattfanden.



## Schadstoffe ernten statt Boden abtragen

**Uta Neubauer, Frankfurt am Main**

Sind Böden großflächig mit Schadstoffen wie Schwermetallen belastet, kommen klassische Sanierungsverfahren wie Bodenwäsche oder Bodenaustausch schon wegen der hohen Kosten nicht in Frage. Hier bieten sich biologische Verfahren an. Eines davon ist die Phytosanierung, bei der Pflanzen die Schadstoffe aufnehmen und so die Böden an Ort und Stelle reinigen sollen – eine Methode, die zwar den Boden schont, aber viel Zeit kostet. Eine kürzere Sanierungsdauer versprechen sowohl Bodenbehandlungsmittel, die die Pflanzenverfügbarkeit der Schadstoffe erhöhen sollen, als auch gentechnisch veränderte Pflanzen.

Im Kesterson-Naturschutzgebiet in Kalifornien sollten Wasservögel Zuflucht finden. Im Jahr 1983 allerdings entdeckten Biologen Klauendehformationen und andere genetisch bedingte Schäden an den dort geborenen Vögeln. Zwei Jahre später sperrte die US-Regierung das 17 000 Hektar große Gebiet und schloss außerdem einen 132 Kilometer langen Bewässerungskanal. Seine Fracht hatte das Gebiet mit Selen verseucht. Zwar waren die ursprünglichen Konzentrationen an Selen, das natürlicherweise in den Böden Zentralkaliforniens vorkommt, im Drainage-Wasser nicht zu hoch, das Element hatte sich aber durch die rasche Verdunstung angereichert. Um die Gefahr einzugrenzen und einen Kesterson-Effekt andernorts – zehn weitere Flächen im Westen der USA wiesen ebenfalls zu hohe Selenwerte auf – zu verhindern, suchten die amerikanischen Behörden nach geeigneten Sanierungsverfahren. Wegen der großflächigen Belastung schiedenen herkömmliche Methoden als zu teuer aus. Eine Alternative schlugen das Water Management Research Laboratory (WMRL) im kalifornischen Fresno und das Plant Biology Department der University of California vor: die Phytosanierung, ein umweltfreundliches und kostengünstiges Verfahren, bei der Pflanzen den Boden vor Ort reinigen.

### Selen macht sich vom Acker

Die Wissenschaftler suchten nach Pflanzen, die Selen in hohen Mengen aufnehmen. Fündig wurden sie unter anderem bei den Kreuzblütengewächsen, den

*Brassicaceae*, zu denen Senf und Raps gehören. Von ihnen wussten sie bereits, dass sie Schwefel, chemisch eng verwandt mit Selen, akkumulieren.

Erst im Gewächshaus, dann im Feldversuch bauten die Wissenschaftler um Gary Bañuelos vom WMRL neben Canola-Raps (Abbildung 1) und Indischem Senf auch Kenaf, eine der Baumwolle verwandte Faserpflanze, sowie eine Klee- und eine Grasart an. Die Selengehalte im Boden nahmen deutlich ab: Canola-Raps, angebaut auf einem Gebiet im Kesterson-Reservoir, hatte dem Boden bereits nach einer Vegetationsperiode zehn Prozent des gesamten Selen entzogen, gemessen in einer Tiefe bis 30 Zentimeter. In einem anderen Feldversuch testeten die Wissenschaftler Indischen Senf, Hohes Schwingelgras, Vogelfußklee und Kenaf in Fruchtfolge. Dahinter steckte die Idee, dass die Pflanzen verschieden tief wurzeln und so jeweils andere Bereiche im Boden reinigen. Nach vier Jahren hatten sich die Selengehalte im Boden um 40 Prozent, gemessen in einer Tiefe bis 60 Zentimeter, verringert.

In den Pflanzen selbst fanden die Wissenschaftler allerdings nur einen Teil des Selen wieder. Die Pflanzen wandeln das aufgenommene Selen nämlich in leicht flüchtige Gase – wie Dimethylselenid und Dimethyldiselenid – um, die in die Atmosphäre gelangen. Diese Gase, die stark nach Knoblauch riechen, entweichen hauptsächlich über die Pflanzenwurzeln, nicht über die Blätter. Wahrscheinlich unterstützen

Abbildung 1: Canola-Raps ist eine der Pflanzen, die der kalifornische Wissenschaftler Gary Bañuelos testet, um Selenverseuchte Böden zu reinigen (Foto: Gary Bañuelos).



#### Die Autorin:

Dr. Uta Neubauer ist freie Wissenschaftsjournalistin. Sie studierte Chemie in Hamburg und Oldenburg, promovierte an der ETH Zürich über Schwermetalle in Böden und lebt jetzt in Frankfurt am Main.



Abbildung 2: Täschelkraut, bekannt als Schwermetall-Hyperakkumulator, ist eine der Sanierungspflanzen, die Wissenschaftler der ETH Zürich im Feldversuch testeten (Foto: Achim Kayser).

Rhizosphären-Mikroorganismen die Umwandlung in flüchtige Selenverbindungen. Auch die Produktion der Selen-haltigen Gase ist in den Wurzeln höher als in den Blättern, bedingt wahrscheinlich durch eine höhere Enzymaktivität in den unterirdischen Pflanzenteilen. Liegen die Flächen brach, entweichen zwar auch Selen-haltige Gase – produziert von den Mikroorganismen im Boden –, Pflanzen steigern die Verflüchtigung aber deutlich.

Da Dimethylselenid etwa 500 bis 700mal weniger giftig ist als anorganisches Selen, ist die Verflüchtigung durchaus positiv. Sie verkürzt den Zeitraum, der für die Sanierung des Bodens angesetzt werden muss, erheblich.

### Schwermetallbelastete Böden

Die Zeit ist das stärkste Argument gegen die Phytosanierung von schwermetallbelasteten Böden, die schon länger in der Diskussion ist als für Selen-verseuchte Flächen. Die Reinigung schwermetallbelasteter Böden mit Pflanzen dauert in der Regel Jahrzehnte. Anders als Selen, dessen oxidierte Formen  $\text{SeO}_4^{2-}$  und  $\text{SeO}_3^{2-}$  sich gut im Bodenwasser lösen, binden Schwermetalle an Bodenminerale oder organische Substanz, fallen bei hohen Boden-pH-Werten aus und entziehen sich so der Aufnahme in die Pflanze.

Trotzdem hält sich die Phytosanierung von schwermetallbelasteten Böden wacker in der Diskussion, wohl aus Mangel an Alternativen zu den harten Verfahren. Immerhin sind alleine in Westeuropa etwa vier Millionen Hektar Land mit Schwermetallen kontaminiert. Klassische Verfahren wie Bodenwäsche oder Bodenaustausch sind nicht nur zu teuer, sondern zerstören außerdem Bodenstruktur und Bodenlebewesen und reduzieren damit die Bodenfruchtbarkeit drastisch.

Um der Phytosanierung zum Durchbruch zu verhelfen, gehen die Wissenschaftler das Problem von zwei Seiten an: Zum einen mobilisieren sie die Schwermetalle, erhöhen deren Löslichkeit und damit deren

Pflanzenverfügbarkeit. Zum anderen suchen sie nach Sanierungspflanzen, die sowohl viel Biomasse produzieren als auch große Mengen an Schwermetallen vertragen, aufnehmen und in die oberirdischen Pflanzenteile transportieren.

### Schwermetalle mobilisieren

Eine harte Nuss zu knacken hatten die Wissenschaftler um Rainer Schulin, Leiter der Arbeitsgruppe Bodenschutz an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich: Kern ihres Projektes war ein Feldversuch in Dornach in der Nähe von Basel. Ein dort ansässiges Buntmetallwerk hatte über Jahrzehnte schwermetallhaltige Stäube emittiert und so ein Gebiet von mehr als vier Quadratkilometern mit Kupfer, Zink und Cadmium verschmutzt. Der Boden in Dornach, geprägt durch einen kalkhaltigen Untergrund und pH-Werte im neutralen bis alkalischen Bereich, hat eine hohe Bindungskapazität für Schwermetalle. Ein besonderes Augenmerk richteten die Wissenschaftler daher auf Mobilisierungsmittel, die die Löslichkeit der Schadstoffe und damit die Aufnahme in die Pflanzen erhöhen sollten.

In Vorversuchen im Labor und Gewächshaus erwies sich der synthetische Komplexbildner Nitrilotriacetat (NTA) als geeignetes Mobilisierungsmittel sowohl für Kupfer als auch für Zink und Cadmium. Im Vergleich zu Ethylendiamintetraacetat (EDTA), das andere Arbeitsgruppen als Mobilisierungsmittel in der Phytosanierung einsetzen, ist NTA biologisch gut abbaubar – ein wichtiges Kriterium, schließlich wollte man den Boden nicht auch noch mit organischen Schadstoffen verunreinigen.

Im Feldversuch, in dem die Hyperakkumulatoren Steinkresse und Täschelkraut (Abbildung 2) sowie die Kulturpflanzen Sarepta-Senf, Tabak, Korbweide, Sonnenblume (Abbildung 3) und Mais angebaut wur-



Abbildung 3: Wissenschaftler der ETH Zürich prüften auch Kulturpflanzen auf ihre Eignung als Sanierungspflanze. Sonnenblumen nehmen zwar relativ weniger Schwermetalle auf als hyperakkumulierende Pflanzen, überzeugen aber durch ihr gutes Wachstum (Foto: Achim Kayser).



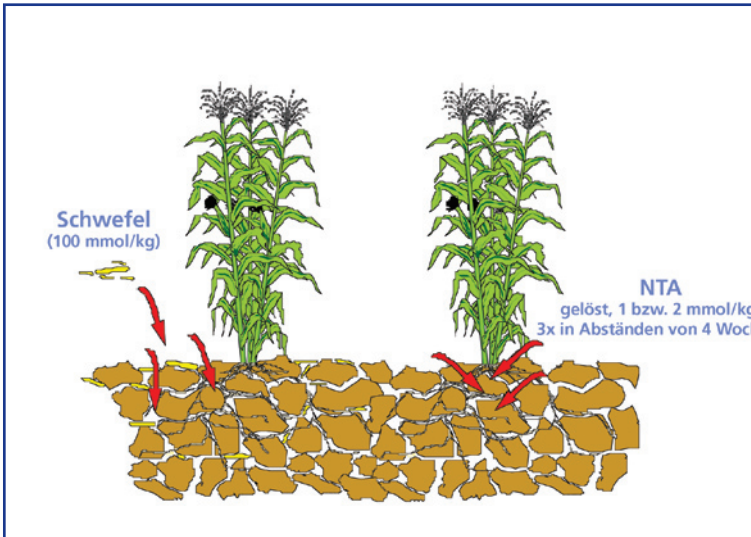


Abbildung 4: Wissenschaftler der ETH Zürich behandelten schwermetallbelasteten Boden mit NTA oder Schwefel, um die Schadstoffe zu mobilisieren.

den, behandelten die Wissenschaftler den Boden mit einer NTA-Lösung, während der Vegetationsperiode dreimal im Abstand von vier Wochen (Abbildung 4). Um die Auswaschung der Schwermetalle in tiefere Bodenschichten so gering wie möglich zu halten, injizierten sie die NTA-Lösung mit einer Düngelanze direkt in den Wurzelraum der Pflanzen.

Neben Komplexbildnern können auch Substanzen, die den Boden-pH-Wert herabsetzen, die Phytosanierung unterstützen. Je saurer ein Boden ist, um so mehr Schwermetalle lösen sich im Bodenwasser. Denn bei niedrigen pH-Werten müssen die Metallkationen mit Protonen um die Bindungsstellen an der festen Bodenmatrix, zum Beispiel um die Sauerstoffatome an den Oberflächen von Tonmineralen oder Eisenoxiden, konkurrieren. Ammoniumdünger ist ein Beispiel für ein pH-senkendes Bodenbehandlungsmittel, ein anderes ist elementarer Schwefel, den Bodenbakterien, vor allem der Gattung *Thiobacillus*, zu Sulfat oxidieren und dabei Protonen freisetzen. In Dornach testeten die Schweizer Wissenschaftler auf einigen Parzellen Schwefel.

Tatsächlich gelang es sowohl mit NTA als auch mit Schwefel, die Löslichkeit der Schwermetalle im Dornacher Boden zu erhöhen: durch Zugabe von NTA bis auf das 80fache, durch Schwefel bis auf das 20fache. Aber: Die Metallgehalte in den Pflanzen stiegen nur um den Faktor zwei bis drei.

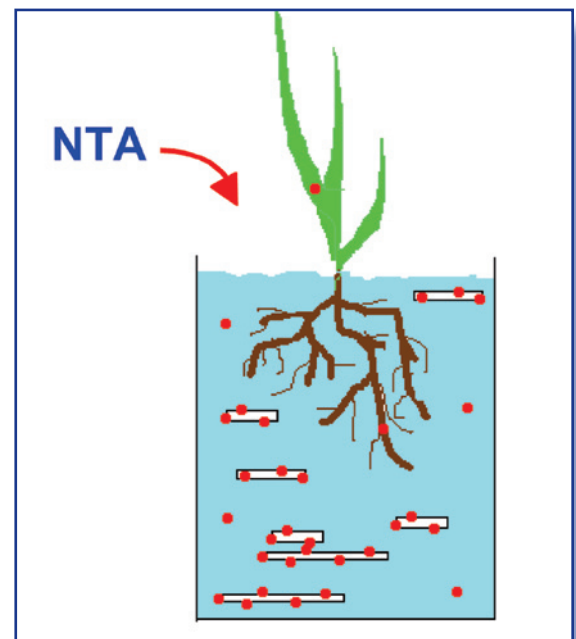
### Die Spezierung bestimmt die Aufnahme in die Pflanzen

Offensichtlich sind die Pflanzen wählerisch. Sie nehmen nicht alles auf, was in der Bodenlösung schwimmt. Die Spezierung der Schadstoffe bestimmt, wer die Wurzelmembran passieren darf und wem ein Eindringen verwehrt wird. Das gilt nicht nur

für Schwermetalle, sondern auch für andere Elemente und Ionen. Selen nehmen Pflanzen am besten auf, wenn es als  $\text{SeO}_4^{2-}$  oder als  $\text{SeO}_3^{2-}$  vorliegt, wobei ersteres, das Selenat, nicht nur die am häufigsten, sondern auch die am schnellsten aufgenommene Selen-Spezies ist. Problematisch für die Phytosanierung selenbelasteter Flächen ist es daher, wenn der Boden viel Sulfat enthält, das mit dem Selenat um die Aufnahme in die Pflanze konkurriert. Auch die Bewässerung beeinflusst die Spezierung: Ist der Boden zu nass und damit anaerob, liegt Selen nicht als Selenat sondern in Form reduzierter Spezies vor, die die Pflanzen nicht aufnehmen. Wohl aber können sich diese in tiefere Bodenschichten verlagern und entziehen sich so der Aufnahme in die Pflanze gänzlich.

Wenig weiß man bislang darüber, in welcher Form Schwermetalle in die Wurzel gelangen: Nehmen die Pflanzen Metallkomplexe auf oder bevorzugen sie das ungebundene Metallkation? Und selbst wenn der undissoziierte Komplex die Wurzelmembran passiert: Hindert die Komplexbildung den Transport in die oberirdischen Pflanzenteile? Um diese Fragen zu beantworten, arbeitete Kathrin Wenger, eine der Wissenschaftlerinnen um Rainer Schulin, mit einem Modellsystem (Abbildung 5): Stellvertretend für einen belasteten Boden wählte sie das Tonmineral Montmorillonit, an das sie Kupferkationen gebunden hatte. Diesen Modellboden gab sie in eine Nährlösung, in der sie Tabak zog. Durch Zugabe von NTA konnte sie die Kupfer-Konzentration im Tabakspross deutlich, nämlich um den Faktor zehn, steigern. Der Komplex-

Abbildung 5: Schema eines Modellversuchs, bei dem Tabak in einer Lösung herangezogen wurde, die an das Tonmineral Montmorillonit (weiße Balken) gebundene Kupferkationen (rot) enthält. Die Zugabe des Komplexbildners NTA steigerte die Kupferkonzentration im Spross um den Faktor 10.





bildner löst offensichtlich die Bindung zwischen Kupfer und Tonmineral. Die Komplexbildung verhinderte weder, dass das Metallkation in die Wurzel eindrang, noch, dass es in den Spross wanderte. Da sich dieses positive Ergebnis im Feldversuch Dornach nicht reproduzieren ließ, vermuten die Schweizer Wissenschaftler, dass im Boden der Transport der mobilisierten Metalle zu den Wurzeln die Aufnahme limitierte.

Kurzum: Für das belastete Gebiet in Dornach kommt die Phytosanierung nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht in Frage. Trotz der Mobilisierung der Schwermetalle, nahmen die Pflanzen entweder so wenig Schadstoffe auf oder wuchsen so schlecht, dass eine Reinigung des Bodens Jahrzehnte bis Jahrhunderte dauern würde. Da kein alternatives Verfahren der Bodenreinigung in Sicht ist, schlagen die Schweizer Wissenschaftler den Anbau von metallakkumulierenden Pflanzen dennoch vor, um die Fläche zu sichern, um zum Beispiel zu verhindern, dass Winderosion die Schadstoffe weiter verteilt.

### Kulturpflanzen oder Hyperakkumulatoren?

Die Mobilisierung kann die Dauer einer Phytosanierung nur bedingt verkürzen. Stellt sich also die Frage: Welches Potential steckt noch in den Pflanzen? Zwar hat man auf schwermetallhaltigen Standorten mittlerweile mehr als 400 hyperakkumulierende Spezies gefunden, deren Blätter bis zu 100mal höhere Metallgehalte aufweisen als üblich. Als Sanierungspflanzen eignen sich die meisten kaum: Sie wachsen zu langsam, bedecken den Boden nur spärlich und sind daher nicht effektiv genug (Abbildung 2). Das zeigte auch der Feldversuch in Dornach, bei dem die Forscher der ETH sowohl Kulturpflanzen als auch Hyperakkumulatoren anbauten: Als beste Sanierungspflanze stellte sich hier die Sonnenblume heraus, lediglich hinsichtlich Cadmium war ihr der Tabak überlegen. Täschelkraut und Steinkresse, die beiden Hyperakkumulatoren, wuchsen so schlecht, dass sie dem Boden absolut am wenigsten Schwermetalle entzogen.

Viele Kulturpflanzen, die als Sanierungspflanze in Frage kommen, vertragen die hohen Schwermetallgehalte im Boden nicht. Sie wachsen schlechter oder gehen ein, statt den Boden zu reinigen. Das Problem tritt erst recht dann auf, wenn Mobilisierungsmittel Erfolg haben und die Schadstoffkonzentration noch erhöhen.

### Transgene Pflanzen

Die In-Vitro-Züchtung ist eine Methode, um für die Phytosanierung geeignete Pflanzen zu selektieren. Um möglichst viele genetische Varianten einer Art zu erhalten – die Schwermetalltoleranz ist genetisch verankert – destabilisiert man das pflanzliche Genom. Die Pflanzenzellen werden dann in Nährmedien kultiviert, die Schwermetalle enthalten. Hier überleben nur die schwermetalltoleranten. Aus ihren Zellhaufen lassen

sich nach weiteren Auswahl- und Kultivierungsschritten wieder vollständige Pflanzen regenerieren.

Unter den Regeneraten befinden sich sowohl Excluder, die schwermetalltolerant sind, weil sie die Schadstoffe gar nicht aufnehmen, als auch die gewünschten Akkumulatoren. Letztere müssen aussortiert werden und ihre genetische Stabilität und verbesserte Extraktionsleistung noch im Topf- und Feldversuch unter Beweis stellen, zeigen, dass sie mindestens so gut gedeihen wie ihr Mutterklon, aber dabei wesentlich mehr Schwermetalle vertragen und aufnehmen. Dieses Selektionsverfahren ist langwierig und verhalf der Phytosanierung bislang nicht zum Durchbruch.

Immer mehr Wissenschaftler setzen auf gentechnisch veränderte Sanierungspflanzen. Verlockend ist die Vorstellung, den kümmerlichen Hyperakkumulatoren Wachstumsgene einzubauen und sie so in die Höhe zu treiben oder die Kulturpflanzen so zu modifizieren, dass sie vermehrt Transportproteine produzieren, die die Aufnahme der Schadstoffe erleichtern.

Erste Erfolge auf diesem Gebiet verzeichneten die Wissenschaftler um den Pflanzenphysiologen Norman Terry von der University of California in Berkeley. Sie modifizierten den als Sanierungspflanze beliebten Indischen Senf genetisch so, dass er zwei bis dreimal mehr Cadmium aufnahm als der Wildtyp. Die modifizierte Variante produzierte verstärkt zwei Enzyme, die Glutamylcystein- und die Glutathion-Synthetase. Beide Enzyme katalysieren die Synthese von Glutathion, einem Peptid, das ein direkter Vorläufer der schwermetallbindenden Phytochelatine ist.

Auch die Reinigung Selen-kontaminierter Böden können die Gentechnologen beschleunigen. Modifizieren sie die Pflanzen so, dass sie vermehrt Enzyme produzieren, die Selen methylieren, steigern sie die Phytovolatilisierung.

Abbildung 6: Bei der Phytosanierung fallen große Mengen belasteter Pflanzen an, hier Canola-Raps, die je nach Belastung weiter verarbeitet oder entsorgt werden müssen (Foto: Gary Bañuelos).





Abbildung 7:  
Pellets aus Selenhaltigen Pflanzen  
(Foto: Gary Bañuelos).

Auch der erst letztes Jahr entdeckte erste Arsen-Hyperakkumulator, ein schnell wachsender Farn (*Pteris vittata*), bekommt bereits Konkurrenz von genmanipulierten Pflanzen: Dem Genetiker Richard Meagher von der University of Georgia in Athens gelang es, zwei Gene des Bakteriums *Escherichia coli* in die Ackerschmalwand (*Arabidopsis Thaliana*) einzubauen und so deren Arsenaufnahme auf das vier bis 17fache (bezogen auf das Frischgewicht der Blätter) zu erhöhen. Die eingebauten Gene kodieren für Enzyme, die die Toleranz gegen Arsen erhöhen. Nun ist die Ackerschmalwand zwar bei Pflanzenbiologen äußerst beliebt – sie lässt sich einfach und schnell züchten, außerdem ist ihr Genom bereits vollständig sequenziert –, für die Phytosanierung aber eignet sich die kleinwüchsige Pflanze kaum. Meaghers Ziel ist es, auch größeren Pflanzen wie Pappeln, Weiden oder Wasserlilien die Arsen-Toleranz einzuverleiben.

### Wohin mit den Pflanzen?

Wer hofft, das Pflanzen Schadstoffe in großen Mengen aufnehmen, muss auch daran denken, wie er sie entsorgt (Abbildung 6). Gary Bañuelos braucht keine Angst zu haben, dass er die mit Selen kontaminierten Pflanzen teuer deponieren muss. Zum einen hat sich ein Großteil des Selens verflüchtigt, zum anderen fehlt es Menschen und Tieren in weiten Teilen der Erde an diesem Spurenelement. Menschen mit Selenmangel leiden an einer geschwächten Immunabwehr, Kinder und Jugendliche können an Wachstumsstörungen erkranken. Auch Landwirte müssen ihre Tiere ausreichend mit Selen versorgen. Für Bañuelos lag es daher nahe, die Selenhaltigen Pflanzen als Beigabe für Futtermittel oder als Dünger für Selen-arme Böden anzubieten (Abbildung 7). Faserpflanzen wie Kenaf können zu Papier verarbeitet, aus ölhaltigen Pflanzen wie Canola-Raps kann Biodiesel gewonnen werden.

Auch die kommerzielle Nutzung von Sanierungspflanzen, die auf schwermetallbelasteten Flächen

angebaut wurden, ist nicht ausgeschlossen. Nicht alle Pflanzenteile enthalten die Schadstoffe. So fanden die Wissenschaftler der ETH Zürich weder in den Maiskörnern noch in den Sonnenblumenkernen ihrer Versuchspflanzen erhöhte Schwermetallkonzentrationen. Die Verwertung als Futtermittel oder die Gewinnung von Öl scheint auch hier möglich, sollte aber einer strengen Kontrolle unterliegen. Stark belasteten Pflanzen bleibt der Weg in die Müllverbrennungsanlage wohl kaum erspart.

### Pflanzen graben nach Gold

Die neuseeländischen Wissenschaftler Christopher Anderson und Robert Brooks von der Massey University in Palmerstone North sehen in metallakkumulierenden Pflanzen eine wahre Goldgrube. Sie fanden heraus, dass der in der Phytosanierung beliebte Sarepta-Senf Gold akkumuliert und wollen ihn auf Böden anbauen, die Golderze enthalten. Auch in diesem als Phytomining bezeichneten Prozess kommen die Wissenschaftler nicht ohne Mobilisierungsmittel aus: sie behandelten den Boden, der Golderze enthält, mit Ammoniumthiocyanat und überführten das Edelmetall so in eine pflanzenverfügbare Form. Damit sich das Verfahren wirtschaftlich lohnt, sollte eine Tonne getrockneter Pflanzen etwa 100 Gramm Gold hergeben. Zumindest im Laborversuch erreichten die Wissenschaftler diese Gehalte.

Nicht so sehr für die Menge, sondern in erster Linie für die Form, in der das Gold in den Pflanzen zu finden ist, interessiert sich der Chemiker und Umweltwissenschaftler Jorge Gardea-Torresdey von der University of Texas in El Paso: In Alfalfa-Pflanzen, die er und seine Kollegen auf einem mit Gold(III)-angereichertem Nährboden zogen, wiesen sie die Entstehung von Nanopartikeln aus reinem elementarem Gold nach. Die Goldnanopartikel könnten in der High-Tech-Industrie Verwendung finden. Jetzt überlegen die Forscher, wie sie die Goldteilchen, die sie sowohl in den Wurzeln

Abbildung 8: Die Pellets dienen als Beigabe zu Futtermitteln, um die Tiere vor Selenmangel zu schützen (Foto: Gary Bañuelos).



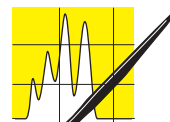
als auch in den Blättern fanden, isolieren können. Es sei vielleicht einfacher als erwartet, meint Gardea-Torresdey und denkt an Zentrifugieren.

### Leichteres Spiel mit organischen Schadstoffen

Noch ist nicht abzusehen, ob es Pflanzen jemals gelingen wird, schwermetallbelastete Böden zu reinigen. Die Erfolgchancen sind auf sauren Böden zwar größer als auf alkalischen, ganz ohne Hilfsmittel und verbesserte Pflanzen wird die Phytosanierung aber auch hier nicht gelingen. Das als sanft und bodenschonend deklarierte Verfahren verdient diese Attribute sicher nicht mehr, wenn große Mengen Chemikalien auf den Flächen ausgebracht werden müssen, um die Sanierungsdauer auf ein akzeptables Maß von wenigen Jahren zu verkürzen. Wer meint, der Phytosanierung mit gentechnisch veränderten Pflanzen auf die Sprünge helfen zu können, sollte eins nicht außer Acht lassen: er ist angewiesen auf die Akzeptanz von Bürgern und Behörden. Den Anwohnern in Dornach haben die dort

auf den Versuchsflächen angebauten Sonnenblumen gefallen, gegen den Anbau genmanipulierter Pflanzen hätten sie sich zur Wehr gesetzt.

Trotz der schlechten Erfahrungen mit dem Dornacher Boden hat sich Kathrin Wenger nicht von der Phytosanierung abgewandt, allerdings hat sie Standort und Schadstoffklasse gewechselt: Sie arbeitet jetzt an der Phytosanierung von indischen Böden, die mit Atrazin und Hexachlorcyclohexan verseucht sind. Hier ist sie nicht mehr alleine darauf angewiesen, dass die Pflanzen die Schadstoffe aufnehmen und in ihre oberirdischen Teile transportieren. Wenn Wurzel-exudate die Herbizide zu ungiftigen Verbindungen metabolisieren oder mineralisieren, hat sie ihr Ziel ebenso erreicht. Diese Aufgabe will sie nicht alleine den Pflanzen überlassen: Mikroorganismen sollen den Abbau unterstützen. Ein indisches Partnerinstitut sucht in belasteten Böden nach Rhizosphären-Bakterien, die die Pestizide abbauen und so zusammen mit den Pflanzen den Boden reinigen können. Getreu dem Motto: Doppelt hält besser.



AUFsätze

## Englischsprachige Elemente im Chemieunterricht

# Lingua Franca in Naturwissenschaft und Technik

Volker Wiskamp, Fachhochschule Darmstadt

Da Englisch die lingua franca der Naturwissenschaft und Technik ist, sollten englischsprachige Elemente in den Chemieunterricht einfließen. Doch ein wesentlicher Hinderungsgrund hierfür ist, dass Chemielehrer selten gleichzeitig Englischlehrer sind und meistens nur über Englischkenntnisse aus ihrer eigenen Schulzeit verfügen, so dass sie es sich deshalb nicht zutrauen, ihren Chemieunterricht teilweise auf Englisch zu halten.<sup>1</sup> Diese verständlichen Berührungspunkte abzubauen und Möglichkeiten aufzuzeigen, wie auch ohne gute Englischkenntnisse Fachenglisch in den Chemieunterricht einfließen und diesen bereichern kann, war Ziel eines Europaschulprojektes am Lichtenberg-Gymnasium in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule in Darmstadt.

Nach Sichtung zahlreicher angloamerikanischer Lehrmaterialien (siehe zum Beispiel [2]) haben wir uns für die Nutzung weniger Lehrbücher [3-8], – eins davon [3] enthält auch Animationen, Simulationen und interaktive Fragen auf einer CD-ROM –, einer Folienserie

[9], einer CD-ROM-Sammlung mit gefilmten und vertonten Experimenten [10] sowie eines Angebotes im Internet [11] entschieden.

### Folien

Die einfachste Art, den passiven Wortschatz der Schüler zu erweitern, ist der Einsatz von Folien [9], die auf Englisch beschriftet sind, aber auf Deutsch kommentiert werden. Der Lehrer spricht zum Beispiel über den *Hochofen*, und die Schüler lesen den englischen Ausdruck dafür, „blast furnace“. Oder die Schüler nehmen bei der Besprechung einer *Destillationsapparatur* die englischen Fachausdrücke für den Kühler, „condenser“, oder die Vorlage, „receiving flask“ zur Kenntnis. Die Anschaffung der fünfbandigen Folienserie [9] lohnt sich (Kosten ca. 1400 Euro), weil darin alle wichtigen Themen des Chemieunterrichtes abge-

### Der Autor

Prof. Dr. Volker Wiskamp studierte Chemie an der Ruhr-Universität Bochum. An der Fachhochschule in Darmstadt vertritt er das Gebiet „Anorganische und Organische Chemie in der Lehre“. Sein derzeitiges wissenschaftliches Hauptarbeitsgebiet ist die Didaktik und Methodik der Chemie sowie die Verbesserung der Beziehungen zwischen Schule und Hochschule.



<sup>1</sup> Hilfreich und sinnvoll ist die Zusammenarbeit mit einem Englischlehrer (vgl. [1]), die jedoch wegen Lehrermangels nur sehr selten zustande kommt.

deckt sind. Meiner Meinung nach reicht es aus, wenn der Lehrer in jeder Unter- und Mittelstufenklasse einmal pro Monat und in jeder Oberstufenklasse einmal pro Woche eine englischsprachige Folie benutzt. Dann gewöhnen sich die Schüler mehr und mehr an das Englische als Kommunikations- und Fachsprache.

## Filme

Unter der Voraussetzung, dass ein Computer und ein Beamer in der Schule vorhanden sind, lohnt sich auch die Anschaffung der CD-ROM-Serie [10] (Kosten ca. 300 Euro). Hier findet der Lehrer gefilmte Experimente und Fotosequenzen aus den Filmen.

Die Filme sind vertont, so dass die Schüler die Experimente im perfekten Amerikanisch erklärt bekommen, und können jederzeit gestoppt werden, damit sich die Jugendlichen auf einzelne Passagen besser konzentrieren können. Spätestens nach der dritten Wiederholung eines Filmes sind die Schüler dazu in der Lage, den Inhalt auf Deutsch wiederzugeben. Die aus den Filmen geschnittenen Fotos haben eine Legende, die die Schüler vorlesen, übersetzen und abschreiben sollten. Zum Thema *Elektrische Leitfähigkeit* beispielsweise lauten zwei Untertexte: „When the nonmetal sulfur touches wires connected to a battery and light bulb, the bulb does not light. Sulfur is not a conductor.“ Und: „When a piece of solid zinc metal completes the electrical circuit, the light bulb lights brightly.“ Ähnlich wie bei der Nutzung englischsprachiger Folien lautet meine Empfehlung für den Einsatz

von Filmen: gelegentlich, aber regelmäßig und mit zunehmendem Alter der Schüler häufiger.

## Animationen

Auf der CD-ROM, die dem Buch [3] beiliegt, gibt es 30 Animationen zu im Chemieunterricht oft besprochenen Themen. Eine Animation zum *Streuexperiment von Rutherford* kann zum Beispiel als Repetitorium benutzt werden, nachdem der berühmte Versuch auf Deutsch besprochen und interpretiert wurde. Dann werden die Schüler nicht gleichzeitig mit neuem Lernstoff und einer fremden Fachsprache konfrontiert, was die Gefahr einer Überforderung in sich birgt, sondern sind mit dem Lerninhalt bereits vertraut und festigen ihn unter gleichzeitigem Kennenlernen des englischen Fachvokabulars. Das als Animation zu sehende Experiment wird den Schülern in vorbildlichem Englisch erläutert, und auf dem Bildschirm werden zusätzlich die Kernaussagen schriftlich festgehalten: „1. Alpha particles are aimed at gold foil. 2. Some alpha particles are strongly deflected. 3. Massive and positively charged nuclei repel alpha particles that pass close to the nuclei.“ Diese Sätze sollten von den Schülern in ihr Heft übertragen werden. Falls den Jugendlichen einzelne Vokabeln unbekannt sind, muss der Lehrer selbstverständlich die Übersetzungen nennen.

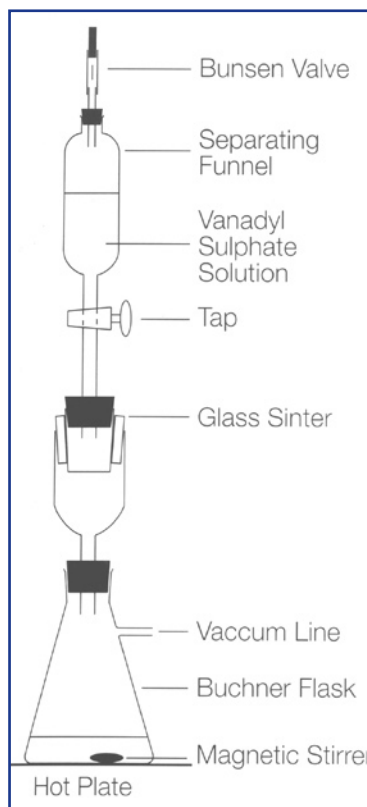
## Interaktive Fragen

Auf der CD-ROM [3] findet man zahlreiche interaktive Übungsaufgaben, die als Wiederholung eingesetzt werden können, nachdem ein Thema im Unterricht bereits behandelt wurde.

Zum Beispiel gibt es zum Einführungsthema *Was ist Chemie?* fünf Fragen mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten. Die Schüler werden aufgefordert, die richtige Antwort anzuklicken und erhalten dann eine akustische und schriftliche Rückmeldung. Zum Beispiel können die Jugendlichen den Satz „Determining how best to produce a new synthetic fiber with practical use is an example of ...“ mit „environmental chemistry“, „theoretical chemistry“, „applied chemistry“ oder „pure chemistry“ komplettieren. Wenn sie mit „applied chemistry“ richtig antworten, erscheint auf dem Bildschirm: „Correct. Taking chemistry from the laboratory to the consumer is the goal of applied chemistry.“ Falls sie mit „environmental chemistry“ falsch antworten, meldet sich der Computer: „Incorrect. Environmental chemistry is primarily concerned with interactions between living things and their surroundings.“

Ein Lückentext über die *Wissenschaftliche Methodik* lautet beispielsweise: „The statement ‘Energy is neither created nor destroyed’ is ....“ Er soll wahlweise mit „a scientific law“, „an observation“, „a hypothesis“ oder „a theory“ beendet werden. Um den richtigen Begriff zu finden, kann das Glossar auf

Beispiel einer Reaktionsapparatur, die mit englischen Begriffen bezeichnet wurde (Abbildung aus *Studies of Lower Valent Vanadium Compounds in CLB 3/1997 M21*).



der CD-ROM hilfreich sein. Hier findet man die Definitionen der anklickbaren Begriffe: „Scientific law: a concise statement that summarizes the results of many observations and experiments.“ „Observation: information obtained through the senses; observation in science often involves a measurement.“ „Hypothesis: a proposed explanation for observations.“ „Theory: a thoroughly tested model that explains why experiments give certain results.“

Es ist ratsam, die Schüler alle Fragen vorlesen, übersetzen und notieren zu lassen. Das gleiche gilt für die erklärenden Antwort- bzw. Glossartexte.

## Labor-Arbeiten

Die *Besprechung von Sicherheitseinrichtungen, Gefahrensymbolen und Laborgeräten* ist obligatorisch und kann bilingual erfolgen, wenn den Jugendlichen entsprechende Abbildungen zur Verfügung gestellt werden, die auf Deutsch und auf Englisch beschriftet sind.

Im Labor sollte gelegentlich und mit zunehmendem Alter der Schüler öfter nach englischsprachigen Anleitungen [3, 4] experimentiert werden. Vorschriften zum Beispiel zur „paper chromatography“ oder zum „flame test“ müssen vorab – als Hausaufgabe – von den Jungforschern übersetzt werden.

## Arbeitsblätter mit Lückentexten

In relativ einfachem Englisch formuliert und daher besonders für den Anfängerunterricht geeignet sind die zweiseitigen Kapitel aus [7]. Beispielsweise werden die *Aggregatzustände* unter den Titeln „Two kinds of stuff“ und „Stuff you hardly know is there“ mit Bildern und Erklärungen dazu vorgestellt. Einige Passagen fehlen, die mit Begriffen aus den Legenden der Abbildungen zu füllen sind. Jedes Kapitel endet mit einem Kasten „What you need to remember“, der weitere Platzhalter beinhaltet und – nach korrektem Ausfüllen – die Kernaussagen des jeweiligen Kapitels zusammenfasst.

Der zuvor auf Deutsch präsentierte Lernstoff lässt sich mit den Texten gut vor- und nacharbeiten. In der nächsten Stunde sollten die Schüler ihre ergänzten Lückentexte vorlesen. Alternativ können diese vom Lehrer eingesammelt und kontrolliert werden.

## Übungsaufgaben

Sprachlich ebenfalls nicht sonderlich schwer ist das Auf-Deutsch-Bearbeiten von englischen Übungsaufgaben [3, 4] zum Chemischen Rechnen und zur Nomenklatur von Verbindungen. Denn die Fachausdrücke unterscheiden sich in den beiden Sprachen oft nur gering, zum Beispiel Mol/mole oder Strukturformel/structural formula, beziehungsweise sind leicht zuzuordnen, zum Beispiel Halbwertszeit/half life oder Massenanteil/percentage composition.

Sinnvoll ist es, solche Arbeitsblätter zu verteilen, bei denen ein Lösungsweg exemplarisch aufgezeigt ist. Dann wird den Schülern nämlich noch einmal in der Fremdsprache das erklärt, was ihnen der Lehrer vorab auf Deutsch beigebracht hat.

## Zusammenfassungen

Gelegentlich sollte den Jugendlichen ein komplettes Kapitel oder zumindest die Einleitung beziehungsweise Zusammenfassung eines solchen aus einem englischsprachigen Lehrbuch zur Verfügung gestellt werden.

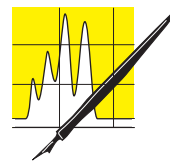
Beispielsweise mögen die Schüler zuhause den fünfseitigen Text „The gas laws“ aus [5] parallel zu der entsprechenden Passage in ihrem deutschen Chemiebuch lesen. Ob sie das wirklich getan haben, wird der Lehrer feststellen, wenn er die Abbildungen im englischen Text auf Folien kopiert und diese bei einer Wiederholung des Lernstoffes einsetzt.

An die etwa halbseitigen Zusammenfassungen der einzelnen Kapitel aus [3] schließen sich ungeordnete Begriffssammlungen an, aus denen die Schüler Fließschemata konstruieren sollen. Eine zum Beispiel als Hausarbeit über *Periodische Eigenschaften* aus den Vokabeln „electronegativity“, „ionic radius“, „periodic trends“, „electron configuration“, „atomic size“, „ionisation energy“ und „periodic table“ erarbeitete „concept map“ kann in der folgenden Stunde an die Tafel geschrieben oder mit Hilfe der dem Buch [3] beiliegenden CD-ROM am Computer erstellt und später auf die Leinwand gebeamt werden.

## Glossare

Zur Festigung des Lernstoffes und zum gleichzeitigen Einführen von Fachenglisch ist es sinnvoll, den Schülern ein englisches Glossar mit Begriffen auszuhändigen, die der Lehrer zuvor aus den Glossaren zum Beispiel der Bücher [3, 5, 6] abgeschrieben hat, verbunden mit der Ankündigung, dass die Definitionen und Erklärungen in der nächsten Stunde – auf Deutsch – abgefragt werden.

Chemie-Anfängern kann beispielsweise zum Thema *Teilchen* folgende Vokabelsammlung angeboten werden: „anion“, „atom“, „cation“, „electron“, „ion“, „neutron“, „nucleus“, „proton“ und „shell“. Ein Glossar zum Oberstufen-Thema *Funktionelle Gruppen* sollte mehr Begriffe umfassen, zum Beispiel „alcohol“, „aldehyde“, „alkene“, „alkyl group“, „alkyl halide“, „alkyne“, „amide“, „amine“, „amino acid“, „arene“, „aromatic compound“, „aryl halide“, „carbohydrate“, „carbonyl group“, „carboxyl group“, „carboxylic acid“, „disaccharide“, „ester“, „ether“, „functional group“, „halocarbon“, „monosaccharide“, „peptide bond“, „substituent“ und „unsaturated compound“.



AUFSÄTZE

## Texte für Schülerreferate

In den Büchern [5, 6, 8] gibt es (meistens einseitige) Exkurse, die den in der Oberstufe behandelten Lernstoff erweitern und bereichern. Sie eignen sich hervorragend als Basis für Schülerreferate. Die Jugendlichen müssen sich zu Hause selbstständig mit den englischen Texten auseinandersetzen, um deren Inhalte schließlich in ca. zehn Minuten auf Deutsch vorzutragen. Wenn ein Lehrer beispielsweise das *Ozonloch* bespricht, kann er einen Schüler damit beauftragen, „The CFC story“ (aus [8]) zu lesen und in der nächsten Unterrichtsstunde vorzustellen, in der zwei Wissenschaftler zu Wort kommen, die maßgeblich an der Entdeckung des ökologischen Problems und der Beschreibung seiner Ursachen beteiligt waren. Ein anderer Schüler kann den Text „The chemistry of vision“ (aus [5]) über die cis/trans-Isomerisierung von Rhodopsin präsentieren, wenn im Unterricht gerade *cis- und trans-substituierte Alkene* thematisiert werden.

Der Lehrer kann seine Schüler auch bitten, im Internet die Rubrik „Ask The Expert“ des Journals *Scientific American* [11] aufzurufen, um sich dort Information für einen Kurzvortrag zu besorgen, der zum regulären Unterricht passt, zum Beispiel „How can graphite and diamond be so different if they are both composed of pure carbon?“

Das Buch [3] enthält pro Kapitel eine Rubrik „Chemistry Serving ... Industry / the Society / the Consumer / the Environment“, in der jeweils ein Beruf vorgestellt wird, der viel mit Chemie zu tun hat, beispielsweise der Materialwissenschaftler, Lebensmittelchemiker, Medizinisch-Technische Assistent, Mikrobiologe, Ozeanograf, Kunstkonservator oder Kernphysiker. Der Einsatz dieser Texte, – von den Schülern kurz referiert –, ermöglicht eine besondere Art der Berufsberatung.

Jeder Oberstufenschüler sollte einmal pro Jahr ein Referat auf der Grundlage eines englischen Kurztextes halten. Alternativ kann einzelnen Schülern, die zwischen zwei Zeugnisnoten stehen, der Anreiz gegeben werden, durch ein engagiertes und gelungenes Referat die bessere Zensur zu erreichen.

## Evaluation und Zusammenfassung

Den Schülern ist die Wichtigkeit der englischen Sprache in der heutigen Welt bewusst. Deshalb befürworten sie grundsätzlich englischsprachige Elemente im Chemieunterricht. Die große Mehrheit der Jugendlichen möchte aber *nicht* neuen Lernstoff auf Englisch vermittelt bekommen, sondern favorisiert eine Vorgehensweise, bei der neue fachliche Inhalte zunächst auf Deutsch besprochen und dann auf Englisch wiederholt und/oder ergänzt werden (vgl. [12]).

Meine Vorschläge zum Einsatz englischsprachiger Elemente zielen vor allem darauf ab, den Jugendlichen Berührungspunkte mit der englischen Fachsprache zu

nehmen und sie zum selbstständigen Lesen und Übersetzen englischer Fachtexte zu motivieren, so dass für sie letztendlich der Umgang mit Fachenglisch zur Gewohnheit und selbstverständlich wird.

Die hier diskutierten englischsprachigen Elemente im Unterricht einzusetzen, verlangt vom Lehrer keine Englisch-Fähigkeiten, die über sein eigenes Abitur-Englisch und das im Rahmen seines Studiums erworbene Fachenglisch hinaus gehen. Dies gilt insbesondere deshalb, weil der Lehrer in den hier vorgestellten Unterrichtseinheiten nicht selbst Englisch sprechen muss. (Selbstverständlich hat ein Lehrer, der über hervorragende Englischkenntnisse verfügt, noch ganz andere Möglichkeiten, Chemie und Englisch zu kombinieren, die er nutzen sollte.)

Abschließend seien das Plädoyer von H.-J. Jäger zur Förderung englischsprachiger Elemente in der Chemieausbildung und im Chemieunterricht und bildungspolitische Forderungen dazu als Lektüre empfohlen [13].

## Literatur

- [1] V. Wiskamp, E. Grieshofer-Treber, *Properties of Matter – ein Thema im Englischunterricht*, *Chemie & Schule* 17 (2002), Heft 1, S. 21-23
- [2] <http://lernen.bildung.hessen.de/bilingual/Englisch/naturwissenschaften/bio/bio/usverlagesoc> bzw. [www.umsl.edu/~chemist/cgi-test/mybook.pl?category=16](http://www.umsl.edu/~chemist/cgi-test/mybook.pl?category=16)
- [3] A. C. Wilbraham, D. D. Staley, M. S. Matta, E. L. Waterman, *Addison Wesley Chemistry* (incl. CD-ROM), Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002 (ISBN 0-13-054384-5)
- [4] H. E. LeMay, H. Beall, K. M. Robblee, D. C. Brower, *Chemistry – Connections to Our Changing World*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2000 (ISBN 0-13-434776-5)
- [5] T. L. Brown, H. E. LeMay, B. E. Bursten, *Chemistry – The Central Science*, 7th ed., Prentice Hall, London, 1997 (ISBN 0-13-598988-4)
- [6] G. M. Bodner, H. L. Pardue, *Chemistry – An Experimental Science*, 2nd ed., Wiley, New York, 1995 (ISBN 0-471-59386-9)
- [7] B. Milner, R. Oliver, *Chemistry*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001 (ISBN 0-521-55663-5)
- [8] G. Burton, J. Holman, J. Lazonby, G. Pilling, D. Waddington, *Chemical Storylines* (Salters Advanced Chemistry), 2nd. ed., Heinemann, Oxford, 2000 (ISBN 0-435-63119-5)
- [9] *Super Quintet Chemistry*, *Transparencies To Educate bv*, Nijmegen (Niederlande); [tte@euronet.nl](mailto:tte@euronet.nl); [www.tte-online.com](http://www.tte-online.com)
- [10] *Chemistry Comes Alive!* – Vol. 1-5, *J. Chem. Educ. Software*, <http://jchemed.chem.wisc.edu/JCESoft/CCA>
- [11] *Scientific American*, Rubrik: Ask the Expert, [www.sciam.com/askexpert\\_directory.cfm](http://www.sciam.com/askexpert_directory.cfm)
- [12] V. Wiskamp, *Chemie der Klasse 11 – Internationale Aspekte*, *CLB Chemie in Labor und Biotechnik* 52 (2001), Heft 6, S. 218-219
- [13] H.-J. Jäger, *Dringender Appell: Bilingualer Chemieunterricht*, *PdN-ChiS* 50 (2001), Heft 7, S. 43-44

# CLB – Memory

Die CLB-Beilage für Ausbildung in Chemie, Labortechnik,

Chemietechnik, Biologie und Biotechnik

Dezember 2002

## Moderne Ionenanalytik (Teil 1): Ionenchromatographie

### Dornröschenschlaf nach ersten Anfängen

**D**ie Chromatographie – wörtlich übersetzt das Farbschreiben – hat eine abwechslungsreiche Entwicklungsperiode durchlaufen. Als historische Wurzeln gelten Versuche von Mikhail Tswett zur Trennung von Naturstoffen zu Anfang des vergangenen Jahrhunderts. Die eigentliche Entwicklung der Chromatographie zu einer Trenn- und Bestimmungsmethode folgte erst nach einem rund dreißig Jahre langen Dornröschenschlaf. Ionenaustauschmethoden erforschte man intensiv im „Manhattan-Projekt“ zum Bau der ersten Atombombe. 1975 schließlich wurde die Ionenchromatographie als analytische Methode eingeführt.

Der amerikanische Chemiker und Geologe D.T. Day berichtet in den Jahren 1897 – 1903 in mehreren Arbeiten über das Verhalten von Petroleumproben an verschiedenen Feststoffen (Bodenproben), wobei er verschiedene gefärbte Fraktionen erhält. Zur gleichen Zeit erscheint auch der Bericht der deutschen Chemiker Albrecht und Engler über Filtrationsvorgänge von Petroleum durch Florida-Erde.

Der Russe Tswett, von Hause aus Biologe, stand vor dem Problem, einige Naturstoffe zu trennen. Er arbeitete mit Blattfarbstoffen. Aus Blättern hatte er Petrolätherextrakte hergestellt. Zunächst galt es, die flüssige Phase von fein dispergierten

Teilchen, beispielsweise von Wassertröpfchen, reinigen. Derartige Trennungen kann man in vielen Fällen erreichen, indem man die trübe Lösung etwa über eine dünne Schicht mineralischer Substanz filtriert. Tswett nahm gepulverten Kalk. Als aufmerksamer Beobachter stellte er fest, daß sich das aufgegebene Material schichtförmig in mehrere Zonen zu trennen begann. Sie ließen sich aus der Calciumcarbonat-Schicht auswaschen. Nach seiner im Jahre 1906 veröffentlichten Arbeit gelang ihm die Trennung von Blattfarbstoffen über in Glssäulen gegebene Schüttungen von Aluminiumoxid, Puderzucke und ähnlichen Substanzen.

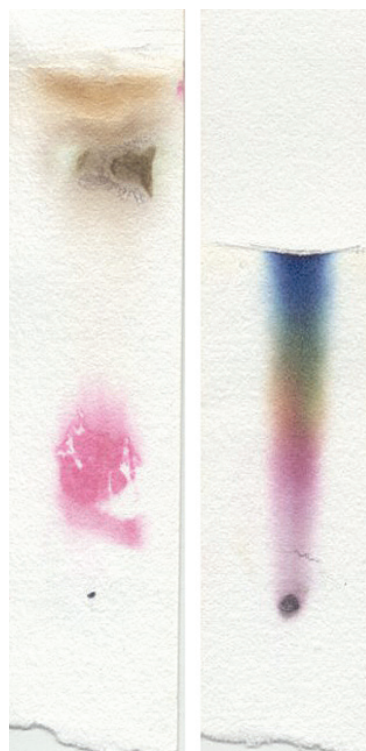
#### Erster Erfolg bei Blattfarbstoffen

Aus dem am oberen Ende der Säule (Säulenkopf) aufgegebenen Substanzengemisch bildeten sich auf der Schüttung mehrere Zonen heraus. Mit einigen Lösungsmitteln konnten sie langsam von der Säule heruntergewaschen werden. Die farbigen Ringe, die nacheinander aus der Säule ausgebracht wurden, wiesen bei eingehenden Untersuchungen auf einen Trenneffekt hin. Ein Ergebnis der Tswettschen Trennungen war die „farbenfrohe“ Entdeckung des Chlorophylls, und zwar in allen seinen Erscheinungsformen als Chlorophyll a, b und c. Chlorophyll a und b treten in Pflanzen etwa in dem Verhältnis 3:1 auf. Chlorophyll c findet man in Braunalgen und anderen

#### Schon 1951 in CLB zu lesen: „Ionenaustausch – über 100 Jahre bekannt!“

1850 bereits veröffentlichte Sir Harry Thompson, ein Landwirt in England, die 1845 gemachte Beobachtung, daß durch eine mit Ammonsulfat vermischte Bodenschicht kein Ammonsulfat durchgewaschen wird, sondern Gips. CLB 2-1951, Seite 123

Mitgliedern der „Chromista“, zu denen auch Diatomeen (Kieselalgen) gehören. Die Chlorophyll-Forschungen Tswetts und auch die Chromatographie als Methode lehnte damals der spätere Nobelpreisträger (1915) Richard Willstätter ab, musste jedoch spä-



Ein einfacher Versuch zeigt, woher der Name „Chromatographie“ stammt: Ein Tropfen einer Lösung mit (links, v.u.) Kupfer-, Nickel- und Eisenionen bzw. ein schwarzer Tintentropfen (rechts) werden mit geeigneten mobilen Phasen an Filterpapier getrennt, in verschiedene Farben aufgespalten.

ter die Ergebnisse, die er mit rein chemischen Methoden erhielt, anerkennen – ein erster Sieg der Chromatographie.

Auch wer heute Farbstofftrennungen zusieht, wird verstehen, dass die Bezeichnung Chromatographie sehr anschaulich für die Trennmethode gewählt wurde. Allerdings fasst man nun unter dem Sammelbegriff Chromatographie zahlreiche und methodisch unterschiedliche Techniken zusammen, bei denen Adsorptionen und Austauschvorgänge die Ursachen von Trennungen sind.

### Ionenchromatographie-Geschichte

Eine wichtige davon ist die Ionenchromatographie; als Prinzipien

wirken sowohl Ionenaustausch wie – bei speziellen Anwendungen – Ionenpaarbildung wie auch Ionenausschluss. Ionen verschiedener Stoffe findet man im Trinkwasser; sie sind verantwortlich für die Informationsleitung in Nerven, liegen wichtigsten Stoffwechselprozessen zugrunde. Das wichtigste Einsatzgebiet der Ionenchromatographie ist heute allgemein die routinemäßige Untersuchung wässriger Systeme. Ein Vorzug der Methode besteht darin, dass mehrere Kationen bzw. Anionen simultan bestimmt werden können. Die Ionenchromatographie ergänzt somit sehr gut die atomspektrometrischen und elektrochemischen Verfahren.

Schon in der Literatur des Altertums findet man Erscheinungen erwähnt, die sich vielleicht durch Ionenaustausch erklären lassen. Im 2. Buch Mose ist beschrieben, wie während der Wanderung der Juden durch die Wüste das ungenießbare, bittere Wasser durch hineingeworfenes Holz trinkbar geworden ist. Aristoteles empfahl die Filtration durch bestimmte Böden, um das Meerwasser genießbar zu machen. Im ersten Fall kann vermutlich die Ionenaustauschfähigkeit der Holzcellulose, im zweiten die von Silicaten zur Verbesserung des Geschmacks vom Wasser beigetragen haben.

Wissenschaftlich begann man erst Mitte des 19. Jahrhunderts die Ionenaustauschvorgänge zu untersuchen. 1850 beobachteten die englischen Chemiker Thompson und Way nach der Behandlung von Bodenproben mit Ammoniumsalzen, dass Calcium- und Magnesiumionen in manchen Böden gegen Kalium- und Ammoniumionen ausgetauscht werden können. Die Reversibilität und Stöchiometrie des Ionenaustausches wird 1858 von Eichhorn an Tonmaterialien und 1876 von Lemberg an Aluminiumsilicaten beobachtet und beschrieben.

Die erste synthetische ionenaustauschfähige Substanz auf Aluminiumsilicatbasis erzeugten 1903 Harms und Rümpler. Bahnbrechend für die industrielle Produktion und die technische Verwendung waren die Arbeiten von Gans 1905. Von ihm stammt das erste fabrikmäßig hergestellte, für technische Zwecke verwendete Ionenaustauscherpräparat: Es war das Natriumpermutit, das durch Verschmelzen von Tonmineralien und Alkalien erzeugt wurde.

In die chemische Analyse führten Folin und Bell 1917 die Ionenaustauscher ein. Sie isolierten Ammoniak aus Urin mit Hilfe von synthetischen Zeolithen. Die Probe schüttelten sie zusammen mit Zeolithen, an denen die Ammoniumionen gebunden und so von den störenden Aminosäuren getrennt wurden. Die Ammonium-

Geschichte des Ionenaustausches (mit Nennung der chromatographischen Trennung 1906) sowie der Ionenchromatographie (nach „Praktikum der Ionenchromatographie“, Metrohm, Herisau, Schweiz, 2001).

um 1850	Ackerböden als Ionenaustauscher für $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ und $NH_4^+$	Thomson u. Way
1906	Chromatographische Trennung von Chlorophyll	M. Tswett
1935	Sulfonierte und aminierte Kondensationspolymere (Phenol/Formaldehyd)	Adams, Holmes
1942	Sulfonierte PS/DVB-Harze als Kationenaustauscher (Manhattan-Projekt)	d'Alelio
1947	Aminierte PS/DVB-Harze als Anionenaustauscher	McBurney
1949	Anwendungen in Biochemie und Atomtechnik	W. E. Cohn
1951	Einführung in die Aminosäureanalytik	S. Moore, W. H. Stein
1953	Ionenausschlusschromatographie	Wheaton, Baumann
1957	Makroporöse Ionenaustauscher	Corte, Meyer, Kunin u.a.
1959	Grundlagen für das theoretische Verständnis	Helfferich
1967-70	Pellikulare Ionenaustauscher	Horvath, Kirkland
1975	Ionenaustauschchromatographie mit Leitfähigkeitsdetektion mittels Suppressor	Small, Stevens, Baumann
1979	Leitfähigkeitsdetektion ohne Suppressor	Gjerde, Fritz, Schmuckler
1976-80	Ionenpaarchromatographie	Waters, Bidlingmeier, Horvath u.a.



ionen wurden anschließend mit Natriumhydroxidlösung vom Austauscher heruntergelöst und nach Zusatz von Nessler-Lösung kolorimetrisch bestimmt. Die für die quantitative Analyse bedeutende Säulentechnik führte zuerst Whitehorn 1923 ein, der aus biologischen Flüssigkeiten Amine mit Hilfe der Ionenaustauschersäule abtrennte.

Nach den Beobachtungen von Ionenaustauschvorgängen im Boden und an einzelnen anorganischen Materialien beginnt die analytische Anwendung in Säulen mit der ersten Synthese eines organischen Austauschermaterials durch Adams und Holmes 1935. Durch die Kondensation von Phenolsulfonsäuren mit Formaldehyd erhalten sie Ionenaustauschmaterialien, die im Gegensatz zu den bereits bekannten anorganischen Ionenaustauschern auf Zeolith-Basis aus wässrigen Lösungen nicht nur Metallionen, sondern auch Wasserstoffionen austauschen können. Als Anionenaustauscher werden Kondensationsprodukte aus Polyaminen mit Formaldehyd hergestellt.

### Was Atombomben mit Ionenchromatographie zu tun haben

Etwa 1935 bis 1950 erweiterten die Anstrengungen zum Bau der ersten Atombombe – das Manhattan-Projekt – erheblich das Wissen um Ionenaustauscher und deren Anwendungen. 1963 nannte die Amerikanische Chemische Gesellschaft (ACS) Waldo E. Cohn „Pionier der Ionenaustausch-Chromatographie“, und zwar wegen seiner Entwicklungen in zwei unterschiedlichen Arbeitsfeldern. Zum einen erforschte er entsprechende Prozesse für die Trennung der Seltenen Erden wie auch von Kernspaltungsprodukten – eben die, die man für das Manhattan-Projekt benötigte. Bei der Plutoniumproduktion aus Uran-Spaltprodukten in Kernreaktoren müssen diese Produkte getrennt werden.

Das machte Cohn erstmals mit der Ionen-Austauschchromatogra-

phie. Außerdem führte er aber auch erste Trennungen von Nukleinsäuren mit Hilfe der Ionenchromatographie durch.

Die erste Monographie zum Thema Ionenaustauscher erscheint 1951 von O. Samuelson, Göteborg. In den sechziger und siebziger Jahren werden eine Reihe spezieller Ionenaustauscher synthetisiert, die über chelatbildende Gruppen verfügen (auch auf Cellulosebasis), bereits in den fünfziger Jahren werden Ionenaustauschpapiere (M. Lederer) hergestellt und erfolgreich eingesetzt. Ionenaustauschmaterialien haben sich heute auch für DC-Trennungen auf Fertigplatten bewährt.

Nach der zunächst überwiegenden Anwendung in der anorganischen Analytik wird 1949 die Ionenaustausch-Chromatographie von Waldo E. Cohn in der Biochemie und 1951 von S. Moore und W. H. Stein mit großem Erfolg in die Aminosäureanalytik eingeführt. Die damit beginnende Entwicklung im Bereich der Chemie und Biochemie von Aminosäuren, Proteinen und Peptiden ist mit auf die erfolgreiche Anwendung dieser Methode zurückzuführen.

1975 beschrieben Small, Stevens und Bauman ein neues Verfahren zur Ionenaustausch-Chromatographie mit Leitfähigkeits-Detektion als „novel ion exchange chromatography“. Seitdem hat sich die Ionenchromatographie als Flüssigkeits-Chromatographie in Wasser dissozierbarer anorganischer und organischer Verbindungen zu einer breit anwendbaren und für die Anionenanalytik sogar zur wichtigsten Methodik entwickelt.

Bis 1975 standen zur Anionenanalytik nur die meist zeitaufwendigen Einzel-Bestimmungsmethoden Gravimetrie (zum Beispiel Sulfat), Photometrie (Nitrat, Phosphat) und Titrimetrie (Chlorid) für die Routineanalytik zur Verfügung. Das Neuartige an dem Verfahren von 1975 war eine chemische Suppression des



Nachbildung der Plutoniumbombe „Fat Man“, die über Nagasaki explodierte. Zur Trennung von Spaltprodukten in Atomreaktoren, unter denen sich bei geeigneten Bedingungen auch Plutonium befinden kann, setzte der US-Chemiker W. Cohn auf Ionenaustausch-Chromatographie (Foto: National Museum of Naval Aviation, Florida).

Eluenten, wodurch eine (online-) Leitfähigkeits-Detektion der getrennten Anionen in wenigen Minuten möglich wurde. Die chemische Suppression, das heißt die Neutralisation des Eluenten mittels einer Suppressor-Säule (Zweisäulensystem) oder eines Hohlfasermembran-Suppressors (seit 1981) ermöglicht die empfindliche Detektion der am Anionenaustauscher getrennten Anionen als Säuren, als Summe der Leitfähigkeiten der dissoziierten Säuren. 1985 wurde ein Mikromembran- und 1992 auch ein elektrochemischer Suppressor (mit der Elektrolyse von Wasser zur Regenerierung von Säure beziehungsweise Base) eingeführt. MB/RK

### Serie „Moderne Ionenanalytik“

Die CLB wird im kommenden Jahr Methoden der modernen Ionenanalytik vorstellen: Ionenchromatographie, Voltammetrie, Titration und pH-Bestimmung. Im CLB-Memory werden dazu geschichtliche Entwicklungen, Grundlagen sowie aktuelle Versuche der Methoden mit moderner Technik dargestellt. Die Redaktion wird dabei von der Deutschen Metrohm in Filderstadt unterstützt. In den folgenden Ausgaben beschreiben wir Grundlagen der Ionenchromatographie, Versuche zur Theorie sowie Beispiele für Anwendungen der Ionenchromatographie.

## Notfallchemie:

## Quacksalber und Quecksilber

Günter Sorbe, Hürth

**A**ls am Dienstag, 29. Oktober 2002, auf dem Schulhof der Geschwister-Scholl-Realschule in einer Stadt mit dem Autokennzeichen „BM“ eine größere Menge Quecksilber entdeckt wurde, hatten die lokalen Einsatzkräfte wieder einmal einen Auftritt, der in der Lokalpresse einen halbseitigen Bericht mit Bild zur Folge hatte. Die Art und Weise der Berichterstattung beziehungsweise der Umgang mit dem aufgefundenen Quecksilber hat deshalb den Autor zu dem Titel „Quacksalber (= Kurpfuscher) und Quecksilber“ veranlasst.

Mit der Schlagzeile: „Quecksilber auf dem Schulhof löst Alarm aus; 40 Schüler kamen mit giftiger Chemikalie in Berührung“ wurde das Auffinden von ca. zwei bis drei Kilogramm Quecksilber kommentiert. Feuerwehren aus Oberaußem, Bergheim und Thorr, die für den Gefahrguteinsatz ausgerüstet sind, waren vor Ort. Eine Spezialfirma zur Entsorgung wurde gerufen. Doch wie kam das Quecksilber dahin? Nach einigen Tagen las man in der gleichen Zeitung, dass der Chemieunfall laut Polizei von drei Realschülern im Alter von 15 und 16 Jahren verursacht wurde. Sie hatten die Flasche mit dem Quecksilber aus dem schuleigenen Physiksaal gestohlen. Als die Schüler die Flasche auf dem Pausenhof genauer unter die Lupe nehmen wollten, fiel diese zu Boden und das Quecksilber lief aus. Die leere Flasche fand man später im Gebüsch.

Doch wie lief der „Gefahrguteinsatz“ der Einsatzkräfte ab? Wie ist der Umgang mit Quecksilber in dieser Gefahrenlage zu bewerten?

## Quecksilber in der Schule

Der Einsatzleiter beziehungsweise die Feuerwehr waren davon ausge-

gangen, dass es an dieser Schule kein Quecksilber mehr gebe. Wer hat das nachgeprüft? Wie ist die Verantwortung der Schulleitung zu bewerten, die offensichtlich keine aktualisierte Liste der in den Schulräumen vorhandenen Chemikalien vorweisen konnte? Falls das Quecksilber aus dem Physiksaal stammte, wie wurde es aufbewahrt beziehungsweise unter Verschluss gehalten? Wer war dafür verantwortlich? Keine Antwort.

## Entsorgung des Quecksilbers

Hierzu wird berichtet: Sechs Liter Eiweiß zum Abbinden hatten die Einsatzfahrzeuge mitgebracht. Der unebene Boden erschwerte jedoch die restlose Aufnahme der giftigen Chemikalie. Deshalb musste eine Spezialfirma gerufen werden. Mit Schwefelsäure und unter Atemschutz in einem Spezialanzug entfernte H.-W. M. von der RWE Umwelt AG das Quecksilber. Auf dem Foto ist eine Person mit Schutzanzug und Atemmaske zu sehen, die mit einem Kehrblech offensichtlich das auf einer kreisrunden Fläche mit ca. einem Meter Durchmesser ausgebreitete Quecksilber in Kunststoffbehälter füllt. Der äußere Rand zeigt ein weißliches Pulver.

Was sagt der Römpp (10. Auflage, S. 3678 ff) dazu? In luftfreier Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure löst sich Hg nicht auf, weil es wie die Edelmetalle in der Spannungsreihe unterhalb von Wasserstoff steht. Hg löst sich in oxidierenden Säuren (Königswasser, Salpetersäure usw.) und konzentrierter heißer Schwefelsäure. Wegen der Gefährlichkeit von Hg-Dämpfen ist es besonders wichtig, auch kleinste Mengen an Hg so schnell wie möglich unschädlich zu machen. Hat sich das verschüttete Hg sehr fein verteilt, so kann man sich behelfen durch Aufstreuen Hg-bindender

Stoffe wie Mercurisorb (Handelsprodukt), Schwefel-Pulver, Zink-Staub zusammen mit Kupfersulfat, Kupfer-Pulver, Iod-Kohle, frischen Zink- und Messing-Feilspänen, durch Aufsaugen mit speziellen Vakuumpipetten oder mit PU-Schaumstoffen oder auch durch Aufbringen von Trockeneis oder Aufnehmen mittels Klebestreifen. Soweit der Römpp.

Damit ist auch das Bild erklärt, denn der „Entsorger“ hat offensichtlich Schwefel-Pulver um das Quecksilber geschüttet, um es mit einem Kehrblech über das Quecksilber zu verteilen. So kann das Quecksilber aufgenommen und entsorgt werden. Die Schwefelsäure ist also eine Zeitungssente der Reporterin.

## Giftigkeit beziehungsweise Gefährlichkeit von Quecksilber

In diesem Fall hätten rund 40 Schüler in der Pause die hochgiftige Chemikalie berührt. Dabei seien die meisten Schüler aber nur mit den Schuhen mit dem Quecksilber in Kontakt gekommen. Die Wahrscheinlichkeit, dass eines der Kinder die giftigen Dämpfe eingeatmet hätte, stuft der Abschnittsleiter als gering ein, da das Quecksilber schwerer als Luft sei.

Während metallisches Quecksilber nicht giftig ist, denn metallisches Quecksilber ist nach peroraler Aufnahme praktisch nicht resorbierbar, geht die Gefahr beim Menschen vor allem von Hg-Dämpfen aus. Hg-Dampf wird in der Lunge zu etwa 80 Prozent resorbiert, wovon wiederum 80 Prozent direkt ins Blut übergehen. Hier überwindet das elementare Hg die Blut-Hirn-Schranke und wirkt als Zell- und Protoplasma-gift, das in Leber, Nieren, Milz und Gehirn gespeichert und nur langsam wieder über Nieren, Darm, Speichel- und Schweißdrüsen eliminiert wird. Typische

Hg-Vergiftungserscheinungen werden deshalb von langjährigen Expositionen gegenüber kleinsten Hg-Dampfmengen ausgelöst.

Ein Notarzt untersuchte die Schüler vor Ort und teilte mit, dass keine akute Gefahr bestehe, allerdings müssten die Schüler auf Spätfolgen achten. Zur Information erhielten sie ein Einsatzprotokoll. In der Schule mussten sie sich nur die Hände waschen. Also keine akuten Vergiftungsanzeichen, was nach dieser relativ kurzen Kontaktzeit auch nicht zu erwarten war.

Aber wie gemeldet, „seien die meisten Schüler nur mit den Schuhen mit dem Quecksilber in Kontakt gekommen“. Also muss davon ausgegangen werden, dass Quecksilber vom Schuhwerk aufgenommen und in den Privatbereich transportiert worden ist. Aus Sicherheitsgründen hätte vor Ort angeordnet werden müssen, kontaminiertes Schuhwerk ausziehen und als Sonderabfall zu entsorgen.

Wie insgesamt die Gefährdung von Quecksilber zu bewerten ist,

zeigen die Daten im Kasten. Daraus geht hervor, dass schon bei niedrigen Raumtemperaturen ausreichende Mengen an Hg-Dampf entstehen, um in geschlossenen Räumen längerfristig chronische Schäden hervorzurufen. Diese Gefahr war auf dem Schulhof jedoch nicht gegeben, ergibt sich aber aus dem durch das am Schuhwerk haftende Hg, deren Menge keiner kennt.

Eine ständige Quelle und latente Gefahr für chronische Vergiftungen sind dagegen die Hg-Mengen, die von nicht beseitigten Hg-Mengen zum Beispiel von zerbrochenen Hg-Thermometern in Haushalt, Krankenhaus und Labor ausgehen, wenn diese nicht restlos aufgenommen werden. Von Zahnärzten sind chronische Vergiftungserscheinungen bekannt, vor allem am ZNS-System. Sie basieren auf langfristigem und nicht ordnungsgemäßem Umgang mit Hg bei der Amalgam-Herstellung. Weitere Beispiele chronischer Hg-Vergiftungen sind: Vergoldung mit Goldamalgam und die Spiegelherstellung.



Quecksilberdämpfe, die nach dem Zerbrechen von Hg-Thermometern durch unzureichende Reinigung entstehen, sind eine latente Gefahr für chronische Vergiftungen.

## Quecksilber

Quecksilber hat eine **Dichte** von  $13,55 \text{ g/cm}^3$  bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Für Hg-Dampf beträgt die **relative Gasdichte** (Luft = 1) 6,93. Hg-Dampf ist geruch- und geschmacklos!

**Sättigungskonzentration** bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $0,013 \text{ g/cm}^3$  und bei  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $0,030 \text{ g/cm}^3$

**Arbeitsschutz: MAK-Wert:**  $0,1 \text{ mg/m}^3$ ; Spitzenbegrenzung/Überschreitungsfaktor: 4

**Schnellnachweis:** Dräger-Röhrchen für Quecksilberdampf mit einem Messbereich von  $0,05$  bis  $2 \text{ mg/m}^3$

**Gefahrstoffverordnung: Gefahrensymbole:** **T** = Giftig, **N** = Umweltgefährlich

**R-Sätze:**

**R 23** Giftig beim Einatmen (Anmerkung: Trifft nur für Hg-Dampf zu)

**R 33** Gefahr kumulativer Wirkungen

**R 50/43** Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

**S-Sätze:**

**S (1/2)** Unter Verschluss und für Kinder unzugänglich aufbewahren

**S 7** Behälter dicht geschlossen halten

**S 45** Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen

**S 60** Dieses Produkt und sein Behälter sind als gefährlicher Abfall zu entsorgen

**S 61** Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen / Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen

## CIC vergibt FIZ Chemie Berlin-Preise 2002

## Chemo-Informatik: Eigenständiges Fach

Anthony R. Flambard, Berlin

**Z**um zweiten Mal vergab die Fachgruppe „Chemie-Information-Computer“ (CIC) in der Gesellschaft Deutscher Chemiker die vom Fachinformationszentrum Chemie gestifteten Preise für hervorragende Dissertationen und Diplomarbeiten zur Chemo-Informatik. Sie gingen in diesem Jahr an die Chemieinformationsforscher Dr. Matthias Keil und Frauke Meyer.

Beide preisgekrönten Arbeiten stellen Methoden zur Berechnung des Verhaltens von Molekülen in bestimmten Umgebungen bereit. Keil erhält den Preis für seine Dissertation zur „Modellierung und Vorhersage von Strukturen biomolekularer Assoziate auf der Basis von statistischen Datenbankanalysen“. Meyer gewann mit ihrer Diplomarbeit „Calculation of Binding Free Energies including Protein Flexibility“, in der sie sich mit einer neuen Methode zur Berechnung der freien Bindungsenergie von Molekülen beschäftigt.

„Neben der Würdigung der herausragenden Leistungen der Preisträger soll mit dem Preis vor allem

auch die Bedeutung der Chemo-Informatik als eigenständiges Fach hervorgehoben werden“, erläutert Professor Dr. Dieter Ziessow, Sprecher der CIC-Fachgruppe. Ziessow berichtet, dass bereits seit mehreren Jahren intensive Bemühungen stattfinden, der Chemo-Informatik eine eigene Ausprägung als Lehrfach zu geben.

Mit ihren Untersuchungen wollte **Frauke Meyer** ein besseres Verständnis für die Frage schaffen, warum eine geringe Veränderung der Gestalt oder der elektrostatischen Eigenschaften eines Moleküls plötzlich eine sehr starke Bindung an ein Protein herbeiführen kann.

Meyer bezog in ihre Methode auch die quantenmechanische Behandlung des Liganden ein, was eine Anwendung der Methode auf Quanteneffekte involvierende Protein-Ligand-Interaktionen erlaubt. Die größte Herausforderung bei der Diplomarbeit war für die junge Chemikerin die Zusammenführung der verschiedenen Me-

thoden und Programme, die auf ganz unterschiedlichen Modellen zur Beschreibung von Makromolekülen beruhen (z.B. Modellen aus der Quantenmechanik, der Molekularmechanik, der Kontinuumslektrostatik oder der statistischen Thermodynamik), in eine Methode, die trotz dieser Vielfalt konsistent ist.

In seiner preisgekrönten Doktorarbeit erstellte **Matthias Keil** Regeln zur Vorhersage von Strukturen von komplexen biologischen Makromolekülen auf der Basis sowohl experimentell bestimmter Strukturen als auch berechenbarer molekularer Größen. Die von ihm vorgelegte Lösung bewerteten alle drei Gutachtern im Dissertationsverfahren mit der Note „Auszeichnung“. Keil's Methode besteht aus vielen einzelnen Programmen. Die Verknüpfung dieser Programme zu einer funktionierenden Einheit sowie das Management der riesigen Datenmengen der Molekularbiologie bezeichnet der junge Forscher als die größten Probleme seiner Doktorarbeit.



## Ambivalenz von Drogen zwischen Heilen und Zerstören

## Verharmlosung ist gefährlich

Marc Dressler, Aalen

**B**is ins 19. Jahrhundert hinein wurden Drogen nur in exklusiven Kreisen mit dem Status einer Priesterkaste außerhalb therapeutischer Zwecke eingenommen. Der Drogenkonsum beschränkte sich damals noch dazu auf ganz spezielle, meist festlich-religiöse Anlässe.

Für den verhaltenen Konsum von Drogen spricht auch, dass deren Entzugserscheinungen erst

nach fast 6000 Jahren medizinisch diagnostiziert wurden. Erst mit der Industrialisierung nahm der Drogenkonsum bis zur Willkür gesteigert zu. Aus dem Ritual wurde Spaß – mit den bekannten verheerenden Folgen. „Wahrscheinlich wäre Heroin heute noch ein Medikament, wenn nicht irgendjemand auf die Idee gekommen wäre, es sich intravenös zu spritzen“, wies Dr. Manfred Metzulat in einem Vortrag an der FH Aalen auf die Ambivalenz der heilenden und

zerstörerischen Wirkung von Drogen hin.

Das aus angeritztem Schlafmohn gewonnene Rohopium ist die am frühesten dokumentierte Droge in der Geschichte. Bereits 4000 v. Chr. wurde es als Mittel gegen Husten, Durchfall und körperliche Schmerzen verabreicht. Erst im 16. Jahrhundert beschrieb der englische Arzt John Jones die Nebenwirkungen bei der Einnahme von Opium, die sich in weiteren Schmerzen und Depressionen

äußern. Im Jahr 1803 extrahierte Friedrich Sertürner aus dem Opium das Alkaloid Morphin. 72 Jahre darauf wurde dann erstmals das Morphinderivat Heroin synthetisiert, das 1898 als Medikament gegen Husten weltweit eingeführt wurde.

Das gilt auch für Kokain. Im Gegensatz zu den stimmungsdämpfenden Opiaten wirkt es stimulierend. Seine Einnahme lässt sich in Südamerika auf das Jahr 3000 v. Chr. zurückdatieren. Im Zuge der Kolonialisierung verabreichten die Besatzer den Eingeborenen dann erstmals regelmäßig große Mengen an Kokain, um sie für ihre Sklavendienste zu größerer Leistung anzutreiben. Auf diese Weise wurde ein Volk binnen kürzester Zeit in eine vernichtende Abhängigkeit von einer Droge gebracht, mit der sie Jahrtausende annähernd problemlos gelebt hatten, und die sie neben ihrer berausenden Wirkung auch zu

medizinischen Zwecken eingesetzt haben dürften. Auf dem Kontinent verwendete erst William Halsted 1884 Kokain als Lokalanästhetikum, nachdem 22 Jahre zuvor Wilhelm Lossen dessen Struktur chemisch aufklären konnte.

Das wesentliche Problem am Drogenkonsum ist der Gewöhnungseffekt: Die Leber passt sich der erhöhten Drogenkonzentration im Blut an und steigert ihren Entgiftungsumsatz, der auch dann noch bestehen bleibt, wenn keine Wirkstoffe von Drogen nachgeliefert werden. Daraus ergibt sich das psychische Bedürfnis nach weiterem Drogenkonsum, was einen verhängnisvollen Teufelskreis aus Verlangen und Verderben auslöst. Nicht erst seit 1973 die Opiatrezeptoren im Gehirn nachgewiesen wurden ist bekannt, dass die Einnahme von Drogen Nervenzellen in großer Zahl zerstört.

Das gesamte Ausmaß an Auswirkungen von Partydrogen ist

noch nicht bekannt. Dazu sind die synthetischen Stoffe noch zu jung. Im Jahr 1943 synthetisierte Albert Hoffmann LSD und andere psychedelische Drogen, die er in vielbeachteten Selbstversuchen ausprobierte und ihre Wirkungen minutiös niederschrieb.

17 Jahre später erfand Alexander Shelgin aus einer Ephedrinabwandlung die Ecstasytablette. Dieses euphorisierende und appetitzügelnde Produkt war jeglicher religiösen und medizinischen Funktion entkleidet und diente allein dem vermeintlichen Spaßfaktor. Die Nebenwirkungen wie Unruhe und Gereiztheit werden von den Konsumenten nicht selten mit dämpfenden Opiaten kompensiert. „Wer einmal in einem dieser Teufelskreise steckt, muss psychisch schon sehr stark sein, um wieder herauszugelangen“, warnte Metzulat seine Zuhörer vor einer Verharmlosung der Drogenproblematik.

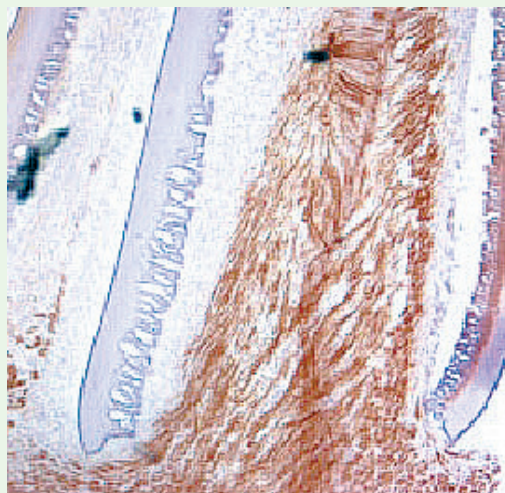
### Zu CLB 9/2002, Seite M70:

#### Mit Chitosan als Schiene wachsen Nerven wieder zusammen

Berliner Forscher haben eine Nervenschiene entwickelt, mit der durchtrennte periphere Nerven etwa nach einem Unfall sofort zusammengeführt werden können. Die verletzten Nerven wachsen darin problemlos wieder zusammen. „Ein durchtrennter Nerv sproßt normalerweise wieder aus. Nach Läsionen wachsen aber im Gewebe Fibroblasten schneller als Nervenzellen und blockieren den sprossenden Enden den Weg.“, hat Dr. Andrea Pahmeier vom Unternehmen Alvito Biotechnologie GmbH aus Kleinmachnow bei Berlin berichtet. Lähmungen sind die Folge. Bisher habe man versucht, die Enden des durchtrennten Nervs mit einem Silikonröhrchen

zu verbinden. „Die starren Röhren sind aber entweder zu eng für traumatisierte angeschwollene Nerven, die keinen Druck vertragen können, oder zu weit, so

dass umgebendes Gewebe in das Rohr hineinwuchert und den Nervenenden erneut den Weg versperrt“, so Pahmeier.



Distale Ansatzstelle eines regenerierten Ratten-Ischias-Nervs mit der Nervenschiene (blau; F: alvito-biotech).

Einen Ausweg bietet jetzt die neue Nervenschiene. Sie besteht aus Chitosan, einem Abkömmling von Chitin aus Insektenpanzern (siehe dazu die Informationen von CLB 9/2002, Seite M70). Das Material ist proteinfrei und ruft daher im Körper keine Abstoßungsreaktionen hervor; es wird nach acht Wochen im Gewebe abgebaut.

Die Schiene ähnelt einem Streifen Cellophan-Papier. Der Wickel verbindet die Nervenenden und wird mit Fibrinkleber fixiert.

Zwischen den durchtrennten Enden wächst dann der Nerv durch den Tunnel der künstlichen Scheidewand zusammen.

## Der Blitzableiter feiert den 250. Geburtstag

# Man befürchtete früher, er lockt Blitze an

Gerhard Harms, Oldenburg

**I**m November hat es – zumindest virtuell – geblitzt und gefunkt in Minneapolis, USA. Der Oldenburger Physiker und Wissenschaftshistoriker Dr. Peter Heering war daran nicht ganz unschuldig, hatte er doch gemeinsam mit Kollegen aus Österreich und den USA eine Tagung am „Bakken Library and Museum of Electricity in Life“ zur Geschichte und kulturellen Bedeutung des Blitzableiters organisiert. Anlass des wissenschaftlichen Treffens war das 250-jährige Jubiläum der Experimente, die seinerzeit die elektrische Natur von Blitzen nachwiesen und so zur Entwicklung der Blitzableiter führten.

Nach einer „zündenden“ Idee des Amerikaners Benjamin Franklin gelang es 1752 in der Nähe von Paris aus einer aufgestellten Metallstange bei einem aufkommenden Gewitter

einige Funken zu ziehen. Die Nachricht verbreitete sich bei den europäischen Wissenschaftlern in Windeseile, handelte es sich doch um den ersten Nachweis der elektrischen Natur von Gewittern. Dies war seit Beginn des 18. Jahrhunderts lediglich vermutet worden.

Franklins Überlegungen gingen aber noch einen Schritt weiter: Wenn Gewitter elektrische Erscheinungen sind, dann sollte eine entsprechend aufgestellte Metallstange auch in der Lage sein, einen Blitz ohne Schäden in die Erde abzuleiten. Ein reizvoller Gedanke, wo doch Gewitter Mitte des 18. Jahrhunderts eine permanente Gefährdung vor allem für Kirchtürme und Pulvermagazine darstellten.

Durchsetzen konnten sich die postulierten Blitzableiter zunächst jedoch nicht. Die Naturforscher blieben skeptisch, religiöse Gründe spielten dabei aber kaum eine Rolle, obwohl Blitze als göttliches Strafgericht galten, das der Mensch nicht verhindern dürfe. Wesentlich bedeutsamer war die Frage, ob die Metallstangen überhaupt in der Lage seien, die enormen Mengen Elektrizität eines Blitzes gefahrlos in die Erde abzuleiten. Laborexperimente mit Modellhäusern und elektrischen Funken waren zwar erfolgreich, die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf das Naturphänomen jedoch heftig umstritten.

Kritiker hatten vor allem die Befürchtung, dass die Ableiter Blitze regelrecht anlocken könnten, die dann entweder nicht abgeleitet oder aber in der Nachbarschaft einschlagen würden. So gab es beispielsweise 1780 einen Prozess in Frankreich, in dem Nachbarn gegen die Errichtung eines Blitzableiters vorgehen und zumindest vorübergehend erreichten, dass der Ableiter entfernt wurde. Die eigentlich entscheidende Frage in dem Rechtsstreit aber war, wer denn letztlich das Funktionieren und das Gefährdungspotenzial eines Blitzab-

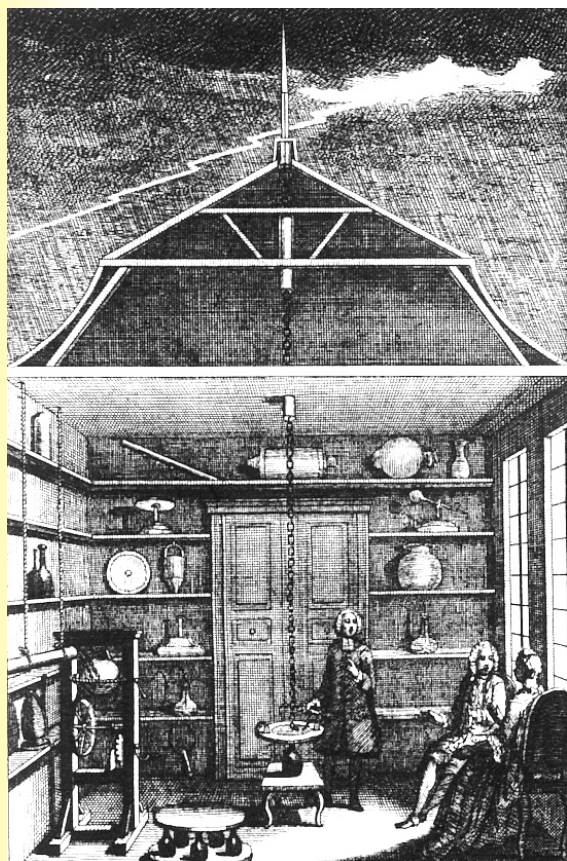
leiters zu beurteilen habe: Naturforscher oder Juristen.

Auch wenn das prinzipielle Funktionieren eines Blitzableiters bald darauf akzeptiert wurde, blieb die Frage nach der besten Ausführung lange offen: Welcher Bereich wird geschützt und wie viele Blitzableiter sind zum Schutz eines großen Gebäudes erforderlich? Welches Material ist für den Ableiter geeignet? Und vor allem: Wie sollte das Ende des Blitzableiters aussehen?

Franklins Vorschlag, die Metallstange mit einem spitzen Ende zu versehen, löste nach 1770 bei einigen englischen Wissenschaftlern starke Kritik aus. Sie favorisierten vielmehr eine Kugel als Abschluss. Der Streit eskalierte und Benjamin Wilson, stärkster Gegner der Franklin-Ableiter, sorgte dafür, dass 1778 dem englischen König im Pantheon Experimente mit verschiedenen Konstruktionen vorgeführt wurden. Der König sprach sich zwar gegen Franklins Ableiter aus – die Royal Society jedoch dafür. Letztere bezweifelte Wilsons Ergebnisse und propagierte weiterhin Ableiter mit Spitzen. Einer der Hintergründe dieser Auseinandersetzung ist vermutlich Franklins politische Betätigung: Er warb in Paris für den Aufstand der nordamerikanischen Kolonien gegen den englischen König.

Die Diskussionen um den „idealen“ Blitzableiter endeten keineswegs mit dem 18. Jahrhundert, sie verschoben sich lediglich. Wissenschaftliche Gesellschaften wurden immer wieder aufgefordert, Gutachten zum Blitzschutz abzugeben – vor allem bei militärischen Bauvorhaben. Gleichzeitig sorgte der technische Fortschritt wie etwa die Telegrafie dafür, dass neue Blitzschutz-Vorrichtungen entwickelt wurden. Auch die Frage, wer entsprechende Anlagen errichten darf, bewegte immer wieder die Gemüter, denn es bestand der Wunsch, bestimmte Ausführungen zu patentieren, um sich ein Handelsmonopol zu sichern.

Aus: Poncelet: La Nature dans la Formation du Tonnerre (Paris 1766). In diesem Werk sprach sich Poncelet dafür aus, die Aufstellung von Blitzableitern polizeilich verbieten zu lassen (Abb.: Bakken Library and Museum Minneapolis).



## Nanoröhren und Nanodrähte

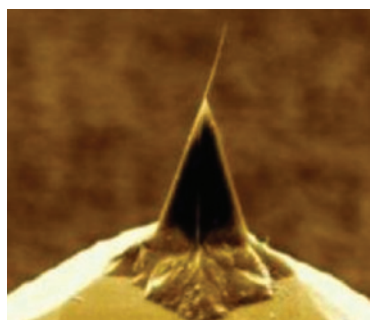
### Bald tonnenweise Produktion, aber Probleme mit Reinheit

**L**anggezogene Nanostrukturen machen Schlagzeilen, allen voran Kohlenstoffnanoröhren. Sie sollen sich sogar für ein Aufzugseil in den Welt- raum eignen... In einem frühen Forschungsstadium befinden sich anorganische Nanoröhren. Ebenso entwickelt man Nanodrähte, sowohl aus einem einzelnen Metall wie aus verschiedenen Schichten zusammengesetzt. Sie fanden bereits Anwendung als Sensorelement zur Erkennung von Prostatakrebs.

Kurz vor industriellem Einsatz stehen Kohlenstoffnanoröhren. Der japanische Elektronikkonzern NEC will Anfang 2004 mit der Massenproduktion solcher Röhren beginnen. NEC will zunächst jährlich etwa eine Tonne des Materials produzieren und diese für Elektroden von kompakten Brennstoffzellen für Handys oder Laptops einsetzen.

Das von Siemens ausgegründete Unternehmen Infineon hat angekündigt, man wolle Nanoröhren als Kontaktbrücken (Vias) zwischen zwei Metallschichten in integrierten Schaltungen verwenden. Die Infineon-Forscher veränderten die Parameter einer Chemical Vapor Deposition-Anlage so, dass sich mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren nur auf lithographisch vorbehandelten Wafer-Oberflächen

Kohlenstoffnanoröhre angebracht an einer Rasterkraftmikroskop-Kantileverspitze (REM-Aufnahme: ETH Zürich).



bildeten. Die Wissenschaftler züchteten Nanoröhren dann definiert an bestimmten Koordinaten auf einem 6-Zoll-Wafer.

Konventionelle metallische Vias tendieren dazu, sich bei größeren Stromdichten aufgrund der Hitzeentwicklung zu verformen und so die Funktionsfähigkeit des Chips zu beeinträchtigen; Kohlenstoffnanoröhren vertragen Stromdichten von bis zu  $10^{10}$  Ampere pro Quadratzentimeter. Zum Vergleich: Kupfer beginnt bei einer Stromdichte von etwa  $10^7$  Ampere pro Quadratzentimeter zu schmelzen.

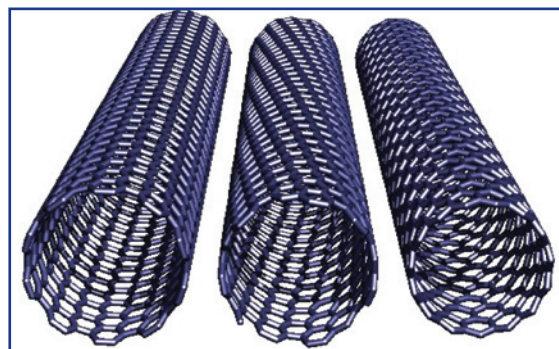
Im nächsten Schritt wäre es nach Auffassung der Infineon-Forscher denkbar, sämtliche metallischen Leiterbahnen im Chip durch Kohlenstoffnanoröhren zu ersetzen. Infineon Technologies rechnet allerdings frühestens 2005 mit dem Einsatz von Kohlenstoffnanoröhren in Chips.

#### Eigenschaften steuern

Das Entscheidende bei der Erforschung und Entwicklung von Nanoröhren und -drähten: Man hat jetzt gelernt, sie gezielt aufzubauen und damit die Eigenschaften zu steuern. Kohlenstoffnanoröhren können beispielsweise auch halbleitend sein oder chemisch funktionalisiert werden.

Durch diese gezielte Herstellung von Nanoröhren ergeben sich immer mehr Anwendungen. Nach Ausführungen von Prof. Dr. Andreas Hirsch von der Universität Erlangen auf einer BASF-Veranstaltung über Nanotechnik im Oktober in Mannheim ist es gelungen, ausgedehnte Ensembles von Nanoröhren als Field Emission Displays (FEDs) einzusetzen. Damit konnte eine neuartige Flachbildschirmtechnologie entwickelt werden, die bereits in Kürze Marktreife haben wird.

In der Rastersondenmikroskopie kann laut Hirsch eine signifikante



Verbesserung des Auflösungsvermögens erreicht werden, wenn Nanoröhren als dünne Sonden zum Einsatz kommen. Ein anderer sehr reizvoller Ansatz sei die Verwendung von Nanoröhren als elektronische Schaltelemente auf molekularer Ebene – ein lang gehegter Traum im Bereich der Halbleitertechnologie. Bereits 1998 ist es gelungen, den ersten Transistor aus einem einzigen halbleitenden Nanoröhren zu konstruieren. Kürzlich gelang dann der Aufbau von ersten logischen Schaltkreisen.

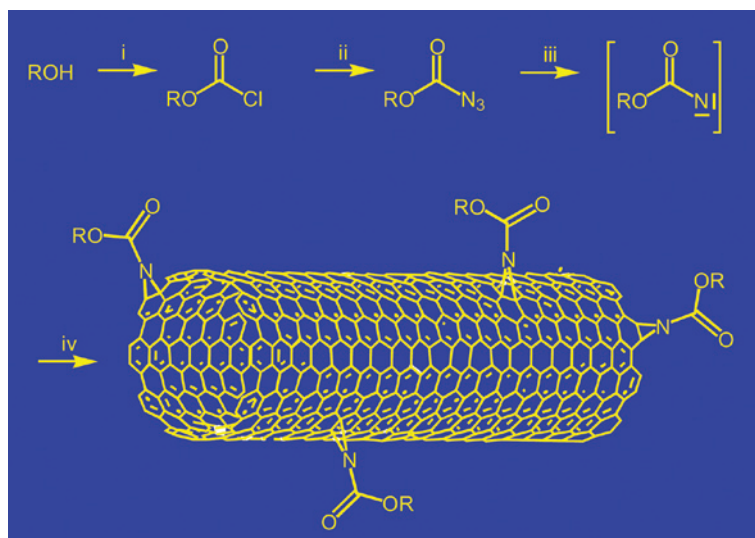
Um eine breite technologische Nutzbarkeit zu schaffen, müssen jedoch nach Erläuterungen des Wissenschaftlers noch viele Probleme gelöst werden. Beispielsweise stelle die Reinigung von Nanoröhren nach wie vor eine sehr schwierige

Idealisierte Darstellung verschiedener einwandiger Nanoröhren. Die linke (10,10)- und die rechte (15,0)-Röhre haben metallischen Charakter, die mittlere (12,7)-Röhre ist ein Halbleiter (Grafik: Univ. Erlangen).



Prof. Andreas Hirsch vor der Projektion mehrwandiger Nanoröhren (Foto: Kickuth).

Beispiel für Chemie mit SW-CNTs: Kovalente Seitenwandfunktionalisierung mit Nitrenen. So behandelte Nanoröhren sind in organischen Lösungsmitteln löslich (Grafik: Univ. Erlangen).



Aufgabe dar: „Für die Konstruktion von elektronischen Bauelementen benötigt man ausschließlich halbleitende Röhren. Diese können jedoch noch nicht von den metallischen Röhren getrennt werden. Selbst das vollständige Entfernen von Katalysatorpartikeln oder von amorphem Kohlenstoff, der bei der Synthese mit anfällt, ist noch nicht zufriedenstellend gelöst. Ein anderes Problem stellt die niedrige Löslichkeit der Röhren dar, was sich für eine geeignete Verarbeitung zu speziellen Nanomaterialien wie etwa einer gezielten Ausrichtung durch Selbstorganisation sehr nachteilig auswirkt“.

Um zur Lösung solcher Probleme zu kommen, ist es laut Hirsch erforderlich, nicht nur einzelne Moleküle, sondern große Ensembles aus möglichst reinen Nanoröhren zu manipulieren und mit analytischen Methoden zu untersuchen. Diese beiden Forderungen zu erfüllen, ist gegenwärtig eine große Herausforderung für Chemiker und Materialwissenschaftler, so der Wissenschaftler. Die chemische Funktionalisierung von Kohlenstoffnanoröhren bildet dabei einen besonders reizvollen Aspekt, da sie zu einer verbesserten Löslichkeit und Verarbeitbarkeit beitragen könnte. Ein weiterer Vorteil bei einer chemischen Funktionalisierung sei die Möglichkeit zur Kombination der einzigartigen Materialeigenschaften von einwandigen Nanoröhren (Single Wall

Nano Tubes, SWCNTs) mit denen anderer Stoffklassen.

### Synthese von Nanoröhren

Bei den Kohlenstoffnanoröhren unterscheidet man zwischen SWCNTs und mehrwandigen Nanoröhren

(MWCNTs). Für die Synthese von SWCNTs sind mehrere Methoden bekannt. Andreas Hirsch erläuterte: „Die erste Synthese erfolgte durch metallkatalysierte (z. B. Fe, Co, Ni) Lichtbogenbehandlung von Graphit. Alternative Verfahren sind zum Beispiel die Laserverdampfung von Graphit-Ni-Co-Mischungen oder Chemical-Vapor-Deposition-(CVD)-Techniken, bei denen als Kohlenstoffquellen unter anderem Acetylen, Metallocene,  $\text{Fe}(\text{CO})_5/\text{C}_2\text{H}_2$  oder Kohlenmonoxid (CO) verwendet werden. Mit einem speziellen Verfahren, bei dem CO als Kohlenstoffquelle verwendet wird, können sehr dünne Nanoröhren (HiPCO-Röhren) hergestellt werden. Gegenwärtig lassen sich mit solchen Verfahren Milligramm- bis Grammengen in wenigen Stunden gewinnen. Die Rohprodukte, die auf diese Weise entstehen, enthalten bis zu über

### Defekte an und Funktionalisierung von Kohlenstoffnanoröhren

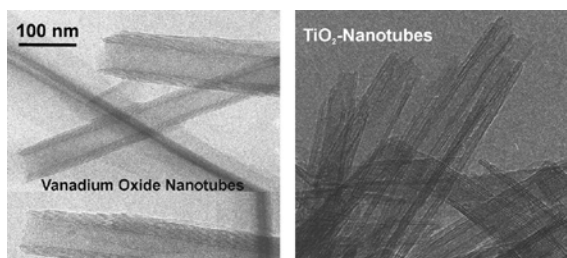
Manche Defekte innerhalb von SWCNTs, zum Beispiel der Einbau von Fünfringen oder Siebenringen in das Kohlenstoffgerüst, entstehen bereits bei der Bildung der Röhren. Bislang wurden noch nie intakte Endkappen gefunden, deren Krümmung wie bei den Fullerenen durch eingebaute Fünfringe gewährleistet wäre. Oft sind in den Rohmaterialien die offenen Enden der Röhren durch Katalysatorpartikel terminiert. Durch oxidative Aufarbeitung, zum Beispiel mit Salpetersäure, können die Katalysatorpartikel entfernt werden, und die Enden sind dann bevorzugt mit Carboxylgruppen abgesättigt. Unter solch drastischen Aufarbeitungsbedingungen können aber auch Defekte an den Seitenwänden gebildet werden. Es ist bekannt, dass dann auch hier Carboxylgruppen auftreten, was nur mit einem Aufbrechen des Röhrengerüsts erklärt werden kann.

Defekte in den SWCNTs sind direkt mit ihrer kovalenten Chemie verbunden, weil sie entweder als Ankergruppen für eine weitergehende Funktionalisierung dienen oder durch das kovalente Anbinden von Addenden erst erzeugt werden. Die bislang gesammelten Erkenntnisse weisen darauf hin, dass eine Nanoröhre eine begrenzte Anzahl von Defekten toleriert, ohne dabei ihre besonderen elektronischen und mechanischen Eigenschaften zu verlieren. Dies ist eine günstige Voraussetzung für die Entwicklung einer kovalenten Chemie von SWCNTs.

In der molekularen und supramolekularen Chemie von SWCNTs wurden inzwischen mehrere erfolgreiche Ansätze für deren Funktionalisierung entwickelt. Diese lassen sich in vier Gruppen zusammenfassen: a) Defektgruppenfunktionalisierung, b) kovalente Seitenwandfunktionalisierung (siehe Grafik oben), c) nicht-kovalente exohedrale Funktionalisierung (wie supramolekulare Adduktbildungen mit Tensiden und Polymeren), sowie d) endohedrale Funktionalisierung.

Weiterführende Quelle: A. Hirsch, *Angew. Chem.* 2002, 114, 1993-1939.





Beispiele anorganischer Nanoröhren, aufgenommen mit Transmissionselektronenmikroskopie (Abb.: R. Nesper, ETH Zürich).

70 Prozent SWCNTs. Die anderen Bestandteile sind im Wesentlichen amorpher Kohlenstoff und Katalysatorpartikel, welche zum Beispiel durch Behandlung mit oxidierenden Säuren, durch Mikrofiltration oder durch chromatographische Verfahren abgetrennt werden können.“

Hinsichtlich der Möglichkeit, Nanoröhren mit großer Homogenität zu erzeugen, äußerte sich der Wissenschaftler skeptisch: „Die Situation ist noch wesentlich komplizierter als bei anderen makromolekularen Systemen, weil die SWCNTs bevorzugt als unterschiedlich dicke Bündel aggregieren, die einzelnen Nanoröhren eine breite Längensverteilung aufweisen und die Durchmesser der Nanoröhren variieren. Zudem weisen die Nanoröhren eine Verteilung unterschiedlicher Helizität auf, und es können Defekte sowohl an den Röhrenden als auch an den Seitenwänden auftreten.“

Diese Vielfalt an Variationsmöglichkeiten mache bereits deutlich, welche Schwierigkeiten bei der strukturellen Charakterisierung der entsprechenden Stoffgemische auftreten. Eine Anreicherung bestimmter Strukturformen mit klassischen Trennverfahren werde deshalb nur in engen Grenzen möglich sein. Ein Beispiel hierfür sei die Längenselektion durch Zentrifugation. „Die spektroskopische Charakterisierung von Nanoröhrenderivaten, die durch nachträgliche Chemie entstanden sind, wird immer eine Mittelung über ein polydisperses Stoffgemisch darstellen. Bei hinreichender Ausdehnung der Röhren hängen deren elektronische Eigenschaften nicht

mehr von der Länge ab“, ergänzt Hirsch.

Für eine Analyse der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläuterte der Wissenschaftler daher den Einfluss der

Parameter Durchmesser, Helizität und Defekte. „Die elektronischen Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren hängen maßgeblich von Art und Maß des Aufrollens und damit von dem Durchmesser und der Helizität ab. Das Aufrollen einer 2-D-Graphitschicht zu einer quasi 1-D-Nanoröhre hat zur Folge, dass an Stelle eines Kontinuums elektronischer Zustandsdichten 1-D-Subbänder, die van-Hove-Singularitäten, entstehen. Nur in bestimmten Fällen, zum Beispiel bei (10,10)- oder (15,0)-Röhren liegt eine endliche Zustandsdichte am Fermi-Niveau und damit metallische Leitfähigkeit vor. In einer Probe von SWCNTs hat man es mit einer kontinuierlichen Verteilung von Röhren mit verschiedenen Aufrollvektoren zu tun.“

Die Durchmesser von SWCNTs liegen typischerweise im Bereich zwischen ein bis zwei Nanometer. Demgegenüber liegt der Durchmesser von HiPCO-Röhren bei 0,7 Nanometern.

### Anorganische Nanoröhren

Nanoröhren lassen sich auch mit anorganischen Stoffen erzeugen, wie Prof. Dr. François Diederich

## Verkauf

PE IR Spektrometer, PE AAS, PE UV-Vis Lambda 2, PE Gaschromatograph, HPLC Anlage/Module, Zubehör für IR und FTIR, AAS Zubehör, Laborgeräte wie Magnetrührer, Heizhauben u.a. CHIFFRE 1202463



vom 25. bis 27. März 2003



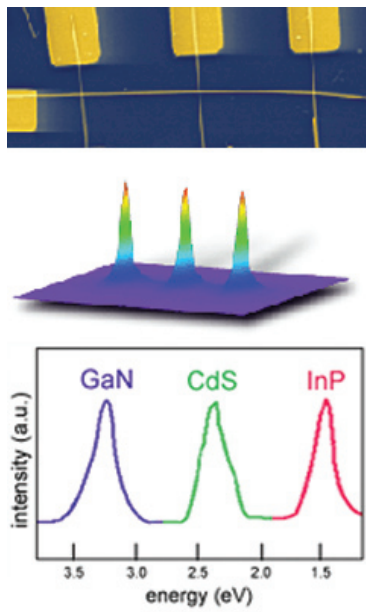
International Symposium  
on  
Instrumentalized Analytical Chemistry  
and  
Computer technology

Vorträge  
Poster  
Sondersymposien  
Zertifizierungskurse  
Praxiskurse  
Firmenseminare  
Industrierausstellung

Grösste internationale Tagung  
Instrumentelle Analytik  
Chemie und Life Sciences

[www.InCom-Symposium.de](http://www.InCom-Symposium.de)

Nanodrähte ermöglichen eine dreifarbige Leuchtdiode: Ein p-dotierter Silizium-Nanodraht kreuzt hier drei verschiedene n-dotierte Nanodrähte (GaN, CdS und InP). Legt man eine Spannung an den Siliziumdraht, emittieren die gekreuzten Drähte blaues, grünes und rotes Licht (Abb.: Nanosys).



von der ETH Zürich ebenfalls auf der Nanotechnik-Veranstaltung in Mannheim bemerkte. So ließen sich zahlreiche anorganische Verbindungen – beispielsweise Oxide oder Sulfide – unter bestimmten experimentellen Bedingungen, oftmals unter Unterstützung von Templaten, in Nanoröhren überführen. Da viele dieser Verbindungen sich durch hohe Stabilität sowie interessante optische und elektronische Eigenschaften auszeichneten, sei es nur eine Frage der Zeit, bevor sie als Einzelmaterialien, aber vor allem als Bestandteile von Nanocomposit-Materialien kommerzielle Anwendung fänden.

### Kekulé's Traum – ein molekulares Tanztheater

Zum „Jahr der Chemie“ erarbeiten der Chemiker Jürgen Brickmann und der Choreograph Robert Solomon ein Tanztheaterstück, bei dem atomare und molekulare Bewegungen und Reaktionen in eine Choreographie umgesetzt werden. Das Tanztheater besteht aus zwei gleichrangigen Komponenten: aus computergrafisch erzeugten molekularen Landschaften, die die Kulisse bilden, und tänzerischen Darstellungen der gleichen Prozesse. Das Tanztheater soll eine breite Öffentlichkeit ansprechen und Interesse an der Chemie wecken. Es wird mit 25 000 Euro vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft gefördert.

### Nanodrähte

Nanoröhren sind eine Form langgestreckter Nanostrukturen, Nanodrähte eine andere. Tatsächlich hat Hewlett Packard einen Chip entwickelt, der zur Datenspeicherung mit einem Zehntel des bisher nötigen Platzes auskommt. Der einmal beschreibbare 64-Bit-Speicher soll nur einen Quadratmikrometer Fläche belegen, berichtet die Nachrichtenagentur Bloomberg. Und in diesem Chip speichern die HP-Wissenschaftler die Daten mit Hilfe von je acht horizontal und vertikal geprägten Platindrähten, die nur 40 Nanometer breit sind. Zwischen den Drähten befinden sich unter anderem organische Moleküle, deren Leitfähigkeit sich bei Anlegen einer Spannung ändert.

Noch komplexere Drähte erzeugten jetzt Forscher um Charles M. Lieber von der Harvard University. Der von ihnen entwickelte Nanodraht besteht aus wechselnden Lagen verschiedener Materialien von Halbleitern. Er hat einen Durchmesser von ungefähr 50 Nanometern. Die verschiedenen Schichten lassen sich variieren und auf spezielle Eigenschaften hin züchten.

Die US-Wissenschaftler produzierten den Nanodraht mit CVD-Technik auf der Basis eines Gold-Nanoclusters, der als Katalysator wirkt. Die sich abscheidenden Stoffe organisieren sich im Nanomaßstab selbst. Dem Team gelang es, einen Nanodraht aus einem Germanium-Kern mit einer Siliziumhülle herzustellen, ebenso ein Dreischichtenmodell aus Silizium, Siliziumoxid und Germanium.

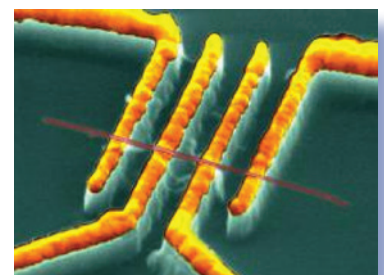
Die US-Firma Nanosys, die von Lieber gegründet wurde, lizenzierte die Technologie und entwickelte einen speziellen Mehrschicht-Nanodraht als Sensor für Prostatakrebs. Er detektiert das „prostata-spezifische Antigen“ (PSA), ein Eiweiß, das auf die Entstehung von Prostatakrebs hinweist. An dem Nanodraht befinden sich Antikörper,

die die Leitfähigkeit des Drahts ändern, wenn sich an ihnen PSAs binden. Diese Leitfähigkeitsänderung wird gemessen. Dauerte bislang die Auswertung eines entsprechenden Bluttests ein paar Tage, mit dem Nanodraht-Sensor erhält man das Ergebnis sofort. Zudem ist er viermal empfindlicher als bisherige Tests; fünf Picogramm PSA pro Milliliter Blut reichen aus. Das Messprinzip lässt sich wohl auch auf andere Stoffe anwenden. Ebenso sind Vielfach-Sensoren denkbar, die aus einem Bündel von Nanodrähten bestehen und ggf. als Implantat Signale aus dem Körper senden.

Bei diesen Perspektiven der Nanodrähte tritt der eingangs erwähnte „Raumfahrstuhl“ fast in den Hintergrund. Er soll je nach Ziel in einige hundert bis etliche tausend Kilometer Höhe fahren und sich dabei – von Lasern am Boden angetrieben – an einem Kabel in sieben Tagen nach oben hangeln. Ingenieure gehen davon aus, dass sich moderne Fasern aus hochfesten, aber extrem leichten Kohlenstoffnanoröhren für ein solches Kabel eignen. Es müsste an einem Objekt befestigt sein, das sich auf einer geostationären Umlaufbahn in 36 000 Kilometern Höhe befindet.

Die Weltraumagentur Nasa wie auch die amerikanische Fachgesellschaft der Ingenieure (American Society of Civil Engineers) haben Experten mit Machbarkeitsstudien beauftragt. Diese Form von Raumtransport soll billiger sein als Shuttle-Flüge... RK

Kohlenstoffnanoröhre auf vier Goldkontakte aufgebracht (REM-Aufnahme: ETH Zürich).



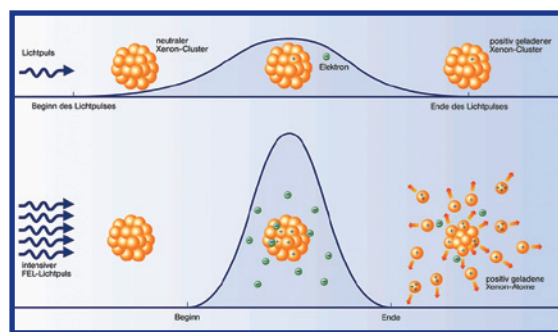
## Neuer „Freie-Elektronen-Laser“ Explosion von Xenon-Clustern

In einem ersten Experiment am Freie-Elektronen-Laser (FEL) beim Helmholtz-Forschungszentrum Desy (Deutsches Elektronen-Synchrotron) bestrahlte ein internationales Wissenschaftlerteam Xenon-Cluster mit intensivem Laserlicht. Es bildete sich ein Plasma, das anschließend quasi explodierte.

Die Forscher benutzen Edelgascluster als Modellsubstanzen, um grundlegende Vorgänge zu verstehen, die für die spätere Untersuchung von technologisch interessanten Werkstoffen oder medizinisch wichtigen Biomolekülen relevant sind. Der FEL bei Desy erzeugt intensives Laserlicht mit Wellenlängen unter 100 milli-

onstel Millimeter, dem Bereich der weichen Röntgenstrahlung. Das sind die kürzesten Wellenlängen, die je ein FEL erzeugt hat. Die Spitzenleistung des neuen Lasers ist tausendfach höher als die der besten bisherigen Quellen in diesem Bereich. Zudem ist ein Röntgenblitz des FEL nicht länger als 100 milliardstel Sekunden – das ist die Zeitdauer, in der sich chemische Bindungen ausbilden. Dies lässt sich somit direkt verfolgen.

Beim durchgeführten Experiment entstanden zum Teil mehrfach positiv geladene Atome, die wegen der gegenseitigen Abstoßung den Cluster förmlich „explodieren“ ließen. Die Details dieser Explosion verraten grundlegende Gesetzmäßigkeiten



der Wechselwirkung von intensiver Röntgenstrahlung mit Materie, die bisher noch nicht zugänglich waren. Ein noch leistungsfähigerer FEL mit Strahlung bis hinunter zu sechs Nanometern Wellenlänge wird ab 2004 zur Verfügung stehen. Er dient auch als Pilotanlage für den Tesla-Röntgenlaser (TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator), der noch kurzwelligere Strahlung im Bereich von 0,1 bis ein Nanometer erzeugen soll. RK

Wird Materie mit sehr intensivem Licht bestrahlt, laufen Prozesse ab, die bei Bestrahlung mit weniger Licht nicht auftreten (Abbildung: Desy).

## Terahertz-Wellen mit ungeahnten Anwendungen Spektroskopie, Astronomie, Mikroskopie, Sicherheit

Terahertz-Wellen ermöglichen neuartige spektroskopische Untersuchungen von Flüssigkeiten, etwa zur Bestimmung des Wasseranteils in Pflanzen und Biomaterialien. Aufgrund ihrer geringen Energie gestatten die bislang ungenutzten Wellen des elektromagnetischen Spektrums die schonende Mikroskopie von Biomaterialien. Neuartige Terahertz-Scanner durchdringen Kleidung, zeigen aber Metalle und Kunststoffe am Körper – und ihn selbst.

Als Terahertz-Wellen bezeichnet man elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von 0,3 Terahertz (THz) bis 30 THz ( $0,3 - 30 \times 10^{12}$  Hz). Dies entspricht Wellenlängen von einem Millimeter bis zehn Mikrometern; diese elektromagnetische Strahlung liegt also zwischen Mikrowellen und infrarotem Licht. Entsprechende Photonen sind zehn- bis eintausendfach schwächer als Lichtphotonen und ermöglichen daher eine sanfte Ver-

messung von Biomolekülen, ohne Bindungen zu brechen.

Terahertz-Wellen durchdringen Wolken, Pappe, Plastik, Textilien und sogar Beton; das macht sie für Personenkontrollen interessant, zumal der menschliche Körper selbst THz-Strahlung aussendet. Die britische Firma QinetiQ plc, ausgegliedert aus einer Militärforschungsorganisation, hat einen ersten Prototyp eines Scanners geschaffen, der diese Strahlung ausnutzt. Nach Firmenangaben soll es möglich sein, beispielsweise im Eingangsbereich von Flughäfen etwa 60 Personen pro Minute aus einer Entfernung von 30 Metern auf unter der Kleidung verborgene Waffen oder Sprengstoffe zu untersuchen.

Hat der QinetiQ-Detektor noch Ausmaße im Meterbereich, arbeitet die ebenfalls britische Star-Tiger-Gruppe an einer Art Digitalkamera mit Chipsensor für THz-Strahlung, die durch Sensibilisierung auf zwei verschiedene THz-Frequenzen besonders kon-

trastreiche Bilder ergeben soll. Noch leistungsfähiger wären aktive Systeme, die das Objekt mit THz-Strahlung „beleuchten“. Bislang mangelt es dafür an brauchbaren Strahlungsquellen.

### Karikatur...

Zunächst sollte den Bericht nur eine Karikatur auflockern (Grafik: Hans B. Ronsheimer).



## ...und Wirklichkeit:

Jetzt gibt es Abbildungen von Terahertz-Scannern. Sie werden probeweise an amerikanischen Flughäfen eingesetzt. Das Bild zeigt die Rückenansicht eines Mannes mit unter der Kleidung versteckter Pistole sowie Keramikmesser (Abbildung.: Rapisan).



Aber es tut sich etwas auf diesem Gebiet. Italienische Forscher konnten einen kompliziert aus Halbleiterschichten aufgebauten Laser entwickeln, der Strom direkt in THz-Strahlung umwandelt – allerdings bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt. Dafür soll das Gerät kleiner sein als ein Germanium-THz-Laser, den es an der Universität Bochum gibt.

Mit einer Terahertz-Quelle, bei der die Strahlung durch das Abbremsen von Elektronen in Teilchenbeschleunigern entsteht, ist es jetzt US-amerikanischen Forschern gelungen, eine Breitband-Terahertzstrahlung mit einer durchschnittlichen Leistung von 20 Watt zu erzeugen – 20 000 mal mehr als bisherige Quellen liefern. Die amerikanischen Entwickler spekulieren in einem Artikel in „Nature“, dass die Spitzenleistung für die Erforschung von nichtlinearen Phänomenen in neuen Materialien und Geräten genutzt werden können. Zudem sei wegen der hohen durchschnittlichen Strahlungsleistung eine Echtzeitaufzeichnung von Terahertz-Bildern möglich. Ebenso sei denkbar, die hohe THz-Energie für die Beeinflussung chemischer Reaktionen und biologischer Prozesse zu nutzen.

Auch in Deutschland arbeitet man mit Terahertz-Wellen, so an

der Universität Bochum, in Bonn und Köln. An der dortigen Uni ist der Sonderforschungsbereich 494 beheimatet. Er befasst sich mit der Thematik der Entwicklung der interstellaren Materie.

### THz-Strahlung im Weltall

Im Kosmos findet man nämlich THz-Strahlung, die interessante Informationen über die Sternentstehung liefern kann. Die dazu notwendigen Untersuchungen beinhalten nicht nur die astronomischen Beobachtungen und deren astrophysikalische Interpretation, sondern schließen auch die Laborspektroskopie ein.

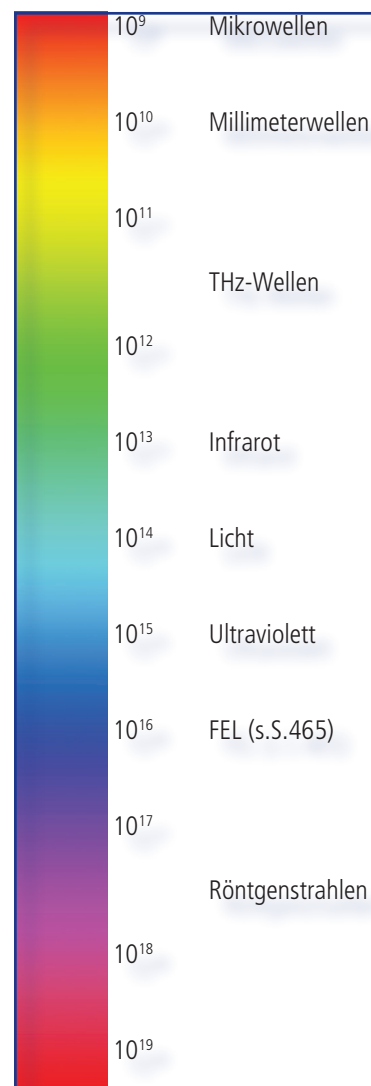
Laborspektroskopisch ist der THz-Bereich kaum erschlossen. Er beinhaltet nach Angaben des 1. Physikalischen Instituts der Uni Köln verschiedene spezifische spektroskopische Signaturen, die von fundamentalem Interesse seien. So liege in der Identifizierung von vibrationsangeregten Molekülen ein breites und neues Feld der Molekülspektroskopie, das mit der Öffnung des Terahertzbereiches mit Aussicht auf Erfolg angegangen werden könne. Dazu zähle die direkte Spektroskopie der energetisch niedrig liegenden Schwingungen der Kohlenstoffketten- und Kohlenstoffring-Moleküle. Moleküle dieser Art sind in ihrer Komplexität zwischen einfacheren Spezies, die im All in der Gasphase schon identifiziert wurden, und den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) einzuordnen. Einer weitverbreiteten Hypothese zufolge stellen die PAHs eines der wichtigen Bindeglieder zwischen den einfachen Molekülen und dem interstellaren Staub (bis zu  $10^{19}$  Atomen) dar, sagen die Sternenforscher des Instituts. Die durch Labormessungen ermöglichte direkte Suche nach weiteren dieser kohlenstoffhaltigen Bindegliedern und ihrer Identifikation sei astrophysikalisch von größter Tragweite.

Die energetisch schwach gebundenen van der Waals-Komplexe – sowohl neutrale wie auch io-

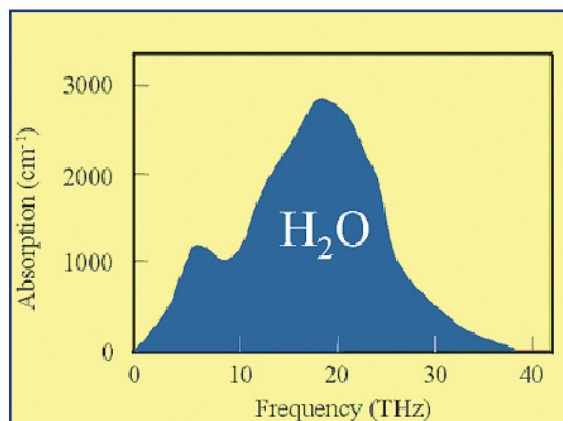
nisierte – bildeten eine weitere Klasse von Molekülen mit interessanten interstellaren Aspekten. Bisher sei es nicht gelungen solche Komplexe wie etwa  $\text{CO-H}_2$  oder das Dimer  $\text{CO-CO}$  interstellar nachzuweisen.

Zurück vom Kosmos und von hohen THz-Leistungen: THz-Wellen dringen schon bei geringen Leistungen von 0,1 Mikrowatt bis zu drei Millimeter in die menschliche Haut ein. Die Rückstrahlung kann Auskunft über Wasser- und Fettgehalt des Gewebes liefern. Denkbar sind auch Anwendungen in der Lebensmittelüberwachung, etwa um Wasser- und Fettgehalt von Fleischwaren zu prüfen, auch durch Verpackung hindurch. RK

Die Terahertz-Wellen sind zwischen den Mikrowellen und dem infraroten Licht einzuordnen (Zahlenangaben in Hertz).



Wasser als Einzelmolekül, Molekülcluster oder als Flüssigkeit ist ein besonders starker Absorber im THz-Bereich.  $\text{H}_2\text{O}$  hat zwei starke und breite Absorptionsbanden im Terahertz-Frequenzbereich, bei 6 und 19,5 THz. Die hohe Absorption kann genutzt werden, um den Wassergehalt einer Probe zu bestimmen (Abb.: Inst.f.Phys.Chem.II, Uni Bochum, Prof. Dr. Martina Havenith).



# Deutscher Zukunftspreis – Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation

## Enzyme als industrielle Katalysatoren

**M**it gentechnischen Methoden gelang es Prof. Dr. Maria-Regina Kula und Dr. Martina Pohl, ein natürlich vorkommendes Enzym zu verändern. Das Produkt war anschliessend hervorragend für die industrielle Nutzung geeignet. Die Forscherinnen erhielten nun für die gesicherte Anwendungsmöglichkeit der enzymatischen Kofaktorregenerierung – praktiziert zum Beispiel bei der Degussa AG – verbunden mit uneingeschränkter Marktfähigkeit sowie der Schaffung von Arbeitsplätzen den Deutschen Zukunftspreis 2002 im Wert von 250 000 Euro.

Zur Katalyse von Redoxreaktionen benötigen Enzyme Kofaktoren, die während der Reaktion verbraucht werden. Solange ein Enzym in seiner natürlichen Umgebung im Organismus arbeitet, ist dies kein Problem, da andere Enzyme im Organismus dafür sorgen, dass verbrauchte Kofaktormoleküle regeneriert werden und erneut zur Verfügung stehen. Isoliert man jedoch ein Redoxenzym aus seinem Organismus, weil man es für spezielle technische Anwendungen nutzen will, wird der Kofaktorverbrauch zum Problem, da diese Moleküle teuer in der Herstellung sind. Dies limitierte lange Zeit die Nutzung von Redoxenzymen für technische Zwecke.

### Enzymoptimierung am Beispiel der Formiatdehydrogenase

In frühen Arbeiten gelang es Maria-Regina Kula die Formiatdehydrogenase (FDH) aus Hefe (*Candida boidinii*) zu isolieren und als Hilfsenzym für beliebige Redoxenzyme, die den Kofaktor NADH benötigen – und das sind die meisten – zu identifizieren. Das Enzym braucht hierzu lediglich Ameisensäure als Ausgangsstoff und erzeugt daraus Wasser und Kohlendioxid. Die freiwerdenden

Reduktionsäquivalente regenerieren den verbrauchten Kofaktor. Die FDH wird mittlerweile nicht nur in zahlreichen enzymatisch arbeitenden Labors, sondern auch für technische Zwecke eingesetzt. Das wohl bekannteste Verfahren ist das zur Herstellung einer speziellen Aminosäure bei der Degussa AG (Abbildung 1).

### Gerichtete Mutagenese

Allerdings ist FDH innerhalb eines technischen Prozesses, in dem es gerührt wird, mit Luftsauerstoff in Berührung kommt und so weiter, nicht unbegrenzt stabil. Das Enzym denaturiert. Martina Pohl gelang es, das Gen für die Formiatdehydrogenase aus der Hefe *Candida boidinii* zu isolieren und anschliessend gezielt zu verändern. Durch Ersatz einer besonders reaktionsfreudigen, also die Denaturierung unterstützenden, durch eine inerte Aminosäure erhöhte sich die Stabilität von FDH wesentlich (Abbildung 2).

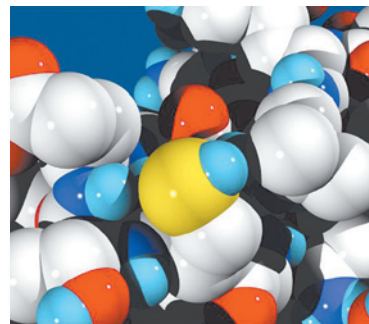


Abbildung 2: Das reaktive Cystein in Position 23 (gelb) der Proteinkette an der Oberfläche der dreidimensionalen Struktur der FDH war ursächlich für die Denaturierung des Enzyms.

### Gerichtete Evolution

Abgesehen von diesem gezielten Verfahren, bei dem Veränderungen des Enzyms mit Hilfe des Computers geplant werden, wurde auch ein Verfahren, das Teile der natürlichen Evolution nachahmt zur Verbesserung der FDH angewandt.

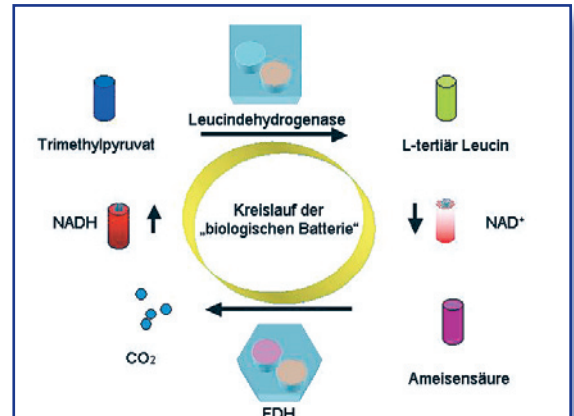


Abbildung 1: Das Degussa-Verfahren (Alle Abbildungen: Univ. Düsseldorf).

Ziel dieses Optimierungsverfahren war es, die Katalysegeschwindigkeit des Enzyms zu erhöhen. Bei der Nachahmung von Schritten der natürlichen Evolution macht man sich zu Nutze, dass Verbesserungen durch zufällige Änderungen des Erbguts (Mutation) entstanden sind. Im Labor wurde das Gen für die FDH an verschiedenen Stellen zufällig verändert. Es resultierte eine große Zahl (400 000) verschiedener Varianten des FDH-Gens. Diese verschiedenen Genvarianten werden von Bakterienzellen übersetzt und anschliessend wurde diese „Enzymbibliothek“ mit speziellen Testverfahren nach solchen Enzymvarianten durchsucht, die die gewünschten Eigenschaften (hier: verbesserte Katalyseaktivität) zeigen. Auch dieses Verfahren war bei der FDH erfolgreich, die Katalyseaktivität konnte wesentlich verbessert werden.



Abbildung 3: Elektronenoptische Aufnahme von *Candida boidinii*, die bei Wachstum auf Methanolhaltigem Medium besonders viel Formiatdehydrogenase produziert.

## Biosensitives Mikrosystem zur Lebensmittelanalyse Vor-Ort-Analytik von Gluten

**D**ie Universität Rovira i Virgili (Spanien), das Unternehmen Trace Biotech AG (Braunschweig) und das Institut für Mikrotechnik GmbH (IMM, Mainz) entwickeln gemeinsam mit sieben weiteren europäischen Partnern einen Biosensor für den Glutennachweis in Lebensmitteln.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Herstellung eines Einweg-Mikrosystems mit integrierten Modulen für die standardisierte Extraktion und Analyse von Proben aus Lebensmitteln. Damit wäre für jeden Patienten mit Zöliakie (glutensensitive Enteropathie) mit einem Screeningtestverfahren vor Ort eine direkte Analyse von Lebensmitteln durchführbar. Die europäische Union fördert das Projekt mit über drei Millionen

Euro im Rahmen des „Quality of Life“-Programms über eine Laufzeit von drei Jahren.

Die Grundlage des Mikrosystems bildet ein serologisches Testverfahren (Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay = ELISA), das auf einem modifizierten Antikörper-Cocktail beruht. Über eine Auswerteeinheit mit optischen, elektrochemischen oder gravimetrischen Verfahren sollen innerhalb weniger Minuten die toxischen Molekülstrukturen des Glutens identifiziert werden. Die Entwicklung der mikrofluidischen Strukturen werden die Experten des IMM übernehmen. Als miniaturisiertes Einweg-Testkit soll das kostengünstige Tool für den Massenmarkt geeignet sein.

Bisher sind weltweit keine standardisierten Sensorsysteme

bekannt, die einen zweifelsfreien Nachweis von Gluten auch im millionstel Grammbereich erlauben. Fehlende Erkennungsstellen (Epitope) im Glutenmolekül, unbekannt genetische Sequenzen die eine Toxizität verursachen, mangelnde Extraktionsmöglichkeiten aus Lebensmitteln und biochemische Wechselwirkungen verfälschen häufig die Ergebnisse. Zudem können geringste Verunreinigungen bei der Produktion auch in als „glutenfrei“ deklarierten Lebensmitteln ein erhebliches Risiko für den Patienten bedeuten. Um möglichen Problemen auf Anwenderseite frühzeitig vorzubeugen, bezieht das Projekt die Patienten in die Entwicklung mit ein: Ihr Urteil soll mit begleitenden Studien den Weg für eine Serienproduktion ebnet.

## Modifizierte Festkörper-NMR für Membranproteine

### Proteine aus magischem Winkel betrachtet

**M**embranproteine sind schwer kristallisierbar, was die Röntgenkristallographie verhindert. Sie sind kaum definiert in Lösung zu bringen, was konventionelle NMR-Untersuchungen verhindert. Daher gibt es bislang nur wenige Raumstrukturen dieser Proteinklasse. Die magic-angle-spinning-Technik (MAS), die in der Festkörper-NMR-Spektroskopie angewendet wird, hat das Potential zur Aufklärung der Struktur von Membranproteinen.

Wissenschaftler am Forschungsinstitut für Molekulare Pharmakologie (FMP) in Berlin-Buch analysierten in einem Pilotprojekt die Raumstruktur eines Proteins mit Hilfe von MAS-NMR. Ein Teil des Zellskelettproteins alpha-

Spectrin, die SH3-Domäne, wurde in Bakterienzellen hergestellt und mit stabilen, nicht-radioaktiven Isotopen markiert. Die Struktur des membranständigen Proteins berechneten die Forscher durch Auswertung der Signale der Wasserstoffkerne, der  $^{13}\text{C}$ - und  $^{15}\text{N}$ -Atomkerne. Dabei fanden sich räumliche „Spannungen“ zwischen 286  $^{13}\text{C}$ - $^{13}\text{C}$ - und sechs  $^{15}\text{N}$ - $^{15}\text{N}$ -Atomkernpaaren.

Kernresonanzsignale aus festen Substanzen sind schwierig zu analysieren, da sie infolge von richtungsabhängigen Wechselwirkungen im Festkörper sehr verbreitert sind. Durch schnelle Rotation der Festkörperprobe um eine Achse, die in einem „Magischen Winkel“ von 54,7 Grad zum Magnetfeld des Spektrometers steht, heben sich diese Effekte

jedoch weitgehend auf, was zu schärferen Signalen führt.

Damit öffnet das Team um Prof. Dr. Hartmut Oschkinat auch die Tür für die strukturbiologische Analyse von vielen Zielstrukturen für Arzneimittel. In den meisten Fällen entfalten Arzneistoffe ihre Wirkung, indem sie mit Proteinen im Körper wechselwirken. Um neue Medikamente zu finden, analysieren Forscher die Raumstruktur dieser Eiweißmoleküle und verwenden sie zum Design neuer Wirkstoffe. Die bisher genutzten Methoden versagten allerdings oft an der interessantesten Stelle – bei großen Proteinen, die in der Membran der Zelle sitzen. In Zukunft wird es nun möglich sein, solche Untersuchungen mit der MAS-Festkörper-NMR-Spektroskopie vorzunehmen.

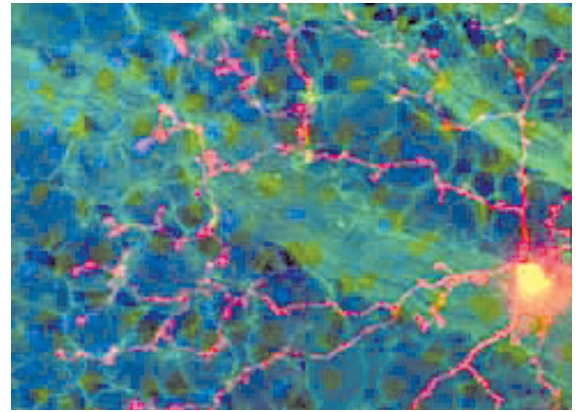
## Dendriten von Nervenzellen sind beobachtbar

# Multiquanten-Mikroskopie

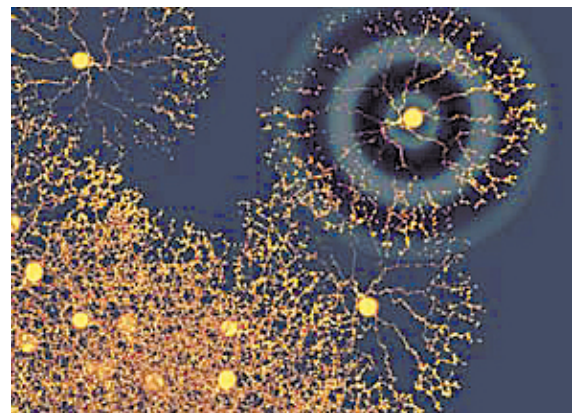
**Die Heidelberger Max-Planck-Forscher Thomas Euler und Winfried Denk untersuchten in Zusammenarbeit mit Peter B. Detwiler von der University of Washington in Seattle/USA einen bestimmten Typ von Retina-Nervenzellen. Dazu verwendeten sie eine neue optische Methode, die Multiquanten-Mikroskopie.**

Die feinen Dendriten von Nervenzellen sind oft so dünn, dass sie elektrophysiologischen Messungen mit Mikroelektroden nicht ohne weiteres zugänglich sind. Um die durch Kalzium vermittelten biochemischen Signale, die der Kommunikation zwischen Nervenzellen zugrunde liegen, in den Dendriten zu messen, verwendeten die Max-Planck-Forscher daher die Multiquanten-Mikroskopie, die auf einem gepulsten Infrarot-Laser aufbaut. Dessen Licht ist, obwohl milli-

onenfach intensiver als direkte Sonneneinstrahlung, unsichtbar für unser Auge, weil es nicht von den lichtempfindlichen Sehpigmenten in den Fotorezeptorzellen der Retina absorbiert wird. Die extrem kurzen, aber sehr intensiven Lichtpulse des Infrarot-Lasers bringen Farbstoffindikator-Moleküle, die zuvor in die zu untersuchenden Zellen injiziert wurden, in einem nicht-linearen Prozess der Multiquanten-Absorption zum Fluoreszieren. Im Gegensatz zur konventionellen Konfokalmikroskopie wird bei der Multiquanten-Mikroskopie jedes Farbstoffindikator-Molekül statt mit einem kurzwelligen, energie-reichen Photon mit zwei langwelligen Photonen niedriger Energie angeregt. So ist es erstmals möglich, die Retina mit Lichtmustern zu reizen und gleichzeitig die Antworten ihrer Neuronen optisch aufzuzeichnen.



Multiquanten-mikroskopische Aufnahmen von Retina-Nervenzellen: oben mit Gewebe, unten mit einem der verwendeten Lichtreize in einer Fotomontage (Fotos: Max-Planck-Institut für medizinische Forschung).



## Laserfokus lockt Nerven

# Gelenktes neuronales Wachstum

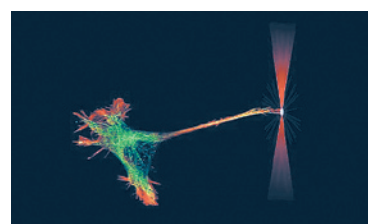
**Einer Leipziger Forschergruppe ist es als erster in der Welt gelungen, den biologischen Prozess der Zellmobilität mittels Licht zu kontrollieren. Dabei steht diese Methode in scharfem Kontrast zur „optischen Pinzette“, welche starke optische Kräfte nutzt, um ganze Strukturen zu beeinflussen.**

Während bei der Erforschung des Gehirns als Gesamtkomplex sowie der Funktionsweise einzelner Nervenzellen in letzter Zeit sehr gute Ergebnisse erzielt wurden, liegt das Zusammenspiel von einzelnen Neuronen, welches sich eventuell in einer Wahrnehmung manifestiert, noch im Dunkeln. Eine Schlüsselrolle in

der Erforschung dieses Zwischenbereichs spielen Untersuchungen der Neurodynamik von kleinen, kontrollierten Netzwerken. Doch bisherige Versuche, Nervenwachstum sowie Netzwerkstrukturen in einer präzisen Art und Weise zu manipulieren, hatten nur bedingt Erfolg. Gerade die Kontrolle des neuronalen Wachstums ist aber ein fundamentales Ziel vieler unterschiedlicher Forschungsgebiete.

Wissenschaftlern um Josef Käs, Professor für Experimentalphysik/Physik weicher Materie an der Universität Leipzig, hat jetzt an aktiv wachsenden Nervenzellen gezeigt, dass ein spezifisch positionierter Laserstrahl ein Wachstum in Richtung des Laserfokus hervorruft,

welches in gelenktem neuronalem Wachstum sowie einer erhöhten Wachstumsgeschwindigkeit resultiert. „Unsere Resultate eröffnen neue Wege in der Kontrolle neuronalen Wachstums in vitro und in vivo mittels einer einfachen und unschädlichen Technik“, unterstreicht der Leipziger Nachwuchswissenschaftler Timo Betz.



Konzeptionelle Darstellung des gesteuerten Neuronenwachstums. Die Abbildung zeigt zwei Komponenten des Zellskeletts, die rot (Actin) und grün (Microtubules) gefärbt sind (Abbildung: Uni Leipzig).

## Preisgekrönt

## Laser-Ablation zur Analyse von Eisbohrkernen

**D**r. Heiko Reinhardt, Chemiker am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), entwickelte ein neues Laser-Ablations-Verfahren, das Spurenstoffe erheblich genauer als bisher nachweisen kann. Dafür wurde er mit dem diesjährigen Amselpreis ausgezeichnet. Reinhardt wandte das Verfahren auf die Analyse von Eisbohrkernen an. Ein weiterer Anwendungsbe- reich könnte die Medizin sein.

Der Arbeitskreis für Mikro- und Spurenanalyse der Elemente und

Elementspezies (AMSEL) innerhalb der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) zeichnet alle zwei Jahre einen jüngeren Wissenschaftler für eine hervorragende Arbeit auf dem Gebiet der chemischen Mikro- und Spurenanalyse aus. Das Preisgeld in Höhe von 1500 Euro wird von der Firma Merck KGaA gestiftet.

Bisher war es erforderlich, Eisproben, die man auf Spurenstoffe untersuchen wollte, zu schmelzen. Dabei gingen Informationen über die räumliche und damit verbunden über die zeitliche Auflösung verloren. Außerdem war der Zusatz weiterer Chemikalien notwendig, was die Probe zwangsläufig verunreinigte. Das Laser-Ablations-Verfahren bearbeitet eine Eisprobe in festem Zustand. Sie wird in einer Spezialkammer bei minus 45 Grad Celsius mit einem Laserstrahl beschossen, wobei sich Partikel ablösen, die im weiteren Verlauf einzeln analysiert werden können.

„Die Stärken dieser Messmethode liegen in der erreichten Ortsauflösung von bis zu vier

Millimeter und in der schnellen Bestimmung des Gesamtgehaltes von bis zu vierzig Elementen. Das Kontaminationsrisiko ist dabei sehr gering“, erklärt der Preisträger. Hinzu kommt, dass das neue Verfahren mit viel kleineren Proben auskommt: Nur etwa ein hundertstel der früheren Menge des wertvollen Materials ist notwendig.

Die Eisbohrkerne, für deren Analyse das Verfahren entwickelt wurde, stammen aus einer Bohrung in Grönland. Diese Bohrungen fördern Eis zu Tage, das aus Schnee entstanden ist, der vor vielen Jahrhunderten fiel. Das Eis enthält Spuren der Atmosphäre früherer Zeiten. Dieses Klimaarchiv führt uns bis zu 500 000 Jahre zurück – wenn wir es lesen können. Aktuelle Anwendungen des Laser-Ablations-Verfahrens an Gewebedünnschnitten zeigen, dass mit dem Verfahren auch der Metallabrieb künstlicher Gelenke in Leber und Milz von Versuchstieren nachgewiesen werden können. Früher mussten dafür Organproben aufgelöst und analysiert werden.

Dr. Reinhardt mit dem Herzstück der preisgekrönten Anlage, der Probenkammer „Cryolac“ (Foto: AWI).



## Laserverfahren zur Analyse von Brennstoffflammen

## Cavity Ring-Down Spektroskopie

**I**n einem Projekt der Technologiestiftung STW hat der Forscher Rogier Evertsen eine neue Methode eingeführt, um die Zusammensetzung von Flammen von Brennstoffen zu messen. Die Technik nutzt Laserlicht und ist schnell und empfindlich.

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Erdgas und Öl werden Verbrennungsgase frei. Das sind hauptsächlich Wasserdampf und Kohlendioxid. Nebenprodukte des Verbrennungsprozesses sind

Teilchen wie OH, CH, HCO, CH<sub>2</sub>, NO und NO<sub>2</sub>. Wo und in welcher Menge diese Stoffe in der Verbrennungskette vorkommen, ermittelte Evertsen durch Messungen in der Flamme verbrennenden Erdgases.

Dazu steuerte er mit Spiegeln Laserlicht durch die Flamme und maß die Abnahme der Intensität. Die Größe und Geschwindigkeit der Absorption ist ein Maß für die Menge an Verbrennungsgas in der Flamme. Jeder absorbierende Stoff erfordert einen Laser anderer Wellenlänge.

Der Forscher, der mit der Technik an der Katholischen Universität Nimwegen promovierte, entdeckte mit dieser „Cavity Ring-Down Spectroscopy“ HCO- und CH<sub>2</sub>-Konzentrationen bis hinunter zu 430 beziehungsweise 80 Teilchen pro Millionen anderer Teilchen (ppm) in der Flamme. Die NO- und NO<sub>2</sub>-Gase wurden noch bei Konzentrationen von 25 beziehungsweise drei pro Millionen Teilchen detektiert. CH-Teilchen konnte er in noch geringeren Konzentrationen (ppb) nachweisen.



## Forscher in Österreich gewinnen Wettlauf Bose-Einstein-Kondensat aus Cäsium

**I**nnsbrucker Forscher haben jetzt ein internationales wissenschaftliches Wettrennen gewonnen. Sie erzeugten das erste Bose-Einstein-Kondensat mit Cäsiumatomen. Eine mögliche Anwendung verspricht eine höhere Genauigkeit von Atomuhren zu werden, deren Taktgeber ja ebenfalls Cäsiumatome verwenden. Durch die gesteigerte Präzision lassen sich Naturkonstanten bzw. deren zeitliche Veränderung noch genauer ermitteln. Dadurch lassen sich dann die von Einstein vorhergesagten Effekte der Relativitätstheorie, vor allem den Zusammenhang von Schwerkraft und Zeit, gründlicher prüfen.

Das 1995 erstmals erzeugte Bose-Einstein-Kondensat (BEC) ließ sich erst bei 170 Nanokelvin darstellen, 170 Milliardstel Grad über dem absoluten Nullpunkt der Temperatur. Dieses Kondensat wurde aufbauend auf Forschungen den indischen Physikers Satyendra Nath Bose von Einstein bereits Mitte der 20er Jahre vorausgesagt. Er setzte dabei auf die Heisenbergsche Unschärferelation: Der Ort eines Teilchens wird umso unberechenbarer, je genauer man seine Geschwindigkeit kennt. Geht die Temperatur gegen Null, geht auch die Geschwindigkeit gegen Null. Die Wellenlänge von Atomen, die auch Materieteilchen aufgrund des Welle-Teilchen-Dualismus haben, wächst dabei. Bei niedrigsten Temperaturen sind die Wellenlängen der Atome so groß, daß sich die Wellenzüge überlappen. Solche Atome kondensieren dann zu einem „Superatom“. 1995 gelang es dann Wissenschaftlern der Universität Colorado und des National Institute of Standards and Technology (NIST, ebenfalls Boulder, Colorado), Rubidium-Atome im Hochvakuum in einer magneto-optischen Falle genügend tief zu kühlen.

Das auf diesem Gebiet konkurrierende Massachusetts Institute of

Technology MIT in Boston verfolgte zur Kühlung folgendes Prinzip: Ein Strahl 350 Grad Celsius heißer Alkali-Atome, die 800 Meter pro Sekunde schnell sind, werden durch einen entgegengerichteten Laserstrahl gebremst auf 20 Meter pro Sekunde – erster Schritt der Kühlung. Die Atome – in Boston nahm man Natrium statt Rubidium – gelangen in eine Vakuumkammer, wo sie von sechs Lasern zentriert und gekühlt werden: Die Photonen nehmen bei den Zusammenstößen mit den Atomen Energie auf, tragen diese nach außen fort. Wenn genügend Atome in der Kammer sind, schaltet man die Laser aus und ein starkes Magnetfeld an; die Magnetfalle schnappt zu. Die weitere Kühlung geschieht durch eine Art Verdampfung, bei der nach Atom-Zusammenstößen gezielt die schnelleren Atome aus der Falle entlassen werden. Sie tragen Energie fort, die verbleibenden Atome werden kälter. Der Auswahlprozess geschieht durch eine Kombination eines magnetischen Feldgradienten in der Falle mit erzwungenen Magnetspinumkehrungen der schnellen Atome durch die Einstrahlung von Radiowellen.

Die Atome des sich schließlich ergebenden Bose-Einstein-Kondensates, das man auch als fünften Aggregatzustand der Materie bezeichnet, befinden sich alle in exakt demselben Quantenzustand. Zudem ist es kohärent: Die Wellenzüge der Atome schwingen im Gleichtakt, so wie die Lichtwellenzüge eines Lasers. Das macht das BEC zur Grundlage von Atomlasern. Emdel 1996 gelang der Arbeitsgruppe von Prof. Wolfgang Ketterle am Massachusetts Institute of Technology MIT in Boston der Nachweis, daß für die Atome eines BEC Kohärenz gegeben ist. Das geschah durch Abbildung eines Interferenzmusters zweier sich überlagernder Bose-Einstein-Kondensate. Das Interferenzmuster zeigte dabei eine Periode von 15

	1995	1997	1998	1998	1998	1999	1999	2001	2001	2002	2002	2002
Rb	1995	9	8	3	1	3	5	2	1	1	1	1
Na	1995	3										
Li	1995/97	1		1								
H	1998	1										
He*	2001			2								
K	2001						1					
Cs	2002									Innsbruck 05. Oct. 2002	1	

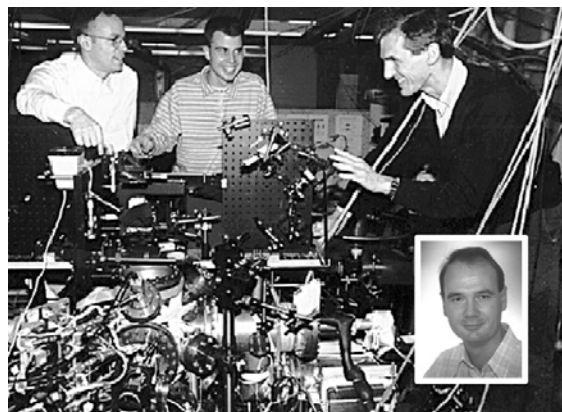
Mikrometern, ein gigantisches Ausmaß für Materiewellen: Atome haben bei Raumtemperatur eine 400 000 mal kleinere Wellenlänge (0,04 Nanometer).

Den Wissenschaftlern gelang es zuvor, bis zu zehn Millionen Rubidiumatome zu einem einzigen Kondensat zusammenzuführen. Dabei klärte sich auch die Frage, welche Farbe solch ein Kondensat wohl hat. Vermutungen gingen von tiefschwarz bis metallisch glänzend, von Absorption bis Reflexion von Licht. Wie sich herausstellte, ist ein BEC durchsichtig und bündelt das Licht wie eine Glaslinse. Für seine Forschungen erhielt Ketterle 2001 den Nobelpreis für Physik, zusammen mit Eric Cornell und Carl Wieman.

Was Ketterle mit den Innsbrucker Forschern verbindet: Der Leiter der österreichischen Gruppe, Prof. Rudolf Grimm, wurde in Mannheim geboren, forschte und lehrte in Heidelberg – wie eine Zeit lang auch der gebürtige Heidelberger Ketterle. Für Grimm ist mit der Erzeugung eines BEC aus 20 000 Cäsiumatomen „ein fünf Jahre alter Traum in Erfüllung gegangen“. Bis vor kurzem lieferte er sich noch ein Kopf-an-Kopf-Rennen mit Forschern in Oxford, die an demselben Projekt arbeiten. *Rolf Kickuth*

Tabelle von BECs nach Art und Land und dem Jahr der ersten Erzeugung (Abb.: Uni Innsbruck).

Michael Andrews, Marc-Oliver Mewes und Wolfgang Ketterle (v.l.) am ersten Atomlaser des MIT in Boston, und Rudolf Grimm (kl. Bild). Er hat wie Ketterle Wurzeln in Heidelberg (Bilder.: MIT/rg).



## Präsidenten protestieren

# „Nullrunde“ für die Forschungspolitik

**Der Beschluss der Bundesregierung, die Haushalte der deutschen Wissenschaftsorganisationen auf dem Stand des Jahres 2002 einzufrieren, hat bei vielen Forschern Unverständnis ausgelöst.**

Am 20. November hat die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Edelgard Bulmahn, den Präsidenten der deutschen Wissenschaftsorganisationen eröffnet, dass die Bundesregierung ihre bereits für die Forschungseinrichtungen verbindlich zugesagten Haushaltszuwächse für 2003 komplett streichen wolle. Noch im Juni dieses Jahres hatten sich Bund und Länder auf eine Steigerung der Haushalte der Forschungsorganisationen geeinigt. Diesem Beschluss ging eine ausgedehnte Diskussion voraus, die von der auch damals schwierigen Finanzlage geprägt war. Dennoch hatten sich die Beteiligten auf eine antizyklische Vorgehensweise verständigt und eine Erhöhung der Haushalte der Förderorganisationen für 2003 beschlossen.

Der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) beispielsweise wurde für das Haushaltsjahr 2003 eine Steigerungsrate von drei Prozent zugesprochen. Die MPG prüft nun im Rahmen kurz- und mittelfristiger Konsolidierungskonzepte, in welchem Umfang die Planung neuer oder die Fortführung bereits eingeleiteter wissenschaftlicher Initiativen wieder beendet werden müssen. Selbst die Schließung ganzer Institute zieht Prof. Peter Gruss, Präsident der MPG, in Betracht, wenn dies die erwartete finanzielle Entwicklung erfordern sollte.

Der Beschluss der Bundesregierung sei eine drastische und völlig unvorhersehbare Änderung ihrer Forschungspolitik, betonte Prof. Ernst-Ludwig Winnacker, Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Angesichts der Teuerungsrate von derzeit ca. zwei Prozent würde dies eine deutliche Kürzung der zur Verfügung stehenden Mittel bedeuten. Da die DFG Forschungsprojekte im Voraus für zwei bis drei Jahre bewilligt,

sind diese Mittel längst verplant. So müsste nun eine Vielzahl von Vorhaben nicht nur Kürzungen über sich ergehen lassen; es würden auch erstklassig begutachtete Projekte ihre Arbeit erst gar nicht aufnehmen können.

Gemäß einer Forderung von EU-Forschungskommissar Philippe Busquin sollen die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union bis 2010 im Schnitt drei Prozent des Bruttoinlandsprodukts für Forschung und Entwicklung ausgeben. Auch der rot-grüne Koalitionsvertrag bekennt sich zu diesem Ziel. Hans-Olaf Henkel, Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, kritisiert: „Es sagt sich leicht, dass man den Anteil für Forschung bis zum Jahr 2010 erhöhen will, wenn man nicht gleichzeitig Farbe bekennt und sagt, wo denn weniger ausgegeben werden soll. Glaubwürdig bleiben solche Pläne nur, wenn man Jahr für Jahr den Anteil für Forschung und Entwicklung erhöht. Tut man das nicht, dann ist das „3-Prozent-Versprechen“ genauso viel Wert, wie das vom ausgeglichenen Haushalt im Jahre 2004, das jetzt auf 2006 verlegt wurde oder die Zusicherung, nach den Wahlen die Steuern nicht zu erhöhen.“

Die Regierung spart an der Forschung, und Deutschland wird deshalb über kurz oder lang ins Mittelfeld zurückfallen, befürchtet Heinrich C. Mayr, Präsident der Gesellschaft für Informatik. Angesichts der aktuellen wirtschaftlichen Lage sei es zwar angebracht, überall Spar- und Synergiepotenziale auszuloten. Dies dürfe aber nicht mit dem Fallbeil geschehen. „Wenn die Bundesregierung jetzt die Forschungseinrichtungen austrocknet und damit bereits geplante, dringend erforderliche Vorhaben stoppt, werden wir die Folgen bald spüren: Die Champions League findet dann woanders statt und unser Potenzial ist verschenkt.“, betonte Mayr. *MB*

## Industrielle Kohlendioxid-Emissionen

# Nur noch schwacher Rückgang

**Der Rückgang der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie in Deutschland hat sich in der zweiten Hälfte der 90er Jahre erheblich abgeschwächt.**

So sanken die Emissionen im Zeitraum 1995 bis 2001 jahresdurchschnittlich nur noch um gut zwei Millionen Tonnen gegenüber rund 8,5 Millionen Tonnen in den vorangegangenen fünf Jahren. Demgegenüber haben sich die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Emissionen je Anlage/System) zuletzt weitaus schneller vermindert als in den Vorjahren. Dies stellte jetzt das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) fest. Die deutsche

Industrie hat seit Mitte der 90er Jahre mehrfach Selbstverpflichtungserklärungen darüber abgegeben, durch eigene besondere und zusätzliche Anstrengungen einen Beitrag zur Erfüllung der von der Bundesregierung verfolgten Klimaschutzziele zu leisten. Diese Erklärungen bezogen sich überwiegend auf die Senkung spezifischer Emissionswerte. Bei den noch immer ausstehenden Erklärungen einzelner Branchen zu der zuletzt im Juni 2001 getroffenen Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft ist daher ergänzend auf die Zusage absoluter Minderungsziele zu drängen, fordert das DIW.

## Bericht des VCI zur wirtschaftlichen Lage im 3. Quartal 2002

# Chemieproduktion stagniert

**Die Unternehmen der deutschen chemischen Industrie haben ihre Aufschwungserwartungen auf das nächste Jahr verschoben. Denn der Anfang des Jahres zu beobachtende Aufwärtstrend der Chemieproduktion kam bereits im April zum Stillstand und gewann auch im dritten Quartal nicht wieder an Fahrt. Wie der Verband der Chemischen Industrie (VCI) in Frankfurt mitteilt, stagnierte die Produktion chemischer Erzeugnisse von Juli bis September auf dem Niveau des Vorquartals.**

Der Umsatz im dritten Quartal betrug rund 33 Milliarden Euro. Er lag damit nur um 1,6 Prozent über dem bereits sehr niedrigen

Niveau des entsprechenden Vorjahreszeitraums. Gegenüber dem Vorquartal 2002 musste die Branche im dritten Quartal spürbare Umsatzrückgänge hinnehmen. Hinzu kommt, dass aufgrund einer schwachen Chemienachfrage gestiegene Kosten für Rohöl nur begrenzt weitergegeben werden konnten. Der Kostendruck und die Nachfrageflaute machen den Unternehmen erheblich zu schaffen und trüben die Stimmung in der chemischen Industrie deutlich ein. Die aktuelle Geschäftslage wird von den Unternehmen pessimistischer eingeschätzt als noch zur Jahresmitte. Die Hoffnung auf einen Aufschwung im Jahr 2002 hat sich für die deutsche chemische Industrie zerschlagen.

Sowohl das Inlands- als auch das Auslandsgeschäft entwickelten sich von Juli bis September 2002 enttäuschend: Mit ausländischen Kunden erwirtschafteten die Unternehmen 16,7 Milliarden Euro des Umsatzes – im Vergleich zum Vorjahr nur ein Plus von 1,6 Prozent. Im Inland erzielte die Branche einen Umsatz von rund 16,3 Milliarden Euro. Das bedeutet im Vorjahresvergleich ein Plus von 1,7 Prozent.

Im dritten Quartal 2002 waren in der deutschen chemischen Industrie im Durchschnitt 462 500 Mitarbeiter beschäftigt. Die amtliche Statistik weist damit im Vergleich zum Vorjahr einen Rückgang um rund 4700 Mitarbeiter oder ein Prozent aus.

## Anatomie von Fusionen und erfolgreicher Integration

# Unternehmensvisionen sind entscheidend

**In der ersten Jahreshälfte 2002 blieben die Fusions- und Übernahmeaktivitäten in der Pharma-Branche weltweit im Vergleich zu anderen Branchen lebhaft, so das Ergebnis einer Untersuchung der Unternehmensberatung Pricewaterhouse Coopers. Das finanzielle Volumen von Fusionen und Akquisitionen aller Branchen lag in Deutschland im Jahr 2001 bei rund 160 Milliarden Euro. Dabei sind Fusionsmanager in Deutschland weniger erfolgreich als ihre Kollegen im Ausland, ergab jetzt eine Untersuchung von Accenture und der Universität Münster unter 120 internationalen Unternehmen.**

Die Übernahme des US-Pharmakonzerns Pharmacia durch den Weltmarktführer Pfizer zeigt, dass die Phase der Großakquisitionen noch nicht vorüber ist. Nun muß

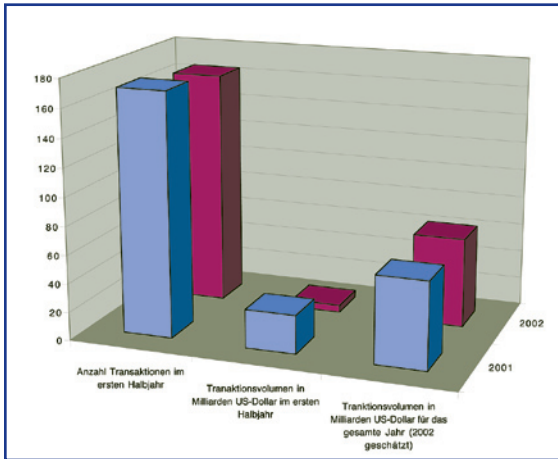
aber eine aufwändige Integrationsarbeit erfolgen. Dies ist einer der Gründe – neben der momentan „innovationsfeindlichen Haltung der deutschen Gesundheitspolitik“ – , warum Pfizer zurzeit nicht an einer Übernahme des deutschen Konkurrenten Bayer interessiert ist. Bayer selbst ist auf der Suche nach einem starken Partner und dafür bereit, auf eine Mehrheit zu verzichten. Daher zeigt der britische Pharmakonzern Glaxo Smith Kline durchaus Interesse am Pharmageschäft von Bayer. Auch der Schweizer Konzern Roche soll laut der britischen Zeitung „Independent“ ein möglicher Bieter für Bayer sein. Andererseits berichtet der Schweizer „Tages-Anzeiger“ von einem Interesse der Schweizer Novartis an der Übernahme von Roche. Verkaufen will Novartis dagegen die Geschäftsfelder Health Food & Slimming (HF&S)

und Sports Nutrition, findet aber in der gegenwärtigen Konjunktursituation keinen Käufer, der den gewünschten Betrag dafür zahlte.

Trotz dieser Aktivitäten sind bei den Übernahmen führend nach wie vor Unternehmen aus Nordamerika, gefolgt von europäischen und asiatischen Firmen. Deutsche Unternehmen waren im ersten Halbjahr 2002 weltweit an drei der zehn größten Transaktionen beteiligt: Schering übernahm die US-Unternehmen Immunex-Leukine und Collateral Therapeutics. Viatris (Degussa) wurde durch die Private Equity-Firma Advent International aus den USA übernommen.

### Strategien der Unternehmen differieren stark

Den zehn größten Transaktionen des ersten Halbjahres 2002 liegen sehr unterschiedliche Strategien



Die Analyse von Pricewaterhouse Cooper verzeichnet weltweit einen leichten Anstieg der Transaktionsanzahl von 165 im ersten Halbjahr 2001 auf 171 in den ersten sechs Monaten dieses Jahres. Das Transaktionsvolumen sank dagegen stark von 27 Mrd. US-\$ im ersten Halbjahr 2001 auf rund fünf Mrd. US-\$ in der ersten Jahreshälfte 2002. Durch die Übernahme von Pharmacia durch Pfizer für 53 Mrd. US-\$ wird das Transaktionsvolumen für das gesamte Jahr 2002 jedoch über dem Vorjahreswert von 61 Mrd. US-\$ liegen (Grafik: MB).

zugrunde, zeigte die Untersuchung von Pricewaterhouse Cooper. Einerseits werden reine Arzneimittel-Entwickler durch den Zukauf etablierter Vertriebs- und Marketingstrukturen zu integrierten Pharma-Unternehmen (FIPCOS Fully-Integrated Pharmaceutical Companies). Andererseits akquirieren Pharma-Unternehmen gezielt auf Produktebene, anstatt wie in der jüngsten Vergangenheit auf technologische Plattformen zu setzen. Der deutsche Pharma-Konzern Schering erwarb so durch die Übernahme von Collateral Therapeutics zwei Wirkstoffe zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie durch die

Akquisition von Immune den Krebswirkstoff Leukine.

Der bedeutendste Biotech-Deal in der ersten Jahreshälfte 2002 war der Erwerb des niederländischen Konkurrenzunternehmens Rhein Biotech durch Berna Biotech aus der Schweiz. Somit ist die Schweizer Firma nun weltweit der zweitgrößte reine Impfstoffentwickler nach dem britischen Unternehmen Powder Ject. In Deutschland schaffte es kein Biotech-Unternehmen in die Top 10-Liste der Pharma-Transaktionen.

### Fusionen erfordern viel Fachwissen

Der Fusion folgt die wichtige Phase der Integration. Etliche Milliarden an geplanten Synergien der rund 160 Milliarden Euro Gesamtvolumen von Fusionen und Akquisitionen in Deutschland wurden nicht realisiert. Im Vergleich erreichen Fusionsmanager aus dem Ausland eher Synergieziele.

Der Studie von Accenture zufolge sind insbesondere folgende Faktoren für einen Integrationserfolg ausschlaggebend: Zu Beginn des Projekts wird die Aufmerksamkeit darauf verwendet, Unterstützer des Integrationsprojekts auf den drei Ebenen Geschäftsleitung, Projektleitung sowie Fachbereiche umfassend einzubinden. Der Einsatz von Promotoren bei erfolgreich durchgeführten Fusionen liegt mit 48 Prozent deutlich über dem Durchschnitt.

Die Entwicklung eines neuen Budgets und Mittelfristplans wird mit 47 Prozent höherer In-

tensität verfolgt, die Einführung entsprechender Kennzahlen- und Berichtssysteme liegt 56 Prozent über dem Durchschnitt. Neben der Festlegung neuer Rollen und Stelleninhaber wird der Integrationsfortschritt durch den Transfer ausgewählter Führungskräfte über die alten Unternehmens- und Abteilungsgrenzen hinweg flankiert. Der 60 Prozent stärkere Unternehmens Powder Ject. In Deutschland schaffte es kein Biotech-Unternehmen in die Top 10-Liste der Pharma-Transaktionen.

### Unternehmensvision als Integrationsmittel

Zentraler Motivations- und Orientierungspunkt ist eine passende Unternehmensvision, der erfolgreiche Fusionsmanager eine bis zu 33 Prozent höhere Aufmerksamkeit widmen. Eine neue Vision wird aber nur durch entsprechende Schulungen und Anreize gelebte Wirklichkeit. Dies gilt sowohl für integrationsspezifische Aufgabenstellungen als auch für die Bewältigung neuer Anforderungen im operativen Tagesgeschäft. Überdurchschnittlich erfolgreiche Unternehmen setzen solche Maßnahmen mit mehr als doppelt so hoher Intensität ein (115 Prozent). Darüber hinaus belohnen sie mit 81 Prozent überdurchschnittlich stark integrationskonformes Verhalten.

„Bei der Integration zweier Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette müssen über 2000 Veränderungen und rund 10 000 außerordentliche Entscheidungen bewältigt werden, deshalb ist systematisches Projektmanagement bei der Zusammenführung des operativen Tagesgeschäfts entscheidend“, so Johannes Gerds, Senior Manager Strategie bei Accenture. Neben einer 42 Prozent höheren Intensität bei der strukturellen Zusammenführung der operativen Geschäftsprozesse steht eine schnelle und durchgängige Integration der unterstützenden IT-Systeme (34 Prozent) im Vordergrund. MB

### VUP und GDCh-FFCh beschließen Kooperation

Die Fachgruppe „Freiberufliche Chemiker“ (FFCh) in der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der deutsche Verband Unabhängiger Prüflaboratorien (VUP) wollen zukünftig enger kooperieren. Dies erklärten jetzt beide Organisationen nach eingehenden Beratungen und Beschlüssen ihrer Entscheidungsgremien. Die FFCh sieht sich nach eigener Bewertung als wissenschaftliche Fachgruppe in der GDCh. Der VUP dagegen

nimmt als Unternehmerverband hauptsächlich die berufsständischen, wirtschaftlichen Aufgaben der Branche wahr. Neben dem Austausch verbandsstrategischer Informationen sieht man einen Teil der zukünftigen Zusammenarbeit darin, gemeinsame Fortbildungen und Informationsveranstaltungen anzubieten, bzw. den Mitgliedern den Zugang zu Veranstaltungen des Kooperationspartners zu ermöglichen.

## Neue Broschüren und CDs

**JAHRESBERICHT 2001** Der Jahresbericht des **Umweltbundesamtes** (UBA) bietet auf rund 200 Seiten einen Querschnitt durch umweltpolitische Handlungsfelder. Themen sind unter anderem Klimaschutz, produktbezogener Umweltschutz, Störfallvorsorge und Chemikaliensicherheit. Als Druckfassung oder als CD-ROM kostenlos erhältlich unter Fax 030 89032912 oder [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de).



**KÖRPERSCHUTZ** Der kostenlose Spezialkatalog der **Kroschke sign intentional**, in dem auch weitere persönliche Schutzausrüstungen wie Atem- und Gehörschutz, Sicherheitsschuhe und Brillen angeboten werden, ist unter Tel. 0531 318318 oder [vertrieb@kroschke.com](mailto:vertrieb@kroschke.com) erhältlich.



**MRL-NEWS** „Sicherheit von Maschinen und Maschinensteuerungen“ lautet der Untertitel der 15. Ausgabe einer speziellen Hauszeitschrift der **Elan Schaltelemente**. Auch ältere Ausgaben sind noch kostenlos erhältlich unter Tel. 0641 98480 oder [www.elan.de](http://www.elan.de).



**ELEKTRISCHE TEMPERATURMESSUNG** Die Fachbroschüre von **M. K. Juchheim (JUMO)** enthält Informationen über Grundlagen und Anwendungen sowie praktische Hinweise zur Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern und Thermoelementen. Die überarbeitete Neuerscheinung können Sie unter Tel. 0661 60030 oder [www.jumo.net](http://www.jumo.net) bestellen.



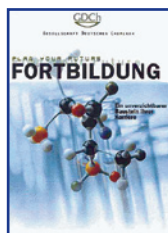
**ACTINOMYCETALES** Die CD-ROM ist eine umfassende Übersicht über diese Bakterien. Joachim Wink, Wissenschaftler in der Abteilung für Naturstoffforschung bei **Aventis**, ist Autor des elektronischen Manuals. Aventis stellt das Werk interessierten Wissenschaftlern bei E-Mail-Anfrage (Joachim.Wink@aventis.com) und Angabe ihres Namens und Forschungsbereichs gratis zur Verfügung.



**MBA-GUIDE** Der Guide gibt einen Überblick über den Anbieter-Markt, durchleuchtet die Hintergründe für die Attraktivität der MBA-Studiengänge und gibt Entscheidungshilfen für die Auswahl von geeigneten MBA-Programmen. Ein besonderer Fokus wird auf Fernstudien- und Teilzeitprogramme für Berufstätige gelegt. Brackmann/Kran, **Luchterhandverlag**, 2002.



**FORTBILDUNGSPROGRAMM CHEMIE 2003** Die Broschüre der **Gesellschaft Deutscher Chemiker** listet die Fortbildungsveranstaltungen für das kommende Jahr. Themen sind unter anderem Analytische Chemie, Biowissenschaften, Synthesemethoden, Lebensmittelchemie, Chemie und Wirtschaft, Chemie und Recht und Chemie für Nichtchemiker. Tel. 069 7917364 oder [www.gdch.de/fortbild/index.htm](http://www.gdch.de/fortbild/index.htm).



## TERMINE

04. - 06.02.2003

**Betrieblicher Umweltschutz**  
Einsteigerseminar für Betriebsräte vom Umwelthinstitut Offenbach in Offenbach  
Tel. 069 810679; [www.umweltinstitut.de](http://www.umweltinstitut.de)

05. - 07.02.2003

**Ionenchromatographie I**  
Grundlagenseminar von Dionex in Idstein  
Tel. 06126 9910; [www.dionex.com](http://www.dionex.com)

19. - 20.02.2003

**Mikrosystemtechnik**  
Seminar des Otti Technik Kolleg in Regensburg  
Tel. 0941 2968820; [www.otti.de](http://www.otti.de)

24. - 25. 02.2003

**Unbeschädigt durch die Stabilitätsprüfung**  
Intensivseminar des Pharmaceutical Training Institut (PTI) in Mannheim  
Tel. 06196 585131; [www.pti-aktuell.de](http://www.pti-aktuell.de)

10. - 12.03.2003

**Mikro-Gelelektrophorese (SDS-PAGE)**  
Wissenschaftliche Weiterbildung an der Universität Tübingen  
Tel. 07071 2976439  
[www.uni-tuebingen.de/wit](http://www.uni-tuebingen.de/wit)

11.03.2003

**Internet Recherche – speziell im Umfeld der chemischen Industrie**  
Schulung für die Laborbranche der Dr. Beyer Internet-Beratung in Kooperation mit Infraseriv Gendorf, Burgkirchen  
Tel. 0681 9762525; [www.dr-beyer.de](http://www.dr-beyer.de)

16. - 19.03.2003

**41. Tutzing-Symposium**  
„Pharmazeutische Reststoffe und endokrin wirksame Substanzen in Gewässern: Brauchen wir neue Strategien zur Bewertung und Risikobegrenzung?“ (Dechema)  
Tel. 069 7564249; [www.dechema.de/tusy03](http://www.dechema.de/tusy03)

18. - 19.03.2003

**Molekularbiologische Methoden in der Lebensmittelanalytik**  
Kurs im Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt des Forschungszentrums Karlsruhe in Eggenstein-Leopoldshafen  
Tel. 07247 824045; <http://fortbildung.fzk.de>



## Pulver-Fließfähigkeit patentiert prüfen

Der patentierte FT3 Pulver-Strömungsmesser von Freeman Technology ist das einzige am Markt erhältliche Instrument, das alle relevanten Kräfte misst, die zur vollständigen und genauen Messung der Pulver-Fließfähigkeit benötigt werden. Sensitive und reproduzierbare Daten werden durch die Messung der Axial- und Drehkraft (Drehmoment) erfasst, mit denen sich die Fließenergien ermitteln lassen. Trockene und nasse Pulver können hinsichtlich der Hauptvariablen wie Durchlüftung, Konsolidierung und Feuchtigkeit charakterisiert werden. Zu den Anwendungsbereichen gehören Entwicklung von Formulierungen, Fertigung und Qualitätskontrolle.

Als Beispiel für ein typisches Problem ließe sich die Kohäsionsneigung in pharmazeutischen Formulierungen anführen. Sie verhindert das Fließen unter Schwerkraft und erfordert bei der Tablettierung eine Formfüllung unter Druck. Der FT3 kann als Alternative zu den herkömmlichen empirischen Bewertungsverfahren für die Eigenschaften der Inhaltsstoffe verwendet werden, um die Formulierung zu optimieren.

Der FT3 misst die Fließfähigkeit von Pulvern, indem er eine Spiralschaufel durch die Pulverprobe dreht, um ein reproduzierbares Fließmuster zur erhalten. Die Kräfte, die dem Fluss widerstehen, wirken auf das Schaufelblatt ein, das sich dreht und gleichzeitig nach

unten bewegt. Bei diesen Kräften handelt es sich um die Drehkraft (oder Drehmoment) und die vertikale Komponente (oder Axialkraft). Die geleistete Arbeit wird anhand der Kräftemessungen berechnet. Der resultierende Energiewert wird zur Beschreibung des Pulver-Fließverhaltens genutzt.

Damit eine vollständige Bewertung der Pulver-Fließfähigkeit erfolgen kann, müssen alle auf das Schaufelblatt des Strömungsmessers einwirkenden Kräfte gemessen werden. Das heißt, die Messung der Drehkraft (oder des Drehmoments) ist ebenso erforderlich wie die der Axialkraft, wenn sich das Schaufelblatt durch die Pulverprobe bewegt.

Freeman Technology  
 Malvern, Worcestershire, WR13 6LE, GB  
 Tel +44 1684 310860  
 Fax +44 1684 310236  
 www.freemantech.co.uk

## Leica QWin Bildanalyse-Software

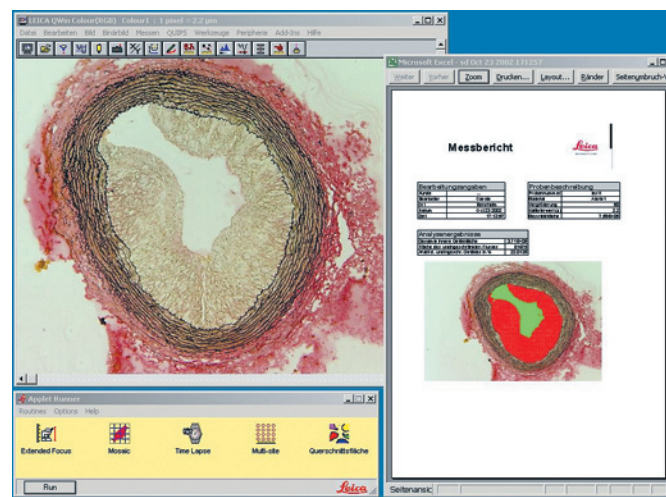
Die neuen Editionen der Leica QWin Serie sind optimiert für einen weiten Bereich von industriellen sowie biologisch-medizinischen Applikationen der quantitativen Mikroskopie. Die Analyse von Gefügebestandteilen in metallographischen Schliffen oder eine Schichtdickenanalyse kann ebenso durchgeführt werden, wie das Zählen von Zellkernen oder die Bestimmung der prozentualen Flächenanteile in Gewebeschnitten.

Darüber hinaus können neue Module zur erweiterten Tiefenschärferekonstruktion, zur Mosaik-Bildaufnahme, zur Zeitreihen-Bildaufnahme sowie

zur Vermessung von Multi-Titerplatten diese Editionen sinnvoll ergänzen. Durch volle Einbindung der automatisierten Leica Mikroskope sowie der Leica Kameras entstehen Komplettlösungen aus einer Hand.

Die Edition Leica QWin Lite bietet alles, was Sie für interaktive Messungen brauchen, die Bildaufnahme, das Einblenden des Maßstabsbalken, Bildbeschriftungen mit Pfeilen oder Texten etc. und die Möglichkeit Bilder zu speichern und diese über Leica QGallery in Bildübersichten anzuzeigen. Das neue QWin Plus besitzt zusätzlich den Vorteil der Grau- bzw. Farbbildbearbeitung sowie der Binärbildbearbeitung und der automatischen Vermessung einer Vielzahl von Parametern. Leica QWin Standard erweitert die Möglichkeiten durch die klar strukturierte Macro-Programmiersprache Quips, die zur Entwicklung von „Ein-Knopf-Druck-Lösungen“ verwendet werden kann und reproduzierbare, wiederholbare Messroutinen liefert. Mit dem Highend-Produkt Leica QWin Professional können über Leica QFab Objekte visualisiert und relokalisiert sowie die Graubildverarbeitung mit der Fast Fourier Transformation erweitert werden.

Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH  
 Lilienthalstraße 39-45, D-64625 Bensheim  
 Tel 06251 136131, Fax 06251 136133  
 www.leica-microsystems.com





- Kolbendichtung mit PTFE für Lösungsmittel
- Kolbendichtung aus modifiziertem PTFE oder Polyethylen für Pufferlösungen

ILS Innovative Labor Systeme GmbH  
Mittelstraße 37, D-98714 Stützerbach  
Tel 036784 50206, Fax 036784 50207  
www.microsyringes.com

## Barcode-Fläschchen

Voretikettierte Probenfläschchen sind die ideale Lösung. Hochwertige Etiketten mit kontrastreichem Druck für schnelles und sicheres Lesen garantieren eine zuverlässige Identifizierung der Proben und sparen das mühselige Selbstaufkleben der Etiketten. Fortlaufende Nummernkreise verhindern die Verwechslungsmöglichkeit.

Wir liefern Probenfläschchen aus unserem umfangreichen Sortiment aus Glas und Kunststoff mit Etiketten Ihrer Wahl:

- alle gängigen Barcode-Formate
- Kombination von Text und Barcode
- beliebige Etikettabmessungen
- ausgesuchte Trägermaterialien

Zinsser Analytic GMBH  
Eschborner Landstraße 135  
D-60489 Frankfurt  
Tel 069 7891060; Fax 069 78910680  
www.zinsser-analytic.com



## Geld sparen beim Spritzen wechseln

Bis zu 80 Prozent können Sie sparen, wenn Sie Mikroliterspritzen an Pipettiersystemen, Diagnostikautomaten, Dispensern und Dilutoren selbst wechseln. Die passende Spritze von ILS finden Sie im Katalog zu günstigen Preisen.

Mikroliterspritzen sind das Herz jedes Pipettiersystems. Von ihnen hängen Reproduzierbarkeit und Präzision ab. Entscheidend für die Zuverlässigkeit sind die Präzision und Beständigkeit der Spritzenkörper, Kolben und Anschlußteile.

ILS setzt auf die besten verfügbaren Materialien:

- Duran für Glaskolben
- virginales Spezial-Teflon für Dichtungen
- Edelstahl für Anschlussstücke und Kolben.

Für den Anwender bedeutet das längere Lebensdauer, Dichtheit auch bei Temperaturveränderungen und höchste Dosiergenauigkeit.

Für Spritzenpumpen gibt es für jede Anwendung den optimalen Typ:

## Neue Rampenfunktion

Der kompakte Tisch-Thermo Stat plus von Eppendorf, ausgestattet mit Peltier-Technologie, ist für das komfortable Temperieren konzipiert.



Für fast alle gängigen Gefäße oder Microtestplatten sind maßgeschneiderte Wechselblöcke verfügbar, die für Kühltemperaturen bis minus fünf Grad Celsius und für Heiztemperaturen bis plus 99 Grad Celsius einsetzbar sind. Per Programm können vier Temperaturphasen gewählt werden, die automatisch mit verschiedenen Haltezeiten ablaufen.

Neu beim ThermStat plus ist die Rampen-Funktion. Bei der Rampen-Funktion ist die Zeit für den Übergang von einer Temperatur zur anderen wählbar, die Temperatur dazwischen ändert sich linear.

Damit ermöglicht sie unter anderem die Auskristallisierung von Proteinen bei Abkühlzeiten von Stunden oder Tagen. Die Laufzeit kann bis zu 300 Stunden eingestellt werden. Von Vorteil ist auch die Reproduzierbarkeit des Rampenverlaufs, unabhängig von Schwankungen der Raumtemperatur oder von der eingesetzten Probenmenge.

Eppendorf Vertrieb Deutschland GmbH  
Peter-Henlein-Straße 2  
D-50389 Wesseling-Berzdorf  
Tel 02232 4180; Fax 02232 418155  
www.eppendorf.de

**Bestimmung von Kohlefasern in Polyurethan  
mit dem Phoenix Airwave**



**Bestimmung von  
Glas- und Kohlefasern**

Der Kunststoffschnellverascher Phoenix Air Wave der Firma CEM ermöglicht die schnelle Veraschung einer Vielfalt von unterschiedlichen Kunststoffen zur Bestimmung des Glasfaser- bzw. Kohlefaseranteils. Das Resultat: Was früher Stunden brauchte, wird jetzt in Minuten erreicht. Das Haupteinsatzgebiet für derartige Kunststoffcompounds ist im Automobilbau (Stoßstangen, Zierleisten, Armaturen, Wannen, Abdeckungen, Fertigteile, etc.).

Da die Werkstoffeigenschaften eines Kunststoffcompounds wesentlich von seinem Füllstoffgehalt abhängen, ist eine Schnellbestimmung dieses Füllstoffes (Glasfaser oder Kohlefaser) zur effektiven Prozesskontrolle unerlässlich.

Die DIN EN 2564 zur Bestimmung der Faser- und Harzanteile eines Kunststoffcompounds schreibt eine langwierige und arbeitsintensive Prozedur für das Aufkochen der Probe mit diversen Säuren vor. Für ein schnelles Erzielen von Analysenwerten und damit ein rasches Eingreifen in die Produktion ist dieses Verfahren ungeeignet. Frühe Versuche zur Veraschung der Probe in einem konventionellen Muffelofen scheiterten, da zuerst der Kunststoffanteil veraschte und anschließend die Kohlefaser sich zu Kohlendio-

xid umsetzte, also aus dem Tiegel verschwand.

Die Alternative: Schnellveraschung im Kunststoffverascher Phoenix Air wave in nur zehn Minuten.

Das Prinzip: Die Kohlefaser und das Kunststoffpolymer setzen sich unterschiedlich schnell mit dem Sauerstoff um. Also wird im Phoenix innerhalb von nur zehn Minuten der Kunststoff verascht und die Kohlefaser wird in ihrem gesamten Gewebe freigelegt bevor sie weiterreagiert. Eine ideale Luftstromführung infolge eines Druckluftanschlusses beschleunigt die Verbrennung vom Kunststoff. Das eingebaute Gebläse entfernt Rauch, Hitze und Dämpfe automatisch und erhöht so die aktive Arbeitssicherheit, damit das Phoenix Airwave direkt am Produktionsort eingesetzt werden kann.

CEM GmbH Mikrowellen-Labortechnik  
Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9  
D-47475 Kamp-Lintfort  
Tel 02842 964424, Fax 02842 964426  
www.cem.de

**Individuelle Pumpen  
und Ventile**

Flow-Control-Spezialist Bio-Chem Valve bietet Herstellern wissenschaftlicher und medizinischer Instrumente jetzt einen „Quick-Change Customiztion“-Service an. Das Unternehmen kann seine Standardkomponenten, zum Beispiel Miniaturabsperrventile, Pumpen und Verteilerbaugruppen, schnell modifizieren, um innovative, kundenspezifische Lösungen zu entwickeln, die spezifischen Design-, Leistungs- und Anwendungszielen gerecht werden.

Anfangen mit einfachen Standard-Designs und vorhandenen Werkzeugen bietet Bio-Chem Valve eine fast unbegrenzte Auswahl an Anschlüssen, Anschlussgewin-

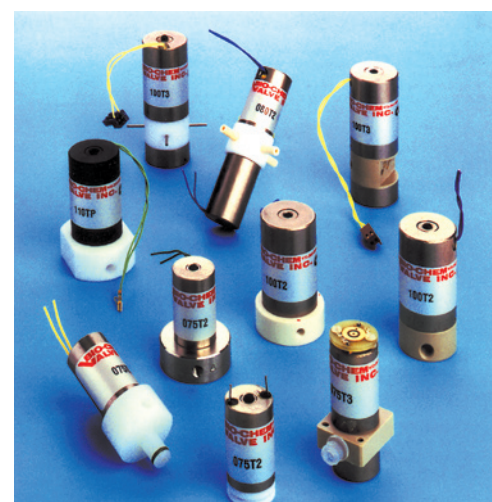
**CLB-Mediadaten und  
Links zu Firmenseiten:**

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

den, Öffnungen und speziellen Konstruktionswerkstoffen. Dies ist ein schneller, kostengünstiger Prozess, in dem einzigartige Komponenten hergestellt werden. Entwicklungsaufwand für Komponenten, Entwicklungszeiten und Leistungsrisiken sind dabei minimal.

Für wirklich einzigartige Anwendungen von Originalherstellern kann Bio-Chem eine komplette kundenspezifische Lösung entwerfen, konstruieren und fertigen. Das Unternehmen bietet auch kundenspezifische Ventil- und Pumpenbaugruppen, Verteilersysteme und PC-Kartenanschlüsse an, mit denen Hersteller ihr Materialmanagement und Montagezeiten rationalisieren können. Bio-Chem Valve ist nach ISO 9001 zertifiziert und testet alle Produkte vor dem Versand.

Bio-Chem Valve Inc.  
85 Fulon Street, Boonton, NJ 07005, USA  
Tel +1 973 2633001  
Fax +1 973 2632880  
www.bio-chemvalve.com





# 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



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



**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



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



**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



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



**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!**

## Fortsetzung von Umschlagseite 2

148

Harzaustauscher

man die Salzsäure sehr langsam hindurchfließen, etwa 10 ml/Min., und wäscht mit ungefähr 50 ml destilliertem Wasser nach. Die Lösung, in der nun die Kationen enthalten sind, dampft man weitgehend ein, und weist die einzelnen Kationen in der üblichen Weise nach. Die Säule wird bis zur Chlor-Ionen-Freiheit nachgewaschen und ist dann wieder gebrauchsfähig.

*Austauschkapazität*

Um eine völlige Trennung der Kationen und Anionen zu gewährleisten, ist es wichtig, darauf zu achten, daß man das Wofatit nicht übersättigt, d. h. nicht mehr Salzlösung auf den Austauscher gibt, als Wasserstoff-Ionen die Möglichkeit bieten, gegen Kationen ausgetauscht zu werden. Nehmen wir ein Milliäquivalent (mval) eines Salzes als Einheit, die ausgetauscht werden soll, so werden durch ein Gramm Wofatit etwa 2 mval des Salzes an den Austauscher gebunden. Nach unserer Beschreibung haben wir in der Austauschsäule ungefähr 30 g Wofatit verwendet, eine solche Säule würde also ausreichen, um etwa 60 mval eines Salzes auszutauschen. In der Praxis wird man aber keine so große Menge Salz anwenden, denn das würde voraussetzen, daß die gesamten Wasserstoff-Ionen des Wofatits ausgetauscht werden müßten. Durch die Filtrier-technik des Verfahrens bedingt, findet aber zunächst nur ein oberflächlicher Austausch statt, der von der Korngröße des verwendeten Wofatits abhängig ist. Um die ganze Austauschkapazität des Wofatits auszunutzen zu können, würde eine erheblich längere Austauschzeit nötig sein. Dasselbe würde beim Herauslösen der Kationen der Fall sein. Am zweckmäßigsten verwendet man eine so große Salzmenge, daß die Austauschkapazität des Austauschers nur etwa zu einem Drittel beansprucht wird. Nur dadurch, daß ein Überschuss an Wofatit vorhanden ist, kann eine vollständige Trennung der Kationen und Anionen erzielt werden. Wie in der Vorschrift angegeben, läßt man den Austausch erst einige Zeit sich vollziehen, bevor man die Anionen enthaltende Lösung abfließen läßt. Auch hier wählt man eine nicht zu große Durchlaufgeschwindigkeit. Man stellt den Hahn so ein, daß in einer Minute etwa 25 ml durchlaufen.

*Austauschgeschwindigkeit*

Betrachten wir den Austausch der Kationen mit den Wasserstoff-Ionen des Wofatits näher, so werden wir feststellen, daß nicht alle Kationen gleich schnell ausgetauscht werden, sondern daß die Austauschgeschwindigkeit

Harzaustauscher

149

von der jeweiligen Affinität der einzelnen Kationen zu dem Wofatit abhängig ist. Und zwar steht die Austauschgeschwindigkeit in einem gewissen Zusammenhang mit dem Ionenradius der Kationen. Je größer dieser ist, um so größer ist die Austauschgeschwindigkeit. Dies bezieht sich sowohl auf den Austausch der Kationen gegen die Wasserstoff-Ionen als auch auf den entgegengesetzten Austausch beim Herauslösen der Kationen.

Besonders die ersten Glieder der Alkaligruppe lassen sich demnach viel leichter austauschen, als etwa Calcium oder Barium der Erdalkaligruppe. Wie schon erwähnt, ist diese verschiedene Affinität der Kationen zum Wofatit sowohl für das Festhalten der Kationen als auch für das Eluieren (Herauslösen) von Interesse. Da es sich in der qualitativen Analyse um saure Lösungen handelt, aus der die Trennung vorgenommen werden soll, ist festzustellen, ob die Affinität aller Kationen groß genug ist, um auch aus saurer Lösung noch vollständig ausgetauscht zu werden. Tatsächlich ist es so, daß auch das Natrium-Ion mit einer der niedrigsten Affinitäten aus normal saurer Lösung noch vollständig ausgetauscht werden kann. Daher verwendet man beim Aufgeben der zu trennenden Lösung auf die Wofatitsäule eine n-salzsaure Lösung. Ebenso muß die Eluierensäure so stark sein, daß alle Kationen wieder herausgelöst werden. Allerdings ist beim Herauslösen der Kationen nicht nur die Konzentration der Eluierensäure von ausschlaggebender Bedeutung, sondern das vollständige Eluieren ist auch von der Filtriergeschwindigkeit des Herauslösen abhängig. Durch möglichst langsames Eluieren wird der vollständige Austausch schneller erreicht, als durch Anwendung einer stärkeren Säure. So dürfte eine 5n-Salzsäure zum Herauslösen stark genug sein.

*Auswaschen*

Eine besondere Beachtung bei diesem Verfahren verdient noch das Auswaschen. Gibt man die normal salzsaure Untersuchungslösung auf den Austauscher, so läßt man, wie angegeben, erst nach einer gewissen Austauschzeit die Flüssigkeit ablaufen. Man wäscht nun bis zur Chlor-Ionen-Freiheit im Washwasser aus. Bei schwachen organischen Säuren ist noch eine „unpolare Adsorption“ zu beachten, die ein vollständiges Auswaschen der betreffenden Anionen verzögert. Und zwar nimmt diese Adsorption mit steigendem Molekulargewicht zu und braucht zum vollständigen Auswaschen eine erheblich größere Menge an Washwasser.

150

Harzaustauscher

Mit steigender Korngröße des Wofatits nimmt die Adsorption zu. Oxalsäure verhält sich wie Mineralsäuren, wird kaum adsorbiert und braucht daher nur wenig mehr Washwasser. Man wird sich mit dem Auswaschen deshalb zweckmäßig nach den vorliegenden Anionen richten.

Wenn man die Kationen wieder eluiert, gibt man zunächst nur sehr wenig Washwasser auf die Wofatitsäule, um die Säurekonzentration nicht zu sehr zu verdünnen. Erst wenn sich die Kationen im Eluat befinden, kann man größere Mengen Washwasser auf einmal verwenden. Auch ein vollständiges Auswaschen ist durch langsame Filtration schneller erreicht, als durch einen Durchfluß größerer Mengen Washwassers.

*Reduktionsvermögen des Wofatits*

Gibt man auf einen mit Wasserstoff-Ionen gesättigten Austauscher z. B. eine Chromat-Ionen enthaltende Lösung, so wird das Chromat zum allergrößten Teil zum Chrom(III)-Ion reduziert und findet sich nach dem Eluieren der Kationen in der Lösung. Hieran ist ein starkes Reduktionsvermögen des Wofatits zu erkennen. Ebenso wirkt Wofatit z. B. auf Bromat, Jodat reduzierend, so daß diese Anionen im Anionen enthaltenden Durchlauf nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form nachzuweisen sind. Ebenso werden Wolframat, Molybdat usw. zersetzt. Das Reduktionsvermögen des Wofatit verhindert den Nachweis von oxydierenden Anionen. Oxydationsmittel sind schädlich für Wofatit, so wirken Salpetersäure und Wasserstoffsuperoxyd lösend darauf ein.

**Zum „Arbeiten mit Hofer-Autoklaven“\*)**

„Die Firma Andreas Hofer, Hochdruck-Apparatebau GmbH., Mülheim/Ruhr, macht mich darauf aufmerksam, daß eine Schrägstellung ihrer liegenden Rührautoklaven während des Betriebes auf keinen Fall vorgehen ist. Es sei daher ausdrücklich festgestellt, daß bei Innehaltung der von der Firma gegebenen Bedienungsvorschrift die in dem genannten Aufsatz geschilderten Gefahren nicht auftreten können, sondern nur dann, wenn aus irgend welchen Gründen entgegen den Vorschriften der Firma in Schrägstellung gearbeitet wird.“ Dr. E. Plötz

\*) vgl. diese Ztschr. 2, 102 (1951).

„Die letzte und höchste Aufgabe der Chemie ist die Erforschung der Ursachen der Naturerscheinungen, ihres Wechsels, so wie die Factoren, welche verschiedenartige Erscheinungen mit einander gemeinsam haben; der Chemiker ermittelt die Gesetze, nach denen die Naturerscheinungen vor sich gehen, und er gelangt zuletzt, indem er alles durch die Sinne Wahrnehmbare und Erkannte zusammenfasst, zu einem geistigen Ausdruck der Erscheinungen, zu einer Theorie.“

Justus Liebig um 1840 über die Aufgaben der Chemie und des Chemikers (siehe auch die Seiten 448 bis 451 dieser CLB).

# 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, Bammentaler 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