

# CLB

*Chemie in Labor und Biotechnik*

Analytik

Biotechnik

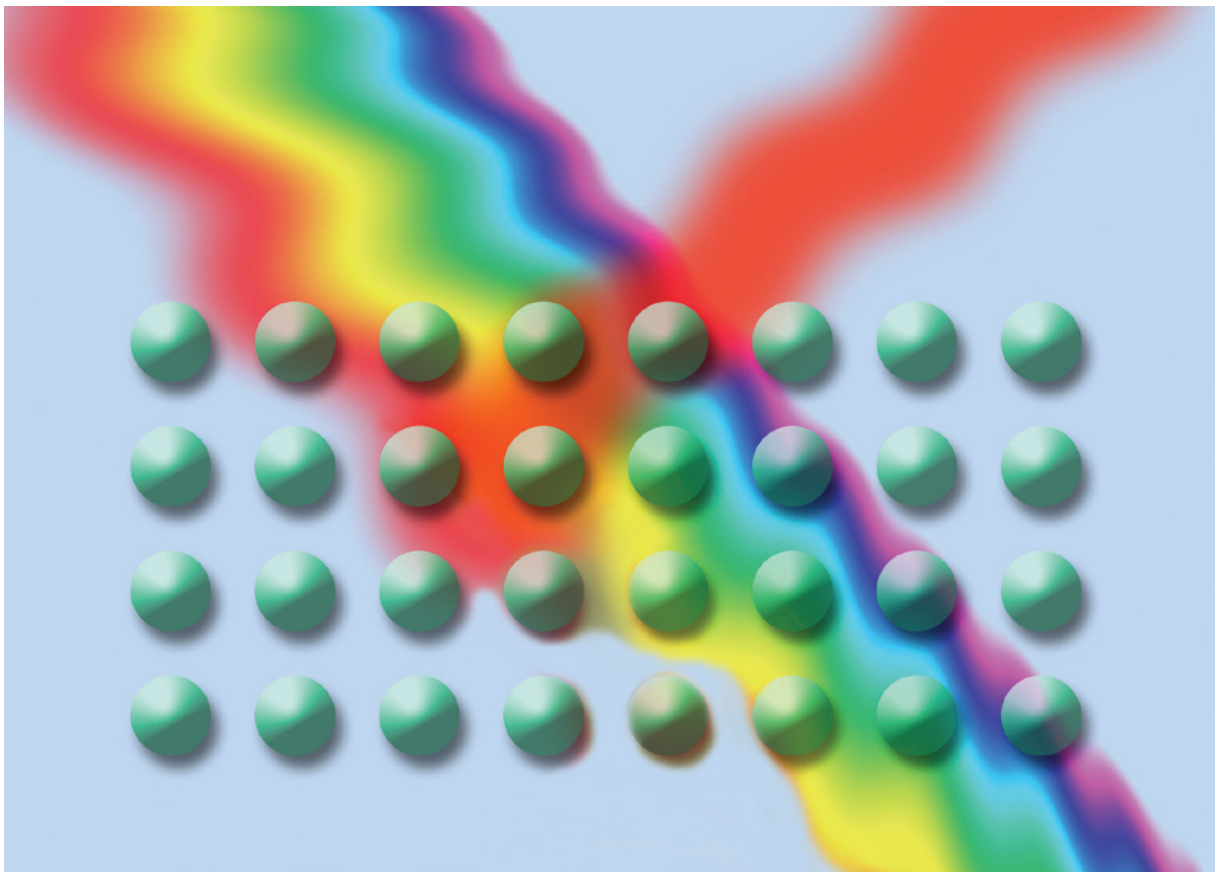
Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

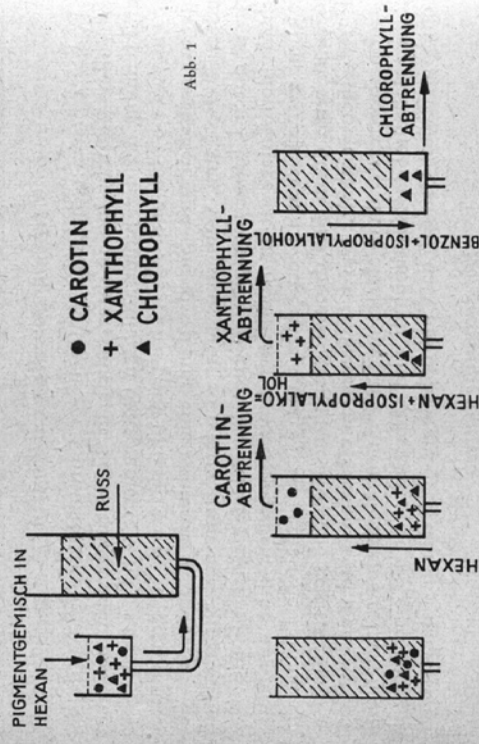
Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung



- Photonische Kristalle
- Spektroskopie im Kosmos
- MS-Ionisationsverfahren
- Atmosphärenchemie
- Supercomputer für die Proteinforschung

Der Arbeitszyklus beginnt damit, daß die Kolonnen mit Frisch-Hexan gefüllt werden, bis dieses im Schauglas am Kolonnenkopf sichtbar wird. Dann wird konzentrierter Rohextrakt zugeführt, und der Ablauf der Kolonne geht ins „Wasch-Hexan“, bis im Ablauf Lipide (Fette und fettähnliche Verbindungen) auftreten, was nach etwa 2—2½ Stunden der Fall ist. Die Anwesenheit von Lipoiden im Ablauf stellt man von Hand durch den „fettigen Griff“ fest. Der Ablauf der Kolonne wird nun auf „Lipide“ umgeschaltet, während man weiteren Rohextrakt zulaufen läßt, bis sich im Schauglas das Auftreten von Carotin durch



Gelbfärbung des Ablaufes bemerkbar macht. Nunmehr läßt man an Stelle von Extrakt Frisch-Hexan in die Kolonne eintreten, und der Ablauf wird auf „Carotin-Extrakt“ umgeschaltet. Nach etwa zwei Stunden beginnt die Gelbfärbung der Flüssigkeit im Schauglas erheblich zu verblassen, ein Zeichen dafür, daß die Hauptmenge an Carotin eluiert ist und die Xanthophyll-Bande sich dem Kolonnenkopf nähert. Der Ablauf wird nun auf „Wasch-Hexan“ umgeschaltet bis die Gelbfärbung im Schauglas völlig verschwunden ist.

Nunmehr läßt man die Kolonne leer laufen (ins „Wasch-Hexan“), um zu vermeiden, daß das Hexan durch das zur Eluierung des Xanthophylls

# Chemie FÜR LABOR UND BETRIEB

Die neue verständliche Monatsschrift

Nr. 12

Frankfurt a. M., Dezember 1951

2. Jahrgang

## Technische Chromatographie\*)

Von Dr. J. Hausen, Berlin

Trennung von Blatt-Farbstoffen

Eine der ersten technischen Anlagen zur Chromatographie wurde bei der Valley Vitamin Inc. in ihrer Fabrik in Texas eingerichtet. Sie dient zur Trennung der drei hauptsächlichsten Blattpigmente Chlorophyll, Beta-Carotin und Xanthophyll, die z. B. in getrockneter Luzerne enthalten sind. Sie löst damit eine technische Aufgabe, die auf andere Weise kaum, wenigstens nicht so relativ leicht und wirtschaftlich wie es durch Chromatographie möglich ist, gelöst werden könnte. Das Schema der Anlage ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Eine durch Extraktion getrockneten Luzerne-Mehls mit Hexan erhaltene Lösung der Pigmente wird durch eine chromatographische Kolonne geleitet, die Ruß als Adsorbens enthält. Durch Eluieren mit Hexan wird zunächst das Carotin abgetrennt; dann eluiert man mit einem Gemisch aus Hexan und Isopropylalkohol das Xanthophyll, und schließlich wird mit einem Benzol-Isopropylalkohol-Gemisch das Chlorophyll aus der Kolonne ausgewaschen.

### Der technische Betrieb

In Wirklichkeit ist der Prozeß allerdings wesentlich komplizierter als hier angedeutet wurde; da er aber einen guten Einblick in die Art und Weise gibt, wie derartige Trennungen technisch durchgeführt werden, sei an Hand des Schaltschemas der Kolonne Abb. 2 näher darauf eingegangen.

Man arbeitet mit sechs Adsorptions-Kolonnen, die paarweise betrieben werden. Beispielsweise wird ein Kolonnenpaar mit dem Rohextrakt beladung, ein zweites Paar eluiert zum gleichen Zeitpunkt Xanthophyll, und das dritte Paar eluiert Chlorophyll. Die Kolonnen werden von unten nach oben von der Flüssigkeit durchströmt.

\*) Teil I. diese Zeitschr. 2. 637 [1951].

Fast alle laubtragenden Pflanzen haben inzwischen ihre Blätter verloren. Für die vorherige Färbung waren Blattfarbstoffe verantwortlich, wie man im Memory nachlesen kann („Wer malt im Herbst die Blätter bunt?“, Seite M84). Solche Substanzen stellen in reiner Form wertvolle Produkte dar. So kann Xanthophyll als E161 beispielsweise in Schmelzkäse und Fruchtzubereitungen enthalten sein. Eine der ersten technischen Anlagen zur Chromatographie diente denn auch der Gewinnung von Farbstoffen, wie oben abgebildeter Artikel aus dem Jahre 1951 zeigt.

(Fortsetzung auf Umschlagseite 3)

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

„komplexe Materialien“ und „maßgeschneiderte Moleküle“ sind Themen der CLB; die Titelseite nennt diese Schwerpunkte neben dem Logo. Folgerichtig haben wir seit Juni eine Rubrik für Nanotechnik eingeführt, die zu beiden o.g. Themenkomplexen Beiträge liefert. Dass dies keine Bereiche exotischer Chemie sind, zeigt der Beitrag über photonische Kristalle (S. 424 – 427). Diese Materialien klingen zwar nach Science Fiction, finden aber bald ihre Anwendung in Produkten der Großchemie. Sie bietet mehr und mehr Produkte an, die auf Nanotechnik-Grundlagen beruhen.

Dr. Stefan Marcinowski, Forschungsvorstand der BASF, betonte auf einer Presseveranstaltung Ende Oktober, Nanotechnik habe starken Querschnittscharakter; ein Drittel der 2001 im Unternehmen eingestellten Naturwissenschaftler hätte sich mit solchen Themen auseinandergesetzt. Der Umsatz des Unternehmens mit Nanotechnik-Produkten betrage allerdings noch weniger als zehn Prozent. Dies ist jedoch absolut gesehen eine große Menge; 2001 erzielte die BASF einen Umsatz von 32,5 Milliarden Euro. Ein Grund für diese Mengendimension: Nanotechnik ist gleichermaßen „hype“ – in Mode, und alt. Mit der „Nanobrille“ sieht man herkömmliche Produkte in neuem Licht. Kolloidchemie etwa gilt jetzt als Nanotechnik. In der kommenden Ausgabe wird die CLB daher über „Nanotechnik in Megatonnen“, über weitere Produkte und Märkte berichten.

Auch der Themenschwerpunkt Analytik kommt in dieser CLB nicht zu kurz. Einerseits erläutern wir – wie angekündigt – „Ionisationsmethoden in der Massenspektroskopie“, für die der zweite Teil des diesjährigen Chemie-Nobelpreis vergeben worden ist (S. 412 – 415). Barbara Brauckmann beschreibt zuvor (S. 408 – 411) die



Spektroskopie molekularer Riesenwolken im interstellaren Raum. Die Untersuchung irdischer Wolken steht ebenso auf dem Themenplan, auf den Seiten 416 bis 421.

Biotechnik bleibt ebenfalls im Blickpunkt der CLB. Auf den Seiten 429 und 430 erfährt man etwas über neue Entwicklungen der Fluoreszenzspektrometrie zur Proteinanalytik. Zuvor, auf den Seiten 422 und 423, gibt es Informationen darüber, warum Simulationen von Proteinfaltungen eine riesige Rechenleistung erfordern. Diese soll bald von Supercomputern bereit gestellt werden. „Petaflop/s für Proteine“ steht aber auch dafür, welchen gesellschaftlichen Wert man der Proteinforschung beimisst. Erfreulich, dass man als Triebfeder für den Computerbau der „konstruktiven Forschung“ (Proteinaufbau) jetzt mindestens solch eine Bedeutung beimisst wie der „destruktiven“ für Atomwaffensimulationen...

Ihr

# INHALT

## Aufsätze

Riesenwolken als gigantische Chemiereaktoren Spektroskopie im interstellaren Raum _____	408
Mit dem Nobelpreis ausgezeichnet Ionisation für die Massenspektrometrie _____	412

## Rubriken

Editorial _____	401
Impressum _____	403
F & E im Bild _____	403
Unternehmen _____	404
Messe/Kongress _____	405
Personalia _____	406
Förderungen / Preise _____	407

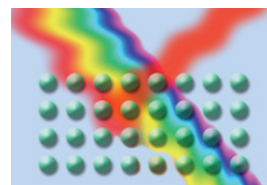
### Umschau

Labors für spezielle Aufgaben 19 Chemische Höhenflüge: Mainzer Institut erforscht Chemie und Physik der Atmosphäre _____	416
Zervixcarzinom Entstehung ist aufgeklärt _____	421
Supercomputer in fünf Jahren Petaflop/s für Proteine _____	422

### Nanotechnik

Photonische Kristalle: schillernde Farben, „Gummilaser“ und Computer Vom Bohrlochmodell zum Massenkunststoff _____	424
---	-----

Stellenanzeigen _____	421
Forschung und Technik _____	428
Wirtschaft _____	431
Software _____	434
Service _____	435
Neue Produkte _____	436
Bezugsquellenverzeichnis _____	439



#### Zum Titelbild:

Ein photonischer Kristall  
– hier grafisch vereinfacht  
– weist Bandlücken für bestimmte Lichtwellenlängen auf, reflektiert solches Licht vollständig (siehe dazu die Seiten 424 bis 427; Grafik: RK/MB).

## CLB-Memory

Notfallchemie „Störfall“ mit Epichlorhydrin _____	M81
Chlorophylle, Xantophylle und Karotine Wer malt im Herbst die Blätter bunt? _____	M84
Nachwachsende Rohstoffe, Teil 3: Saccharose aus der Zuckerrübe Vielseitig und ständig verbessert _____	M86
Basis für Fortschritt in der Analytik Chromatographische Trennungen _____	M87
Geringes Gewicht, große Wirkung Magnesiumtechnologie _____	M88

## Tomographie mit dem Elektronenmikroskop Blick ins Innere einer Zelle

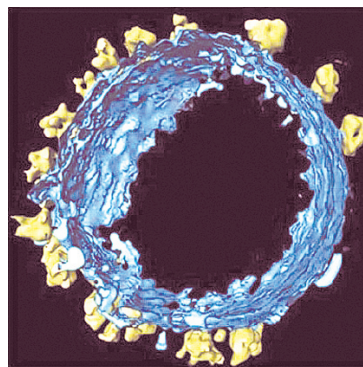
**E**rstmals gelang es jetzt mit Hilfe der Elektronentomographie, Bilder aus dem Zellinneren eines Vielzellers, des Schleimpilzes *Dictyostelium discoideum*, zu sehen.

Das von MPG-Wissenschaftlern um Wolfgang Baumeister in Martinsried in mehr als zehn Jahren entwickelte Verfahren unterscheidet sich nicht prinzipiell von anderen tomographischen Bildgebungsverfahren. Von einem Objekt werden am Elektronenmikroskop Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln und in verschiedenen Ebenen aufgenommen. Aus diesen verschiedenen zweidimensionalen Bildern lässt sich ein dreidimensionales Bild rekonstruieren. Im Gegensatz zur Computertomographie in der Medizin wird bei der Elektronentomographie das zu untersuchende Objekt im Strahl des Elektronenmikroskops gekippt, während die „Lichtquelle“, also die

Quelle der Elektronenstrahlen, an ihrem Platz verbleibt.

Bei der erstmaligen Untersuchung eines Eukaryoten stellten die Wissenschaftler nun zu ihrem Erstaunen fest, dass eine eukaryotische Zelle nicht so dicht gepackt ist wie ursprünglich angenommen, und dass die einzelnen Proteinkomplexe der Zelle deshalb auch gut zu visualisieren sind. Das Team konnte zwischen 300 und 600 Nanometer dünne Zellregionen elektronentomographisch untersuchen und dabei erstmals ein mit Ribosomen besetztes endoplasmatisches Retikulum (raues ER) klar und deutlich in der intakten Zelle sichtbar machen.

Die großartigsten Bilder erhielten die Wissenschaftler jedoch von Proteinen, die das Skelett der Zelle bilden – den Aktinfilamenten. Die Aufnahmen zeigen, dass es zwischen den einzelnen Filamenten zu Brückenbildungen kommt, dass

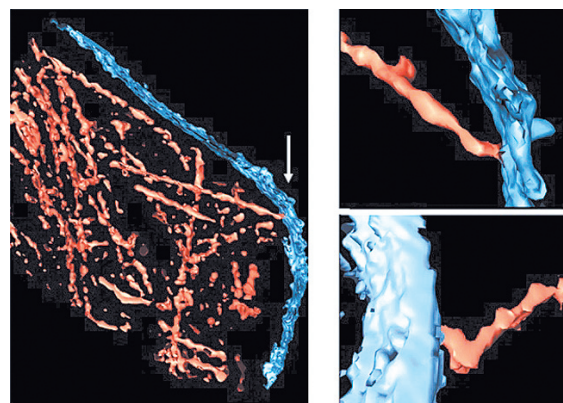


Ein mit Ribosomen besetztes rauhes endoplasmatisches Retikulum. Die Membranen sind blau dargestellt und die Ribosomen grün-gelb (Aufnahmen: mpg).

die verschiedenen Aktinstränge in unterschiedlichen Winkeln zueinander verknüpft sind, und dass sie auch mit der Zellmembran verbunden sind.

mpg

Aktinfilamente (rötlich braun), die an die Zellmembran (blau) binden.



## 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, Diekholzen; Prof. Dr. Erika Krakovská, Kosice; Hans Dietrich Martin, Köln; Dr. Ognian Serafimov, Konstanz; Jürgen Wagner, Weinheim; Hans-G. Winkler, Meyenfeld; Dr. Röbbte 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 & NOTIZEN

**Degussa hat** für 21,5 Millionen US-Dollar das Unternehmen Genset Oligos – die Oligonukleotid-Sparte von Genset S. A., Paris, – übernommen und diese mit ihrer in Boulder, Colorado, ansässigen Tochter Prologo zusammengeführt. Künftig befinden sich Produktionsstätten in den USA, Deutschland, Frankreich, Japan, Singapur und Australien.

**Die Eppendorf Zentrifugen GmbH, Teil der Hamburger Eppendorf-Gruppe, wird** in Leipzig eine Fertigungsstätte für Laborzentrifugen errichten. Auf einem Gelände von nahezu 26 000 Quadratmetern entstehen etwa 6000 Quadratmeter Produktionsfläche sowie Entwicklungs- und Anwendungslabors, wo Instrumente für den Einsatz in Forschungseinrichtungen der Biotechnologie produziert werden sollen. Die Inbetriebnahme des neuen Werks ist für Ende 2003 geplant.

**Agilent Technologies erwirbt** die Lizenz für die Spectrum Mill Software von Millenium Pharmaceuticals. Beide Unternehmen werden auch im Bereich Proteomics zusammenarbeiten.

**TA Instruments, Anbieter von Geräten zur Thermischen Analyse und Rheometern wird** die Rheology Division von Rheometric Scientific kaufen.

**Das Technische Büro Münschen der Shimadzu Deutschland ist** nach Neufahrn umgezogen.

## Amerikanismen und „Silicon“ (zu CLB 9/2002, S. 323)

Wie wir in der CLB 10/2002 auf Seite M76 berichten kann es bei der Arbeit mit amerikanischer Literatur leicht zu Missverständnissen kommen. Liest man das amerikanische *billion*, so handelt es sich im allgemeinen nicht um eine „Billion“ ( $10^{12}$ ) sondern um ein „Millarde“ ( $10^9$ ). Missverständnisse treten auch bei chemischen Fachausdrücken auf. So ist das amerikanische *sodium* (Natrium) keinesfalls mit dem deutschen „Soda“ (Natriumcarbonat) zu verwechseln. Das Wort *soda* existiert auch im Englischen und entspricht dann dem deutschen „Soda“, wobei durchaus renommierte Wörterbücher das englische *soda* auch mit „Natriumoxid“ übersetzen, was zu neuerlichen Verwirrungen führen könnte. Auch *alumina* hat nur teilweise mit „Aluminium“ zu tun: es ist das Oxid des Metalls gemeint. Das amerikanische *silicon* hingegen ist nicht das Oxid, sondern das Element „Silicium“, während unsere „Silicone“ organische Abkömmlinge des Siliciumdioxids sind, wie wir in CLB 3/2002, S.84 ff., berichteten. Auch wir haben dennoch die Bedeutungen von silicon und Silicium verwechselt (CLB 9/2002, S.323). Bei den „Silicon-Kristallen“ handelt es sich um Silizium-Kristalle. MB

## Gefahrgutfreilager jetzt in Dormagen

Das Transport- und Logistikunternehmen Hoyer hat in seinem Logistikzentrum Rhein-Ruhr auf dem Gelände des Chemieparkes in Dormagen eine Gefahrgutlager- und Umschlaganlage für Container in Betrieb genommen. Die Lageranlage besteht aus mehreren aneinander gefügten Wannens aus Stahlbeton. Die einzelnen Lagerabschnitte sind durch Brandwände voneinander getrennt. Die Lagerung kann bis zu einer Produkttemperatur von 120 Grad Celsius erfolgen. Für die dazu nötige Beheizung der Container sind die Stellplätze mit Anschlüssen für Elektro- und Warmwasserheizung ausgestattet. Die hier eingelager-



ten Stoffe unterliegen der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF), sind als Gruppe oder Einzelstoff im Anhang I der Störfallverordnung aufgeführt oder gelten als wassergefährdende Stoffe nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG). In das gesamte Logistikzentrum, das sich über knapp 90 000 Quadratmeter erstreckt, investierte das Unternehmen rund 25 Millionen Euro.

## Neue biopharmazeutische Qualitätskontrolle und Entwicklungsanalytik eingeweiht

**Mit der Einweihung des letzten Gebäudeabschnittes hat die Boehringer Ingelheim Pharma KG am Standort Biberach an der Riss den Neubau der Qualitätskontrolle und Entwicklungsanalytik im Geschäftsbereich Biopharmazeutika abgeschlossen.**

Rund 16 Millionen Euro wurden in den Komplex investiert, der die Qualität und Sicherheit der biopharmazeutischen Produkte sicherstellen soll, sowie für neue Entwicklungsprojekte die notwendigen Voraussetzungen schafft. Bis 2004 werden etwa 150 Mitarbeiter, wofür mehr als 50 Stellen in den vergangenen drei bis vier Jahren neu geschaffen wurden, in diesem Bereich tätig sein. Weitestgehend automatisierte Analysen sorgen für effiziente Abläufe der Gruppe Qualitätskontrolle und Entwicklungsanalytik. Zu ihren Aufgaben gehören Rohmaterialkontrolle, Entwicklungsanalytik, Qualitätskontrolle und Stabilitätsuntersuchungen für biopharmazeutische Produkte. Schwerpunktfunktionen



sind Chemische Analytik, Chromatographie, Photometrie, Immunologie und Primärstrukturanalytik. In diesem anspruchsvollen Bereich sind Mitarbeiter mit naturwissenschaftlichem und technischem Hintergrund tätig, wie etwa Biologen, Chemiker, Pharmazeuten, aber auch Biostatistiker sowie weiteres Fachpersonal.

Dieses Know How und die Kapazitäten der Fermentationsanlagen, die im Produktionsbereich in Biberach mit einer Investition von mehr als 250 Millionen Euro derzeit verdoppelt werden, stehen im Rahmen von Auftragsproduktionen auch Dritten zur Verfügung. In diesem Zusammenhang werden 400 neue Arbeitsplätze geschaffen.

## Erste Bewährungsprobe der neuen Messen in Basel r+d in life sciences und REACH for process solutions

An den vier Messetagen besuchten 14 200 Interessierte die beiden Messen. Auf der r+d in life sciences, Internationale Fachmesse und Kongress für Forschung und Entwicklung, Analytik und Diagnostik in Life Sciences und der Chemischen Industrie, präsentierten sich 304 Aussteller. Auf der Reach for process solutions, Internationale Fachmesse für Prozesse, Verfahrenstechnik und Umweltmanagement, waren es 289 Aussteller.

Auf beiden Messen kamen je ein Viertel der Besucher aus dem Ausland. Die Besucherzahlen hatten sich nach einem verhaltenen Start im Verlauf der vier Tage andauernden Fachmessen gesteigert, auch wenn sie noch nicht den Wünschen der Veranstalter und der Aussteller entsprachen. In ersten Statements berichteten zahlreiche Aussteller von einem allgemeinen Trend, sich weniger, aber dafür kompetenten Besuchern zu präsentieren.

Bei vielen Ausstellern und Besuchern sind die Namen der Vorläufermessen – ilmac und M.U.T. – noch verankert. Die r+d in life sciences und die Reach for process solutions als zwei neue Produkte brauchen Zeit, um sich zu etablieren. Dies sei umso schwieriger, als dass das wirtschaftliche Umfeld nur wenig zu einer positiven Grundstimmung beitrage.

Den Kongress r+d in life sciences, der parallel zur Messe zu den Themen Analytik, Biotechnologie, Chemie und Spektrometrie stattfand, besuchten insgesamt 1517 Teilnehmer. Er ergänzte die Themen der Messe um ihre wissenschaftliche Dimension.

Die innerhalb des Kongresses veranstaltete Herbstversammlung der SCG (Schweizerische Chemische Gesellschaft) wurde

von rund 800 Mitgliedern besucht. Bei der Eröffnung vergab man zwei Preise. Der mit 10 000 Schweizer Franken dotierte Werner-Preis ging an zwei Nachwuchswissenschaftler, Prof. Dr. Jérôme Lacour von der Universität Genf und Prof. Dr. Werner Nau von der Universität Basel.

Lacour leistete ausgezeichnete Arbeit auf dem Gebiet der asymmetrischen supramolekularen Chemie. Nau erhielt die Auszeichnung für seine Untersuchungen der Bewegungen von Biopolymeren mittels Fluoreszenzmethoden. Seine „intelligenten Molekularsonden“ liefern Informationen über Struktur und Funktion von



Die Aussteller auf der Messe r+d in life sciences warteten an ihren aufwändig gestalteten Ständen oft vergeblich auf Besucher (Fotos: Bulmahn).

Molekülen, Geschwindigkeit von Reaktionen und Strukturveränderungen sowie die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Molekülen.

Den mit einem Preisgeld von 20 000 Schweizer Franken dotierten Paracelsus-Preis erhielt Professor Martin Quack vom Laboratorium für Physikalische Chemie der ETH Zürich. Damit wird seine über Jahre hinweg im internationalen Vergleich hervorragende Arbeit auf dem Gebiet der molekularen Kinetik und Spektroskopie gewürdigt.

Maren Bulmahn





Classon

**BAYER** Der Vorstand der Bayer AG hat **Rolf Classon** (57) zum neuen Vorstandsvorsitzenden der Bayer Health Care AG und zum Vorsitzenden des Executive Committee Health Care berufen.



Stadler

**DIP** Neuer Vorsitzender der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie (DIP) im Verband der Chemischen Industrie (VCI) ist **Prof. Peter W. Stadler**. Der Geschäftsführer der Artemis Pharmaceuticals GmbH tritt damit die Nachfolge von **Dr. Dieter Wifler**, Präsident der Novartis Deutschland, an.



Bullinger

**FhG** **Prof. Dr. Hans Jörg Bullinger** (58) ist neuer Präsident der Fraunhofer Gesellschaft (FhG). Der bisherige Präsident, **Prof. Dr. Hans-Jürgen Warnecke**, geht in den Ruhestand.



Koch

**GDCh** Die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) hat einen neuen Geschäftsführer: **Prof. Dr. Wolfram Koch**, bisher in der GDCh Bereichsleiter Wissenschaft und Forschung, will die GDCh künftig als wissenschaftliche Gesellschaft und neutralen Kompetenzträger stärker in der Öffentlichkeit profilieren.



Lachmann

**SASOL** **Götz Lachmann** (38) hat die neu geschaffene Position des Global Communication Manager bei Sasol Olefins & Surfactants GmbH in Bad Homburg übernommen.



Malmström

**STINNES** Neuer Vorsitzender des Vorstandes der Stinnes AG ist **Dr. Bernd Malmström**. Als Vertreter der Anteilseigner wurden **Hartmut Mehdorn**, Vorsitzender des Vorstandes der Deutschen Bahn AG, und **Diethelm Sack**, Vorstand Finanzen der Deutschen Bahn AG, in den Aufsichtsrat bestellt.



Wenning

**VCI** Die Mitgliederversammlung des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) hat bei einer Nachwahl **Werner Wenning**, Vorsitzender des Vorstandes der Bayer AG, zum Vizepräsidenten gewählt.

## EHRUNGEN

Um Moleküle von Mikropartikeln zu identifizieren bringt **Prof. Dr. Jürgen Popp** regelrecht Licht ins Dunkel – genauer Laserlicht und die Raman-Spektroskopie. Für die gewonnenen grundlegenden Erkenntnisse aus Lichtstreuexperimenten erhielt er den von der Firma Perkin-Elmer mit 2500 Euro dotierten **Bunsen-Kirchhoff-Preis 2002** des Arbeitskreises für Angewandte Spektroskopie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker.



**Prof. Dr. Detlev Ganten**, Stiftungsvorstand des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch, ist mit der **Treviranus-Medaille**, der höchsten Auszeichnung des Verbandes deutscher Biologen (vdbiol) geehrt worden. Er erhielt die Medaille für seine Verdienste beim Aufbau des 1992 gegründeten MDC, einer Forschungseinrichtung der Helmholtz-Gemeinschaft in Berlin Buch, sowie für seinen „beständigen Dialog mit Politik und Gesellschaft“.



In der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurden herausragende Leistungen des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses mit den **Adolf-Martens-Preisen 2002** gewürdigt. Die Preisträger sind für den Bereich Werkstoffwissenschaften, Materialforschung und -prüfung: **Dr. Sylvio Indris**, Universität Hannover, für seine Arbeit: „Perkolation von Grenzflächen in nanokristallinen keramischen Kompositen – Lithium-Ionenleit-

fähigkeit und <sup>7</sup>Li-NMR-Relaxation“ und für den Bereich Analytische Chemie **Dr. Ulrich Panne**, Technische Universität München, für seine Arbeit: „Die Anwendung der Laser-Plasma-Spektroskopie in der Prozessanalytik“.

Den mit 20000 Euro dotierten **Dechema-Preis der Max-Buchner-Forschungstiftung** erhält in diesem Jahr **Prof. Dr. Jürgen Rühle**, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Er wird damit für seine richtungweisenden experimentellen, theoretischen und anwendungsorientierten Arbeiten zur Funktionalisierung von Grenzflächen durch oberflächengebundene Makromoleküle ausgezeichnet.



Mit dem **Lise-Meitner-Preis 2002** sind **Dr. Pia Dreiseitel** (siehe Foto), **Dr. Ilka Teschauer** (beide: TU Darmstadt) und **Dr. Regina Hanemann** (Uni Kassel) ausgezeichnet worden. Die Hessische Landesregierung vergibt diesen – mit insgesamt 10000 Euro dotierten – Preis alle zwei Jahre ausschließlich an junge Nachwuchswissenschaftlerinnen für hervorragende Leistungen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. In ihrer Dissertation entwickelte beispielsweise Teschauer Berechnungsverfahren für Simulationen, die feste und flüssige Stoffe in ihrer Wechselwirkung zu erfassen versuchen, was zum Beispiel bei der Simulation von Muskelkontraktionen und Blutströmung im Herzen Anwendung finden kann.





## BMBF schreibt Servicezentrum „Existenzgründung von Frauen“ aus Mehr Frauen als Unternehmensgründerinnen

**Frauen bilden weltweit eine entscheidende Ressource für Neugründungen vor allem von kleinen und mittleren Unternehmen mit hohen Wachstumsraten und der Schaffung von Arbeitsplätzen. Das neue Zentrum soll das vorhandene Gründungspotential von Frauen mobilisieren und Anstöße für mehr Unternehmensgründungen von Frauen, insbesondere in technologie-orientierten Bereichen, geben.**

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) will verstärkt Frauen bei der Gründung von eigenen Unternehmen unterstützen. Ein neues Servicezentrum „Existenzgründung von Frauen“ soll Frauen bei der Umsetzung ihrer Ideen fördern. Unterstützt wird das beste Konzept, das die Verankerung des Gründerinnenzentrums in Wirtschaft, Politik und Netzwer-

ken sowie eine Nachhaltigkeit des Vorhabens nach Auslaufen der Bundesförderung erwarten lässt.

Damit leistet das BMBF einen Beitrag zur Umsetzung des Aktionsprogramms der Bundesregierung „Innovation und Arbeitsplätze in der Informationsgesellschaft des 21. Jahrhunderts“. Ziel des Programms ist es, den Anteil von Frauen an Unternehmensgründungen bis zum Jahr 2005 auf mindestens 40 Prozent zu erhöhen. Bisher steht Deutschland im internationalen Vergleich unter 22 Ländern bei der Unternehmensgründung von Frauen nur auf Platz 11. Während hierzulande jeder achte Mann selbstständig, freiberuflich oder als Unternehmer tätig ist, ist es bei den Frauen nur etwa jede zwanzigste.

Das neue Zentrum soll die bereits vom BMBF durch An-

schubfinanzierung geförderten Kompetenzzentren „Frauen in Informationsgesellschaft und Technologie“ und „Frauen in Wissenschaft und Forschung (CEWS)“ ergänzen und als Plattform für die Unterstützung von Frauen als Gründerinnen dienen.

### „Anstoß zum Aufstieg“

Zur Steigerung der Beteiligung von Frauen an Professuren und zur Vorbereitung auf Juniorprofessuren bietet das Kompetenzzentrum Frauen in Wissenschaft und Forschung (CEWS) Karrieretrainings- und Coachingseminare für Wissenschaftlerinnen an. Die Seminare dienen der gezielten Karriereplanung und der Optimierung individueller Bewerbungs- und Verhandlungsstrategien sowie dem Aufbau von Netzwerkstrukturen. Weitere Informationen finden Sie unter [www.cews.uni-bonn.de](http://www.cews.uni-bonn.de). Ihre Bewerbung mit den dazugehörigen Unterlagen richten Sie bitte bis zum **07. Dezember 2002** an die Leiterin des CEWS, Dr. Brigitte Mühlenbruch, Kompetenzzentrum Frauen in Wissenschaft und Forschung, Universität Bonn.

### „Chemistry inside - Chemie in unserem Alltag“

Die Dechemax, der Dechema-Schülerclub für Chemische Technik und Biotechnologie startet wieder einen Schülerwettbewerb. Teilnahmeberechtigt sind Schülerinnen und Schüler der Klassen 7 bis 11 aus dem gesamten Bundesgebiet. Die Anmeldung kann **ab sofort** unter [www.dechemax.de](http://www.dechemax.de) erfolgen. Mit dem Motto des diesjährigen Wettbewerbes „Chemistry inside – Chemie in unserem Alltag“ leistet die Dechema einen Beitrag zum 2003 stattfindenden Jahr der Chemie, das die Erfolge und Perspektiven der Chemie einem breiten Publikum darstellen möchte. Der Wettbewerb verbindet den Umgang mit modernen Medien und die Beschäftigung mit den klassischen Wissensgebieten der Naturwissenschaft und Technik. Im Internet sind unter [www.dechemax.de](http://www.dechemax.de) zunächst in acht Wochen acht Fragen zu beantworten, bevor es in der zweiten Runde ans Experimentieren geht. In Teams von drei bis fünf Personen spielen die Teilnehmer um Punkte, Sieg und Preise und lernen dabei Interessantes zu aktuellen Themen aus Naturwissenschaft und Technik. Die drei Preisträgerteams des vergangenen Wettbewerbs kommen aus Hamburg vom Gymnasium Doerpsweg, aus Köln von der Königin-Luise-Schule und aus Winnenden vom Georg-Büchner-Gymnasium.

### Lebensmittelchemie

Der Bruno-Roßmann-Preis ist mit einem Geldbetrag bis zur Höhe von insgesamt 5000 Euro verbunden. Er soll eine oder mehrere wissenschaftliche Arbeiten auf folgenden Gebieten auszeichnen:

- Schnellmethoden zum Nachweis gesundheitsschädlicher Stoffe auf und in Lebensmitteln,
  - Methoden zur Untersuchung von Lebensmitteln mit einfachen Mitteln sowie
  - Verbesserung der Ernährung, Ausschaltung von Schadstoffen, bessere physiologische Ausnutzung.
- Bewerbungen und Vorschläge sind bis zum **15. April 2003** an die Lebensmittelchemische Gesellschaft – Fachgruppe in der GDCh – erbeten.

### Lithium-Chemie

Der von der Chemetall GmbH gestiftete Arfvedson-Schlenk-Preis 2003 ist nach dem Entdecker des Elementes Lithium Gustav Arfvedson und dem Pionier der lithiumorganischen Chemie Wilhelm Schlenk benannt. Der Preis besteht aus einer Urkunde und einem Preisgeld von 7500 Euro.

Mit dem Arfvedson-Schlenk-Preis werden herausragende wissenschaftliche und wissenschaftlich-technische Leistungen auf dem Gebiet der Chemie des Lithiums ausgezeichnet.

Nominierungen zu diesem Preis werden bis **Ende des Jahres 2002** von der Geschäftsstelle der GDCh entgegengenommen. Die Preisverleihung wird im Rahmen der GDCh-Jahrestagung Chemie in München stattfinden.

# Spektroskopie im interstellaren Raum

**Barbara Brauckmann, Zürich**

Raumsonden konnten in den letzten Jahren eindrucksvolle Aufnahmen von molekularen Riesenwolken im interstellaren (IS) Raum übertragen. Dort entstehen Sterne und wird die größte Menge Materie chemisch umgesetzt. Die im interstellaren Raum stattfindenden chemischen Reaktionen unterscheiden sich wegen der völlig andersartigen Randbedingungen wesentlich von der terrestrischen Chemie. Die Spektroskopie stellt die einzige Methode dar, mit der Informationen über die dort ablaufenden physikalisch-chemischen Prozesse gewonnen werden können.

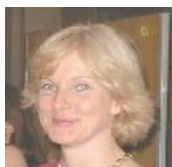
Am Laboratorium für Physikalische Chemie der ETH Zürich werden Methoden zur spektroskopischen Untersuchung von Molekülen entwickelt, deren Existenz im interstellaren Raum vermutet wird. Die Messungen finden unter Bedingungen statt, die denen im Weltraum möglichst ähnlich sind. Durch Vergleich der im Labor gemessenen IS-Spektren lassen sich interstellare Moleküle identifizieren. Vor kurzem ist es den Wissenschaftlern erstmals gelungen, Spektren von  $\text{CH}_2^+$ - und  $\text{CH}_4^+$ - Ionen sowie des Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )-Radikals aufzunehmen. Diese Moleküle sind wichtige postulierte, aber bisher noch nicht eindeutig nachgewiesene interstellare Moleküle.

## Astrospektroskopie als Anwendung der Spektralanalyse auf kosmische Objekte

Die Spektroskopie untersucht die Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und Materie. Sie beruht darauf, dass Materie Licht definierter Wellenlänge absorbieren oder emittieren kann und dabei ihren Energiezustand ändert. Nach den Gesetzen der Quantenmechanik existieren Atome, Moleküle und Festkörper nur in für sie charakteristischen Energiezuständen. Da jedes Atom oder Molekül ein eindeutiges Spektrum besitzt, kann dieses zu deren Nachweis dienen und beispielsweise über Struktur und Reaktivität von Molekülen und außerdem gleichzeitig über die Umgebung des untersuchten Systems Auskunft geben. Die Spektroskopie stellt die einzige

### Die Autorin:

Dr. Barbara Brauckmann ist Diplombiologin. Sie promovierte über „Low grade ore leaching by microorganisms“, bearbeitete dann umweltmikrobiologische Forschungsthemen im Zentraltechnikum der Preussag AG. Journalistisch arbeitete sie als Redaktorin bei der „Chemischen Rundschau“. Es folgten Aufbau und Betrieb der Science Communications bei Hoffmann-La Roche, nun der von Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation für das Departement Chemie der ETH Zürich.



Methode dar, mit der sich Informationen über weit entfernte Teile des Universums gewinnen lassen. Sie erlaubt beispielsweise eine sehr genaue Bestimmung der chemischen Zusammensetzung sowie anhand der Intensitäten der Spektrallinien auch der Temperatur von astronomischen Objekten. Die Verschiebung von Absorptionslinien im Spektrum aufgrund des Doppler-Effekts (Frequenzverschiebung durch Bewegung des emittierenden Objektes) lässt Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit zu, mit der sich ein Himmelskörper nähert oder entfernt.

Historisch war die Entwicklung der Spektroskopie stets eng mit der Astrophysik (Untersuchung der Atmosphäre, des inneren Aufbaus und der Bewegungsverhältnisse von Sternsystemen) verbunden. Bereits 1814 konnte Josef von Fraunhofer diskrete Absorptionslinien im Sonnenspektrum klassifizieren und tabellieren. Seine Arbeit war für die Weiterentwicklung der Spektroskopie wegweisend. Helium (griech. Helios: Sonne) wurde übrigens 1868 unabhängig voneinander von Pierre Janssen und John N. Lockyer (er gründete ein Jahr später die Zeitschrift „Nature“) bei der Beobachtung des Sonnenspektrums aufgespürt.

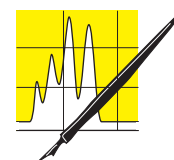
## Der interstellare Raum als Labor

Der interstellare Raum ist kein strukturloses Medium, sondern besteht aus verschiedenen Klassen von Materieansammlungen, zu deren bekanntesten die molekularen Riesenwolken (Bild 1) zählen. Je nach Temperatur, Strahlungsfeld und Teilchendichte werden Gasschichten um die Sterne (coronale Gase), diffuse Nebel und verschiedene Wolkentypen unterschieden.

In den coronalen Gasen herrschen Temperaturen bis zu einer Million Grad Celsius, es finden sich Teilchendichten von weniger als 0,01 Teilchen pro Kubikzentimeter, und Wasserstoff kommt nur als Proton ( $\text{H}^+$ ) vor. Im Gegensatz dazu weisen molekulare Riesenwolken Temperaturen von nur wenigen Grad oberhalb des absoluten Nullpunkts und eine Teilchendichte von etwa 500 Teilchen pro Kubikzentimeter auf (Tabelle 1). Wasserstoff ist dort als neutrales Gasteilchen entweder als Molekül  $\text{H}_2$  oder als Atom  $\text{H}$  vertreten. Letzteres existiert nur in Regionen, in denen die Strahlung aus Sternen genügend intensiv ist, um Moleküle in ihre atomaren Bestandteile zu zerlegen.

Weil Wasserstoff mit Abstand das häufigste Element im Weltall darstellt, kann sein Zustand als Molekül, Atom oder Proton zur Charakterisierung der Wolken und der darin stattfindenden chemischen Reaktionen herangezogen werden. Die Häufigkeit anderer Elemente im Kosmos ist wesentlich geringer. Lediglich

	Wasserstoff	T [K]	Teilchen pro cm <sup>3</sup>	Zeit zwischen Stößen [s]	freie Weglänge [m]
Coronales Gas	H <sup>+</sup>	1 000 000	0,01	10 <sup>11</sup>	10 <sup>14</sup>
Diffuse Nebel	H <sup>+</sup>	10 000	100 – 1 000	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>
Zwischen den Nebeln	H	10 000	0,1	10 <sup>11</sup>	10 <sup>13</sup>
Diffuse Wolken	H, H <sub>2</sub>	50 – 100	10 – 100	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>
Dunkle Wolken	H <sub>2</sub>	10 – 50	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Molekulare Riesen Wolken	H <sub>2</sub>	10	500	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>
Erdoberfläche	Luft	300	10 <sup>19</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>



## AUFSÄTZE

Tabelle 1: Das interstellare Medium aus (molekularen) Gasen und Staubpartikeln (Unterschiedliche Bereiche werden entsprechend den Kriterien in der Tabelle klassifiziert).

Helium, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Neon, Silizium, Magnesium und Eisen kommen in beträchtlichen Mengen vor (Tabelle 2).

Die tiefen Temperaturen und niedrigen Teilchendichten bestimmen die Besonderheiten der interstellaren Chemie: letztere bewirken unter anderem, dass die meisten Gasphasenreaktionen zwischen Atomen und Molekülen stattfinden, die sich schon in großen Distanzen elektrostatisch anziehen können. Deshalb spielen Ionen in der Astrochemie im Gegensatz zur terrestrischen Chemie eine herausragende Rolle. Infolge der tiefen Temperaturen sind zudem nur exotherme Reaktionen ohne Aktivierungsenergie möglich, müssen also zwischen hochreaktiven Substanzen stattfinden.

Während auf der Erde wegen der häufigen Stöße zwischen Gasmolekülen hochreaktive Moleküle sofort zerstört werden und nur einen sehr kleinen Teil der chemischen Zusammensetzung ausmachen, können Moleküle und Radikale wegen der geringen Teilchendichte und Kollisionsrate jahrelang im IS Raum überdauern. Gleichzeitig führen das Strahlungsfeld der Sterne und die kosmische, hochenergetische Strahlung aus Kernreaktionen in den Sternen dazu, dass ständig hochreaktive Moleküle (Ionen und Radikale) erzeugt werden und in hoher Konzentration im IS Raum vorkommen.

### Entstehung des Lebens durch Vorläufer von Biomolekülen aus dem Kosmos?

1941 beobachtete der Astronom A. McKellar drei Linien, deren spektrale Positionen auf ein bis dahin noch unbekanntes zweiatomiges Molekül schließen ließen. Ein Jahr später konnten die Spektroskopiker A. Douglas und G. Herzberg, der für seine spektroskopischen Arbeiten 1971 den Nobelpreis für Chemie

erhielt, mit Labormessungen beweisen, dass es sich bei diesem Molekül um CH<sup>+</sup>, das erste im IS Raum nachgewiesene, molekulare Ion handelt.

Bis Ende der neunziger Jahre wurden 106, in allen Regionen des Spektrums aufgefundene interstellare Moleküle katalogisiert, inzwischen sind es 127 (siehe Kasten). Seit 1960 werden pro Jahr im Durchschnitt vier weitere Moleküle entdeckt. Es handelt sich um organische und anorganische Moleküle, freie Radikale und molekulare Ionen.

Bild 1: Der Carina Nebel enthält etliche Himmelskörper, welche zu den heißesten (zehnmal so heiß wie unsere Sonne) und massereichsten (100 mal mehr als die Sonne) der bisher bekannten Sterne gehören. Die zirkuläre Schlüssellochstruktur enthält sowohl helle Filamente von heißem, fluoreszierendem Gas und dunkel schattierte Wolken von kalten Molekülen und Staub, die sich in heftiger Bewegung befinden. Zahlreiche kleine dunkle Kügelchen könnten auf den Prozess des Kollabierens hinweisen, aus dem dann neue Sterne entstehen. Das Bild wurde vom Weltraumteleskop Hubble aufgenommen (<http://heritage.schluesselloch-stsci.edu/2000/06/table.html>).



Tabelle 2:  
Kosmische  
Häufigkeit der  
Elemente

H	3320	Mg	0,1
He	480	Fe	0,09
O	2,2	S	0,05
C	1,0	Ar	0,014
N	0,3	Al	0,006
Ne	0,25	Na	0,005
Si	0,09	Ni	0,005

Die Molekülgröße ist sehr variabel, und manche bestehen nur aus zwei Atomen,  $\text{HC}_{11}\text{N}$  dagegen weist dreizehn Atome auf. Es gibt auch ungesättigte Formen mit Doppel- oder Dreifachbindungen oder Thioderivate oder zyklische Moleküle (s. Kasten). Es fällt auf, dass diese Moleküle trotz der grossen Häufigkeit von Wasserstoff im Kosmos eher wasserstoffarm sind und ungesättigte Kohlenstoffketten in grosser Zahl auftreten. Chemisch gebundener Sauerstoff erscheint im Vergleich zu Kohlenstoff deutlich untervertreten.

Zu Spekulationen und lebhaften Diskussionen über deren Rolle bei der Entstehung des Lebens führen besonders die Anwesenheit vieler organischer Moleküle und Moleküle, die als Vorläufer von Biomolekülen gelten.

## Nachweis ungewöhnlicher Molekülonen mit „spektral reinen“ Lasersystemen

Um die chemischen Prozesse im IS Raum besser zu verstehen, versuchen Wissenschaftler zum Beispiel anhand von Modellen zu ergründen, wie und warum spezifisch die nachgewiesenen Moleküle gebildet werden und welche ausserdem existieren. Dazu werden mit Hilfe der Entwicklung von Satelliten, Beobachtungsteleskopen und immer empfindlicheren Lichtdetektionsverfahren einerseits die astronomische Beobachtungstechnik kontinuierlich verbessert sowie die dazugehörigen Datensätze erweitert: Andererseits werden in aufwändigen Labormessungen die Eigenschaften der Moleküle untersucht, deren Vorkommen im IS Raum postuliert wird.

Am Laboratorium für Physikalische Chemie der ETH Zürich stehen Moleküle im Mittelpunkt, die als wesentliche Bestandteile astrochemischer Reaktionszyklen vermutet werden. Dazu entwickeln die Forscher Methoden zur spektroskopischen Untersuchung unter Bedingungen, die denjenigen im interstellaren Raum möglichst ähnlich sind. Die benötigten tiefen Temperaturen von unter zehn Kelvin und die kleinen Stoßzahlen werden mit Hilfe von Überschallmolekülstrahlen erreicht. Dabei handelt es sich um Strahlen von Molekülen, die von einem Hochdruckbereich ins Vakuum expandieren und dadurch sehr stark abgekühlt werden. Üblicherweise herrschen in Molekülstrahlen stoßfreie Bedingungen, da sich alle

### Bis Ende der neunziger Jahre im interstellaren Raum nachgewiesene Moleküle

#### Hydride, Oxide, Sulfide, Halide und Derivate

$\text{H}_2$	CO	$\text{NH}_3$	CS	NaCl
HCl	SiO	$\text{SiH}_4$	SiS	AlCl
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{SO}_2$	CC	$\text{H}_2\text{S}$	KCl
	OCS	$\text{CH}_4$	PN	AlF
	HNO			

#### Nitrile, Acetylen und Derivate

CCC	HCN	$\text{H}_3\text{CNC}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CN}$	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
CCCC	$\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CN}$	$\text{H}_3\text{CCN}$	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CN}$	$\text{HC}\equiv\text{CH}$
CCO	$\text{H}(\text{C}\equiv\text{C})_2-\text{CN}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CN}$	HCN	
CCCO	$\text{H}(\text{C}\equiv\text{C})_3-\text{CN}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{CH}$	$\text{HN}=\text{C}=\text{O}$	
CCCS	$\text{H}(\text{C}\equiv\text{C})_4-\text{CN}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\equiv\text{C})_2-\text{H}$	$\text{HN}=\text{C}=\text{S}$	
$\text{C}_4\text{Si}$	$\text{H}(\text{C}\equiv\text{C})_5-\text{CN}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\equiv\text{C})_2-\text{CN}$		

#### Aldehyde, Alkohole, Ether, Ketone, Amide und Derivate

$\text{H}_2\text{C}=\text{O}$	$\text{H}_3\text{COH}$	$\text{HO}-\text{CH}=\text{O}$	$\text{H}_2\text{CNH}$
$\text{H}_2\text{C}=\text{S}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{CH}=\text{O}$	$\text{H}_3\text{CNH}_2$
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{O}$	$\text{H}_3\text{CSH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3$	$\text{H}_2\text{NCN}$
$\text{NH}_2-\text{CH}=\text{O}$	$(\text{CH}_3)_2-\text{CO}$	$\text{H}_2\text{C}=\text{C}=\text{O}$	

#### Zyklische Moleküle

$\text{C}_3\text{H}_2$	$\text{SiC}_2$	$\text{C}-\text{C}_3\text{H}$
------------------------	----------------	-------------------------------

#### Ionen

$\text{CH}^+$	$\text{HCO}^+$	$\text{HCNH}^+$	$\text{H}_3\text{O}^+$
$\text{HN}_2^+$	$\text{HOCO}^+$	$\text{SO}^+$	$\text{HOC}^+$
$\text{HCS}^+$	$\text{H}_3^+$	$\text{H}_2\text{D}^+$	

#### Radikale

OH	$\text{C}_3\text{H}$	CN	HCO	$\text{C}_2\text{S}$
CH	$\text{C}_4\text{H}$	$\text{C}_3\text{N}$	NO	NS
$\text{C}_2\text{H}$	$\text{C}_5\text{H}$	$\text{H}_2\text{CCN}$	SO	SiC
$\text{CH}_2$	$\text{C}_6\text{H}$			

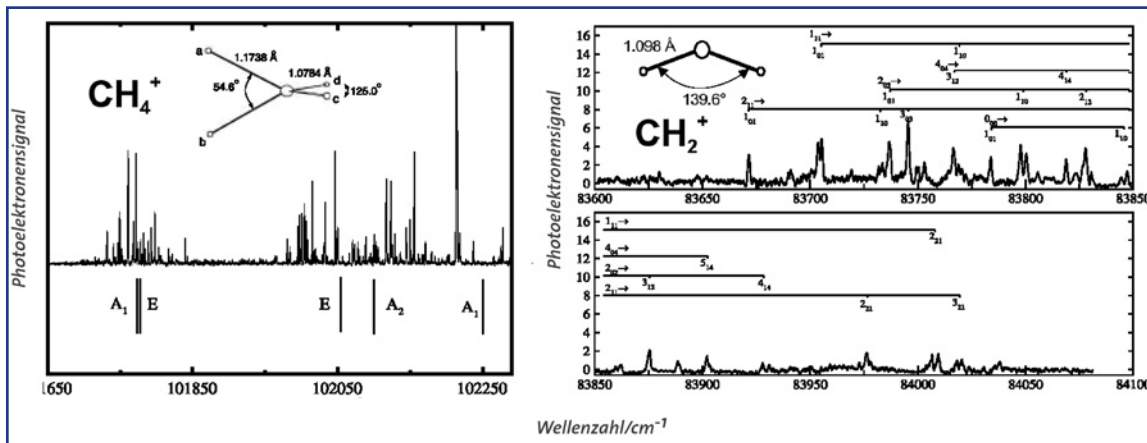


Abbildung 2: Hochaufgelöste Photoelektronenspektren von  $\text{CH}_2^+$  und  $\text{CH}_4^+$ . Die scharfen Linien stellen photoionisierende Übergänge aus wohldefinierten Rotationsenergiezuständen der neutralen Moleküle in wohldefinierte Rotationsenergiezustände der Ionen dar. Die Analyse der Spektren ermöglicht die Bestimmung der Molekülstruktur mit Bindungslängen und -winkeln. Mit den Zahlen und Buchstaben an den Spektren werden die Quantenmechanischen Energiezustände charakterisiert.

Moleküle mit derselben Geschwindigkeit bewegen. Insbesondere werden auch Methoden zur Untersuchung von molekularen Ionen entwickelt, die wegen der elektrostatischen Abstoßungskräfte nur in sehr geringen Konzentrationen erzeugt werden können und deren spektroskopische Untersuchung besonders schwierig ist. Vor kurzem gelangen die Messungen von Spektren von  $\text{CH}_2^+$  und  $\text{CH}_4^+$ , zwei bisher kaum charakterisierte Molekülionen, die als Bestandteil der wichtigsten chemischen Zyklen zur Synthese von größeren organischen Verbindungen postuliert werden. (s. Tabelle 3) Ausschlaggebend war dabei die PFI-ZEKE („pulsed-field-ionization zero kinetic-energy“) – Photoelektronenspektroskopie, die die Aufnahme von Ionenspektren ausgehend von neutralen Molekülen durch Ionisation ermöglicht. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass neutrale Teilchen in viel höheren Konzentrationen erzeugt werden können als Ionen. Für derartige Messungen werden neuartige monochromatische („spektral reine“) Lasersysteme im Vakuum-ultraviolette Bereich bei Wellenlängen unter 200 Nanometern des elektromagnetischen Spektrums entwickelt. Derartige Lasersysteme stellen die derzeit weltweit schmalbandigsten abstimmbaren Lichtquellen in diesem Frequenzbereich dar. (Das sichtbare (visible VIS) Licht umfasst die Wellenlängenbereiche von 380 Nanometern (violett) bis 780 Nanometern (rot). Daran schließt sich im Kurzwelligen das Ultraviolett (UV) an, das bei Wellenlängen unter 200 Nanometern als Vakuum-Ultraviolett (VUV) bezeichnet wird.)

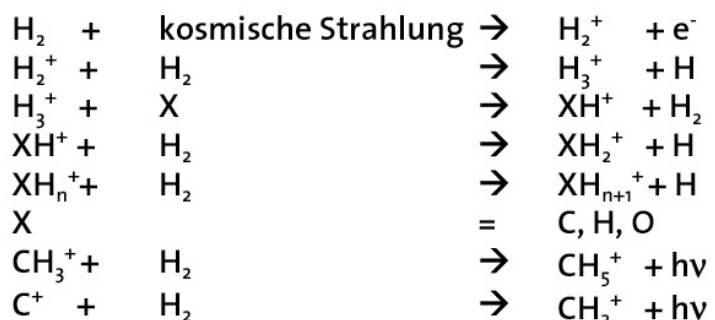
Anhand der aufgenommenen Spektren stehen jetzt nicht nur Referenzdaten für den astronomischen Nachweis zur Verfügung, sondern konnten auch grundlegende Fragen zur Struktur dieser Verbindungen geklärt werden: Es stellte sich nämlich heraus, dass das  $\text{CH}_4^+$  nicht die eher erwartete tetraedische Struktur aufweist, sondern zwei lange und zwei kurze C–H Bindungen mit Winkeln, die deutlich von dem

Tetraederwinkel von 109 Grad abweichen. Im Fall von  $\text{CH}_2^+$  konnte gezeigt werden, dass das Molekülion nicht linear ist, sondern einen H–C–H Bindungswinkel von 140 Grad besitzt (s. Abbildung 2).

#### Literatur:

- Mitteilungen Prof. Frédéric Merkt und Stefan Willitsch: „Chemie im interstellaren Medium“
- R. Signorell and F. Merkt: “PFI-ZEKE photoelectron spectra of the methane cation and the dynamic Jahn-Teller effect”; Faraday Discussion 2000, 115, 205.
- S. Willitsch and F. Merkt: “Characterization of the ground vibronic state of  $\text{CH}^+$  by PFI-ZEKE photoelectron spectroscopy”; 2 Journal of Chemical Physics, submitted for publication
- I.W.M. Smith: “Chemistry amongst the stars: Reaction kinetics at a new frontier”; Chemical Society Review, 2002, 31, 137.
- E. Herbst: “Chemistry in the interstellar medium”; Annual Reviews of Physical Chemistry, 1995, 46, 27

Tabelle 3:  
Reaktions-  
schemata.



# Ionisation für die Massenspektrometrie

Maren Bulmahn, Bammental

Erstmals 1912 beschrieb J. J. Thompson die Möglichkeit, Moleküle basierend auf ihrer unterschiedlichen Größe und Ladung voneinander zu trennen und nachzuweisen. Das Masse-/Ladungsverhältnis erhielt die Einheit Thompson [Th]. Trotz intensiver Entwicklungsarbeit blieb das Ziel, mit dieser Methode auch Makromoleküle zu untersuchen, über 70 Jahre lang unerreicht. In den 80er Jahren wurden Elektrospray- und Soft Laser Desorption-Ionisierungen entwickelt, die dies ermöglichen. Als Pioniere dieser Techniken erhielten jetzt John B. Fenn und Koichi Tanaka den Nobelpreis. Neueste Anwendungen und verschiedene Kombinationen von Ionenerzeugung und -trennung machen die Massenspektrometrie jetzt auch zu einem Werkzeug für die Entschlüsselung von Proteinen.

Um mit der Massenspektrometrie Biomoleküle analysieren zu können, ist eine sinnvolle Probenvorbereitung, das heisst Ionenerzeugung, unabdingbar. Die richtige Wahl chemischer und physikalischer Parameter für die Ionisation bringt Biomoleküle aus ihrer wässrigen Umgebung als Ionen in die Gasphase und gibt Forschern damit die Möglichkeit diese im Massenspektrometer (MS) zu untersuchen.

Einen ersten Durchbruch in der Ionenerzeugung schafften M. S. B. Munson und F. H. Field 1966 [1] mit der Chemischen Ionisation (CI), mit der sie erstmals auch temperaturempfindliche Biomoleküle ionisieren konnten. Elektrisch erzeugte Reagenzgasen ionisierten dazu die flüchtig gemachten zu analysierenden Moleküle. Die 1976 [2] entwickelte Plasma-Desorptions- (PD) Methode beschießt den auf einem Probenträger (Target) in fester Form präparierten Analyten mit beschleunigten Primärteilchen im Megaelektronenvoltbereich und erzeugt so die

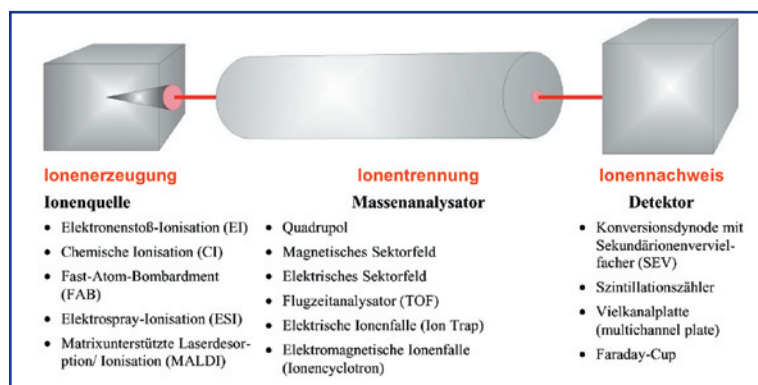
ins Massenspektrometer gelangenden Ionen. PD ist allerdings nicht für Moleküle über zehn Kilodalton geeignet, wobei Proteine eine Molmasse von einigen Tausend (zum Beispiel das Hormon Insulin) bis hin zu mehreren Millionen (Enzymkomplexe) Dalton aufweisen. Die Einführung von Matrices in schwerflüchtiger, flüssiger Form (Fast Atom Bombardment FAB, M. Barber et. al. 1981 [3]) revolutionierte die Massenspektrometrie, ermöglichte aber noch immer nicht die Untersuchung von Biomolekülen größer als zehn Kilodalton. Dies erreichten erst Fenn mit der Entwicklung der Elektrospray-Ionisation (ESI, J. B. Fenn 1984 [4]) und Tanaka durch die Soft Laser Desorption (SLD, K. Tanaka 1987 [6-8]), wofür sie die Hälfte des diesjährigen Nobelpreises für Chemie erhielten. Die andere Hälfte ging an Kurt Wüthrich für seine Entwicklung der kernmagnetischen Resonanzspektroskopie (NMR) zur Bestimmung der dreidimensionalen Struktur von biologischen Makromolekülen in Lösung (siehe CLB 8/2002, S. 288 ff.). Einen Stammbaum der massenspektrometrischen Ionisationsverfahren zeigt Abbildung 2.

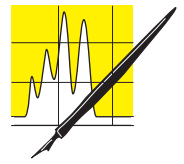
## Elektrospray-Ionisation

Entsprechend dem Modell des geladenen Rückstands (CRM Charged Residue Model, M. Dole 1968 [5]) erreichen geladene Tröpfchen einen Punkt, an dem die elektrostatische Aufladung der Oberfläche so groß ist, dass es zu einer Explosion („Rayleigh explosion“) kommt, wodurch viele kleinere ebenfalls aufgeladene Tropfen entstehen. Auf diese Weise werden immer kleinere Tröpfchen erzeugt. Das Modell geht davon aus, dass letztlich aus extrem kleinen Tropfen (Radius kleiner als ein Nanometer), die nur noch ein Analyt-Ion enthalten, durch Lösemittelverdampfung gasförmige Ionen entstehen. Der Begriff Elektrospray-Ionisation basiert auf den Arbeiten von Dole und wurde letztlich in Fenns Labor in Yale 1984 etabliert, als Elektrospray und Massenspektrometrie erstmals erfolgreich kombiniert wurden.

Beim Elektrospray-Verfahren wird eine Lösung des Analyten ( $10^{-3}$  bis  $10^{-5}$  Mol pro Liter) bei Atmosphärendruck aus einer LC (Liquid Chromatography)-Kapillare, die nur etwa 0,1 Millimeter im Durchmesser misst, in ein starkes elektrisches Feld versprüht. Die an der Kapillarspitze und einer Gegenelektrode angelegte Kilovolt-Spannung ist verantwortlich für die rasche und feine Zerstäubung der aus der Kapillare austretenden Lösung und für die effektive Ionisierung der Analyt-Moleküle. Ab eines Schwellenwerts der angelegten Spannung (zwei bis sechs Kilovolt) bildet sich ein stabiles Spray, das je nach Ladungspolarität zur Bildung von positiven beziehungsweise negativen Io-

Abbildung 1: Komponenten eines Massenspektrometers: Nach der Erzeugung, der Trennung und dem Nachweis von Ionen folgt heute immer als wichtiger Schritt die Datenverarbeitung, die aus der Massenspektrometrie erst ein sinnvolles Instrument für die Bioanalytik macht (Grafik: Uni Ulm).





AUFSÄTZE

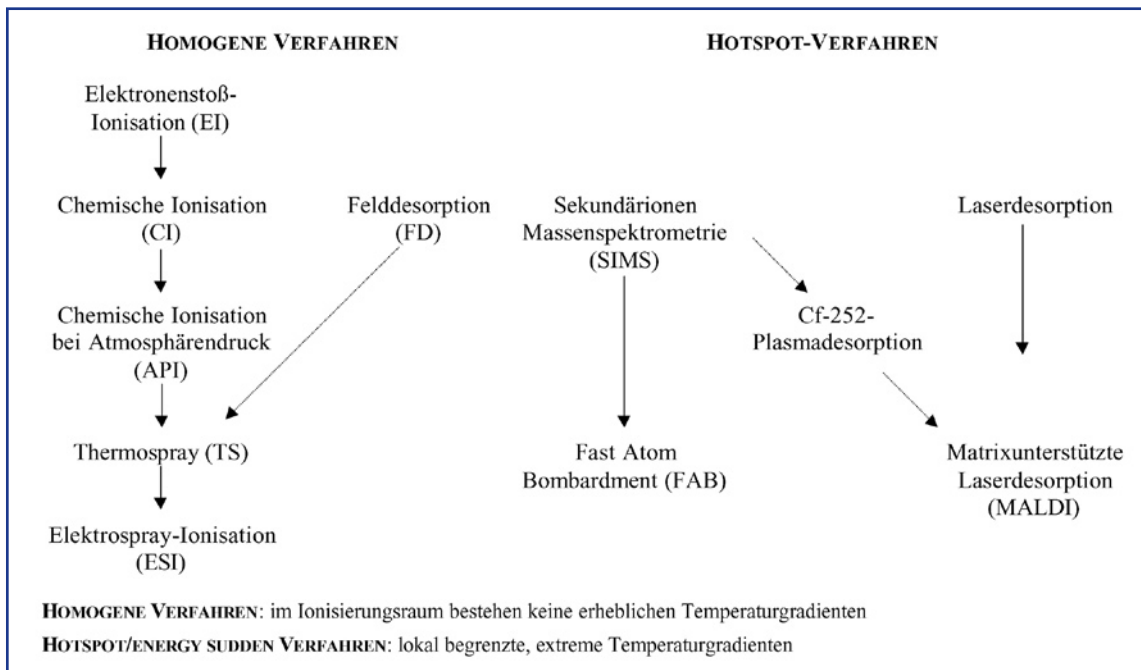


Abbildung 2: Stammbaum der massenspektrometrischen Ionisationsverfahren (Grafik: Uni Ulm).

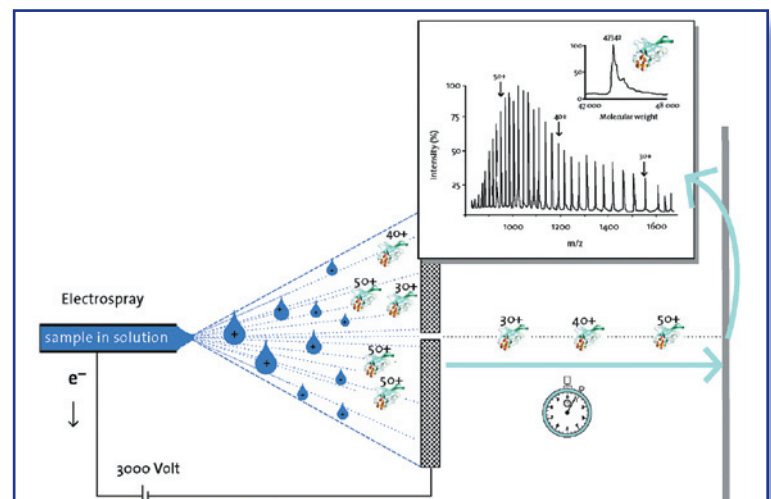
nen führt. Eine stabile Vernebelung ohne Entladungen erzeugt eine besonders schonende Ionisierung. Diese optimale Einstellung kann für eine breite Variation an Lösemittelzusammensetzungen und Flussraten (Nanobis Milliliter pro Minute) erreicht werden. Ein um die Kapillare konzentrisch angeordneter Inertgasstrom (meist Stickstoff) wird zur Unterstützung der Vernebelung insbesondere bei hohen Flussraten eingesetzt. Geringere Flussraten erhöhen die Empfindlichkeit der Methode. Bei einer Flussrate von nur wenigen Nanolitern pro Minute kann leicht eine Empfindlichkeit im Attomolbereich erreicht werden.

Zur vollständigen Desolvatation der ladungstragenden Flüssigkeitstropfen und zur effektiven Ionenbildung wird in einer ESI-Ionenquelle entweder eine beheizte Transferkapillare oder ein dem Spray entgegengerichteter, beheizter Stickstoffstrom eingesetzt. Man erreicht unter diesen Bedingungen eine außergewöhnlich hohe Ionenbildungseffizienz von etwa 0,01 bis 0,1 (vergleiche dazu die Elektronenstoßionisation EI mit ca.  $10^{-4}$  Ionenbildungseffizienz). Die generierten Ionen werden letztlich durch eine Öffnung im Zentrum der Gegenelektrode in den Analysatorteil des Massenspektrometers überführt.

Die ursprünglich erzeugten Tropfen sind gewöhnlich positiv geladen. Je mehr Wasser verdunstet, desto mehr protonierte Makromoleküle entstehen. Solche „nackten“ Molekülionen haben eine Ladung von +2 bis zu +40 oder noch höher. So erscheint eine Serie von Peaks, die das Masse-/Ladungsverhältnis wiedergibt und die Interpretation der Massenspektren erschweren kann. Fenn nutzte diese Komplexität und konnte so die Genauigkeit der Molmassenbestimmung verbessern. Er behandelte unterschiedliche Ladungszustände als unabhängige Messungen der Molmasse und erhielt durch Mittelwertberechnungen sehr ge-

naue Molmassenbestimmungen für große Moleküle. Abbildung 3 zeigt die Analyse eines Proteins mit einer Molmasse von 47 342 Dalton. Man erhält mehr als 50 Peaks des entsprechenden Ladungsmusters. Das resultierende Masse-/Ladungsverhältnis zwischen einem und 2000 Thompson kann mit jedem Analysator bestimmt werden. Das Ladungsmuster kann einfach entschlüsselt und die Masse des ungeladenen Proteins wesentlich genauer bestimmt werden, als wenn nur ein einzelnes Ion untersucht würde. Bei entsprechender Wahl der Randbedingungen ist ESI die am wenigsten invasive Ionisationsmethode. Es können sogar Molekülkomplexe mit nur schwachen nichtkovalenten Bindungen untersucht werden, wie zum Beispiel Protein-Protein, Enzym-Substrat oder Protein-Ligand Beziehungen.

Abbildung 3: Der Elektrospray-Vorgang: Dargestellt ist die Analyse eines Proteins mit einer Molmasse von 47 342 Da (Grafik: Nobel Foundation).



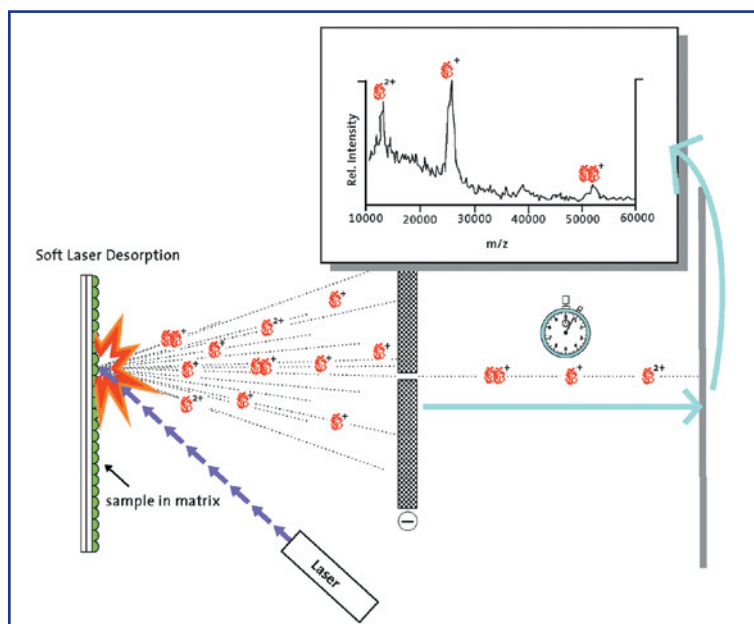
## Sanfte Laser Desorption

Immer wieder wurde versucht, das Ionisationsproblem in der Massenspektrometrie mit Hilfe von Lasern als Energiequelle zu lösen. Es sollte möglich sein, mit einem fokussierten Laserstrahl kleinste Mengen einer flüssigen oder festen Probe zu verdampfen und trotzdem chemische Zersetzung zu verhindern. So wandte V. S. Letokhov (Moskau) diese Technik an kleinen polaren Molekülen wie Aminosäuren an. M. Karas und F. Hillenkamp (Münster) benutzten als erste eine absorbierende Matrix, in der die Moleküle eingebettet waren.

Der Durchbruch der Soft Laser Desorption (SLD) in ihrer Anwendung auf große Biomoleküle gelang K. Tanaka (Osaka, Shimadzu Corp., 1987 [6-8]). Er erzeugte Massenspektren intakter Proteine wie Chymotrypsinogen, Carboxypeptidase und Cytochrom c mit Hilfe einer Glycerol-Matrix mit kolloidalen Teilchen. Tanaka stellte die gasförmigen makromolekularen Ionen mit einem Niedrig-Energie- (Stickstoff) Laser her. Ein Stickstofflaserstrahl (Wellenlänge: 337 Nanometer) wird nicht von aromatischen Aminosäuren in Proteinen und Peptiden absorbiert. Daher entstehen keine Fragmentierungen.

Die Entwicklung verschiedener Matrices ist weiter fortschreitend. Eine zur Zeit besonders vielversprechende Matrix wird in der Desorptionsionisation auf Silicon (Desorption Ionisation On Silicon DIOS) genutzt. Dabei sind die extreme Oberfläche und die Fähigkeit, große Laserstrahlungsmengen absorbieren zu können, von besonderem Interesse. Eine andere ständig weiter entwickelte SLD-Technik Matrix-Assisted Laser-Desorption Ionisation MALDI [9] bindet die zu untersuchenden Makromoleküle in eine kristalline

Abbildung 4: Die SLD Methode: Dargestellt sind die Signale von einfach und doppelt geladenen Molekülionen und einem Proteinclusterion mit einfacher Ladung. (Grafik: Nobel Foundation).



Matrix mit geringem Molgewicht (zum Beispiel Zimtsäure) und einem Absorptionsmaximum bei der Wellenlänge des Laserpulses ein. Der Laser erzeugt dann eine Ionenwolke aus Matrix und Analyt, wobei die kleinen Matrixmoleküle den Detektor sehr schnell wieder verlassen. Die ursprüngliche Methode, eingeführt von Karas und Hillenkamp kurz nach Tanakas Durchbruch, nutzte einen YAG Laser bei einer Wellenlänge von 266 Nanometern und eine Matrix aus Nikotinsäure.

Inzwischen kommen verschiedene Matrices und Wellenlängen für unterschiedliche Zwecke zum Einsatz; darunter auch für die Analyse von Proteinen und Oligonukleotiden. Die Mindestkonzentration für Proteine muss dabei etwa ein bis zehn Pikomol pro Mikroliter betragen. Für Peptide und Oligonukleotide reichen bereits wenige Femtomol pro Mikroliter. Diese geringen notwendigen Probenmengen erleichtern die Forschung. Ein weiterer Vorteil dieser Methode besteht darin, dass intakte Makromoleküle mit geringer Ladung in die Gasphase wechseln. Bei ESI entstehen dagegen viele Ionen auch mit höheren Ladungen, was die Spektren etwas unübersichtlicher macht. Auch nicht ganz reine Proben können so untersucht werden. Hohe Konzentrationen an Puffer-Salzen, Detergenzien oder Lösungsmitteln wie Dimethylsulfoxid (DMSO) oder Glycerol beeinträchtigen oder verhindern allerdings die Kokristallisation von Analyt und Matrix. Zur Reinigung können Methoden wie Dialyse, RP-HPLC oder Ionenaustauscher herangezogen werden.

Die Kombination der SLD in der Form von MALDI mit der Time-Of-Flight-Massenspektrometrie (MALDI-TOF) ist die wichtigste Methode zur Molmassenbestimmung von biologischen Makromolekülen und leistet auch in der Proteomanalytik gute Dienste. Eine weitere wichtige Kombination sind Tandem-Massenspektrometer. Dabei durchlaufen die erzeugten Ionen zwei Trennbereiche nacheinander. Durch ausgewählte Parameter kann so eine noch größere Genauigkeit in der Molmassenbestimmung erreicht werden. Für fast jede Anwendung kann eine optimierte Kombination aus Ionenerzeugung und Ionentrennung gewählt werden.

## Neuere Entwicklungen und Anwendungen

Die Massenspektrometrie ermöglicht Strukturbestimmungen und Spurenanalytik und hat so seit einigen Jahren ihren festen Platz in der Biochemie. Sie ist eine sinnvolle Alternative zum Edman-Abbau und ist unschlagbar in der Bestimmung posttranskriptionaler Modifikationen und nicht-kovalenter Beziehungen zum Beispiel in Antigen-Antikörper Bindungsstudien zur Identifizierung von Liganden. Ein wichtiges Einsatzgebiet ist die Proteinbestimmung nach der 2-D Gelelektrophorese und der Flüssigchromatographie. Immer kleinere Massenspektrometer (siehe CLB 5/2002, S. 168 ff.) ermöglichen durch geringe Durchflussgeschwindigkeiten (nano-flow) die optimierte

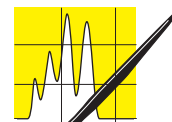


Nutzung von Zeit und Empfindlichkeit der Methode. Weiter verbreitet war dagegen ursprünglich die „pneumatically assisted“ ESI-Methode mit hohem Probedurchfluss und Gas mit hoher Geschwindigkeit. So konnte eine übliche Flüssigchromatographie gut mit MS kombiniert werden.

Inzwischen werden nicht nur Ionentrennungen wie Quadrupole (Q) und TOF durch Hintereinanderschalten kombiniert (Q-TOF), sondern auch verschiedene Trennungen wie Chromatographie und Elektrophorese vor der Ionenerzeugung in Reihe geschaltet. Durch solche Spezialisierungen verlässlicher und robuster gemacht, setzen auch Routinelabors Massenspektrometer immer häufiger ein. Krankenhäuser nutzen sie beispielsweise als Frühwarnsystem in der chemischen Diagnostik. Die An- oder Abwesenheit, die Zu- oder Abnahme eines bestimmten Proteins kann Aussagen darüber zulassen, ob ein Medikament wirkt oder ob eventuell eine Resistenz besteht und somit beispielsweise eine Chemotherapie keine Wirkung zeigen würde.

#### Literatur

- [1] Munson, M.S.B. and Field, F.H. Chemical ionisation mass spectrometry. I. General introduction. J. Am. Chem. Soc., 88 (1966) 2621.
- [2] MacFarlane, R.D. and Torgerson, D.F. Californium-252 plasma desorption mass spectroscopy. Science 191 (1976) 920-925.
- [3] Barber, M., Bordoli, R.S., Sedgwick, R.D. and Tyler, A.N Fast atom bombardment of solids (FAB): a new ion source for mass spectrometry. J. Chem. Soc. Chem. Commun. (1981) 325-327.
- [4] Yamashita, M. and Fenn, J.B. Electrospray ion source. Another variation on the free-jet theme. J. Phys. Chem. 88 (1984) 4451-4459.
- [5] Dole, M., Mach, L.L., Hines, R.L., Mobley, R.C., Ferguson, L.D. and Alice, M.B. Molecular beams of macroions. J. Chem. Phys. 49 (1968) 2240-2247.
- [6] Tanaka, K., Ido, Y., Akita, S., Yoshida, Y. and Yoshida, T. Proc. Second Japan-China Joint Symposium on Mass Spectrometry. Editors Matsuda, H. and Xiao-tian, L. (Osaka, Japan, 15-18 September 1987) p. 185-188.
- [7] Yoshida, T., Tanaka, K., Ido, Y., Akita, S. and Yoshida, Y. Mass Spectroscopy (Japan). 36 (1988) 59.
- [8] Tanaka, K., Waki, H., Ido, Y., Akita, S., Yoshida, Y., Yoshida, T. Protein and polymer analysis up to  $m/z$  100.000 by laser ionisation time-of-flight mass spectrometry. Rapid Commun. Mass Spectrom. 2 (1988) 151-153.
- [9] Karas, M. and Hillenkamp, F. Laser desorption ionisation of proteins with molecular masses exceeding 10.000 daltons. Anal. Chem. 60 (1988) 2299-2301.



AUFSÄTZE

### MALDI-TOF-TOF und ESI-Q-TOF in der Proteinanalytik am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg

Dr. Martina Schnölzer, Leiterin der Gruppe „Zentrale Proteinanalytik“ am DKFZ, hat CLB mit Rat und Tat bei Fragen zur Massenspektrometrie zur Seite gestanden und arbeitet gern am „guten alten“ MALDI-MS (unten), das seit 1996 seine Dienste tut. Manchmal bedauert sie die rasante Entwicklung, die aus solchen Geräten Black Boxes (rechts) macht. Das abgebildete Gerät wurde erst vor einem Jahr für die Mitarbeit im Nationalen Genomforschungsnetz (NGFN) angeschafft. Insgesamt stehen der Arbeitsgruppe nun vier Massenspektrometer zur Verfügung. Für die Forschung werde die MALDI-Technik in aller Regel als erste Methode eingesetzt, da sie schneller und kostengünstiger im Vergleich zur ESI-Technik sei



und viele Fragen mit ihr bereits gelöst werden könnten, meint Schnölzer. Im Forschungsfall sei auch das Target mit 26 Analysenplätzen ideal. Heutige Massenspektrometer sind häufig für den Betrieb mit Mikrotiterplatten ausgerüstet und bieten sich so für die Hochdurchsatzanalyse und den Routinebetrieb an. Aber auch die ESI-Methode, die oft mit einer Quadrupol- (Q) Trennung kombiniert wird, hat ihre Vorteile, da sie hervorragend mit der Flüssigchromatographie kombiniert werden kann. Extreme Genauigkeiten können mit dem Q-TOF-Gerät erreicht werden. Je nach Notwendigkeit werden die Kombinationen für die verschiedenen Projekte und Auftragsarbeiten eingesetzt. Besonders aktuell sind zur Zeit die Forschungen an Pankreas-Krebs, dem Melanom und der Chemoresistenz von Tumoren. Chemoresistente Tumore reagieren nicht auf Krebsmedikamente, das heißt, dass die Chemotherapie das Tumorwachstum nicht wie erhofft hemmt. Um die Gründe dieser Resistenz herauszufinden, vergleicht das Team um Dr. Schnölzer die Proteinzusammensetzung von resistenten und nicht resistenten Tumorzelllinien (Fotos: Bulmahn).



## Labors für spezielle Aufgaben 19

## Chemische Höhenflüge: Mainzer Institut erforscht Chemie und Physik der Atmosphäre

Die Entstehung von Regen „**D**in Wolken kann man ganz einfach darstellen.“ Prof. Dr. Stephan Borrmann hat eine Sprühflasche in der Hand und spritzt einen Nebelstrahl auf die Fensterscheibe seines Büros. „Hier sehen Sie jetzt lauter ganz feine Tröpfchen; sie laufen nach ein paar Sekunden zu größeren zusammen, und irgendwann werden sie so schwer, dass sie durch ihr eigenes Gewicht an der Scheibe herunter laufen (Bild 1). Genau so bilden sich in der Wolke erst feine Tröpfchen, die zu größeren Tropfen zusammenfließen und dann als Regen herunterfallen.“ Borrmann hat hier in Mainz eine Doppelfunktion, zum einen eine Professur an der Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre, und er ist zudem Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie, Abteilung Physik und Chemie in Wolken.

Er schildert die Aufgaben seines Arbeitsbereichs: „Wir betreiben experimentelle Wolkenphysik und -chemie (Bild 2). Dabei erforschen wir Prozesse, die zur Entstehung von Wolken führen, und wir untersuchen auch die Wirksamkeit von Wolken bezüglich der Chemie und der Strahlungsbilanz der Atmosphäre. Das geschieht auf drei



Bild 1: Feine Wassertropfen auf einer Glasscheibe vereinigen sich zu größeren Tropfen, die allmählich so wachsen, dass sie durch ihr eigenes Gewicht an der Scheibe herunterlaufen. Ähnlich geschieht auch die Entstehung von Regen in warmen Wolken.

verschiedenen Arbeitsplattformen. Die erste ist das Labor, wo wir Experimente zum Beispiel an einem Windkanalsystem durchführen, mit dem man Regentropfen und Eisteilchen für längere Zeit in der Schwebe halten kann und so beispielweise die Schadstoffaufnahme durch solche Objekte studieren kann. Die zweite Plattform sind Flugzeuge, auf denen wir Messinstrumente installieren, um in die Wolken hineinzufiegen und dort gewisse Fragestellungen „vor Ort“ zu untersuchen. Die dritte Plattform sind neue Instrumente, die dazu dienen, die chemische Zusammensetzung einzelner Wolken- und Aerosolpartikel zu messen.

Ziel der Arbeiten sind auf der einen Seite grundlegende Forschungsfragen, zum Beispiel wie Eiswolken in der oberen Troposphäre entstehen. Das hat aber durchaus auch einen Bezug zur Praxis, denn der zunehmende Flugverkehr beeinflusst durch die Emission von Wasserdampf die Wolkenbildung in diesen Höhenre-

gionen. Andere Messungen sollen erkunden, wie sich Dieselmotorgase in der Atmosphäre verhalten oder welche Auswirkungen anthropogene Emissionen auf die Wolkenbildung haben.

Ein Aspekt unserer Arbeiten ist das enge Zusammenspiel zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen, Wirkungen und Ursachen. Hinzu kommt neuerdings zunehmend ein Einfluß der Biologie, weil viele organische Substanzen in der Atmosphärenchemie eine Rolle spielen. Der Ansatz erstreckt sich von der Meteorologie über Physik und Chemie zur Biologie, und Mathematik wird an allen Stellen intensiv genutzt, so dass unsere Arbeit hochgradig interdisziplinär ist.“

Über seine berufliche Entwicklung erzählt er: „Ich habe hier in Mainz Physik studiert und bin während des Diploms mit einer experimentellen Arbeit an die Meteorologie gekommen, bin danach für zwei Jahre nach Amerika an eine Marine-Hochschule gegangen und



Bild 3: Prof. Dr. Stephan Borrmann in seinem Büro.

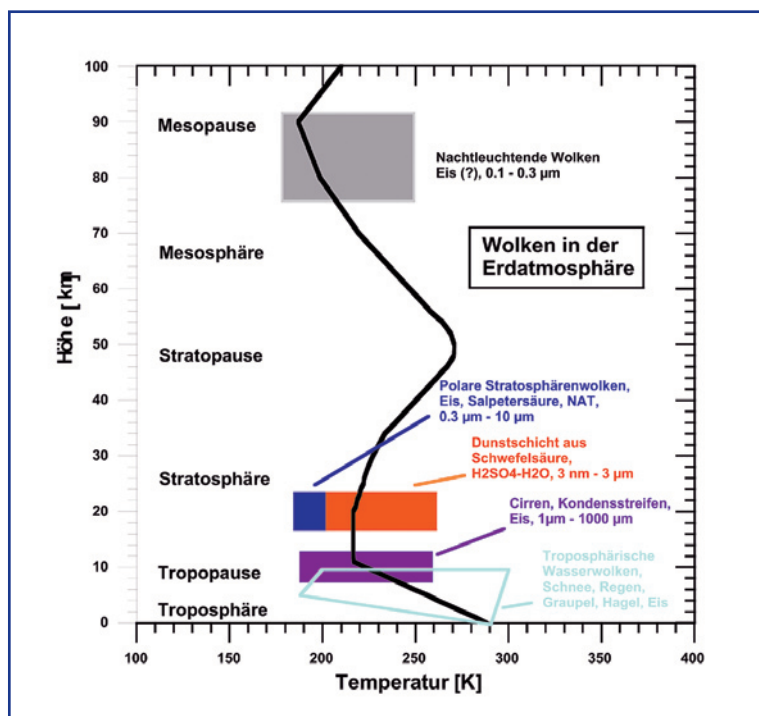


Bild 2: Wolken und ihre Zusammensetzung in verschiedenen Höhen.

In Süddeutschland am Hohenpeißenberg haben wir im Mai dieses Jahres eine Messkampagne durchgeführt. Es wird häufig im Frühjahr beobachtet, dass in solchen ländlichen Regionen plötzlich hohe Anzahlen sehr kleiner Aerosolpartikel in der Luft auftreten. Da haben wir versucht, die chemische Zusammensetzung dieser Partikel zu bestimmen, und haben auch das Glück gehabt, eines dieser „Nucleation Bursts“, dieser Ereignisse, die zur Erzeugung von Partikeln führen, zu erwischen. Es scheint ein natürlicher Vorgang zu sein, der immer wieder kleinere Regionen betrifft, wo kurzzeitig sehr hohe Partikelkonzentrationen aus der Atmosphäre selbst erzeugt werden, aber die Analysen sind noch im Gange. Wir vermuten, dass hier organische Emissionen aus der umgebenden Pflanzenwelt einen Einfluss haben.“

habe dort in der meteorologischen Abteilung gearbeitet. Dabei habe ich unter anderem auf Schiffen Messungen in der marinen Grenzschicht gemacht. Dann kam ich zu meiner Doktorarbeit wieder nach Mainz und habe hier eine Apparatur konstruiert, mit deren Hilfe man Hologramme von Wolken aufnehmen kann, damit man sie hinterher im Labor optisch rekonstruieren und analysieren konnte, was da für Tropfen in der Wolke vorhanden waren.“ (Bild 3)

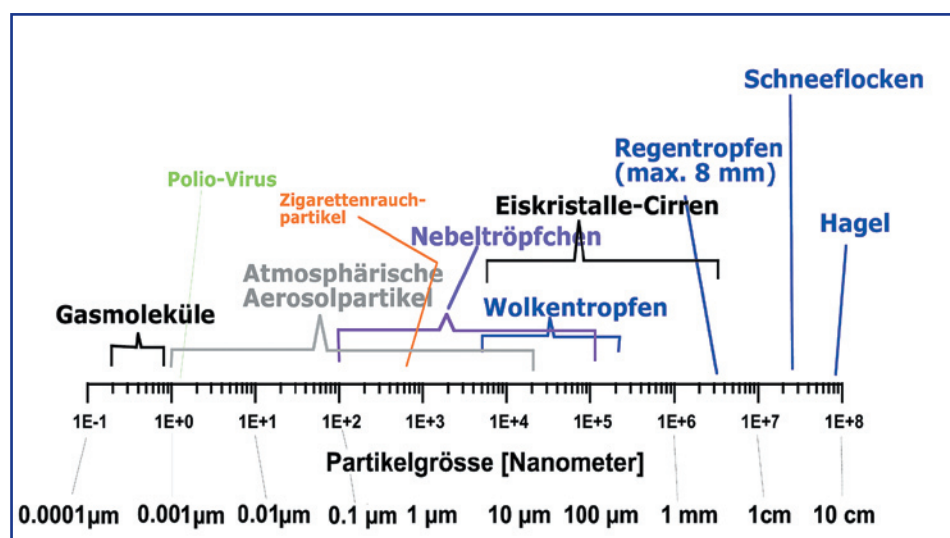
### Untersuchungen für Industrie und Landwirtschaft

Von seinen Messungen über Diesel-Abgase berichtet er: „Wir arbeiten zusammen mit der Automobilindustrie an einem Forschungsprojekt, das Fragen zur Wirksamkeit von Filtern und zur chemischen Zusammensetzung von Dieselruß-Aerosolen untersucht. Diese Partikel sind sehr klein – im Nanometerbereich. Im Ruß sind unterschiedliche Partikel vorhanden, die entweder wasseranziehend oder wasserabstoßend sind, wahrscheinlich abhängig vom Rußanteil beziehungsweise davon, wie gut der Ruß mit anderen Substanzen, zum Beispiel

Schwefelsäure, bedeckt ist. Hydrophile Partikel würden durch Wasserdampfaufnahme wachsen. Partikel, die wenig Wasserdampf annehmen, bleiben feinteilig vorhanden und dadurch, dass sie so klein sind, sind sie auch lungengängig. Die Deposition in der Lunge und andere Gesundheitseffekte spielen da eine Rolle. Das heißt wir beschäftigen uns nicht nur mit den Wolken am Himmel, sondern auch mit schwarzen Rußwolken im Straßenverkehr, also durchaus auch mit erdgebundenen Fragen.

Die Größen der Partikel in der Luft schwanken sehr stark, die Größenordnungen gehen von Nanometergröße bis zu einigen Zentimetern, also über acht Zehnerpotenzen (Bild 4). Auch die Anzahl der Teilchen pro Kubikzentimeter ist sehr stark unterschiedlich; in den Reinflutregionen der Antarktis findet man nur einige wenige pro Kubikzentimeter und in den Zeiten des guten photochemischen Stadtmogs von Los Angeles gab es dort einige zehntausend bis einige hunderttausend Partikel pro Kubikzentimeter. Eine Kleinstadt

Bild 4: Aerosolpartikel in der Atmosphäre.



kann an Aerosolen um die 30 000 Teilchen pro Kubikzentimeter haben, eine ähnliche Anzahl kann man in einem Zimmer messen. In der oberen Troposphäre in etwa zehn Kilometer Höhe können es 200 bis 300 Partikel pro Kubikzentimeter sein, in der Stratosphäre nur etwa ein bis zehn.

Aus Messungen der Anzahl der Partikel pro Luftvolumen kann die Massenkonzentration bestimmt werden. Die Messstation des Instituts für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz registrierte Jahresmittelwerte zwischen 30 und 150 Mikrogramm Partikelmasse pro Kubikmeter Luft für diese urbane Region. Der Anteil des Rußes betrug in den Monatsmittelwerten von 1997 zwischen einem und 2,2 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft.

### MPI für Chemie in der Atmosphäre

Im Labor der neu gegründeten Abteilung Wolkenphysik und -chemie des Max-Planck-Instituts für Chemie erklärt Mitarbeiter Dr. Joachim Curtius ein Messgerät: „Diesen Kondensationskernzähler hat einer unserer Studenten gebaut. Der Aufbau beruht auf einem sehr alten Prinzip, nämlich der Expansionskühlung von Gasen. Wir ziehen die zu messenden Luftproben durch diese Glaskammer hindurch, und in bestimmten Intervallen wird der Druck in dieser Gaszelle sehr schnell abgesenkt. Dabei kondensiert der Wasserdampf an den Aerosolpartikeln. Sichtbar machen wir das mit einem Laserstrahl (Bild 5). Man kann mit bloßem Auge sehen, wie sich dann ein Kondensatwölkchen bildet. Wir messen mit dieser Apparatur die Anzahl der Aerosolpartikel in dieser Glaszelle.“

In Zukunft wollen wir mit massenspektrometrischen Instrumenten Aerosolmessungen direkt in den Wolken vom Flugzeug aus machen. Da werden also die Aerosolpartikel durch ein besonders konstruiertes Einlaßsystem in das Hochvakuum geführt, sie fallen dann auf ein beheiztes Plättchen

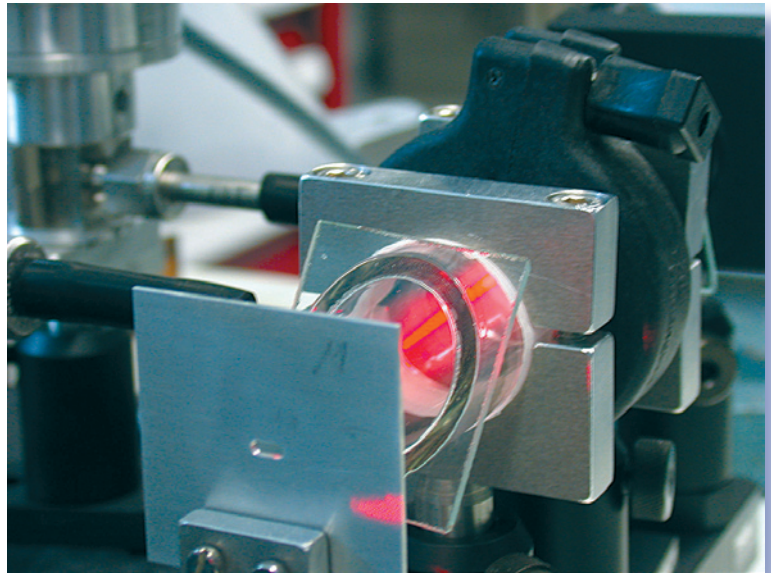


Bild 5: Dieses Gerät bestimmt die Anzahl der Kondensationskerne in einem Luftvolumen. Durch eine plötzliche Druckabsenkung kühlt sich die Luft ab und es entsteht eine Wolke, deren Dichte ein Maß für die Zahl der Kondensationskeime ist, charakterisiert durch die Dämpfung eines Laserstrahls.

mit einigen 100 Kelvin Temperatur. Dort verdampfen Partikel und herbeigeführte Stöße mit Elektronen ionisieren die dabei entstehenden Bruchstücke, die dann mit dem Massenspektrometer untersucht werden.“

Borrmann ergänzt: „Ein Beispiel dafür war das „Minos-Projekt“. Die ursprüngliche Frage war, wieso man in Kreta im Sommer sehr viel Ozon am Boden beobachtet. Die Werte waren zum Teil so hoch, dass sie an die von der EU gesetzten Grenzwerte herankamen. Eine Modellrechnung hat zwar den Tagesgang reproduziert, aber die absoluten hohen Werte nicht getroffen. Die Frage war also: Woher kommt der hohe Ozongehalt? Dazu wurde eine Messkampagne veranstaltet mit zwei Flugzeugen und mit einigen Bodenstationen auf Kreta. Das MPI für Chemie hat die Flugzeugmessungen gemacht, und meine Gruppe von der Universität die Bodenmessungen.“

Dabei fanden wir einen nicht vorhergesehenen Effekt: Der Horizont war von unserer Messstation nicht mehr zu sehen, weil der Übergang vom Meer zur Luft durch Dunst zu verwaschen war. Das haben wir näher untersucht. Ich hatte zunächst vermutet, dass

die 0,1 bis zwei Mikrometer großen Seesalz-Aerosolpartikel, die bei den starken Winden aus dem Meer freigesetzt werden, aufquellen und den Dunst bilden. Messungen zeigten aber, dass die Anzahl dieser relativ großen Seesalzteilchen viel zu klein für diesen natürlichen Prozess war. Die Messungen zeigten aber auch eine Anzahldichte von einigen tausend sehr kleinen Partikeln pro Kubikzentimeter Luft mit Größen zwischen 50 und 100 Nanometern. Dies konnten keine Seesalzpartikel sein, denn das Massenspektrum zeigte eine Reihe von schwefelhaltigen Molekülbruchstücken. Das deutet darauf hin, dass die Hauptkomponente der Aerosolpartikel in dieser Sommeratmosphäre von Kreta schwefelhaltig ist. Die Quelle dafür kann nicht im Meer liegen. Es gibt dort zwar Schwefelquellen, aber die sind relativ klein, die würden niemals solche hohen Mengen ausstoßen. Deshalb sind wir ziemlich sicher, dass dieser Effekt anthropogenen Ursprungs ist. Wahrscheinlich rührt der hohe Schwefelanteil von industriellen Emissionen aus der Schwarzmeerregion her. Diese Gase werden durch Luftströmung dahin verfrachtet und bei

der intensiven Sonnenstrahlung laufen photochemische Reaktionen ab, die dazu führen, dass eine Gas-to-particle-conversion stattfindet und sich schwefelhaltige Aerosolpartikel bilden, die dann zu der Lufttrübung geführt haben. Letztendlich hat also die dunstige Trübung in der Bodluft von Kreta keine natürlichen Ursachen, sondern wird vom Menschen erzeugt. Die Vielfalt der luftchemischen Messungen während dieser Messkampagne zeigte zudem, dass die hohen Ozonwerte ebenfalls anthropogenen Ursprungs sind.“

### Wolken waschen die Atmosphäre

Tröpfchen oder Eispartikel nehmen Spurenstoffe aus der Atmosphäre auf. Kann man sich vorstellen, dass die Wolken- und Regentropfen Aerosole aus der Atmosphäre heraus wäscht? Und ist das der Grund, weshalb nach dem Regen die Luft immer klarer ist?. Borrmann nickt bestätigend: „Ja, ganz sicher. Vorhandene Aerosolpartikel, die die Luft trüben, werden durch die Aufnahme in Regentropfen ausgewaschen und aus der Atmosphäre zum Boden transportiert. Das kann man auch messen.“

Aber es geht noch weiter: Die Wolkenröpfchen können durch Aufnahme von Gasen und Aerosolpartikeln als kleine chemische Reaktoren agieren. An der Oberfläche von Wolkenröpfchen setzen sich Gase fest, dringen in die Tropfen ein und verändern sich dort chemisch, reagieren zum Beispiel mit den chemischen Bestandteilen des Aerosolpartikels, aus dem der Tropfen entstanden ist. Wenn dann die Wolken wieder verdunsten, bleiben veränderte Aerosole zurück, die diese Wolkenprozessierung reflektieren. Solche Fragen untersuchen wir, denn das hinterher zurückbleibende Aerosol hat womöglich andere Eigenschaften, die eine neue Bildung von Wolken erleichtern oder auch erschweren können. Da sind die natürlichen

Vorgänge wichtig, und natürlich steht im Hintergrund immer die Frage, einen Zusammenhang mit antropogenen Verunreinigungen herzustellen. Welche Gase werden wie effizient ausgewaschen, welche Elemente der Wolke waschen welche Gase aus? Zum Beispiel ist Schnee ein sehr effizienter Reiniger, weil er sehr große Oberflächen hat. Da kann viel Gas sich darauf absetzen. Schneeflocken fallen relativ langsam, haben eine höhere Verweilzeit in den Wolken und damit mehr Gelegenheit, sich aufzuladen. Auch spielen solche heterogenen chemischen Reaktionen zwischen den gasförmigen Substanzen der Luft und den Bestandteilen der Wolkenteilchen die entscheidende Rolle bei der Entstehung des Ozonlochs, denn ohne die Wirkung der polaren Stratosphärenwolken (siehe Bild 2) in etwa 20 Kilopmeter Höhe könnte der Ozonabbau über den Polarregionen nicht stattfinden.

Es gibt aber auch andere Fragen, die eine Rolle spielen: Ein Regentropfen wächst, wird groß genug, um zu fallen, und jetzt fängt die Strömung um den Regentropfen herum an, ihn sozusagen umzurühren. Wir nennen das „interne Zirkulation“. Dabei werden Gase anders aufgenommen als von einem ruhig stehenden Tropfen, weil das Konzentrationsgefälle höher ist. In unserem Windkanal schweben die Tröpfchen in einer vertikalen Luftströmung. Wir arbeiten notwendigerweise mit einer laminaren Strömung, denn sonst würden die Tröpfchen in einer turbulenten Strömung an die Wand prallen. Aber die Aufnahme von Gasen in einer laminaren Strömung ist anders als in einer turbulenten. So gehen wir jetzt dazu über, kleinskalige Turbulenzen einzuführen und auch damit Messungen zu machen, um hinterher die Ergebnisse in ein Computermodell einbauen zu können. Das ist eine unserer grundlagenorientierten Arbeiten, letztendlich wollen wir dahin kommen, dass man in Modellen

zur Wolken- oder sogar Klimaberechnung zu einer verkürzten mathematischen Formulierung dessen kommt, wie Wolken sich verhalten, so dass der Computer das dann gut ausrechnen kann.“

### In der Tiefkühlkammer

Ines Hoog, Studentin am Institut, führt mich in eine Kältekammer. Sie erzählt: „Ich bin gerade dabei, Eiskristalle zu züchten für mein Experiment, die Adsorption von Schadstoffen an Eisoberflächen zu untersuchen. Das sind jetzt die ersten Schritte meiner Arbeit. In diesem Behälter ist Reinstwasser, das auf plus acht Grad Celcius erwärmt wird. Die Außentemperatur ist minus 20 Grad Celsius. Unter diesen Bedingungen bekommt man lamellenförmige Kristalle. Man nennt diese Kristalle dendritische Eiskristalle. Bei anderen Temperaturen wachsen sie anders oder die Formen sehen anders aus. Und mit den so gezüchteten Kristallen soll dann die Adsorption verschiedener Substanzen an Schneeflocken nachgeahmt werden.“

Ein anderer Student, Matthias Ettner, beobachtet auf einem Bildschirm einen winzigen, in der Luft frei schwebenden Tropfen. Er erklärt: „Ich versuche, Tropfen auszuschweben, um Gefrierprozesse zu untersuchen. Die Tropfen sind in einer akustischen Falle gefangen. Auf dem Monitor sieht man einen der Tropfen, und hier in der Apparatur schweben mehrere kleine Tropfen in einer Reihe übereinander, wie an einer Perlenschnur. Einen davon bildet die Kamera ab. Das Glasrohr mit der akustischen Falle kann ich in die Gefriertruhe fahren, und auch dort ist eine Kamera installiert. Mit der kann ich die Gefrierprozesse sehen, wann und wie das Tröpfchen gefriert, und bei welcher Temperatur. Das geschieht, nicht wie man vermuten würde bei null Grad Celsius, sondern bei viel tieferen Temperaturen. Tröpfchen aus ganz reinem Wasser sollten erst bei minus 40 Grad Celsius gefrieren. Ziel meiner Versuche ist, binäre Wasser-Schwefelsäure-

Gemische hier in Tröpfchenform gefrieren zu lassen und wir messen in Abhängigkeit von der Konzentration und der Tröpfchengröße die Gefriertemperaturen. Solche kleinen binären Tröpfchen bilden die stratosphärische Junge-Aerosoldunstschicht, die den Globus in etwa 15 bis 22 Kilometer Höhe (siehe Bild 2) umspannt. Aus diesen Schwefelsäure-Wasser-Tröpfchen entstehen im Winter bei tiefen Lufttemperaturen (um 200 Kelvin) die polaren Stratosphärenwolken, die die polaren Ozonlöcher verursachen.“

Borrmann ergänzt: „Wir untersuchen auch die Eisphase in der Atmosphäre, das heißt Eiskristalle, Schneeflocken, Hagel, Graupelsteinchen, die sich in den Wolken bilden können. Besonders interessiert uns die Eingeschtheit der Eispartikel, Schadstoffe aufzunehmen, die zum Teil besser ist als von flüssigen Tröpfchen, dann aber auch, weil sie für die Bildung des Niederschlages eine wichtige Rollen spielen. Wenn zum Beispiel in der Wolke aus unterkühlten flüssigen Tröpfchen sich ein Eisteilchen bildet, dann wächst dieses Eisteilchen auf Kosten der flüssigen Tropfen. Das liegt daran, dass der Dampfdruck über der Eisoberfläche niedriger ist als über den flüssigen Oberflächen, so daß Wassermoleküle aus der Flüssigkeit in die Gasphase übergehen und sich dann auf der Eisoberfläche absetzen, das heißt also, die Eiskristalle wachsen schnell an und verbrauchen den Wasserdampf bis hin zum Verdunsten der Tröpfchen.“

Jetzt ist es sehr wichtig zu wissen, bei welchen Temperaturen die Tröpfchen gefrieren und sich Eis bildet. Ein reines Wassertröpfchen ohne andere Bestandteile hat einen sehr niedrigen Gefrierpunkt. Wenn man aber biologisches oder auch anorganisches Material zusetzt, gefrieren die Tropfen schon bei viel wärmeren Temperaturen als reines Wasser. Und das ist wichtig für die Vorhersage von Niederschlag, Hagel und Graupel.



Bild 6: Ursprünglich als Spionageflugzeug konzipiert dient die „Geophysika“ heute als Höhenforschungsflugzeug. Es ist in Europa die einzige Maschine, die 22 Kilometer Höhe erreichen kann. (Bilder 2 und 4 Prof. Borrmann, Bild 6 Andreas Thomas, Bilder 1, 3 und 5 Verfasser)

### Interdisziplinäres Arbeiten

Borrmann berichtet: „Wir haben in den letzten vier Wochen in Norditalien Messungen auf einem russischen Höhenforschungsflugzeug (Bild 6) durchgeführt, das bis 22 Kilometer Höhe fliegen kann, und in Europa die einzige Möglichkeit ist, Messungen in der Stratosphäre zu machen. Wir von Mainz haben drei Messinstrumente in dieses Programm eingebracht. Dazu war es nötig, dass wir diese Messinstrumente im Labor vorbereiten, sie kalibrieren, so dass wir wissen, wie die sich verhalten. Dann müssen wir den luftfahrttechnischen Zulassungsbestimmungen Genüge tun, das ist alles andere als einfach, und schließlich bringen wir die Messinstrumente ins Feld, in diesem Fall nach Norditalien. Wir bauen sie unter Beobachtung durch die russischen Ingenieure in das Flugzeug ein. Wenn dann endlich das Flugzeug losfliegt, ist nur der Pilot an Bord, das heißt die Instrumente müssen vollautomatisch funktionieren und das bei schwierigsten Bedingungen. Am Boden hat man minus 30 Grad Celsius in der Arktis oder plus 35 Grad Celsius in den Tropen, in der Tropopause aber von minus 60 bis minus 90 Grad Celsius Kälte. Die Instrumente müssen mit solchem Stress zurechtkommen, dürfen nicht kaputtgehen, dürfen auch

keine Gefahr für das Flugzeug darstellen – und sollen letztlich auch noch sinnvolle Daten abliefern. Das ist so ein typischer Einsatz, wie wir ihn machen. Das heißt wir haben viel Laborarbeit, auch sehr viel technologische Arbeit, Elektronik, Hochspannungstechnik, Vakuumtechnologie, computergesteuerte experimentelle Aufbauten und so weiter. Wir müssen aeronautische Belange und Sicherheitsbedingungen erfüllen und nicht zuletzt die wissenschaftliche Fragestellung im Auge behalten und die Messstrategie so ausrichten, dass die gestellten Fragen auch beantwortet werden.“

Zum Beispiel haben wir in den letzten Jahren „nichtsichtbare“ Zirren untersucht, das sind tropische Wolken in der Tropopause, etwa 16 bis 18 Kilometer hoch, die optisch so dünn sind, dass man sie vom Boden aus nicht sehen kann. Aber wir haben festgestellt, dass es da Wolken gibt, die nur einige hundert Meter dick sind, aber viele hundert Kilometer horizontale Ausdehnung haben. Jetzt kommen die üblichen Fragen: Woraus bestehen sie, wie entstehen diese Wolken, warum können sie sich so lange da halten, welche Wirksamkeit haben sie bezüglich der Strahlungsbilanz und bezüglich der Chemie? Es gibt Vermutungen, dass diese Wolken aus Salpetersäuretrihydrat

# CLB – Memory

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

November 2002

## Notfallchemie:

### „Störfall“ mit Epichlorhydrin

Günter Sorbe, Hürth

**A**ls Anfang September 2002 auf einer eingleisigen Strecke in der Nähe von Bad Münden zwei Güterzüge aufeinander prallten und der Inhalt eines Kesselwagens in Brand geriet beziehungsweise explodierte, ahnten die Einsatzkräfte beim Eintreffen an der Unglücksstelle noch nicht, welche delicate Ladung dort havarierte. Und so kam es, wie es kommen musste: Wertvolle Zeit zur Gefahrenbekämpfung verstrich, weil niemand vor Ort wusste, was der Kesselwagen geladen hatte. Die Presseberichte über diesen Unfall und seine Folgen waren ebenso wenig aufschlussreich wie die Pressemitteilungen der Beteiligten, unter anderem der Bahn, der Einsatzkräfte, der zuständigen Behörden. Die einfachste Methode wurde angewandt: Schuld sind immer nur die anderen. Doch damit kommen wir nicht weiter. Deshalb soll hier einmal dieses Unglück auf Grund der Menge und der Giftigkeit nicht wie ein Laborunfall, sondern wie ein Störfall behandelt werden. Denn als vor Ort bekannt wurde, dass der Kesselwagen Epichlorhydrin geladen hatte, war die Aufregung groß.

Doch wie gefährlich ist Epichlorhydrin? Dazu ein Blick auf die Einstufung nach Gefahrstoffver-

ordnung, nach der noch Mengen bis 0,1 Prozent als gesundheitsschädlich eingestuft werden (siehe Tabelle).

Hinweise auf besondere Gefahren (R-Sätze):

- R 10 Entzündlich
- R 20/21/22 Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut
- R 23/24/25 Giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut
- R 34 Verursacht Verätzungen
- R 36/38 Reizt die Augen und die Haut
- R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich
- R 45 Kann Krebs erzeugen

Sicherheitsratschläge (S-Sätze):

- S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen

- S 53 Exposition vermeiden – vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen

Störfälle werden durch die Störfall-Verordnung geregelt. Sie dient dem Schutz des Menschen und der Umwelt. In erster Linie ist jedoch der Mensch vor Gefahren zu schützen. Da Epichlorhydrin nicht namentlich in der Stoffliste der Störfall-Verordnung genannt ist, fällt es auf Grund der Einstufung R 23/24/25 unter die Nr. 2 = Giftig. Dadurch wird dokumentiert, dass die Hauptgefahr von der Giftwirkung ausgeht. Da die Gefahr durch R 45 in der Kategorie K 2 (Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten) nach TRGS 905 eingestuft ist, bedeutet dies nicht die Hauptgefahr nach Störfall-Verordnung. Auch die Angaben der USA-MAK-

Konzentration	Gefahrensymbol	R-Sätze	S-Sätze
100 % Epichlorhydrin	T = Giftig	45-10-23/24/25-34-43	53-45
10 % ≤ c	T = Giftig	45-23/24/25-34-43	53-45
5 % ≤ c < 10 %	T = Giftig	45-23/24/25-36/38-43	53-45
1 % ≤ c < 5 %	T = Giftig	45-23/24/25-43	53-45
0,1 % ≤ c < 1 %	Xn = Gesundheitsschädlich	20/21/22	53-45

Werte weisen in den Notations (Anmerkungen) darauf hin, dass Epichlorhydrin ein „confirmed animal carcinogen with unknown relevance to humans“ ist. Wegen des Flammpunktes von 28 Grad Celsius ist der Stoff mit R 10 zu kennzeichnen.

Bei diesem Unglücksfall können auch die MAK-Werte nicht zur Beurteilung der Gefahrenlage herangezogen werden, da es sich hier um eine nicht der MAK-Spezifikation entsprechende Exposition handelt. Die Werte dienen deshalb nur der Orientierung: Volumenkonzentration: drei Milliliter pro Kubikzentimeter; Massekonzentration: zwölf Milligramm pro Kubikmeter; Spitzenbegrenzung/Überschreitungsfaktor: 4.

Herangezogen werden können jedoch Störfall-Grenzwerte (ERPG = SCAPA Emergency Response Planning Guide values). Diese Störfall-Grenzwerte sind in drei Gruppen eingeteilt, ERPG-1, ERPG-2 und ERPG-3. Sie stellen Luftgrenzwerte dar, die im Falle eines Stoffaustrittes bei einer Stoffexposition von einer Stunde keine nennenswerten Gesundheitsschäden bei der Bevölkerung auslösen. Im Gegensatz zu den oben angeführ-

ten MAK-Werten stellen die ERPG-Werte Richtkonzentrationen für die Bevölkerung dar.

Bei diesem Unglücksfall hätte man sie direkt anwenden können, da die Konzentration von Epichlorhydrin in der Luft durch spezifische Gasprüfröhrchen sofort angezeigt werden kann. So haben zum Beispiel die Dräger-Röhrchen für Epichlorhydrin einen Standardmessbereich von 5 bis 50 ppm. Für Epichlorhydrin bestehen diese Luftgrenzwerte seit 1991. Sie lauten: ERPG-1 = 2 ppm, ERPG-2 = 20 ppm, ERPG-3 = 100 ppm. Was bedeuten diese Luftgrenzwerte und wie sind sie anzuwenden?

Man geht bei den ERPG-Werten von einer Exposition von einer Stunde aus und postuliert den maximalen Luftgrenzwert, von dem angenommen wird, dass:

ERPG-1: keine nennenswerten oder schwache vorübergehende nachteilige Gesundheitseffekte oder wahrnehmbare unangenehme Gerüche auftreten,

ERPG-2: keine nennenswerten oder irreversiblen oder ernsthaften Gesundheits-

effekte oder Symptome auftreten, die Fähigkeiten einer Person beeinflussen, Schutzmaßnahmen zu ergreifen,

ERPG-3: keine nennenswerten oder lebensbedrohenden Gesundheitseffekte auftreten.

Wenn jedoch, wie mehrfach berichtet, nach diesem Unglücksfall zahlreiche Anwohner und Einsatzkräfte wegen Beschwerden den Arzt oder ein Krankenhaus aufgesucht haben, dann hat die Einsatzleitung vor Ort hier nicht ausreichend die Bevölkerung aus dem Gefahrenbereich gebracht beziehungsweise nicht ausreichend über mögliche Gefahren informiert. Die bei den Betroffenen festgestellten Symptome gleichen denen, die im Kasten aufgelistet sind. Sie traten nicht sofort auf, sondern erst nach einer gewissen Latenzzeit.

Betrachtet man Transportwege für Gefahrstoffe, die der Störfall-Verordnung unterliegen als eine mögliche Störfallquelle, so sind Sicherheitsanalysen zu erstellen, die von der zuständigen Behörde zu genehmigen sind. Die Haupt-

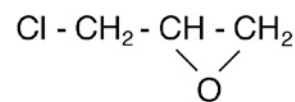
### Toxikologie von Epichlorhydrin

Epichlorhydrin gehört zur Gruppe der Halogen- beziehungsweise Chlorhydrine. Die Toxikokinetik und -dynamik ist ähnlich wie bei aliphatischen Halogen- beziehungsweise Chlorkohlenwasserstoffen. Epichlorhydrin ist eine Chloroform ähnlich riechende Flüssigkeit mit stark Haut und Schleimhaut reizender Wirkung, vor allem nephrotoxisch (das Gewebe der Nieren schädigend) und neurotoxisch (Nerven schädigend). Die Resorption letaler Mengen ist nicht nur über den Respirations- oder Digestionstrakt, sondern auch über die Haut möglich.

Aus der Gewerbetoxikologie sind folgende Symptome bekannt: Epichlorhydrin reizt lokal Augen, Atemwege und Haut. Schon 20 ppm (Geruchsschwelle: 10 bis 25 ppm) können zu einem Brennen der Augen und der Nasenschleimhäute führen. Beim Einatmen größerer Mengen kann es zu Atemdepression und Atemlähmung kommen. Auf der Haut kommt es zu starker Reizwirkung mit Blasenbildung. Reizungen der Nasenschleimhäute und der Augen sind schon ab einer Konzentration von 10 ppm Epichlorhydrin in der Atemluft möglich. Alle durch Reizwirkung entstandenen Verletzungen heilen äußerst langsam. Die Empfindlichkeit gegenü-

ber Epichlorhydrin ist nicht bei allen Personen gleich. Die Vergiftungssymptome entwickeln sich äußerst langsam und es können Tage vergehen, bis Atemdepression und Tod eintreten. Kurzzeitexpositionen von mehr als 100 ppm führen bereits zu Nierenschäden und Lungenödem. Bei längerer Einwirkung können Leber- und Nierenschäden auftreten, an Augen und Lunge werden entzündliche Veränderungen festgestellt. Chronische Vergiftungen sind bekannt und äußern sich in chronischem Schnupfen und chronischer Bindehautentzündung sowie Müdigkeit und Störungen des Magen-Darm-Traktes. Epichlorhydrin ist als Krebs erzeugender Gefahrstoff eingestuft.

Epichlorhydrin ist ein wichtiges Lösemittel und Zwischenprodukt für organische Synthesen; Verwendung unter anderem auch als Fumigant und Insektizid.



Epichlorhydrin  
(1-Chlor-2,3-epoxypropan)



frage, die hier zu beantworten ist, lautet: Was passiert, wenn ein Sicherheitssystem versagt? und: Wie wird die Anlage sicher abgestellt? Die Bahn befördert hier auf einer eingleisigen Strecke, die in beiden Richtungen befahren wird, Gefahrgut. Ein Zug überfährt offensichtlich Signaleinrichtungen oder hat einen Schaden, ohne dass er automatisch angehalten wird, der entgegenkommende Zug wird nicht gewarnt und fährt weiter. Eine im Zeitalter der Elektronik und der Mikrochips geradezu mittelalterlich anmutende Betriebsführung, die bei einem Störfallbetrieb so nicht genehmigungsfähig wäre, da sie nicht redundant (unabhängig von einander arbeitend) ausgelegt ist. Unglücksfälle sind also vorprogrammiert.

Als das Unglück daraufhin passiert war, war die Aufregung vor Ort groß, denn niemand wusste, was dort in Brand geraten war. Erst nach einer nicht zu akzeptierenden Karenzzeit gelang es, die Ladung als Epichlorhydrin zu identifizieren. Offensichtlich war es vor Ort wegen des Brandes nicht möglich, die Kesselwagenbeschriftung zu erkennen beziehungsweise zu lesen.

Wichtigste Kennung ist die UN-Nr., die für Epichlorhydrin lautet: 2033. Hier müssen von den Einsatzkräften sofort die von der CEFIC (Conseil Europeen de l'Industrie Chimique) herausgegebenen ERI-Cards (Emergency Response Intervention Cards = Hinweise für den Einsatz mit gefährlichen Stoffen) benutzt werden, hier Karte 6-14: Giftiger flüssiger Stoff, entzündbar. Weitere Fachinformationen können rund um die Uhr von TUIS (Transport-Unfall-Informationen- und Hilfeleistungssystem) angefordert werden, unter deren fachkundiger Aufsicht auch die Bergung der havarierten Ladung und der Kesselwagen erfolgen sollte.

Da Epichlorhydrin eine relative Gasdichte gegenüber Luft = eins von 3,29 hat, also schwerer als Luft ist, bestand außerdem die Gefahr, dass sich das Produkt am

Boden ausbreitet und sich in Kellern, Gruben und der Kanalisation ansammelt und dort wegen der niedrigen Explosionsgrenzen (Untere Grenze: 2,3 Volumenprozent, obere Grenze: 34,4 Volumenprozent) sowie des Flammpunktes mit 28 Grad Celsius und der Zündtemperatur von 385 Grad Celsius eine zusätzliche Gefahr darstellt.

Die Wassergefährdung wird durch die Einstufung in WGK 3 = stark wassergefährdender Stoff und die Wasserlöslichkeit von 60 000 Milligramm pro Liter dokumentiert. Mit Wasser reagiert Epichlorhydrin allmählich unter Bildung von Chlorpropandiol, ein Stoff der WGK 2 = wassergefährdender Stoff.

Beim Brand von Epichlorhydrin entstehen Chlor-haltige Brandgase, die mit einem Sprühstrahl niedergeschlagen werden sollten. Dies war hier wegen des explosionsartigen Brandes nicht möglich. Wenn die Umgebung und die weiteren Kesselwagen gegen Brand durch Abkühlen mit Wasser geschützt werden können, muss die Einsatzleitung vor Ort entscheiden, ob ein kontrolliertes Abbrennen des Kesselwageninhaltes aus Gründen des Umweltschutzes nicht einem totalen Ablöschen des Feuers mit alkoholbeständigem Schaum und der Verseuchung des Bodens und der Umgebung mit Epichlorhydrin vorgezogen werden kann.

Als Schutzausrüstung muss chemikalienbeständige Kleidung mit Umluft unabhängigem Atemschutz beim Einsatz getragen werden. Bei Arbeiten im Wirkbereich des Stoffes ist ein Chemikalienschutzanzug zu tragen. Auch hier muss Kritik einsetzen, denn wie Fotos und Reportagen vom Unglücksort belegen, scheint nur die Feuerwehr durch Epichlorhydrin gefährdet zu sein, nicht aber Vertreter von Presse, Funk, Fernsehen und der Behörden. Auch war eine weiträumige Absperrung, wie sie hier angemessen gewesen wäre, nirgendwo zu sehen. Jedermann muss sich ja selbst wegen unverantwortlicher Neugier ein Urteil bilden, selbst wenn man

fachunkundig ist und in den nächsten Tagen den Arzt aufsuchen wird.

Aktuelle Presseberichte und Leserschriften dokumentieren die unprofessionelle Schadensbekämpfung. So wird berichtet, dass auf der in der Nähe des Unglücksortes vorbeiführenden Landstraße sich die Neugierigen, zum Teil in den Brandgasen stehend, gestaut hätten, um das Spektakel zu „bewundern“. Das Ergebnis der über den Ort hinwegziehenden Epichlorhydrin-Wolke wird langsam sichtbar: Von den Einsatzkräften hat etwa jeder sechste und von den Einwohnern etwa jeder zehnte Kontakt mit der Wolke gehabt (der betroffene Ort hat 19 000 Einwohner). Sie klagten über tagelange Atemwegsreizungen und Kopfschmerzen. Bislang haben über 1300 Bürger ihr Blut untersuchen lassen mit dem Ergebnis erhöhter Leberwerte. Man versäumte nicht darauf hinzuweisen, dass auffällige Werte durch „Trinkfestigkeit“ herausgerechnet worden sind.

Dem Klagegesang der Mediziner über mangelnde Fachliteratur zur Toxikologie von Epichlorhydrin muss erwidert werden, dass dieser Stoff zum Beispiel in Ludewig: Akute Vergiftungen (ISBN 3-8047-1701-2) auf Seite 321 ausführlich behandelt wird. Und auf der ERI-Card 6-14 steht die TUIS-Telefonnummer der BASF, die man sofort hätte kontaktieren können. Hier liegen umfassende Informationen, vor allem aus der Gewerbetoxikologie, vor. Außerdem befindet sich das Bad Münder am nächsten liegende Informationszentrum für Vergiftungsfälle mit durchgehendem 24-Stunden-Dienst in Göttingen. Jede Rettungskraft (Feuerwehr, Notarzt) muss diese Liste der Giftnotrufzentralen mit sich führen. Da die Rettungs-



Das Warnzeichen W03 „Warnung vor giftigen Stoffen“

kräfte teilweise schon Laptops beziehungsweise Notebooks mit CD-ROM-Laufwerk mit sich führen, können umfangreiche sicherheitstechnische Kenndaten auf der gleichnamigen, im Verlag Ecomed Sicherheit, Landsberg, in laufender Aktualisierung erscheinenden CD-ROM mit Daten zu 34 000 Stoffen eingesehen werden. Hier hätten die Mediziner auch erste gewerbetoxikologische Erkenntnisse über Symptome durch Epichlorhydrin erfahren können.

Zur Zeit hängt das Warnzeichen W03 „Warnung vor giftigen Stoffen“ (schwarzer Totenkopf auf gelbem, schwarz umrandetem dreieckigem Schild; siehe Abbildung Seite M83) am Absperrzaun der Unglücksstelle, denn die Schienentrasse ist hier bis zu drei Meter tief verseucht. Ein großes Zelt über dem verseuchten Boden soll während der Entsorgungsarbeiten Menschen und die Umwelt vor giftigen Dämpfen schützen.

Man darf auf den anstehenden juristischen Prozess gespannt sein, nach welchen Kriterien die Verantwortlichkeiten für diesen vermeidbaren Unfall festgestellt werden. Die Staatsanwaltschaft Hannover sucht derzeit noch Verantwortliche für dieses Unglück. Zum Glück im Unglück kann festgehalten werden, dass nach jetzigem Stand trotz aller Unzulänglichkeiten bei der Schadensbekämpfung vor Ort keine Personen zu größerem Schaden gekommen sind.

## Chlorophylle, Xantophylle und Karotine

### Wer malt im Herbst die Blätter bunt?

**J**edes Jahr können wir im Herbst diesen Vorgang beobachten: Die Blätter der Laubbäume verlieren ihre grüne Farbe, färben sich bunt und fallen schließlich zur Erde. Die sommergrünen Pflanzen bereiten sich auf die Ruheperiode im Winter vor. Die Laubfärbung wird durch verschiedene Pflanzenpigmente hervorgerufen. Sie stehen immer mehr im Blickpunkt der Forschung, weil sie unter anderem für die Bekämpfung von Krebserkrankungen beim Menschen zunehmende Bedeutung erlangen.

Es ist wieder soweit: Die Blätter der sommergrünen Pflanzen färben sich und fallen ab. Die Laubfärbung, die diese Phase einleitet, ist das äußere Zeichen für die Blattalterung. Hierbei handelt es sich nicht um ein „Vergammeln“ der Blätter, sondern um einen komplizierten Prozess, der durch spezielle Enzyme in der Pflanze gesteuert wird. Den Vorgang des Alterns bezeichnen die Biologen auch als Seneszenz. Er wird in der Regel durch die abnehmende Tageslänge im Herbst und dem damit verbundenen Nachlassen der Dauer und der Intensität der

Sonneneinstrahlung ausgelöst. Die sinkenden Temperaturen beschleunigen den Prozess.

Als erster Schritt erfolgt der Abbau des Chlorophylls. Chlorophyll ist ein Pflanzenfarbstoff, der für das Grün der Blätter verantwortlich ist. Der deutsche Chemiker Richard Willstätter (1872 bis 1942), der 1915 den Nobelpreis für Chemie erhielt, isolierte diese Substanz, die chemisch mit dem Blutfarbstoff Hämoglobin verwandt ist. Mit Hilfe des Chlorophylls sind grüne Pflanzen in der Lage, alle für ihre Entwicklung notwendigen Verbindungen aus den in der Natur vorhandenen anorganischen Verbindungen aufzubauen. Die dazu benötigte Energie stammt aus dem Sonnenlicht. Bei diesem Photosyntheseprozess wird Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Luft aufgenommen und mit Wassermolekülen zu Kohlenhydraten umgewandelt. Dabei wird Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) freigesetzt, ohne den Menschen und Tiere auf der Erde nicht leben könnten. Zusammen mit den über die Wurzeln aufgenommenen Nährstoffen, wie zum Beispiel Stickstoff und Phosphor aus dem Boden oder Schwefel aus der Luft, werden durch kom-

plizierte Stoffwechselprozesse in den Pflanzen Stärke, Eiweiße und Fette gebildet.

Mit dem Schwinden des Chlorophylls und damit der grünen Blattfarbe setzt die typische Herbstfärbung mit ihren leuchtenden gelben und roten Farben ein. Sie wird durch weitere im Blatt enthaltene Farbpigmente hervorgerufen, die während des Sommers durch das Chlorophyll überlagert waren und nun zum Vorschein kommen. Für die gelben und roten Farben sind die Karotine und ihre Abkömmlinge, die Xanthophylle, verantwortlich.

Parallel zu dem Vorgang erfolgt der Prozess der Blattablösung. Nach Ausbildung einer korkartigen Trennschicht zwischen Blattstiel und Zweig, die die Wasserversorgung allmählich unterbindet, stirbt das Blatt endgültig ab. Jetzt genügt ein kleiner Windstoß und es fällt zu Boden. Der äußere Verschluss am Zweig ist ein Schutzmechanismus, der den Eintritt von Krankheitserregern wie Pilzen und Viren sowie von tierischen Schädlingen in das Innere der Pflanze verhindern soll.

Während unter den mitteleuropäischen Bedingungen die

Laubbäume jedes Jahr im Herbst ihr Laub abwerfen, sind die „Blätter“ der Nadelbäume – außer die der Lärche – ausdauernder. Die Lebensdauer der Nadeln von Fichten beträgt etwa sieben Jahre, von Kiefern etwa fünf und von Tannen etwa acht bis neun Jahre. Es fallen immer die ältesten Nadeln in der Reihenfolge ihrer natürlichen Alterung ab. Fallen Blätter sommergrüner Pflanzen vorzeitig ab, haben sich in ihnen Ballaststoffe und Stoffwechselschlacken angereichert, durch die das Blatt geschädigt wurde. Auf diese Weise verlieren die Bäume auch die in den Blättern angereicherten Umweltgifte.

Ähnlich wie bei den Blättern verläuft die Ablösung von Früchten und die Entfernung nicht mehr funktionsfähiger Organe, wie zum Beispiel nicht befruchteter Blüten. Eine Besonderheit bilden dabei viele Orchideen: Werden die Blüten nicht bestäubt, wird die Seneszenz der Blütenblätter extrem verzögert, sodass die Blüten ungewöhnlich lange, mitunter mehrere Wochen, erhalten bleiben.

Warum aber wirft die Pflanze ihre Blätter ab? Der herbstliche Blattfall ist ein unerlässlicher Vorgang für das Überleben der ausdauernden Pflanzen. Allgemein bekannt ist, dass der Blattfall eine Anpassung an den Wassermangel während der Frostperiode ist. Weniger bekannt ist aber, dass die Seneszenz wichtig für die Optimierung der Nahrungsqualität ist. Mit dem Einsetzen des Chlorophyllabbaus werden keine organischen Stoffe mehr produziert. Die Pflanze beginnt, die in den Blättern befindlichen Proteine, Kohlenhydrate und Fette abzubauen und zusammen mit den Mineralien abzutransportieren und an bestimmten Orten, zum Beispiel der Wurzel, in bestimmten Teilen des Stamms und in den Knospen anzureichern. Je mehr Stoffe aus den Blättern abtransportiert werden können, umso weniger Nährstoffe gehen den Pflanzen verloren. Deshalb ist ein Ziel der Pflanzenzüchtung, die

Seneszenz der Blätter möglichst lange hinauszuzögern, um so eine große Ausbeute an wichtigen Nährstoffen zu erreichen. Damit kann zum Beispiel der Stärkegehalt in den Kartoffelknollen oder der Zuckergehalt in den Zuckerrüben erhöht werden, was sich auf die Qualität unserer Nahrungsmittel auswirkt.

Chlorophylle, Karotine und Xanthophylle sind wichtige Substanzklassen, die nicht nur bei der Laubfärbung eine Rolle spielen. Die Arbeitsgruppe Pflanzenphysiologie des Botanischen Instituts der Universität Leipzig unter Leitung von Professor Christian Wilhelm erforscht seit längerem diese Substanzen, da diese nicht nur für die Pflanzen selbst, sondern auch für die menschliche Gesundheit von Bedeutung sind. So wird Betakarotin in unserem Körper zum Vitamin A, das eine wichtige Rolle beim Sehvorgang spielt,

umgewandelt (Nachtblindheit bei Vitamin-A-Mangel). Zunehmende Bedeutung erlangt das Vitamin – ähnlich wie das Chlorophyll – bei der Krebsvorbeugung. Personen, die regelmäßig Betakarotin einnehmen, erkranken weniger häufig an Krebs als diejenigen ohne diesen Schutz. Der Bedarf an diesem Provitamin ist enorm. Um der ständig steigenden Nachfrage gerecht zu werden, können entweder neue, besonders Betakarotinreiche Pflanzen gezüchtet werden oder die Wissenschaftler lernen zu verstehen, unter welchen Kulturbedingungen besonders viel von dieser Substanz gebildet wird. Für diese Forschungen sind neue Methoden der pflanzlichen Inhaltsstoffanalyse notwendig, um die sich die Leipziger Wissenschaftler bemühen. Sobald Ergebnisse vorliegen, werden wir über sie berichten.

*Hannelore Tenckhoff*



Wilder Wein an einer Hauswand Ende Oktober: Vom Blattgrün (fast) keine Spur mehr.

## Nachwachsende Rohstoffe, Teil 3: Saccharose aus der Zuckerrübe

### Vielseitig und ständig verbessert

**D**ie Zuckerrübe (auch Runkelrübe genannt) ist eine Kulturform von *Beta vulgaris* aus der Familie der Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae). Systematisch wird sie als *Beta vulgaris* var. *altissima* eingeordnet. Im Jahr 1747 erkannte der Apotheker Andreas Sigismund Marggraf, dass der in der damaligen, heimischen Runkelrübe enthaltene Zucker mit dem kostspieligen, aus Übersee importierten Rohrzucker identisch war. Zu diesem Zeitpunkt wies die Rübe einen Zuckergehalt von nur vier Prozent auf.

Durch Versuche zum Anbau und durch Züchtung schaffte es der Schüler von Marggraf, Franz Karl Achard, den Zuckergehalt weiter zu steigern. Die Fabrikation des Zuckers erschien aber sehr aufwändig, so dass der Rübenzucker gegenüber dem billigeren Rohrzucker aus Übersee nicht konkurrenzfähig erschien. Achard präsentierte 1799 dem preussischen König Friedrich Wilhelm III. die erste Probe seines Zuckers, worauf ihm der König ein Darlehen gewährte, um das Gut Cunern in Niederschlesien zu kaufen. Dort entstand 1801 die erste Rübenzuckerfabrik weltweit. Günstig für die Entwicklung erwies sich Napoleons Kontinentalsperre, die den überseeischen Rohrzucker vom europäischen Markt abschnitt. Als im Dezember 1810 die Kontinentalsperre aufgehoben wurde, war der Rübenzucker wettbewerbsfähig. Als Kolonialzuckerfabrikanten versuchten, Achard mit 200 000 Talern zu überzeugen, seine Zuckerherstellung einzustellen, lehnte dieser sofort ab.

Der Rübenzucker musste auch Rückschläge hinnehmen. Als England nach dem Sieg über Napoleon alle karibischen Inseln übernahm, wurden die britischen Zuckerlager bis zum Rand mit Rohrzucker aufgefüllt. Durch die grossen Mengen konnte dieser gegenüber dem Rü-

benzucker billig in Europa verkauft werden. In der Folge mussten fast alle europäischen bis auf die französischen Rüberzuckerfabriken schliessen. Ab 1850 wurden in Deutschland der Zuckergehalt weiter gesteigert und 100 Fabriken neu gegründet. Die Einfuhr von Rohrzucker wurde mit Steuern belegt, um die heimische Produktion zu schützen. Ab da begann der Siegeszug des Rübenzuckers. Die jährliche Ernte in Deutschland beträgt etwa 15 Millionen Tonnen.

Die Rübe hat mit über 20 Prozent einen höheren Zuckeranteil als das Zuckerrohr mit 14 Prozent. Dafür werden beim Rohr höhere Erntemengen je Hektar erreicht. Zur Zeit hat Rohrzucker 60 Prozent an der Weltzuckerproduktion, Rübenzucker 40 Prozent inne. Die Länder der EU werden fast ausschliesslich mit Rübenzucker beliefert. Die Verhältniszahlen zwischen Rübenzucker und Rohrzucker können sich aber in der Zukunft zu Gunsten des Rübenzuckers ändern, weil in den Zuckerrohr anbauenden südamerikanischen Ländern mit raschem Bevölkerungswachstum darüber diskutiert wird, die Wasserreserven künftig mehr für die Bevölkerung als für das Zuckerrohr zu verwenden.

Mit der Rübenernte im September beginnt die Zuckergewinnung. Beim Entladen werden von jeder angelieferten Fuhre Proben genommen und diese auf Zuckergehalt und weitere wichtige Inhaltsstoffe untersucht. Nach einer gründlichen Wäsche gelangen die Zuckerrüben in die Fabrik. Die Rüben werden zu Schnitzeln zerkleinert und im Brühtrog vorgewärmt. In 70 Grad Celcius heißem Wasser löst sich der Zucker aus den Rübenzellen und der Rohsaft entsteht. Durch Trennung von Zucker- und Nichtzuckerstoffen wird der Rohsaft gereinigt. Hierzu werden Kalk und Kohlendioxid zugesetzt. Der Kalk in Form von



Erntereife Zuckerrübe (Foto: D. Bock Max Planck Institut für Züchtungsforschung MPIZ, Köln).

Kalkmilch bewirkt eine Ausflockung der Nichtzuckerstoffe. In der Hauptkalkung wird dieser Vorgang wiederholt. Nachdem der mit Kalk versetzte Rohsaft erwärmt worden ist, schließt sich die erste Carbonatation an. Der überschüssige Kalk wird mit Kohlendioxid zu Calciumcarbonat ausgefällt. Dieses wird über ein Filter abgetrennt und der Vorgang des Einleitens von Kohlendioxid mit anschliessender Filtration wiederholt. Es bleibt ein klarer Dünnsaft mit etwa 16 Prozent Zuckergehalt zurück. Der Dünnsaft wird in mehreren Stufen durch Verdampfen eingedickt, bis ein goldbrauner Dicksaft mit circa 67 Prozent Zuckergehalt entsteht. Dieser wird gekocht, bis sich goldgelb leuchtende Kristalle bilden, die mit Sirup überzogen sind. Der Sirup wird durch Zentrifugieren und Spülen mit Wasser und Dampf von den Kristallen getrennt. Durch mehrfache Wiederholung dieser Vorgänge entsteht die Raffinade, weisser Kristallzucker von höchster Reinheit und Qualität.

Die Reste der Zuckergewinnung bestehen aus Blättern, Rübenschnitzeln, Calciumcarbonat und

Melasse. Rübenblätter, Schnitzel und Melasse dienen als Viehfuttermittel, Calciumcarbonat als Dünger. Melasse wird der letzte Rest des Zuckerrübensaftes genannt, aus dem sich eine weitere Zuckergewinnung nicht mehr lohnt. Der dunkelbraune Siruprückstand enthält noch etwa 45 bis 48 Prozent Zucker und daneben viele Nichtzuckerstoffe. Er dient als Rohstoff für die Alkoholgewinnung, wie beispielsweise Rum. Melasse ist ein wichtiger Rohstoff zur Gewinnung von Backhefen, Lebensmittelsäuren, Aminosäuren und dem Würzstoff Glutamat. Ebenso dient Melasse als Rohstoff zur Gewinnung bedeutender Arz-

neimittel wie einiger Antibiotika und Herzmittel.

Rübenzucker ist auch ein nachwachsender Rohstoff und dient als solcher beispielsweise der Herstellung von Tensiden oder Kunststoffen. Allerdings werden von den etwa 17 Millionen Tonnen jährlich in Europa produzierter Saccharose nur etwa 300 000 Tonnen im Nicht-Nahrungsbereich eingesetzt, fallen also definitionsgemäß in die Kategorie „Nachwachsende Rohstoffe“. Im technischen Bereich wird die Saccharose zum Beispiel als Polyolkomponente bei der Herstellung von Polyetherpolyolen für die Herstellung von Polyurethanschäumen und für die Herstellung

von Zuckerestern (Emulgatoren) eingesetzt.

Zuckeraustauschstoffe sind Kohlenhydrate oder deren Derivate, die süß schmecken, für Diabetiker geeignet sind und meist einen erheblich geringeren Brennwert als Zucker besitzen. Als Süßstoffe werden synthetische oder natürliche Verbindungen bezeichnet, die süßen Geschmack, aber keinen oder im Verhältnis zu ihrer Süßkraft einen zu vernachlässigenden Nährwert besitzen. Auch Saccharose kann enzymatisch so verändert werden, dass sie als niedrig kalorischer und nicht kariogener Zuckeraustauschstoff Verwendung findet. MB

## Basis für Fortschritt in der Analytik:

# Chromatographische Trennungen

**Chromatographie bildet neben anderen Trenntechniken wie Filtrieren oder Umkristallisieren die Basis der analytischen Chemie. Viele spektroskopische Methoden zeigen erst in Kombination mit entsprechenden Trennungen die gewünschten Ergebnisse.**

In vielen Fällen ermöglicht erst die Auftrennung von Stoffgemischen deren Analyse. Erst die Anwendung von Hochleistungs-Kapillarsäulen brachte die Erkenntnis, dass zahlreiche Proben natürlicher und anthropogener Herkunft sehr komplex zusammengesetzt sind, das heißt aus einer Vielzahl von Inhaltsstoffen bestehen, die zudem noch in einem sehr breiten Konzentrationsbereich vorliegen können. Im Kaffeearoma wurden beispielsweise über 800 verschiedene Substanzen gefunden. Die Stoffgemische können immer komplexer, die Substanzmengen immer winziger werden – durch Weiterentwicklung genügen die Trenntechniken immer höheren Anforderungen.

Das Prinzip der chromatographischen Techniken ist, dass das zu

trennende Stoffgemisch mittels einer bewegten (fluiden) Phase durch ein Rohr oder eine feine Kapillare, indem sich eine spezielle Chemikalie (stationäre Phase) befindet, transportiert wird. Dabei benötigen die unterschiedlichen Substanzen eine unterschiedlich lange Zeit und kommen separat in einem geeigneten Detektor an, wo sie nachgewiesen werden.

In der Anfangszeit der Chromatographie war zum Beispiel Puderzucker, in eine Glassäule gestopft, eine geeignete stationäre Phase, um Chlorophyll und Carotine aus einem Extrakt aus grünen Blättern zu isolieren. (An diesem Beispiel wird auch der Name Chromatographie, „Farbschreiben“, verständlich; es wurden zunächst Farbgemische aufgetrennt.) Heute ist in der Flüssigkeitschromatographie (HPLC) Silica das Basismaterial für die stationäre Phase. Mit physikalisch-chemischen Methoden erforscht man die Mechanismen der Rückhaltung der durchwandernden Stoffe, die unterschiedliche Haftung an der Oberfläche der stationären Phase. Je besser man das versteht, um

so gezielter kann man für neue Trennungsanforderungen neue Trennsysteme entwickeln.

An Methoden stehen neben der HPLC, die GC (Gaschromatographie) und die Electrophorese im Vordergrund. Durch Kopplung mit spektroskopischen Methoden, insbesondere der Massenspektrometrie lassen sich die Auftrennung und Analyse der Bestandteile in einem Arbeitsgang vereinen.

Nach einer amerikanischen Studie stehen Chromatographie-Geräte in den Labors nach der Waage und den pH-Messgeräten an dritter Stelle. Über die Hälfte aller Analysen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie werden mit der Chromatographie ausgeführt. Beispiele für derzeitige Routineanalysen sind die Doping-Analytik bei Sportlern, die Kraftstoffkontrolle bei Formel-1-Rennen, die Erkennung angeborener Stoffwechselerkrankungen bei Neugeborenen („Neugeborenen-screening“), die Überwachung der Qualität von Nahrungsmitteln (zum Beispiel Nitrofen) oder die Umweltanalytik (Kontrolle von Wasser, Boden und Luft).

## Geringes Gewicht, große Wirkung Magnesiumtechnologie

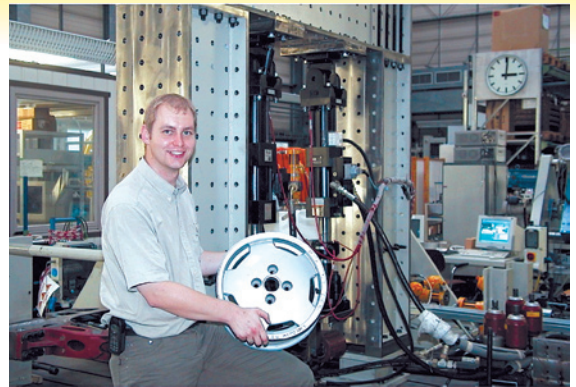
**Ökosteuer und steigende Benzinpreise: Autofahren ist ein teures Vergnügen. Um gleichermaßen Portemonnaie und Umwelt zu schonen, sind neue Konzepte im Fahrzeugbau gefragt, und Handies und Laptops sollen gleichfalls leichter werden. Mit dem Ziel, die Einsatzmöglichkeiten von Magnesium zu erweitern, forschten Wissenschaftler der Universität Hannover und der TU Clausthal in den vergangenen sieben Jahren in einem Sonderforschungsbereich gemeinsam auf diesem Gebiet. Metallphysikalische Grundlagen wurden mit Unterstützung von Prof. Dr. P. Lukac von der Karls-Universität Prag erarbeitet.**

„Magnesium besitzt aufgrund seiner geringen Dichte ein hohes Leichtbaupotenzial, Magnesiumlegierungen sind um gut ein Drittel leichter als Aluminiumlegierungen“, erklärt Prof. Dr. H. Zenner, Sprecher des Sonderforschungsbereichs. Allerdings hat Magnesium einige, besonders für den Fahrzeugbau ungünstige Eigenschaften. Der Einsatz in direkter Motornähe ist wegen der geringen Hitzebeständigkeit ausgeschlossen. Magnesium korrodiert

sehr schnell. Erst als es Mitte der 80er Jahre gelang, reinere und damit korrosionsbeständigere Magnesiumlegierungen herzustellen, gewannen sie als Werkstoffe wieder an Bedeutung.

„Wir konzentrierten uns darauf, geeignetere Magnesiumlegierungen und Magnesium-Matrix-Verbindstoffe zu entwickeln, neue Verarbeitungsverfahren auszuarbeiten und an Prototypen neue Verwendungszwecke zu testen“, erläutert der Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs Magnesiumtechnologie, Dipl.-Ing. Heino Meinen, die Arbeit der vergangenen sieben Jahre. „Wir erforschten, wie sich die Qualität der Legierungen und ihre mechanischen Eigenschaften verbessern lassen und entwarfen wirtschaftlichere Herstellverfahren sowie neue Recyclingkonzepte.“

Schon im guten alten VW-Käfer steckten über 17 Kilogramm Magnesiumlegierungen, verwandt für Kurbelgehäuse, Getriebegehäuse, Lichtmaschinenarm, Nockenwellenrad und andere Bauteile. Wäre



Heino Meinen zeigt eine Felge aus Magnesium.

hierfür Stahl verwendet worden, hätte das Auto rund 50 Kilogramm mehr gewogen, und je schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Benzin verbraucht es; pro 100 Kilogramm mehr Gewicht erhöht sich der Kraftstoffverbrauch um einen halben Liter auf 100 Kilometern.

Nicht nur im Fahrzeugbau spielt Magnesium schon heute eine große Rolle:

Gehäuse von Handies und Laptops werden aus Magnesium gefertigt. Das Metall ist verglichen mit Kunststoff wesentlich stoßfester, und es schirmt auch die elektrische Strahlung besser ab. Köpfe von Fotostativen aus Magnesium sind mechanisch stabiler als solche aus Kunststoff, Spulen von Angelruten leichtgängiger. In größeren maschinellen Industrieanlagen reduzieren sich bei beweglichen Bauteilen aus Magnesium die Fliehkräfte. Das entlastet die anschließenden Bauteile und lässt sie somit langsamer verschleifen.

Auch in der Verarbeitung hat Magnesium Vorteile. Es lässt sich besonders gut gießen, daher sind heutzutage rund 90 Prozent aller Bauteile gegossen. Ein Druckguss mit Magnesium dauert nur halb so lange wie der von Aluminium. Mit dem flüssigen Metall ist eine sehr filigrane Gestaltung möglich.

Ziel der Universitäten Hannover und Clausthal ist es nun, die gewonnenen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Magnesiumtechnologie weiter zu führen, damit die Vorteile dieses Leichtmetalls im Alltag noch besser genutzt werden können.

*Nina Jahnel*

### Der Chemie-Truck: Das rollende Chemie-Labor

Das aus dem Jahr der Lebenswissenschaften bekannte Science live-Mobil wird zum Jahr der Chemie inhaltlich umgestaltet. Die Chemie-Trägerorganisationen unterstützen inhaltlich dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ins Leben gerufene und finanzierte Projekt. So übernimmt Professor Georg Schwedt von der TU Clausthal, Mitherausgeber der CLB und bekannt geworden durch seine chemischen Experimente mit Supermarktprodukten, die inhaltliche Leitung der Ausgestaltung. Ihm zur Seite stehen weitere namhafte Experten und Didakten aus den Trägerorganisationen, vor allem aus der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Das gemein-

same Projekt, ein fahrendes Chemie-Labor mit Experimenten für Jedermann zu gestalten, wird von der durch das BMBF beauftragten Agentur Media Consulta verantwortlich geleitet. Die für Kinder und Erwachsene gleichermaßen geeigneten Experimente werden auf die Rahmenbedingungen eines fahrenden Laboratoriums zugeschnitten. Für die Einhaltung aller Sicherheitsvorschriften und vor allem die Sicherheit aller Teilnehmer ist die Berufsgenossenschaft Chemie mit von der Partie. Eine runde, vor allem aber rollende Sache. Voraussichtlich wird der Chemie-Truck im Jahr 2003 an über 90 Orten im gesamten Bundesgebiet Station machen.

bestehen, ähnlich wie die polaren Stratosphärenwolken in etwa 20 Kilometer Höhe, die das Ozonloch verursachen. Bei unseren Messungen haben wir aber gesehen, dass der HNO<sub>3</sub>-Gehalt sehr gering ist, dass es in unserem Fall tatsächlich Eiswolken waren.“

Gibt es an anderen Universitäten oder Institutionen ähnliche Labors? Borrmann: „Ja, natürlich. Es gibt mehrere Forschungsinstitutionen in Deutschland, die sich mit ähnlichen Fragestellungen befassen. Schon meine Position hier ist eine Mischposition aus Universität und Max-Planck-Institut. Hier wurden Ressourcen zusammengelegt, so dass man sagen kann, wir haben hier im Mainz zwei Institutionen, die miteinander kooperieren. Es gibt eine Reihe von anderen Institutionen in Deutschland, die sich mit Wolken beschäftigen, zum Beispiel das Institut für Troposphärenforschung in Leipzig oder das Deutsche Klima-Rechenzentrum, und verschiedene andere.“

Was müssen die Mitarbeiter mitbringen? Borrmann: „Wir arbeiten mit Physikern, Chemikern und vor allem auch Meteorologen, denn unsere auszubildenden Studenten hören Meteorologie. Sie werden aber relativ stark in unsere physikalisch-chemische Arbeitsweise eingebunden. Sie lernen selbstverständlich das Standardwerkzeug für Wettervorhersage und Meteorologie, aber für ihre Diplom- und Doktorarbeiten hier in der Atmosphärenforschung werden sie involviert in solche zum Teil bis zu kleinen Tröpfchen heruntergehenden Experimente und theoretischen Studien. Ich lege großen Wert darauf, dass die Studenten viel an Technologie selbst bedienen, deren Vorteile und Limitierungen kennen lernen und auch die Probleme, die dieses Arbeiten mit sich bringt. Das soll eine Schule für das reale Leben später sein. Für mich ist die technologische Arbeit mindestens genau so wichtig wie die akademische Arbeit, bei der die wissenschaftlichen Fragestellungen bearbeitet werden.“

*Hans-Dietrich Martin, Köln*

## Zervixkarzinom

# Entstehung ist aufgeklärt

**Jährlich erkranken weltweit rund 500 000 Frauen an Gebärmutterhalskrebs (Zervixkarzinom). Etwa 200 000 Frauen sterben jährlich daran. Die Entdeckung der unterschiedlichen Verteilung des Proteins Nucleolin in gesunden und erkrankten Bereichen könnte zur Früherkennung dieses Karzinoms führen.**

Schuld an der Krebsentstehung ist ein körpereigener Eiweißstoff, das Nucleolin. Es spielt normalerweise bei der Zellteilung und anderen biologischen Vorgängen eine Rolle. In Zellen der Zervix, die mit HPV18, einem bösartigen Vertreter der sonst harmlosen Humanen Papillomviren, infiziert sind, bindet Nucleolin in einer bestimmten Phase der Zellteilung an Kontrollelemente des Virus und aktiviert dadurch zwei Onkogene. Die aktivierten viralen Onkogene sorgen dafür, dass sich die Körperzelle unaufhörlich teilt und die neue Zelle zur Krebszelle wird.

Dr. Edgar Grinstein und Dr. Hans-Dieter Royer (Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, MDC, Berlin-Buch und Heinrich-Heine Universität Düsseldorf) haben jetzt in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Universität Amsterdam, des Deutschen Krebsforschungszentrums Heidelberg und der Charité der Medizinischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin zeigen kön-

nen, wie eine gesunde Zelle durch das HPV 18 in eine Krebszelle umgepolt wird.

Die Wissenschaftler fanden, dass das Protein Nucleolin in gesunden Epithelzellen der Gebärmutter gleichmäßig verteilt ist. Jedoch bereits bei Krebsvorstufen sowie in Krebsgewebe wird eine stark veränderte Verteilung von Nucleolin in den Zellkernen beobachtet. Diese Befunde könnten möglicherweise zur Entwicklung von Testmethoden für die Früherkennung von Zervixkarzinomen führen.

## Stellenangebote

# Bielefeld

IHR ARBEITGEBER

Die Stadt Bielefeld sucht zum nächstmöglichen Zeitpunkt für das **Chemische Untersuchungsamt** eine/n

Chem.-techn. Assistenten/-in

*Die Stadt Bielefeld ist als Universitätsstadt mit 325.000 Einwohnern Zentrum der Region Ostwestfalen-Lippe. Die Stadt Bielefeld versteht sich als moderner Dienstleistungsbetrieb.*

*Zu besetzende Stellen sind in gleicher Weise für Frauen und Männer geeignet. Die Stadt Bielefeld ist um die berufliche Förderung von Frauen bemüht und möchte deshalb ausdrücklich Frauen ermutigen, sich zu bewerben. Bewerbungen von Schwerbehinderten sind erwünscht.*

**als "1. Laborkraft" für den Bereich Lebensmittel, Wasser und Rückstandsanalytik.**

**Das Aufgabengebiet umfasst u. a.:**

- Selbständige und verantwortliche Durchführung schwieriger chemischer Routineanalysen und teilweise von bes. schwieriger chemischen u. physikalisch-chemischen Untersuchungen.
- Durchführung gaschromatographischer Rückstandsuntersuchungen (z. B. Organochlorpestizide und polychlorierte Biphenyle)
- Gaschromatographische Bestimmungen strahleninduzierter Spaltprodukte der Fettfraktion
- Selbständige Ausarbeitung und Validierung neuer Analysemethoden u. Verbesserung bestehender Methoden

**Wir erwarten:**

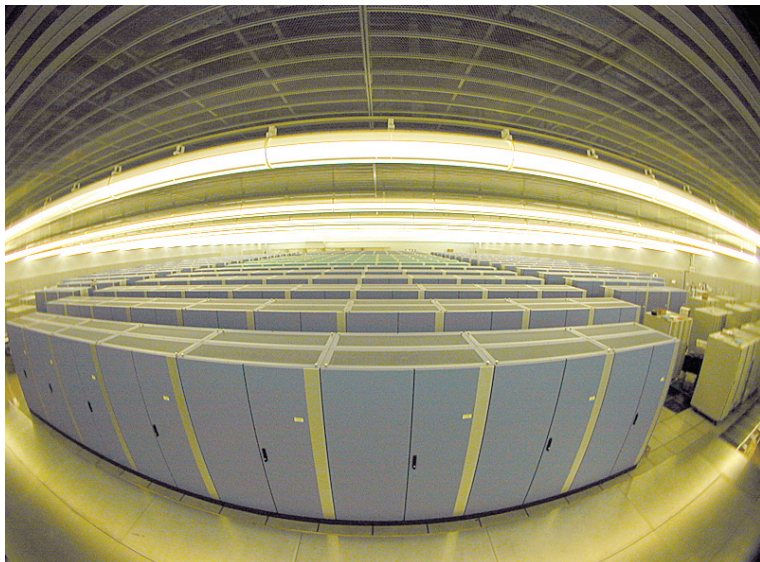
- eine abgeschlossene Berufsausbildung zur/zum Chem.-technischen Assistentin/-en in Verbindung mit mehrjähriger Berufserfahrung (vorzugsweise im apparativen Umgang mit einem GC und GC-MS) - der Abschluss eines Studiums zum/zur Chemieingenieur/in wäre wünschenswert
- die Fähigkeit, sich schnell in den komplexen Bereich der Lebensmittelchemie mit dem Schwerpunkt Rückstandsanalytik einzuarbeiten sowie die Erfahrung im Umgang mit EDV-gestützten Analysegeräten, Labordatenverarbeitungssystemen sowie Standardsoftware

Durch die Stellung als "1. Laborkraft" ist ein hohes Maß an Entscheidungsfreude, Selbständigkeit, Flexibilität und Gewissenhaftigkeit erforderlich.

Die Stelle ist bewertet nach VGr. IV b BAT.

**Für telefonische Rückfragen** stehen Ihnen Herr Dr. Brockmann unter der Rufnummer 0521/51-30 02 oder Herr Dr. Hackmann unter der Rufnummer 0521/51-26 56 vom Chem. Untersuchungsamt zur Verfügung. Ihre aussagefähige Bewerbung mit den üblichen Unterlagen senden Sie bitte innerhalb von **zwei Wochen** nach Erscheinen dieser Anzeige unter Angabe der **Kennziffer 110.212/551** an die

**Stadt Bielefeld - Personal- und Organisationsamt - 33597 Bielefeld**



Beeindruckt auch durch schiere Größe: Der derzeit schnellste Supercomputer der Welt, der „Earth Simulator“ in Japan (Foto: ESC).

**M**itte dieses Jahres stellte der Mannheimer Professor Hans Meurer auf der Supercomputing Conference 2002 in Heidelberg die neueste Liste der 500 schnellsten Computer vor. Ergebnis: Stark gestiegene Leistungswerte gerade auch durch den neuen Spitzenreiter aus Japan, den „Earth Simulator“. Er deklassiert mit einer Leistung von 36 Teraflop/s den bisherigen Spitzenreiter ASCI White (7,2 Teraflop/s) aus den USA. Jetzt schlagen die Amerikaner zurück. Bis Ende 2007 oder Anfang 2008 sollen ihre Rechner drei Petaflop/s erreichen! Und das unter dem Open-Source-Betriebssystem Linux! Und nicht nur für Nuklearwaffensimulationen, sondern insbesondere auch für die Proteinforschung!

Momentan lassen IBM-Forscher eine Simulation des geplanten Superrechners Blue Gene auf einem

Eine Größenordnung kleiner: Deutschlands schnellster Rechner, die Hitachi SR8000-F1 mit einer Gesamtlänge von zehn Metern (Foto: LRZ).



## Supercomputer in fünf Jahren Petaflop/s für Proteine

Linux-Cluster laufen. Das freie Betriebssystem soll aber nicht nur beispielsweise die I/O-Knoten des fertiggestellten Superrechners betreiben, wie es bislang bei den Wissenschaftlern des US-Konzerns

zu lesen war. Linux soll Haupt-Betriebssystem der Superrechner-Serie werden.

Das erste System, Blue Gene/L ist mit einer Spitzenleistung von 180 Teraflop/s geplant und soll Ende 2004, Anfang 2005 fertig sein. Die darauffolgenden Maschinen sollen bis zu 1000 Teraflop/s (Blue Gene/P, 2006/2007) beziehungsweise 3000 Teraflop/s (Blue Gene/Q, 2007/2008) erreichen. Die Dauerleistung dieser Nachfolgesysteme von Blue Gene/L soll bei 300 Teraflop/s beziehungsweise 1000 Teraflop/s liegen.

In einer Mitteilung meinte William R. Pulleyblank, Direktor am Deep Computing Institute von

IBM, man habe sich statt für ein speziell zu entwickelndes System für Linux entschieden, weil es offen sei und weil man glaube, es kann so erweitert werden, dass man damit eine solche Maschine wie Blue Gene/L betreiben könne. Außerdem hofft man bei dem US-Konzern, Anmerkungen und Reaktionen der Open-Source-Gemeinde für das Projekt nutzen zu können.

### Simulation von Proteinfaltungen

Simulationen von Proteinfaltungen benötigen eine riesige Rechenleistung. Um vorherzusagen, wie sich eine Aminosäurekette in Millionen möglicher Einzelschritte zu einem dreidimensionalen, funktionsfähigen Protein faltet, muss man eine Vielzahl von Reaktionswegen verfolgen. Ein Großteil davon führt nicht zum Erfolg; manchmal klumpen die Proteine ähnlich wie bei manchen Krankheiten zusammen. Auf einem durchschnittlichen PC dauert bereits die Simulation einer „Faltungsnanosekunde“ einen Tag. Die reale Faltung eines kleinen Proteins mit etwa 100 Aminosäuren benötigt jedoch etwa zehn Mikrosekunden, also zehntausendmal solch eine Rechenleistung.

### Was ist ein Flop?

Ein Spielzeug, ein Lied oder ein Film kann ein Flop, ein Misserfolg werden. Bei Computern steht Flop jedoch für eine bestimmte Leistung, für eine Gleitpunktoperation. Ein wichtiges Merkmal eines Computers ist dessen Maximalleistung. Bezieht sie sich auf die pro Sekunde ausführbaren Gleitpunktoperationen, so erhält man die maximale Gleitpunktleistung mit der Einheit flop/s (floating-point operations per second). Mflop/s (M für mega) sind  $10^6$  flop/s, Gflop/s (G für giga)  $10^9$  flop/s, Tflop/s (T für tera)  $10^{12}$  flop/s und Pflop/s (P für peta)  $10^{15}$  flop/s. Manchmal wird anstelle von flop/s, Mflop/s etc. die Schreibweise flops, Mflops etc. verwendet. Diese bringt aber den Charakter der Leistungskennzahl nicht zum Ausdruck, sondern entspricht einer Mehrzahlform. Galten Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts als Supercomputer solche mit einer Leistung von 10 Mflop/s, so verschob sich die Grenze für diese Bezeichnung bis zum Ende des Jahrhunderts auf 1 Gflop/s – bis dann ein einzelner Prozessor für normale PCs diese Leistung erbrachte, der PowerPC G4 von IBM/Motorola. Er wird in Macintosh-Computern von Apple eingesetzt – mit noch mehr Leistung.



1	Reale Zeit der zu simulierenden Proteinfaltung	$10^{-4}$ s
2	Simulations-Schrittlänge (Zeit von einem Einzelbild zum nächsten in der Simulation)	$10^{-15}$ s
3	Zahl der zu berechnenden Einzelbilder für 100 Mikrosekunden (Division Zeile 1 durch Zeile 2)	$10^{11}$
4	Typische Anzahl der in einer Protein/Wasser-Simulation berücksichtigten Atome	32 000
5	Ungefähre Anzahl von Interaktionen bei den Berechnungen der Kräfte zwischen den Atomen	$10^9$
6	Abzuarbeitende Maschinensprachen-Befehle pro Kraftrechnung	1000
7	Gesamtzahl der abzuarbeitenden Maschinenbefehle (Produkt der Zeilen 3, 5 und 6)	$10^{23}$
8	Zeitdauer der Simulation bei Ausführung auf einem Supercomputer mit der Leistung 3 Pflop/s ( $3 \times 10^{15}$ Operationen/Sekunde)	$3,3 \times 10^7$ s ~ 386 d

Die Tabelle zeigt eine Abschätzung des Rechenaufwandes, der zur Simulation einer Proteinfaltung betrieben werden muss, die typischerweise 100 Mikrosekunden dauert. Selbst ein Supercomputer von 2008, der über eine Leistung von drei Billionen Rechenoperationen pro Sekunde verfügt, muss dafür etwa ein Jahr rechnen. In diesem Zusammenhang ist die Leistung des Folding@home-Projektes (siehe Artikel) als großer Erfolg zu bewerten.

Wenn man jedem Aminosäurerest eines Proteins aus 100 Aminosäuren drei mögliche Konformationen zubilligt, ergeben sich  $3^{100} = 10^{47}$  Faltungsmöglichkeiten. Man nimmt an, dass schon die Natur hier Vorauswahlen trifft, denn ohne das Fortlassen vieler Faltungsmöglichkeiten könnte sich solch ein Protein gar nicht in Mikrosekunden-Zeiträumen reproduzierbar in bestimmte Formen falten. Die Forscher wollen nun solche Randbedingungen herausfinden, die zu bestimmten Faltungstypen führen. Die Aufklärung entsprechender Mechanismen kann auch zu Erkenntnissen über Selbstorganisation führen.

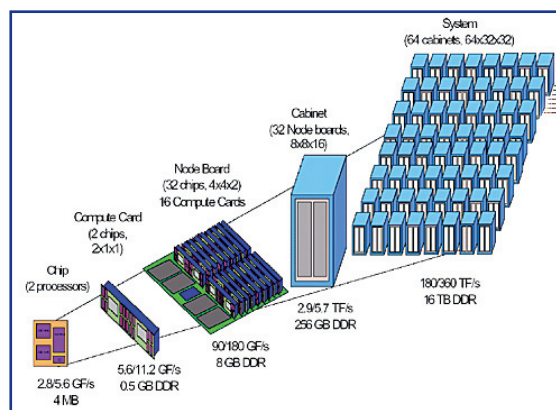
### Folding@home

Ein Erfolg der letzten zwei Jahre in der Simulation von Proteinfaltung war das Projekt Folding@home, bei dem 30 000 PCs in ihren Ruhephasen (quasi als Bildschirmschoner) ein Projekt verteilten Rechnens für die Proteinforschung der Universität Stanford, Kalifornien, abarbeiteten. Nach zwei Jahren lag eine Faltungssimulation eines kleinen Proteins über einen Zeitraum von zehn Mikrosekunden vor, die von experimentellen Daten unterstützt wurde. Verteiltes Rechnen auf PCs wurde übrigens bekannt durch das

Projekt Seti@home zur Analyse von Radioteleskopdaten auf Signale von Außerirdischen.

Mit den Blue Gene-Rechnern sollen Simulationen von Proteinen erheblich beschleunigt werden. Dazu verbessert man auch die Architektur der Rechnerhardware. Der Blue Gene/L von 2004 wird nicht aus einer Verschaltung konventioneller Server bestehen. Ein Teraflop/s-System auf dieser Basis würde mehrere Hundert Megawatt an elektrischer Leistung verbrauchen. Blue Genes Bausteine werden Mehrfach-Prozessoren sein, die zusammen mit Memory- und Kommunikationslogik auf einem einzelnen Chip integriert sind. Dadurch soll 15 mal weniger elektrische Leistung verbraucht und nur ein Fünftel des Raumbedarfs benötigt werden.

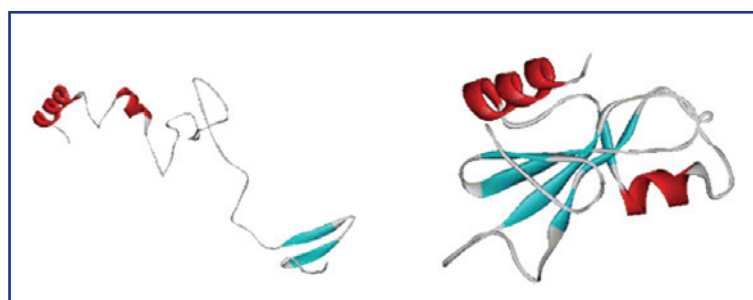
Der japanische Earth Simulator ist seit März in Betrieb. Für den Riesenrechner wurde in Yokohama



ein Gebäude von 3250 Quadratmeter Grundfläche errichtet (Earth Simulator Center, ESC). Er dient – wie der Name schon sagt – der Erforschung der Umwelt mit Hilfe eines virtualisierten Abbildes der Erde. Das soll mithelfen, globale Zusammenhänge zu verstehen, Einflüsse zu simulieren und letztendlich Umweltprobleme zu lösen. Der „Erdsimulator“ besteht aus insgesamt 640 Knotenrechnern, jeder bestückt mit acht Vektorprozessoren.

Schnellster Rechner in Deutschland ist der Hitachi SR8000-F1-Computer im Münchner Leibniz Rechenzentrum (LRZ). Er soll mit insgesamt 168 Prozessorknoten eine Spitzenleistung von zwei Teraflop/s erreichen. Das Forschungszentrum Jülich und IBM haben im August einen Vertrag über die Lieferung und Installation eines Supercomputers im Zentralinstitut für Angewandte Mathematik (ZAM) unterzeichnet. Der neue Supercomputer wird eine Spitzenleistung von 5,8 Teraflop/s erreichen. Der Rechner wird im Sommer 2003 in einem neuen Gebäude installiert und soll u.a. für Materialforschungen und für Aufgaben aus den Lebenswissenschaften eingesetzt werden. *Rolf Kickuth*

Systemaufbau von Blue Gene. (Abbildungen: IBM).



Schema des Proteins Barnase ungefaltet (hypothetisch, links) und gefaltet (rechts).

## Photonische Kristalle: schillernde Farben, „Gummilaser“ und Computer Vom Bohrlochmodell zum Massenkunststoff

**P**hotonische Kristalle – das klingt gut, so wie positronische Gehirne, wie Science Fiction. Aber es gibt sie wirklich, diese Materialien, die für Licht ähnliche Weiterleitungssperren aufweisen, wie es für Elektronen die Leitungsbandlücken in Halbleitern sind. Und jetzt lässt die Großchemie grüßen: Die BASF will photonische Kristalle im Tonnenmaßstab herstellen. Nach Blickwinkel farbändernde Folien sind damit ebenso möglich wie „Gummilaser“. Die Entwicklung photonischer Kristalle läuft parallel mit der Beherrschung nanoskaliger Prozesse.

Erste Prototypen photonischer Kristalle für Zentimeterwellen schuf man durch schräges Bohren von drei überlagerten Lochmustern in einem Keramikblock. Die entsprechende Struktur erhielt nach dem Entwickler den Namen Yablonovit (Abb.: Yablonovitch).

Im Prinzip bestehen photonische Kristalle aus einer periodischen Gitterstruktur eines Materials, die in einem zweiten Material mit stark unterschiedlichem Brechungsindex eingebettet ist. Das Licht wird durch diese Strukturen und Brechungseigenschaften derart

reflektiert, dass es praktisch nicht in die Struktur eindringen kann. Hätten die Löcher im Schweizer Käse gleichmäßige Abstände, wären sie viel kleiner und stimmten die Brechungsindizes, wäre der Käse ein photonischer Kristall. Tatsächlich bestanden die ersten Versuche Ende der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts, photonische Kristalle herzustellen, in dem aufwändigen Durchbohren keramischer Substanzen mit regelmäßig angeordneten Löchern. Diese hatten einen Durchmesser von sechs Millimetern. Das war zwar zu groß für Licht, aber für Radiowellen im Bereich von 15 Gigahertz (Zentimeterwellen) war dies ein Prototyp eines optischen Halbleiters.

Erkenntnisse über die Nanostrukturierung von Materialien haben dazu geführt, dass jetzt photonische Kristalle in verschiedener Ausführung auch für Licht zur Verfügung stehen. Um Licht zu beeinflussen, müssen die Kristallstrukturen – und als Kristall versteht man ja verallgemeinert ein Gebilde mit periodisch wiederkehrender Struktur – im Wellenlängenbereich des Lichtes liegen, also zwischen 400 und 800 Nanometern. Das ist viel kleiner als die Struktur der gebohrten Prototypen, aber etwa tausendmal größer als Atomabstände in normalen Kristallen wie etwa Natriumchlorid.

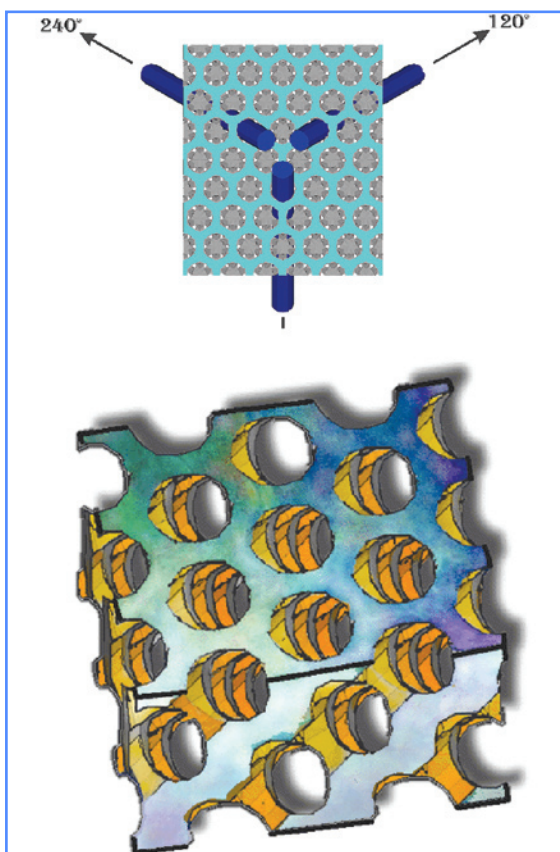
Forscher um Jim Fleming von den Sandia-Nationallaboratorien in New Mexico ist es schon gelungen, über den Zwischenschritt des Aufbaus eines Siliziumstäbchen-Gitters mit einem Gitterabstand von vier Mikrometern, Ätz- und Materialersetzungsschritten ein Gerüst aus gekreuzten Wolframstäbchen zu erzeugen. Das zweite Material, das mit diesem Konstrukt zusammen einen photonischen Kristall bildet, ist die umgebende Luft. In diesem können sich Wärmestrahlen mit einer Wellenlänge zwischen sechs



Den Weg von normalen Dispersionen hin zu photonischen Kristallen aus Kunststoff erklärte Dr. Reinhold Leyrer Journalisten in Mannheim (Foto: RK).

und 20 Mikrometern nicht ausbreiten. Andererseits beobachtete man eine neue Absorptions- und Emissionsbande bei knapp unter sechs Mikrometern Wellenlänge. Spekulationen gehen nun dahin, dass sich bei einer noch kleineren Kristallgeometrie photonische Wolframkristalle als Glühdrähte erzeugen lassen. In ihnen soll die in den Wolframdrähten von Glühbirnen typischerweise entstehende Wärme sich nicht ausbreiten dürfen, zu *kürzerwelliger* Strahlung hochtransformiert werden. Dadurch ließe sich die Lichtausbeute, die bislang bei fünf Prozent der eingespeisten elektrischen Leistung liegt, verzehnfachen – so die Spekulation. Luft müsste als zweite Substanz des photonischen Kristalls in Glühbirnen aber wohl ersetzt werden...

Wie man jetzt weiß, hat die Natur bereits vorgemacht, dass sich photonische Kristalle mit Nanostrukturen erzeugen lassen. So wird die Farbe von Schmetterlingsflügeln durch eine geordnete, strukturierte Oberfläche auf den Flügeln erzeugt. Auch die Farbe



des Opals ist auf Nanostrukturen zurückzuführen. In Opalen sind wasserarme Silikatbereiche in regelmäßigen Abständen in einer Matrix von weicheren, wasserreichen Silikaten angeordnet.

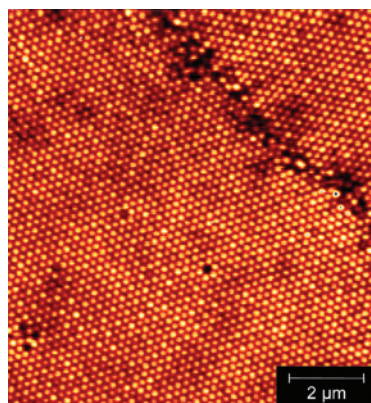
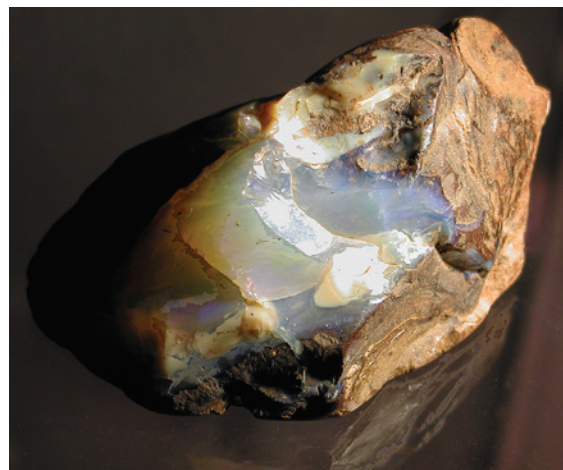
Mittlerweile gibt es auch künstliche photonische Kristalle, deren Gitterstruktur im Nanometerbereich liegt. Das interessante daran ist: Solche Gittereigenschaften bilden sich durch Selbstorganisation, und die Substanzen lassen sich mit Methoden der Großchemie herstellen. Kein Wunder, dass sich dem Thema Unternehmen dieses Wirtschaftszweigs annehmen. Die BASF stellte Journalisten Ende Oktober eigene Arbeiten vor.

Es lassen sich Dispersionen aus Wasser und Polymeren herstellen, bei denen die dispergierten polymeren Nanoteilchen alle die gleiche Größe aufweisen. Man nennt solche Dispersionen monodispers. Kleine Bereiche in solchen Dispersionen können mit farbigem Glanz schillern. Dieser Farbeffekt entsteht wie beim Opal dadurch, dass sich die Teilchen geordnet in einem Kristallgitter zusammenlagern. Die Wellen des eingestrahnten Lichts werden an diesen geordneten Teilchen gestreut und

überlagern sich bzw. interferieren derart, dass bei einem bestimmten Winkel nur eine definierte Wellenlänge, also eine einzige Farbe des eingestrahnten weißen Lichts, austritt – typische Eigenschaft eines photonischen Kristalls.

### Dispersionsteilchen fixiert

Im wässrigen Medium, wenn das Matrixmaterial also fluide ist, werden die Kristalle aber bereits durch eine leichte Handbewegung zerstört. Auch beim Trocknen solcher Dispersionen geht die Farbe verloren. Nach Ausführungen von Dr. Reinhold J. Leyrer von der Polymerforschung der BASF hat man mit Polystyrol, dessen Herstellung in dem Unternehmen bis zum Steamcracker rückwärts integriert und somit kostengünstig ist, ein Material gefunden, das Dispersionsteilchen bilden kann, die auch nach dem Verdampfen der Matrix eine nanoskalige, geordnete Struktur beibehalten. Ein Verfilmen dieser Polymerteilchen – und damit ein Verschwinden der Nanostruktur – findet bei Polystyrol durch geeignete Lage von Verfilmungs- und Glasübergangstemperatur (über 100 Grad Celsius) bei Raumtemperatur nicht statt. Ebenfalls löste man das Problem, Wasser als Matrix durch eine Substanz zu ersetzen, die zu einem festen Stoff führt, die Nanostruktur der eingelagerten Polystyrolpartikel jedoch nicht zerstört. Der Trick: Die Kunststoffexperten ummantelten die harten Polystyrol-Teilchen mit Polybutylacrylat. Diese Substanz hat eine Glasübergangstemperatur unter der gewünschten Verfilmungstemperatur, der Raumtemperatur. Liegt zunächst eine wässrige

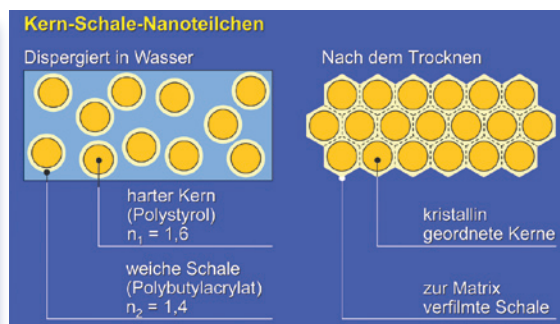
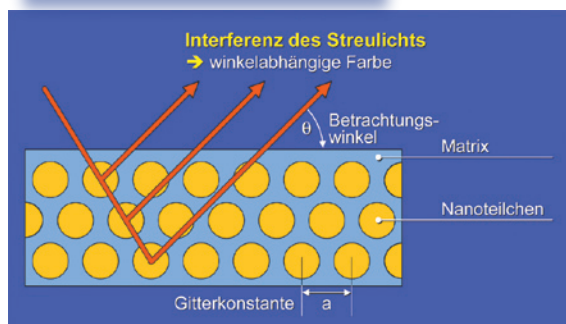


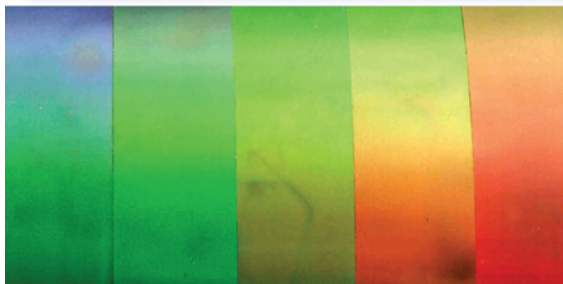
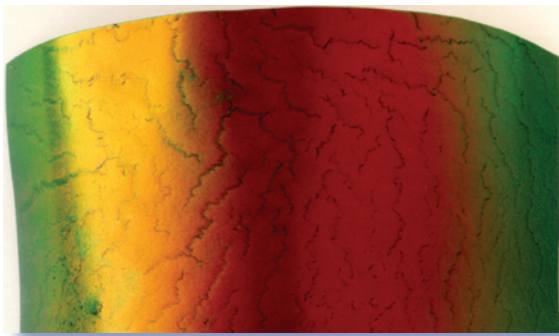
Dispersion dieser ummantelten Polystyrolpartikel vor, verfilmen deren Schalen aus Polybutylacrylat beim Trocknen und fixieren die Polystyrolpartikel in einer Nanometer-Gitterordnung.

Hinsichtlich der Erschaffung von photonischen Kristallen aus Kunststoff kam den BASF-Entwicklern dann noch das notwendige Quäntchen Glück entgegen. Tatsächlich reichte der Unterschied im Brechungsindex zwischen Polystyrol mit einem Brechungsindex von 1,6 und Polybutylacrylat mit einem solchen von 1,4 aus, um entsprechende Effekte wie Farbveränderungen hervorzurufen. Durch Variation der Stärke des Mantelmaterials konnten die Forscher auch die Farbreflexionseigenschaften wie erwartet

Die Farbe von Opalen (Bild ganz oben; Foto: RK) und Flügeln von Faltern und Schmetterlingen (oben: der Tagfalter *Euplagia quadripunctaria* „russischer Bär“; Foto: Lahee) ist auf Nanostrukturen mit Effekten photonischer Kristalle zurückzuführen (Bild oben rechts: Feinstruktur eines Opals).

Links: Prinzip der Lichtstreuung an kristallisierten Dispersionen; ganz links: wasserfrei kristallisierbare Dispersionen durch ummantelte Nanoteilchen, Prinzip und (darüber) Aufnahme mit konfokalem Laser-Scan-Mikroskop.





Faszinierende Farbenspiele: Filme aus dem nanostrukturierten Polymermaterial zeigen je nach Betrachtungswinkel unterschiedliche Farben (ganz oben). Grundsätzlichen Einfluss auf die Farbe der neuen Polymere hat aber die Teilchengröße der Polystyrolpartikel. Sie beträgt im Bild oben (v.l.) 238, 248, 267, 272 bzw. 300 Nanometer.

ändern: Dünnere Schichten führen zur Reflexion kurzwelligeren Lichtes, bis hin zum Ultravioletten. Beim Trocknen der Dispersion ließ sich eine Farbänderung von rot über grün bis hin zu farblos beobachten. Das interessante bei dem trockenen Material: Auch wenn man eine daraus hergestellte Folie aus unterschiedlichen Winkeln betrachtet, ändert sich die Farbe. Der Grund liegt darin, dass sich die Wellenlänge des gestreuten Lichtes nicht nach dem tatsächlichen Abstand der Teilchen in dem Material richtet, sondern nach ihrem scheinbaren Abstand, der natürlich kürzer wird, wenn man die Folie schräger hält.

Als mögliche Anwendungen dieser dreidimensionalen kristallinen

photonischen Schichten auf der Basis monodisperser Dispersionen nannte Leyrer bevorzugt großflächige Anwendungen, da die Dispersionen im Tonnenmaßstab hergestellt werden könnten. Dazu zählten Verpackungsfolie, beschichtet mit der vorgestellten Effektfarbe, Dekorpapiere, Schmuckfarben für Druckereien sowie kosmetische Anwendungen wie Nagellack und Haarspray. Zudem seien Filme möglich, die bei mechanischer Beanspruchung ihre Farbe ändern. Beim Dehnen des Films vergrößert sich ja der Abstand der Teilchen zueinander, was die Reflexionseigenschaften des polymeren photonischen Kristalls ändert.

Der BASF ist es auch gelungen, durch stabiles Dispergieren stäbchenförmiger, nematischer Flüssigkristalle in Schichten, deren Zwischenraum mit chiralen Molekülen gefüllt ist, eindimensionale photonische Kristalle – deren Teilchenstruktur nur in einer Raumrichtung geordnet ist – zu erzeugen. In entsprechenden brilliant-farbigen Filmen sind die nematischen Stäbchen parallel nebeneinander in den Schichten ausgebildet. Durch die chiralen Moleküle zwischen den Schichten dreht sich die Ausrichtung der Stäbchen von Schicht zu Schicht etwas, es bildet sich ein cholesterischer Flüssigkristall aus. Zwischen den Schichten ändert sich ebenfalls der Brechungsindex. Da die Wellenlänge des gestreuten Lichtes vom Abstand der Molekülebenen mit gleicher Orientierung

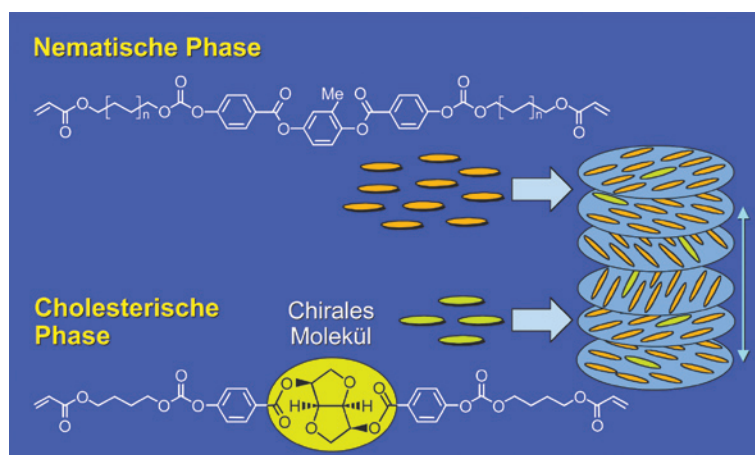
abhängt, ändert die Menge des zugesetzten chiralen Stoffes die Farbe. Anwendung dieser Substanzen sieht man in der Drucktechnik. Ein Farbstoffsystem auf Basis cholesterischer Substanzen hat die BASF schon seit drei Jahren unter dem Handelsnamen Paliocolor im Produktportfolio.

### Der Weg zum „Gummilaser“

Cholesterische Flüssigkristalle sind schon seit etwa 50 Jahren bekannt; ganz neu ist die Fixierung entsprechender Strukturen in einem trockenen Film. Die Reflexion zwischen den Ebenen in Richtung der Helixachse der cholesterischen Phase – der Name geht auf die Verdrehung der Molekülorientierung in den einzelnen Ebenen zurück – beträgt nur 50 Prozent der auf die Probe fallenden Lichtintensität. Die helicale Phasenstruktur zerlegt nämlich das Licht in zwei Komponenten, die zirkular polarisiert sind. Dennoch: Die cholesterische Phase reflektiert Licht definierter Wellenlänge in Richtung der helicalen Achse wie ein Spiegel, die cholesterische Phase bildet für diese Lichtwellenlänge eine photonische Bandlücke; das Licht dieser Farbe kann die Probe nicht durchdringen.

Forscher fragten: Was wäre, wenn man in das Substanzgemisch noch einen Fluoreszenzfarbstoff einbringt, der seinerseits Licht im Bereich der photonischen Bandlücke emittiert, und man dann das Gemisch mit Licht bestrahlt? Die Farbstoffmoleküle können in diesem Wellenlängenbereich kein Licht ausstrahlen. Dafür steigt an den Kanten der Bandlücke die Lichtintensität. Bei starker Fluoreszenz emittieren die Kanten der Bandlücke sogar Laserlicht! Theoretisch hat man sich das schon vor 30 Jahren überlegt. Eindeutige experimentelle Beweise dafür, dass cholesterische Flüssigkristalle als selbstorganisierende Systeme Farbstofflaser sein können, konnten aber erst vor drei Jahren von A. Z. Gennack und Peter Palffy-Muhoray (Kent State University, Ohio) erbracht werden.

Die helixartige Überstruktur von cholesterischen Flüssigkristallen durch die kleine Verdrehung zwischen jeder Schicht parallel geordneter nematischer Strukturen führt ebenfalls zu Farberscheinungen (alle Abbildungen mit Ausnahme der anders gekennzeichneten: BASF).



Professor Dr. Heino Finkelmann von der Universität Freiburg stellte auf der BASF-Veranstaltung Versuche vor, die als Ausgangskomponenten die niedrigmolekulare Ausgangskomponenten von „Paliocolor“ sowie geeignete Laserfarbstoffe enthielten. Diese Stoffe brachte man zwischen zwei planparallele Glasplatten. Die cholesterische Phase bildete dabei eine nahezu perfekte Orientierung aus, mit der cholesterischen Helixachse senkrecht zu den Glasgrenzflächen. Es ließ sich perfekt die Reflexion des Lichts erkennen, die durch die cholesterische Überstruktur erfolgt, in dem Beispiel orangefarbenes Licht. Finkelmann erläuterte: „Der gelöste Fluoreszenzfarbstoff sendet bei Beleuchtung mit kürzerwelligem Licht ebenfalls orangefarbenes Fluoreszenzlicht aus. In diesem geordneten Zustand wird durch Photopolymerisation die niedrigmolekulare flüssigkristalline Phase in ein hochvernetztes Polymernetzwerk überführt, wobei die cholesterische Struktur unverändert erhalten bleibt. Mit diesem Schritt wird die cholesterische Flüssigkeit in einen Festkörper – ein Duomer – mit cholesterischer Struktur überführt. Durch Entfernen der Glasplatten ist der strukturierte Duomerfilm leicht erhältlich und die optischen Eigenschaften im Vergleich zu dem Ausgangssystem charakterisierbar.“

Das Ergebnis ihrer Versuchsreihen erfreute die Freiburger Wissenschaftler: „Nehmen wir das monomere Ausgangssystem als Referenzzustand, sind zwei Ergebnisse von herausragender Bedeutung: Erstens ist bei vergleichbarer Pumpenergie die Effizienz des cholesterischen Duomers um mehr als den Faktor 20 besser, die emittierte Laserlichtintensität also um den Faktor 20 höher. Zum zweiten ist die minimale Pumpenergie, bei der Laseremission erfolgt, bei dem Polymernetzwerk nahezu um den Faktor zwei geringer als bei dem analogen System im flüssigen Zustand. Mit diesem Ergebnis konnten wir erstmals zeigen, dass mit einem polymeren Werkstoff

ein spiegelfreier Laser realisierbar ist“, so Finkelmann.

Die Wissenschaftler spekulierten aufgrund dieser Erfahrungen, dass bei geringerem Vernetzungsgrad des Polymers ein gummiähnliches Material entstehen könnte, mit ebenfalls bemerkenswerten optischen Eigenschaften. Die Veränderung der inneren Helixstruktur sollte durch Dehnung oder Kompression des gummiartigen Materials nämlich ihre Reflexionseigenschaften verändern – und Versuche, die in Kooperation mit der Peter Palfy-Muhoray-Arbeitsgruppe durchgeführt wurden, bestätigten dies; die Reflexionswellenlänge verschob sich von rot nach blau. Man denkt jetzt darüber nach, einen mechanisch durchstimmbaren „Gummi-Laser“ herzustellen.

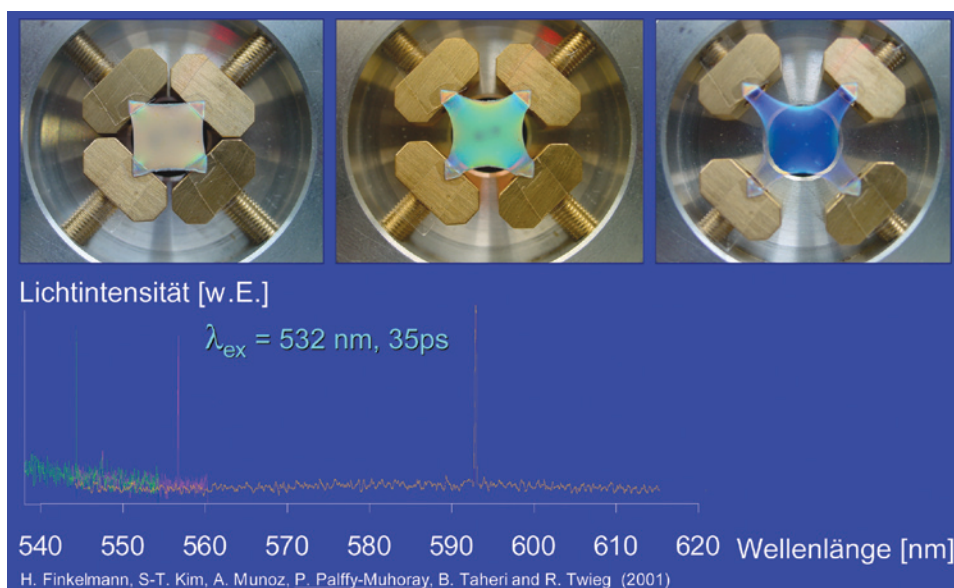
### Photonische Faserkristalle

Die Herstellungsmöglichkeiten photonischer Kristalle werden um immer neue Varianten bereichert. Eine Entwicklung vom MIT (USA) kann dazu führen, dass wir Kleidungsstücke aus photonischen Kristallen in Faserform tragen – die schillernde Farben aufweisen. Eine Forschergruppe um die Professoren Yoel Fink und John D. Joannopoulos erzeugten um einen Polymerfaserkern 21 weitere Polymerschichten mit abwechselnd unterschiedlichen

Brechungsindizes. Mit Hilfe eines Rohrofen mit einem Durchmesser von 25 Millimetern zogen sie das dicke „Schichtschlauchsystem“ in eine feine Faser aus. Die einzelnen Polymerschichten verringerten dabei ihre Dicke kontrolliert auf nur wenige hundert Nanometer – eine Dickenänderung von neun Größenordnungen in nur einem Prozessschritt. Auch hier lag der Schlüssel des Erfolgs im Finden zweier Materialien, die ähnliche thermomechanische Eigenschaften bei möglichst unterschiedlichen Brechungsindizes haben. Die Entwicklung, die u.a. von der amerikanischen Militärforschungsagentur Darpa gefördert wurde, soll beispielsweise **dazu** dienen, durch Einweben in Kleidungsstücke über optische Reflexe eine Authentifizierung zu ermöglichen, oder in einem Schutzanzug Wärmestrahlung zu reflektieren.

Das Spektrum denkbarer Anwendungen photonischer Kristalle geht mittlerweile von Bandlücken-Fasern zur Langstrecken-Quantenkommunikation über photonische Computer (statt positronische wie in früherer Science Fiction...) bis hin zu biokompatiblen photonischen Kristallen für lichtaktivierbare programmierte Arzneimittelfreisetzung (drug delivery systems) oder für besondere Lebensmittelfarben. Man darf gespannt sein. *Rolf Kickuth*

Ein cholesterischer Gummi wird deformiert. Im Zentrum der Probe kann von biaxialer Deformation ausgegangen werden. Die Reflexionswellenlänge verschiebt sich von rot nach blau (Autoren siehe Abb.).



## Mit doppelter Anstrengung erfolgreiche Vorsorge für Neugeborene Massenspektrometrie in der Präventivmedizin

**D**er Begriff „Screening“ bezeichnet in der Medizin Untersuchungen an allen Mitgliedern einer Bevölkerungsgruppe ohne besondere Krankheitssymptome oder Risiken. Durch Hintereinanderschalten zweier Massenspektrometer entsteht eine analytische Methode, die schnell und genau genug ist, ein medizinisches Screening zu ermöglichen. Dabei sucht man nach Proteinen, die je nach Erkrankung fehlen, zusätzlich gebildet werden oder ihre Konzentration ändern.

Das Ziel eines Screenings ist es, Krankheiten in einem Stadium zu erkennen, in dem sie sich noch nicht mit Symptomen bemerkbar gemacht haben. Eine dadurch mögliche frühzeitige Behandlung soll die Erkrankung lindern – oder sogar verhindern. Voraussetzung für den Erfolg von Screening-Programmen ist, dass die Untersuchungsmethoden sehr empfindlich – möglichst alle Betroffenen sollen identifiziert werden – und zudem sehr spezifisch sind, das heißt, möglichst wenige Gesunde sollen durch ein falsches positives Resultat beunruhigt werden.

Als aktuelle Beispiele werden in der Erwachsenenmedizin Projekte zur Brustkrebs-Früherkennung durch Röntgenuntersuchungen oder die Bestimmung des prostata-spezifischen Antigens zur frühzeitigen Diagnose eines Tumors der Vorstehdrüse (Prostata) bei Männern diskutiert. In der Kinderheilkunde war die Einführung des Neugeborenen-Screenings für verschiedene Stoffwechselerkrankungen und Hormonstörungen ein entscheidender Fortschritt. Die Screening-Programme sind heute ein fester Bestandteil gesundheitlicher Vorsorgemaßnahmen.

Die seit rund 30 Jahren etablierten Programme für ein genetisches Neugeborenen-Screening haben

seit Einführung der Elektrospray-Ionisations-Tandem-Massenspektrometrie (ESI-MS/MS, siehe auch Seite 412-415) Mitte der 90er Jahre einen zum Teil revolutionären Wandel erfahren. Das Screening mit ESI-MS/MS wurde in Deutschland erstmals 1998 an der Universitäts-Kinderklinik Heidelberg etabliert.

### Tandem-Massenspektrometrie

In der Regel entstehen bei der Ionisierung mit schonenden Methoden wie ESI keine Fragmente. Um trotzdem Informationen über die Struktur eines Moleküls zu gewin-



Nicht mehr nur die Größe messen: Durch massenspektrometrisches Screening bei Neugeborenen können in einer nur zwei Minuten dauernden Untersuchung mehr als 20 verschiedene genetische Erkrankungen diagnostiziert werden (Foto: RK).

nen, werden die Moleküle gezielt zur Fragmentierung angeregt. Dies geschieht in Tandem-Massenspektrometern. Man benutzt zwei Stufen der Massenanalyse, in der ersten wird eine Ionensorte aus einer Mischung ausgewählt und in der zweiten Stufe werden die zum Beispiel durch Stoß mit Inertgasmolekülen (Helium, Argon oder Stickstoff) induzierten Fragmente analysiert.

Diese Doppelanalyse kann entweder räumlich oder zeitlich getrennt stattfinden. Beim räumlichen Tandem hat man zwei Massenspektrometer in Serie, am

häufigsten sind Triple Quadrupol Systeme (QqQ), wobei das mittlere Quadrupol als Stoßgaszelle dient. In einem QqQ wird das interessierende Ion im ersten Massenfilter Q1 ausgewählt, in der Stoßgaszelle („q“) bei leicht erhöhtem Druck durch Stöße mit Energien bis zu 300 Elektronenvolt (Niedrig-Energie-Fragmentierung) angeregt, und die Fragmente werden im Quadrupol Q2 analysiert. Auf diese Weise kann man zum Beispiel Sequenzinformationen über ein Peptid erhalten. Die Kenntnis der Masse-Ladungs-Verhältnisse des Ausgangsmoleküls und der Spaltprodukte erlaubt es, beliebige Metabolite sensitiv und spezifisch zu bestimmen. Die Verwendung stabiler Isotope ermöglicht eine gleichzeitige Quantifizierung.

### Neugeborenen-Screening

Für das Neugeborenen-Screening wurde diese Methode adaptiert, um Eiweißabbauprodukte sowie Zwischenprodukte des Fettsäurenabbaus zu bestimmen. Aus allen physiologisch auftretenden Aminosäuren wird in der Kollisionzelle beispielsweise immer ein typisches neutrales Fragment mit einem Molekulargewicht von 102 Dalton freigesetzt. Bei organischen Säuren, die aus dem Eiweißabbau stammen, und bei Fettsäuren macht man sich zunutze, dass diese im Körper an ein Trägermolekül (L-Carnitin) gebunden transportiert werden. Aus L-Carnitin-Estern wird in der Kollisionzelle immer ein geladenes Fragment mit einer Masse-Ladung von 85 Dalton frei. Aus der Erhöhung einzelner oder mehrerer Aminosäuren und aus der Erhöhung einzelner Acylcarnitine – vor allem aber auch durch Veränderungen ihrer Verhältnisse zueinander – lassen sich in einer nur zwei Minuten dauernden ESI-MS/MS-Untersuchung mehr als 20 verschiedene genetische Erkrankungen diagnostizieren. MB

## Fortschritte in der Fluoreszenzspektroskopie Mit FCCS zur Proteinanalytik

**W**issenschaftlern um Petra Schwille am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen ist es jetzt gelungen, Enzyme auf ihre funktionalen Eigenschaften zu analysieren. Sie nutzten dazu die Zwei-Photonen-Fluoreszenz-Kreuzkorrelations-Spektroskopie (FCCS) unter Zuhilfenahme klonierbarer Farbstoffe.

Die Grundidee für den neuen Test besteht darin, Eiweißbruchstücke (Peptide) an ihren beiden Enden mit zwei spektral verschiedenen Farbstoffen zu markieren. Dafür benutzten die Max-Planck-Forscher klonierbare Farbstoffe: „fluoreszente Proteine“ – eine Mutante des GFP-Proteins im grünen und das nah verwandte Protein DsRed im roten Spektralbereich. Diese Farbstoffe haben den großen Vorteil, dass auf ihnen beruhende Test-Assays auch für intrazelluläre Messungen verwendet werden können, ohne dass man das markierte Substrat nachträglich in die Zelle einschleusen muss. Die Sub-

stratmoleküle kann man zunächst – makroskopisch – aufgrund der enzymatisch bedingten Änderung des Fluoreszenz-Resonanz-Energietransfers (FRET) zwischen den beiden Farbstoffen unterscheiden.

Dieser Energietransfer basiert darauf, dass bei großer räumlicher Nähe der beiden Farbstoffe – typischerweise im Bereich unterhalb von 60 Angström – ein strahlungsloser Energietransfer zwischen dem direkt angeregten grünen und dem nicht direkt angeregten roten Farbstoff erfolgt. Der Abstand zwischen beiden Markierungen wird im Emissionssignal farblich kodiert: Grüne Emission steht für großen und rote Emission für kleinen Abstand. Werden also die Peptide in zwei Fragmente zerlegt, tritt auch eine räumliche Trennung der Farbstoffe ein, was zu einer Abnahme des Energietransfers (FRET) führt. Die Peptidlösung ändert also unter Bestrahlung ihre „Farbe“ beziehungsweise ihr Fluoreszenzspektrum. Die FRET-Methode wird in der Fluoreszenzmikroskopie

bereits vielfach eingesetzt, um molekulare Interaktionen, wie chemische Bindung oder Dissoziation, aber auch Strukturveränderungen, aufzuklären.

Allerdings ist diese Methode erheblich dadurch limitiert, dass oberhalb eines bestimmten Abstandes zwischen den beiden Farbstoffen keine effiziente Energieübertragung mehr stattfinden kann. Dann kann man eine Interaktion der markierten Moleküle nur feststellen, wenn die Farbstoffe zuvor in der unmittelbaren Umgebung der Bindungsstelle angebracht wurden. Das aber ist oftmals biologisch nicht sinnvoll, da dann die Gefahr besteht, dass sich die Eigenschaften der speziellen chemischen Bindung durch den Farbstoff signifikant verändern.

Die Fluoreszenz-Kreuzkorrelations-Spektroskopie (FCCS) ist vom Konzept her einfacher und selektiver als FRET. Sie funktioniert aber nur dann, wenn die Messapparatur sensitiv genug ist, einzelne fluoreszenzmarkierte Moleküle zu detektieren. Bei der FCCS wird im Grunde nur die Bewegung der Moleküle durch ein winziges Probenvolumen, den beugungslimitierten Fokus eines Laserstrahls, verfolgt. Diffundieren rote und grüne Farbstoffe aufgrund der Brown'schen Molekularbewegung gemeinsam durch das Volumen, müssen sie aneinander gekoppelt sein. Hingegen bewegen sich nicht miteinander gekoppelte Moleküle, wie zum Beispiel die Fragmente des geschnittenen Substrats, voneinander unabhängig. Diese Interaktionen können gemessen und quantifiziert werden, indem man einfach die Lichtblitze der beiden Farbstoffe in einem roten und einem grünen Messsignal aufnimmt und sie daraufhin analysiert, ob sie zusammen oder getrennt aufgetreten sind.

Die relative Häufigkeit der gleichzeitig auftauchenden koinzi-

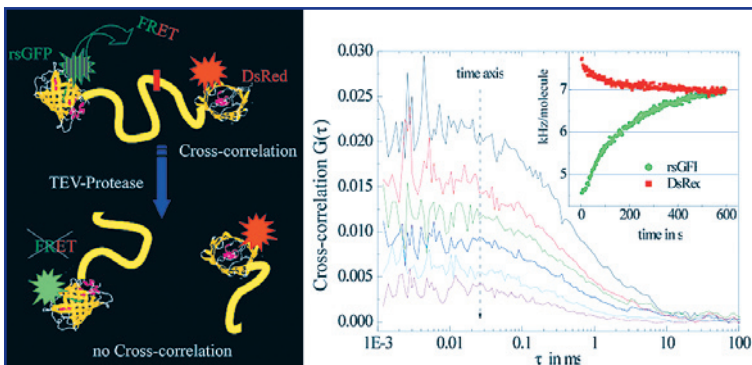
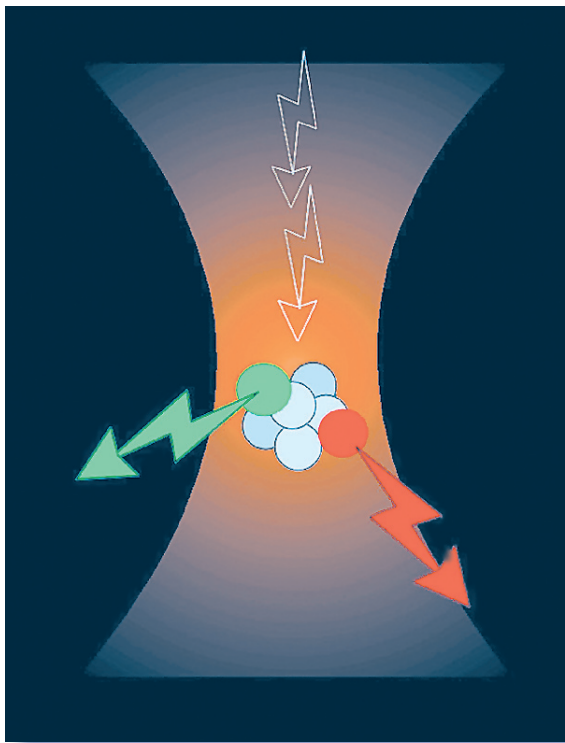


Abb. links: Grundprinzip des Enzym-Tests: Das intakte Eiweißbruchstück zeigt unter Laserbestrahlung eine relativ hohe Effizienz des strahlungslosen Energietransfers (FRET) vom grünen Farbstoff (rsGFP) auf den roten Farbstoff (DsRed). Die Diffusionsbewegungen der Farbstoffe in wässriger Umgebung sind stark gekoppelt. Bei Durchtrennung einer spezifischen Bindung durch ein Enzym (hier: TEV-Protease) trennen sich die Farbstoffe, der FRET wird unterbunden und eine gemeinsame Diffusion der Spaltprodukte ist nicht länger zu beobachten. Abb. rechts: Quantitative Analyse der enzymatischen Aktivität: Die FRET-Effizienz kann anhand der Photonen-Emissionsraten pro Molekül (rechts oben) verfolgt werden. Der Anteil gemeinsam diffundierender Moleküle ist aus der Amplitude der Korrelationskurven zu bestimmen.

Prinzip der simultanen Zweiphotonen-Anregung spektral separierbarer Farbstoffe: Hierbei werden durch gepulste Hochleistungslaser hohe lokale Photonendichten erzeugt, die es erlauben, Fluorophore mit zwei „gleichzeitig“ ankommenden Photonen der halben Energie (der doppelten Wellenlänge) anzuregen. Aufgrund photophysikalischer Eigenheiten der gewählten Farbstoffe ist es in diesem Zweiphotonen-Modus darüber hinaus möglich, mit zum Beispiel infrarotem Licht grüne und rote Moleküle gleichermaßen zum Leuchten anzuregen. Dies vereinfacht mehrfarbige Anwendungen, insbesondere in der Zelle, erheblich (Grafiken: Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie).



zenten Lichtblitze kann durch die Kreuzkorrelations-Analyse exakt bewertet werden. Als technische Vorbedingung für die Kreuzkorrelations-Spektroskopie müssen beide Farbmärkierungen in etwa gleich effizient angeregt werden. Das kann man bei einem großen spektralen Abstand dadurch erreichen, dass zwei Anregungslaserstrahlen unterschiedlicher Frequenz (zum Beispiel rot und grün) im Messfokus überlagert werden. Eine solche optische Anordnung ist allerdings recht störanfällig. Zudem verkomplizieren unterschiedliche Brechungsverhältnisse und übliche Linsenfehler, wie zum Beispiel die chromatische Aberration, eine vollständige Überlappung der verschiedenfarbigen Fokalfolumina.

Um dieses Problem zu umgehen, machten sich die Max-Planck-Forscher einen photophysikalischen „Trick“ zunutze: Mit Hilfe eines leistungsstarken Infrarotlasers regten sie die Farbstoffe nicht an ihrem Anregungsmaximum, sondern bei etwa der doppelten Wellenlänge an. Diese „Zwei-Photonen-Anregung“ erlaubt es, spektral weit auseinanderliegende Farbstoffe mit derselben Infrarot-Wellenlänge zu adressieren, so dass ein einziger

Laserstrahl ausreicht, um eine gemeinsame Anregung zu erreichen. Durch diesen Trick vereinfacht sich die Messapparatur erheblich und ist jetzt auch für zelluläre Anwendungen geeignet, da das Infrarot-Licht weniger Streuung und Autofluoreszenz in der Zelle hervorruft und es ermöglicht, tiefer ins Gewebe hineinzuschauen.

Die erfolgreiche Anwendung der Zwei-Photonen-FCCS unter Zuhilfenahme klonierbarer Farbstoffe ist ein wichtiger methodischer Durchbruch. In Zukunft kann diese Technik für die Untersuchung lebender Zellen genutzt werden. Doch das Verfahren ist nicht darauf begrenzt, die enzymatische Spaltung von Proteinen zu verfolgen. Mit FCCS kann auch der umgekehrte Prozess, die molekulare Assoziation verschieden markierter Partner in minimalsten Konzentrationen studiert werden.

Dank ihrer hohen Selektivität und Sensitivität ist die Methode auch von grundlegender Bedeutung für die pharmakologische Wirkstoffentwicklung, in der Miniaturisierung und Automatisierung immer höhere Anforderungen an die Effizienz stellen, mit der molekulare Wechselwirkungen detektiert werden müssen. P.S.

## SGL Carbon macht wieder Gewinn

### Restrukturierung hilft in schwierigem Umfeld

**S**chon gut geordneten Verhältnissen im eigenen Hause und von einem verbesserten Marktumfeld für den Hauptgeschäftsbereich Carbon und Graphite (CG). Das dokumentiert sich in einem deutlich gestiegenen Betriebsergebnis und Gewinn nach Steuern im 3. Quartal sowie in einem mehr als verdoppelten Cashflow aus dem laufenden Geschäft im vergangenen Dreivierteljahr. Die Rahmendaten des wirtschaftlichen Umfeldes beurteilt man jedoch skeptisch.

„Wir erwarten keinen großen Aufschwung in der Weltwirtschaft“, prognostizierte der Vorstandsvorsitzende Robert Koehler auf der Dreivierteljahres-Pressekonferenz am 7. November in Frankfurt. Dennoch würden ihm zwei der vier Geschäftsgebiete von SGL langsam Freude machen; das zeige sich aber erst im dritten Quartal. Der Bereich CG profitiert von einer erfolgreichen Restrukturierung. In Zukunft führe eine schon absehbare partielle Verknappung aber auch dazu, dass man die Preise anheben könne. In den Asien- und „Tigerstaaten“ habe die

Produktion stark angezogen, Teile der ineffizienten US-Stahlindustrie hätten die Produktion wieder aufgenommen. Zu höheren Preisen führten auch Kapazitätskürzungen sowie später eventuell der durch Konkurs drohende Ausfall des US-Herstellers CGG.

Der zweite Geschäftsbereich, über den sich der Vorstandsvorsitzende freute, war SGL Technologies. Wie schon im März angekündigt, erwarte man im kommenden Jahr den Break Even; vielleicht sei der Bereich im 2. Halbjahr positiv. So erhielt die SGL US-Tochter Hitco Carbon Compo-



sites von Airbus den Auftrag zur Lieferung von Leitwerks-Komponenten für den Airbus A380. Man erwartet, dass dieser Auftrag für die Lebenszeit des Airbus läuft, wobei die ersten Umsätze von den voraussichtlich 600 Strukturbauteilen aber erst nach 2003 anfallen. Man lieferte bereits 110 Bauteile für das Transportflugzeug C17, rüstet die gesamte Bomberflotte B1 mit Bremscheiben aus, baut für Delta- und Titanraketen Triebwerksdüsen und kugelsichere Westen. „Wen wundert es, dass in dieser Zeit Militär- und Sicherheitstechnik boomt“, bemerkt Koehler. In Schwung kommt bei SGL Technologies aber auch die Serienfertigung von Carbon-Keramik-Bremscheiben für Oberklasse-Automobile im neuen Werk im schottischen Inverness.

Der Geschäftsbereich Graphite Specialities (GS) leidet nach Koehler jedoch an der anhaltenden Konjunkturschwäche in Europa und Nordamerika in den Schlüsselindustrien Halbleiter, Maschinen- und Anlagenbau sowie Chemie. Ähnlich

stehe es um den Bereich Corrosion Protection (CP). Aufgrund dieser Probleme sei es unwahrscheinlich, dass SGL Carbon 2002 wieder eine Dividende zahle.

Da der Verlustabbau bei SGL Technologies besser als erwartet lief und auch die Restrukturierungsmaßnahmen erfolgreicher als erwartet seien – voraussichtlich könne man bis Ende des Jahres durch Effizienzsteigerungen über 700 Arbeitsplätze abbauen statt geplant ca. 450, freut sich Koehler auf solide Produktionsbedingungen 2003. Zudem gelang es dem Vorstandsvorsitzenden, die Verschuldung stark zurückzuführen und den Cash flow zu erhöhen. Die Investitionen würden nach großen Aufwendungen in den vergangenen Jahren zurückgefahren, beliefen sich 2002 nahezu auf Instandhaltungsniveau.

Zusammengefasst: Die SGL Carbon Group hat im 3. Quartal 2002 einen Konzernumsatz von 284 Mio. Euro erzielt. Er lag damit um 2 Prozent über dem des zweiten und 5 Prozent unter dem Quartal

des Vorjahres. Das Betriebsergebnis konnte im 3. Quartal auf 11 Mio. Euro gesteigert werden. Dies entspricht einer Zunahme von 56 Prozent gegenüber dem 2. Quartal und 82 Prozent im Vergleich zum Vorjahresquartal. Das Finanzergebnis belief sich im 3. Quartal auf -7 Mio. Euro nach -9 Mio. Euro im 2. Quartal und 1 Mio. Euro im Vorjahresquartal.

Der Gewinn vor Steuern des 3. Quartals betrug 4 Mio. Euro nach -1 Mio. Euro im 2. Quartal und 8 Mio. Euro im 3. Quartal 2001. Nach zwei Quartalen mit Verlusten konnte SGL Carbon im 3. Quartal mit 5 Mio. Euro wieder einen Nachsteuergewinn erzielen (Vorquartal: -2 Mio. Euro, Vorjahresquartal: 3 Mio. Euro). RK



„Die gesamtwirtschaftliche Situation wird sich 2003 nicht maßgeblich verbessern“, prognostiziert Robert Koehler (F.: Kickuth).

## BgVV wurde aufgelöst

# Risikobewertung und -management trennen

**Der 31. Oktober 2002 war der letzte Arbeitstag für rund 800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unter dem Namen des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV). Das Institut wird im Zuge der Neuordnung des gesundheitlichen Verbraucherschutzes und der Lebensmittelsicherheit aufgelöst.**

Seine Aufgaben werden in Zukunft von drei Einrichtungen des Bundes wahrgenommen: dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL, Braunschweig), der Bundesforschungsanstalt für die Viruskrankheiten der Tiere (BFAV, Insel Riems) und dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR, Berlin). Ziel der Neuordnung ist eine klare

Trennung in Risikobewertung und Risikomanagement.

Das BgVV war 1994 als eine von drei Nachfolgeeinrichtungen des Bundesgesundheitsamtes ins Leben gerufen worden und hatte sich die Verbesserung des gesundheitlichen Verbraucherschutzes im nationalen, europäischen und internationalen Rahmen zum Ziel gesetzt. Im Vordergrund stand dabei die internationale Verankerung des Vorsorgeprinzips.

Durch die Entwicklung und Standardisierung von Nachweismethoden wurden sowohl im mikrobiologischen als auch im Bereich der Rückstände und Kontaminanten wichtige Beiträge auf dem Gebiet der Analytik geleistet. Dies gilt für „neue“, durch Lebensmittel übertragene Infektionserreger wie Campylobacter oder verotoxinbildende E. coli ebenso wie

etwa für die Acrylamid-Problematik, deren gesundheitliche Bedeutung für den Verbraucher erst im April dieses Jahres deutlich wurde. Die Arbeiten des BgVV ermöglichten eine zügige Umsetzung erster Maßnahmen zur Minimierung der Belastung der Verbraucher.

Nach der Auflösung des BgVV werden Risikobewertung und Risikokommunikation im Bundesinstitut für Risikobewertung wahrgenommen. Für das Risikomanagement zeichnet das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit verantwortlich. Soweit im Bereich der Zoonosen zu Tierkrankheiten gearbeitet wurde, werden diese Aufgaben künftig unter dem Dach der Bundesforschungsanstalt für die Viruskrankheiten der Tiere angesiedelt sein.

**Aktuelle Studie beurteilt den Weltmarkt:**

## Massenspektrometrie in den Biowissenschaften

**Trotz schwierigeren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf den Anwendermärkten stellt die biowissenschaftliche Massenspektrometrie einen lukrativen Bereich für die Geräteanbieter dar. Die Hersteller können mit weiter zunehmendem Einsatz ihrer Geräte vor allem in der Wirkstoffforschung rechnen. Nach einer neuen Analyse der Unternehmensberatung Frost & Sullivan soll der Umsatz in den vier Schlüsselsegmenten von 625,8 Millionen US-Dollar im letzten Jahr auf 1,4 Milliarden US-Dollar in 2007 ansteigen.**

Am schnellsten wächst gegenwärtig das Segment der QTOF-(quadrupole time of flight)-Massenspektrometer, gefolgt von MALDI-TOF-(matrix assisted laser desorption/ionization time of flight)-Massenspektrometern und Ionenfallen-(ion trap)-Massenspektrometern. Auch das reifere Segment der Tripel-Quadrupol-Massenspektrometer dürfte dank vielversprechender neuer Anwendungen bei ADME-Tests (Absorption, Distribution, Metabolism,

Exkretion and Toxicity) und toxikologischen Untersuchungen wachsen. Auf diese vier Segmente zusammen entfallen mehr als 80 Prozent des Gesamtumsatzes.

### Wachstumsimpulse durch Proteomik

In der Wirkstoffforschung sind Massenspektrometer (MS) wertvolle Hilfsmittel bei der Identifizierung, Validierung und Charakterisierung von Targets, auf deren Grundlage therapeutische Wirkstoffe entwickelt werden können. Mit ihrer Fähigkeit, wichtige Informationen über Proteine und Peptide zu liefern, sorgen sie für größere Prozesseffizienz. Bedeutende Wachstumsimpulse, insbesondere für die Segmente MALDI-TOF-MS, QTOF-MS und Ionenfallen-MS, kommen von der Proteomik, die als Quelle neuartiger Wirkstoff-Targets und Biomarker gilt.

### Markt geplagt von Einsparungsmaßnahmen

Gefahren für das Wachstum gehen von der schwieriger gewordenen Lage der Anwender aus. Inten-

siver Wettbewerb, auslaufende Patente und Sparmaßnahmen im öffentlichen Sektor haben den Investitionsspielraum der Pharmaunternehmen eingeengt. Es wird befürchtet, dass die anhaltende Konsolidierung zu drastischen Kürzungen bei Forschung und Entwicklung führt und dass die jungen Biotechnologie- und Proteomikunternehmen angesichts der lahrenden Konjunktur Investitionszurückhaltung üben.

Freilich scheint es keinen Grund zu übertriebener Sorge zu geben. Die großen Fusionen der Jahre 1995/96 und 2000/01 in der Pharmaindustrie waren gefolgt von zweistelligen Zuwachsraten im Forschungs- und Entwicklungsbereich, und in der Biotechnologie hat sich der Zustrom von Kapital im Jahr 2001, wenn auch in vermindertem Maße, fortgesetzt.

### Investitionen sind notwendig

Notwendig ist allerdings, dass die Hersteller mit kontinuierlichen Investitionen in Forschung und Entwicklung für technologische Innovationen sorgen. Damit ließe sich nicht nur die Nachfrage nach neuen Instrumenten stimulieren, sondern auch eine Preiserosion verhindern. Dabei können sich die Anbieter auf die Tatsache stützen, dass ihre Abnehmer ihre Kaufentscheidungen stärker auf Leistungsmerkmale (Durchsatz, Empfindlichkeit, Genauigkeit und Auflösung) gründen als auf den Preis.

### Boom bei QTOF-MS

Ein Beispiel für die absatzfördernde Wirkung von Innovationen ist das Wachstum des QTOF-MS-Segments seit Einführung der Technologie im Jahr 1996. Den nach Eric E. Gay, Industrie Analyst bei Frost & Sullivan, jüngsten Meilenstein in der Reihe der technologischen Fortschritte auf diesem forschungs- und entwicklungsintensiven Markt markieren Hybridinstrumente.

### VUP will Informationsquellen zu europäischen Märkten erschließen

Der Deutsche Verband Unabhängiger Prüflaboratorien (VUP) will seine Mitglieder zukünftig verstärkt auch zu europäischen Themenbereichen informieren. „Wir erhalten fast wöchentlich Anfragen von Unternehmensberatungen aus dem europäischen Ausland nach dem deutschen Labor-Markt“, erklärt Sven Deeg, VUP-Geschäftsführer, die Idee. „Umgekehrt kommen aber wenige Anfragen aus Deutschland zum europäischen Markt.“ Hier soll nun einem möglichen Informationsdefizit Abhilfe geschaffen werden. Wie Volker Liebig, Vorsitzender des Bundesfachausschuss (BFA) „Außenwirtschaft“ und VUP-Vorstandsmitglied berichtet, ist beabsichtigt, für die am europäischen Markt interessierten Mitglieder eine online Datenbank einzurichten. Der VUP-BFA hat auch Vorschläge zur künftigen Verfahrensweise zur Kooperation mit den Unternehmerverbänden der Dienstleistungslaboratorien auf europäischer Ebene. Zunächst sollen in einer Agenda die Ziele und Erwartungen an eine derartige Kooperation erfasst werden. In einem zweiten Schritt plant man einen Gedankenaustausch mit der französischen und niederländischen Organisation.

## Studie zum Selbstverständnis einer neuen Wirtschaftselite

# Die Sorgen der jungen Gründungspioniere

**G**ründungsunternehmer in den neuen High-Tech Branchen – das steht in der Öffentlichkeit für jung, dynamisch und erfolglos. Doch die öffentliche Abstrafung trennt nicht die Spreu vom Weizen. Nahezu ungewürdigt ist das Verdienst, die Wirtschaft durch unzählige Initiativen und Innovationen neu belebt zu haben. Das glauben zumindest zwei Drittel aller Gründungsunternehmer. Aber wer sind die jungen Pioniere? Wie ist ihr Selbstverständnis, welche Ziele verfolgen sie? Mit welchen Leitideen bewältigen sie die immer neuen Herausforderungen?

Antworten liefert die erste repräsentative Studie zum Selbstbild der jungen Gründungspioniere in Deutschland, die das Fachgebiet Soziologie im Institut für Sozialwissenschaften der Universität Hohenheim unter Federführung von Professor Dr. Eugen Buß im Auftrag der Düsseldorfer „Identity Foundation“ durchgeführt hat. Die Soziologen untersuchten, wer die Manager der New Economy sind, wo sie ihre persönlichen Schwächen und Stärken sehen und was sie bewegt. Dabei wurden Vorstände und Gründer innovativer Start-ups befragt, die die Spitzenpositionen in den Zukunftsindustrien Biotechnologie, Medien und Internet besetzen.

Zentrales Ergebnis der Studie: Die jungen Gründungspioniere sind wesentlich leistungsorientierter als ihr Ruf. Klassische Tugenden wie Disziplin, Pflicht und Verantwortungsbewusstsein – das sind für 75 Prozent von ihnen die wichtigsten Leitideen. Selbstverausgabung in der Arbeit ist interessanterweise ein Stück ihres gemeinsamen Selbstverständnisses. „Spaß zu haben“ steht dagegen erst auf den hinteren Ranking-Plätzen der wichtigsten Motivationsquellen. In den meisten Fällen gehörten

bereits ihre Väter gesellschaftlichen Führungsgruppen an. Überdurchschnittlich viele haben ihre Ausbildung an internationalen Eliteuniversitäten absolviert. Sie werden getrieben von einem unbändigen Gestaltungswillen. Was sie kennzeichnet, ist ein tiefes Vertrauen in die eigenen Fähigkeit, sich Neues vorstellen und umsetzen zu können. Sich in Anhängigkeiten zu begeben, ist ihnen zuwider. Die jungen Pioniere sind risikofreudig. Sie schätzen Eigenständigkeit, Unabhängigkeit, Wagnisfreude und Selbstverantwortung – und dies möglichst im Komparativ.

Die Erfolgreichen unter ihnen haben einen exzellenten Performance-Track vorzuweisen; sie sind jung, im Durchschnitt unter 40 Jahre – und sie sind experimentierfreudig. Zwar haben sie ihr Handwerk oft in Unternehmensberatungen oder in Großunternehmen der Old Economy gelernt. Wo aber ihre eigene Innovationsdynamik gegen starre Hierarchien zu stoßen drohte, wanderten sie ab. Das Überschreiten von Grenzen und ihr

Pioniergeist sind Faktoren, die die Gründungspioniere eint und sie zugleich ein Stück weit gegenüber den verantwortlichen Managern der Old Economy abgrenzt.

Überraschend ist auch, dass sich die jungen Gründungspioniere nicht einem kosmopolitisch oder global orientierten Milieu zugehörig fühlen. Für rund 80 Prozent von ihnen hat Heimat eine ihr Leben prägende Bedeutung. Die regionale Identität spielt für die international geprägten Biographien vieler Pioniere eine stärkere Rolle als vermutet. Beim Blick auf gesellschaftliche Entwicklungen beunruhigen sie vor allem soziale Probleme wie Bildungsdefizite, Ausländerfeindlichkeit und Kriminalität. Auch ökonomische Probleme wie die zunehmende Staatsquote, eine fehlende Eliteförderung und die zunehmende Spaltung zwischen der dritten und ersten Welt geben vielfach Anlass zur Sorge. Als besorgniserregend wird darüber hinaus das Versagen der Politiker in der Bildungs-, Renten- und Gesundheitspolitik empfunden.

### Beschäftigung 2003: Keine Entspannung für die Chemie

Nach Einschätzung des Verbandes angestellter Akademiker und leitender Angestellter der chemischen Industrie (VAA) wird die Beschäftigungsentwicklung in der Branche im Jahr 2003 weiter angespannt bleiben. Vor allem in Großunternehmen verringert sich die Zahl der Mitarbeiter erneut. Der VAA rechnet mit einem Beschäftigungsrückgang im Jahr 2003 von etwa 2,5 Prozent, ausgehend von zirka 460 000 Mitarbeitern zum Jahresende 2002. In der vom VAA im Oktober durchgeführten Untersuchung – die Unternehmen mit insgesamt 330 000 Mitarbeitern (72 Prozent der Chemiebeschäftigten) einbezog – äußerten sich Führungskräfte zu den Personalperspektiven. Aus 45 Unternehmen kam die Meldung, der Personalbestand bleibe kon-

stant, für 28 Unternehmen wird ein weiterer Personalabbau prognostiziert und zehn Unternehmen wollen voraussichtlich die Mitarbeiterzahl aufstocken.

Einen Stellenabbau im Jahr 2003 planen erneut vorrangig die Großunternehmen. Allein auf sieben Unternehmen mit mehr als 10 000 Mitarbeitern entfallen fast 90 Prozent der voraussichtlich abzubauenen Arbeitsplätze. Produktion und Serviceabteilungen wird der Personalabbau am stärksten treffen, im Forschungs- und Entwicklungsbereich gehen die Beschäftigtenzahlen moderater zurück. Von den zehn Unternehmen, die im Jahr 2003 an eine Personalaufstockung denken, sind sechs Pharmaunternehmen und vier Spezialisten in Marktnischen.

## Synthese und Eigenschaften von Makromeren CD zu Makromeren

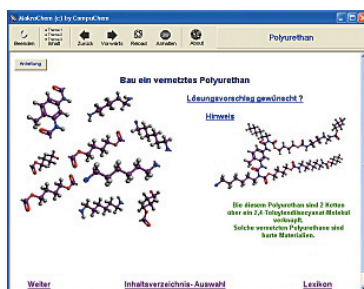
**Die neue Compu Chem-Mulimedia-CD mit dem Untertitel „Synthese und Eigenschaften von Makromeren“ ist als Lehrgang zu einer Einführung in die Chemie der Kunststoffe konzipiert.**

Der Kurs beginnt mit den in der Natur vorkommenden Polymeren und deren chemischen Abwandlungen. Ausgehend von der Zellulose wird aufgezeigt, wie sich die Materialeigenschaften durch Abwandlung der chemischen Grundstruktur zum Zellosennitrat oder zur Methyl- bzw. Acetylzellulose ändern. Nach dem Ableiten der Eigenschaften von Kautschuk, Guttapercha und Neopren aus ihren Strukturen wird in Molekül-Animationen dargestellt, wie durch die Vernetzung (Vulkanisation) die Einsatzbereiche dieser Materialien optimiert und angepasst werden können. Wie bei allen Kapiteln dieser CD wird das Basiswissen zu den Makromolekülen in einem interaktiven Test zusammengefasst.

Das Kapitel „Polymerisationskunststoffe“ umfasst PE, PP, PVC, PTFE, PVA, PMMA, PAN, PS und Copolymerisate mit Strukturen, Materialeigenschaften und Anwendungsbeispielen. In Molekülanimationen werden die verschiedenen

Möglichkeiten der Polymerisation, anionisch, kationisch oder radikalisch und mittels der Ziegler-Natta-Katalysatoren aufgezeigt und in einem Baukasten lässt sich sogar ein Copolymerisat aufbauen.

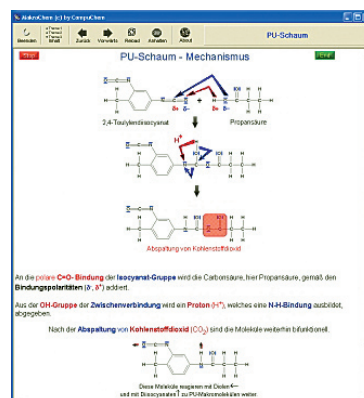
Bei der Synthese eines einfachen Esters wird gezeigt, dass aus energetischen Gründen bei der Synthese von Polyestern andere Wege gewählt werden müssen. In Molekülanimationen werden die Reaktionen bei der Bis-Estermethode, der Säureanhydridmethode und der Epoxidmethode dargestellt. Alkydharze und die Copolymerisation von UP-Harzen mit Beispielen für praktische Anwendungen schließen das Kapitel ab.



Zu den Polykondensaten gehören des weiteren die Amino- und Phenoplaste und die Polyamide wie Nylon, Perlon und Aramid. Die CD zeigt, wie bei der Synthese von Harnstoff-Formaldehydharzen, Melamin-Formaldehydharzen und Phenol-Formaldehydharzen die Monomeren reagieren und sich schließlich vernetzte Makromoleküle bilden. Die Animationen zu den Vorgängen an Anionen- bzw. Kationenaustauschern sind ein Beispiel dafür, wie multimediale Darstellungen ohne viele Erläuterungen auskommen.

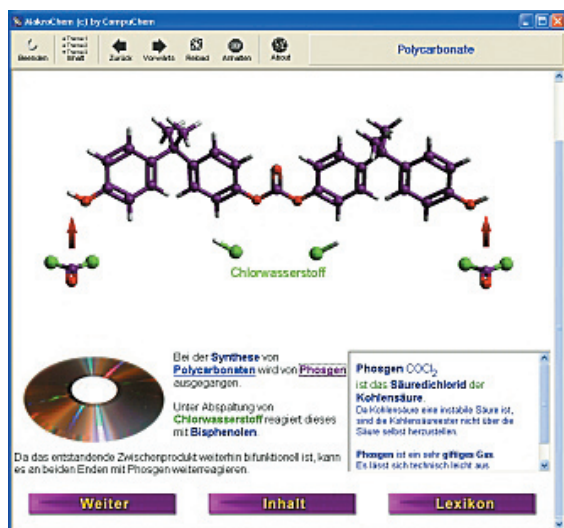
Anhand der Polyurethane wird aufgezeigt, wie bei der Polyaddition die unterschiedlichsten Werkstoffe, seien sie hart, gummielastisch oder schaumartig, entstehen können. Während die

CD bei den meisten Reaktionen 3D-Molekülmodelle verwendet, werden hier zusätzlich animierte Strukturformeln zur Darstellung der Reaktionsmechanismen eingesetzt. Den Abschluss der CD bildet ein Kapitel Kunststofftechnik.



Animationen zum Extrudieren, Recycling und eine Energiebilanz im Vergleich zu herkömmlichen Werkstoffen runden die CD ab.

Die Software, die für Windows XP optimiert ist, aber auch auf allen anderen Windows-Systemen läuft, zeigt durch die multimedialen Molekülanimationen in anschaulicher Weise, wie sich aus der Struktur von Makromeren deren Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten ergeben. Die Sequenzen können sowohl zur Präsentation im herkömmlichen Frontalunterricht, als auch zur selbständigen Arbeit in einem Computerraum eingesetzt werden. Gute Kenntnisse in der organischen Chemie und zur chemischen Bindung, wie sie beispielsweise in der Orga Chem CD oder der Atombond CD enthalten sind, werden jedoch vorausgesetzt. Deshalb gibt es die CD auch als Dreierpakete. Paket Organische Chemie: Orga Chem + Dyna Chem + Makro Chem beziehungsweise Paket Makromoleküle: Makro Chem + Bio Chem + Cell Chem CD unter [www.compuchem.de](http://www.compuchem.de).



## Neue Broschüren und CDs

**LAGER UND LOGISTIK** Mit seinem neu aufgelegten Spezialkatalog hat **Kroschke** aktuelle Entwicklungen im Bereich Arbeitsschutz berücksichtigt und sein Sortiment entsprechend erweitert. Die selbstklebenden Buchstaben und Ziffern aus PVC-Folie in fünf Farben und acht Schrifthöhen sind beispielsweise wasser-, öl- und kratzfest. Tel 0531 318318; [www.kroschke.com](http://www.kroschke.com).



**OBJEKTSCHUTZANLAGEN** Die Informationsschrift der **Dräger Safety AG & Co. KGaA** gibt Hinweise zu Anlagen, die gefährdete öffentliche Gebäude wie Behörden, Banken, Kaufhäuser oder Krankenhäuser kontinuierlich auf die Hauptgefährdungspunkte toxische Gase, explosionsfähige oder brennbare Gase und Dämpfe und Kampfstoffe überwachen. Tel 0451 8824722; [www.draeger.com](http://www.draeger.com).

**DFG IN KÜRZE** Die Publikation im handlichen DIN A6-Taschenformat führt auf 245 Seiten die wichtigsten Informationen des DFG-Jahresberichts 2001 in deutscher wie in englischer Sprache auf. Sie erläutert die unterschiedlichen Förderverfahren der DFG und benennt die von der DFG vergebenen wissenschaftlichen Preise. Die Schrift gibt Rechenschaft über die Verwendung des Jahresetats von 1205,2 Millionen Euro und über die 2001 erfolgten Bewilligungen in allen Förderverfahren und Fachgebieten. DFG in Kürze 2001 enthält auch eine Auflistung aller 2001 geförderten Sonderforschungsbereiche, Graduiertenkollegs, Schwerpunktprogramme und Forschergruppen. Tel 0228 885-2109; [www.dfg.de](http://www.dfg.de).

**GELD VOM STAAT FÜRS ENERGIESPAREN** Eine Broschüre über Förderprogramme für Energiesparmaßnahmen und erneuerbare Energien hat das Bundesumweltministerium in Zusammenarbeit mit Bine Informationsdienst herausgegeben. Rund 400 Förderprogramme der Europäischen Union, von Bund, Ländern, Kommunen und Energieversorgern werden vorgestellt. Fax 01888 3052044; [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de).



**MIT LATENTWÄRMESPEICHERN (PCM, PHASE CHANGE MATERIALS)**, die in die Bausubstanz eingelagert werden, kann man die Wärmekapazität von Gebäuden erhöhen und so das Raumklima stabilisieren. Am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg wird derzeit die Verwendung von Paraffinen als „Latentwärmespeicher in Baustoffen“ erprobt. Die vom ISE eingesetzten Paraffine werden zunächst mikroverkapselt. In dieser Form können sie wie ein Pulver Baustoffen beigelegt werden. Eine Broschüre darüber ist kostenfrei erhältlich: Tel. 0228/9 23 79-0 oder im Internet unter [www.bine.info](http://www.bine.info).



## TERMINE

28. -- 29.11.2002

### Mischen und Rühren

Vortrags- und Diskussionstagung des VDI im Kongresshaus Baden-Baden  
Tel. 0211 6214257; [www.vdi.de](http://www.vdi.de)

04.12.2002

### HPLC-MS in der Spurenanalytik

Seminar vom Haus der Technik e.V. in Essen  
Tel. 0201 18031; [www.hdt-essen.de](http://www.hdt-essen.de)

05. -- 06.12.2002

### Röntgendiffraktometrie

Seminar der Technischen Akademie Wuppertal (TAW) in Altdorf bei Nürnberg  
Tel. 09187 9310; [www.taw.de](http://www.taw.de)

09. -- 10.12.2002

### Biowissenschaftliches Intensivtraining

Kurs des Wissenstransfer Universitätsbundes Tübingen (WiT) in Tübingen  
Tel. 07071 2976439  
[www.uni-tuebingen.de/wit](http://www.uni-tuebingen.de/wit)

10.12.2002

### Aktualisierung der Fachkunde für Strahlenschutzbeauftragte

Staatlich anerkanntes Seminar des Umweltinstitut Offenbach in Offenbach  
Tel. 069 810679; [www.umweltinstitut.de](http://www.umweltinstitut.de)

08. - 11.01.2003

### Inverkehrbringen sehr giftiger und giftiger Stoffe und Zubereitungen

Lehrgang zum Erwerb der Sachkunde vom Verband Chemiehandel (VCH) in Köln  
Tel. 0221 2581133; [www.vch-online.de](http://www.vch-online.de)

15. -- 16.01.2003

### GLP richtig elektronisch umsetzen

Intensivseminar des Pharmaceutical Training Institute (PTI) in Frankfurt am Main  
Tel. 06196 585131; [www.pti-aktuell.de](http://www.pti-aktuell.de)

13.02.2003

### Im Fokus: Aerosole und Umwelt

Kolloquium der Dechema in Frankfurt a. M.  
Tel. 0697564375; [www.dechema.de](http://www.dechema.de)

17.02.2003

### Lasersicherheitsnorm

Fortbildung im Laser Zentrum Hannover  
Tel. 0511 2788151; [www.lzh.de](http://www.lzh.de)



## Flow-Control mit Hochdruck

Bio-Chem Valve hat ein Sortiment an inerten Hochdruck-Miniaturabsperrenten produziert. Die Miniaturabsperrenten, die auf dem Design der Standard-Ventile des Unternehmens beruhen, können in kritischen Durchflussregelungsanwendungen bis zu 37,92 bar eingesetzt werden und ersetzen damit teurere Druckregelungsventile beziehungsweise Druckfeedbacksysteme, bei denen die obere Druckgrenze geregelt werden muss.

Als Basis für seine Hochdruck-Ventile verwendete der Flow-Control-Spezialist seine bewährten Standard-Ventildesigns, die eine Lebensdauer von 15 Jahren haben. Die neuen Ventile sind ebenso zuverlässig und korrosionsbeständig wie die Standard-Ventile. Wie die anderen Ventile von Bio-Chem zeichnen sich diese Hochdruck-Ventile durch ein langes Zyklusleben, niedrige Leistungsanforderungen und kurze Ansprechzeiten aus.

Die Ventile können aus mehreren verschiedenen inerten Werkstoffen hergestellt werden, zum Beispiel PEEK, PPS und Teflon. Weitere kundenspezifische Optionen sind Anschlusskonfiguration und -ausrichtung, Spannung und elektrische Leistung. Außerdem können die Ventile zusammen mit dem von Bio-Chem patentierten Modulsystem zur Regelung mehrerer Durchflusslinien eingesetzt werden, um Entwicklungskosten und Aufbauzeiten bei Design und Herstellung von Instrumenten zu senken. Einsatzbereiche sind zum Beispiel analytische Instrumente, automatische, programmierbare und druckbeaufschlagte Dosiersysteme für Flüssigkeiten, dünnflüssige Spritzgießverfahren sowie andere Bereiche, in denen geringvolumige Hochdruck-Dosierungen, Sicherheitsüberdruckvorgänge oder preiswertere Alternativen erwünscht sind.

Bio-Chem Valve Inc.

85 Fulton Street, Boonton, NJ 07005 USA

Tel +1 973 2633001

[www.bio-chemvalve.com](http://www.bio-chemvalve.com)

## Elektroporation und Elektrofusion

Ein innovatives System für die Elektroporation und Elektrofusion

ist der Multiporator in Kombination mit speziell entwickelten Puffern.

Für alle Anwendungen stehen verschiedene Küvetten und Kammern zur Auswahl. Neu ist ein Adapter als Zubehör, über den jetzt externe Elektroden für die Elektroporation und Elektrofusion an das Gerät angeschlossen werden können.

Das kompakte Gerät arbeitet bei der Elektroporation eukaryoter Zellen mit Pulsen im Mikrosekunden-Bereich, die über eine patentierte Elektronik geregelt werden. Im Zusammenspiel mit einem speziell angepassten Puffersystem führen diese zellschonenden Parameter zu außergewöhnlich hohen Überlebensraten und Transfektionseffizienzen. Über ein optional integriertes Modul ist die Transformation von Bakterien, Hefen und anderen Mikroorganismen möglich.

Bei der Zellfusion mit dem Multiporator können die Parameter der Alignmentphasen vor und nach dem Rechteck-Puls frei gewählt werden. Eine Kammer zur mikroskopischen Beobachtung ermöglicht die einfache und zeitsparende Optimierung der Versuchsbedingungen.

Eppendorf Vertrieb Deutschland GmbH

Peter-Henlein-Straße 2

D-50389 Wesseling-Berzdorf

Tel 02232 4180 Fax 02232 418155

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



## Feuchtemessgeräte

Die beiden Geräte XM120 und XM60 der neuen Generation von Feuchtemessgeräten der Firma Precisa verbinden moderne Wägetechnologie mit hoher Bedienungsfreundlichkeit dank einer Step-by-step Bedienungsführung. Die besondere Qualität dieser neuen Gerätegeneration liegt einerseits in der Qualität und Präzision; andererseits aber auch in den zusätzlichen Möglichkeiten, die sich mit diesen Feuchtemessgeräten eröffnen.



Das Modell XM60 ist das preiswerte nichtsdestotrotz qualitativ hochstehende Gerät für Kunden mit geringen Probevolumen. Es ist robust und liefert dank hohen Heizwerten genaue und schnelle Ergebnisse. Was immer auch Ihre Kriterien sind: Es stehen Ihnen immer verschiedenste Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Tastenbezeichnung ist dank Piktogrammen sprachenunabhängig und die Bedienung sehr einfach.

Das Modell XM120 ist der eigentliche Premium Feuchtemesser. Er lässt sich in jede IT-Umgebung integrieren und verfügt über Anschlüsse zu externen PCs und anderen Geräten. Die Speicherkapazitäten sind grosszügig dimensioniert und optimal gesteuerte Messabläufe gewährleisten ein zeitsparendes, kosteneffizientes und einfaches Arbeiten. Die Bedienungsführung ist logisch aufgebaut, erfolgt über

einen Touch Screen mit Icons und wenigen Tasten.

Das Gerät arbeitet alternativ nach der bewährten Halogen- oder Infrarot-Trocknungsmethode, welche sich durch ein breites Wärmestrahlungsspektrum auszeichnet. Dadurch lassen sich auch Proben mit hohem Gewicht präzise auswerten.

Die grosse Stärke dieser neuen Feuchtemessgeräte ist die Zeiterparnis im Labor, insbesondere auch deshalb, weil die Daten für jede Funktion direkt und oh-

ne die in den Gebrauchsanweisungen angegebenen Genauigkeiten für Messungen mit Dräger-Röhrchen auch bei extremen Bedingungen eingehalten werden.

Der „Wärme-Akku-Halter für Dräger-Röhrchen“ besteht aus einem Kunststoffrahmen, in dem als einfache und explosions sichere Energiequelle zwei „Hotpacks“ eingelegt werden. Das sind zwei kleine Kunststoffkissen, die mit einer flüssigen Salzlösung (Natriumacetat in Wasser) gefüllt sind. Mit Hilfe eines im Kissen vorhandenen Starterstäbchens wird die Kristallisierung der Lösung in Gang gesetzt, wobei die gespeicherte Energie in Wärme umgesetzt wird. Um das Wärme-kissen zu reaktivieren kann es nach Beendigung der Messung beziehungsweise Abkühlung im kochenden Wasser oder in einer Mikrowelle erhitzt und mehrere tausend Mal wieder eingesetzt werden.

Der Wärme-Akku-Halter kann zusammen mit einem Verlängerungsschlauch oder durch direkten Anschluss an die Dräger-Gasspürpumpe accuro eingesetzt werden. Der Wärme-Akku-Halter für Dräger-Röhrchen findet Anwendung bei Messungen in der Industrie, bei den Feuerwehren, im Umweltschutz, bei Chemikalienunfällen im Winter und vielen weiteren Einsätzen.

ne dass sie neu erfasst werden müssen, übernommen werden können. Dabei ist die optimale Bedienungsführung in Bezug auf die High-Tech-Ausrüstung der Geräte äusserst wichtig.

Precisa Instruments AG  
Moosmattstr. 32; CH-8953 Dietikon  
Tel +41 1 7442828 Fax +41 1 7442838  
www.precisa.com

Dräger Safety AG & Co. KGaA  
Revalstraße 1; D-23560 Lübeck  
Tel 0451 8820; Fax 0451 8822080  
www.draeger-safety.de

## Ein Wärmer für Dräger-Röhrchen

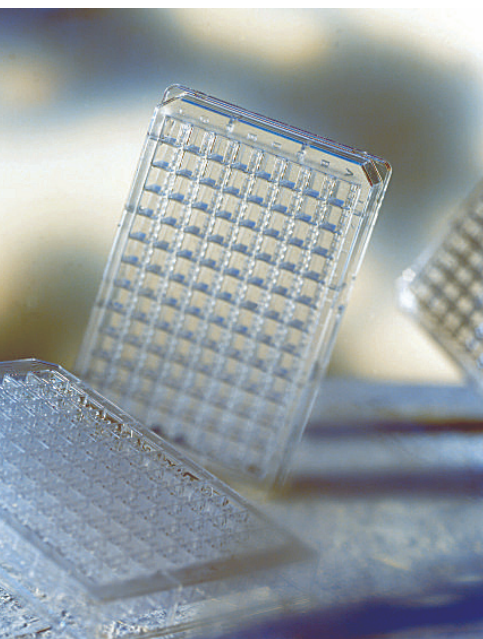
Der Wärme-Akku-Halter von der Dräger Safety AG & Co. KGaA (Lübeck) macht präzise Messungen mit Dräger-Röhrchen nun auch bei Temperaturen von bis zu minus 20 Grad Celsius möglich. Damit wird gewährleistet, dass

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

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

## Proteinkristallisation

Die Greiner Bio-One GmbH, weltweiter Technologiepartner für die diagnostische und pharmazeutische Industrie und Biotechnologie, präsentiert vom 20. bis 23. November 2002 auf der vom 20. bis 23. November 2002 die Entwicklung Crystal Quick: eine vollständig neue Familie von 96 Well Proteinkristallisations-Platten für das Hochdurchsatz-Screening, die sich für verschiedenste Screeningstrategien eignen.



Die Neuentwicklung entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik, der Protein-Struktur-Fabrik sowie dem Genomics Institute of the Novartis Research Foundation, San Diego/USA.

Crystal Quick-Platten dienen der Ermittlung optimaler Kristallisationsbedingungen bei reduzierten Kosten, gefolgt von einer 3D-Strukturbestimmung. In Standardhöhe mit Flach- oder Rundboden korrespondiert jedes der 96 Reservoirs mit drei Kristallisationsnäpfchen, so dass pro Platte bis zu 288 Kristallisationsmöglichkeiten gegeben sind. Die niedrige Version mit Flachboden eignet sich für die Lagerung und Ernte der Kristalle. Passend für „sitting-drop“- und

„hanging-drop“-Anwendungen ist der mit den Crystal Quick-Platten kompatible Crystal Drop-Deckel. Für Microbatch-Anwendungen wurde die IMP@CT-Platte entwickelt: Sie ermöglicht die Handhabung kleinster Probemengen bei optimalen mikroskopischen Bedingungen.

Greiner Bio-One GmbH  
Bad Haller Str. 32; A-4550 Kremsmünster  
Tel +43 7583 67910  
Fax +43 7583 6318  
www.greiner-bio-one.de

## Portables Mikro-GC für Vor-Ort-Analysen

Agilent Technologies Europe bietet den Agilent 3000 Mikro-Gaschromatographen (GC) Portable in zwei Ausführungen an. Für den Einsatz an Standorten ohne externe Stromquelle steht das Gerät mit integrierten Batterien und einem Trägergaszylinder (beide wieder aufladbar) zur Verfügung. Die in dieser Ausführung des GC enthaltenen Akkus können an einer Wechselstromquelle oder über ein Kfz-Ladekabel aufgeladen werden. Die zweite Ausführung des Geräts ist ökonomischer und verfügt über einen eingebauten Trägergaszylinder, hat jedoch keine eigene Stromversorgung. Beide Ausführungen kommen mit einem Kit zum Nachfüllen des Trägergaszylinders. Das System ist modular aufgebaut und kann daher problemlos für Anwendungen in vielen verschiedenen Bereichen konfiguriert werden, wie z.B. Umwelttechnik, Brennstoffzellen, Erdgas, hochreine Industriegase, Öl- und Gasexploration, Transformatorenöle, Gas- und Petrochemie. Die Module des Systems lassen sich bei Bedarf mit nur geringfügigen Unterbrechungszeiten rasch austauschen.

Agilent Technologies Deutschland GmbH  
Hewlett-Packard-Str. 8; D-76337 Waldbronn  
Tel 07243 608110; Fax 07243 602602  
www.agilent.com

## Völlig neuartige PCR Hot Start Technologie

Mit dem Hot Master Kit-System für die Hot Start PCR stellt die Firma Eppendorf eine völlig neuartige und vielversprechende Technologie vor.

Die im Markt bekannten Systeme, bei denen die DNA-Polymerase entweder durch Antikörper blockiert ist, oder eine chemische Modifikation das Enzym inaktiviert, benötigen jeweils fünf bis 15 Minuten Aktivierungszeit (Denaturierungsschritt), um in den aktiven Zustand überführt zu werden. Die neue Hot Master Technologie arbeitet mit einem inerten Liganden, der sich bei Temperaturerhöhung unmittelbar vom aktiven Zentrum der Polymerase ablöst. Der Aktivierungsschritt entfällt.



Gleichzeitig enthält die „Hot Start“ Technologie ein „Cold Stop“ Feature, da der Ligand bei Absenken der Temperatur unter einen kritischen Schwellenwert erneut an die Polymerase „andockt“ und sie inaktiviert. Dies erhöht die Spezifität der PCR Reaktion.

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



# Bezugsquellenverzeichnis

## ANALYSEN

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

## ARÄOMETER

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



## ARBEITSSCHUTZARTIKEL

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



## BIMSSTEINGRANULATE UND -MEHLE

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



## BSB-BESTIMMUNG

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

## CHEMIKALIEN

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



## DEUTERIUMLAMPEN

**LOT**  
Tel. 06151/8806-0  
Fax 06151/896667  
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. 06151/8806-0  
Fax 06151/896667  
www.LOT-Oriel.com



## GEFRIERTROCKNER

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

## GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN

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



## STERIS

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



## HOHLKATHODENLAMPEN

**LOT**  
Tel. 06151/8806-0  
Fax 06151/896667  
www.LOT-Oriel.com



## KALIBRATIONSSTANDARD

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

## KÜHL- UND TIEFKÜHLGERÄTE

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



## Kendro

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



## KÜVETTEN

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

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

## LABORCHEMIKALIEN

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



## LABOREINRICHTUNGEN

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

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

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

## LABORHILFSMITTEL

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



## LABOR-SCHLÄUCHE UND -STOPFEN AUS GUMMI

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

## LABORZENTRIFUGEN, KÜHLZENTRIFUGEN

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



**Kendro**  
Quality Products - Lifetime Care  
**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

Xanthophyll-Bande im wesentlichen eluiert ist. Jetzt wird der Kolonne Hexan-Isopropylalkohol-Gemisch zugepumpt, und der Ablauf wird auf „schwaches Xanthophyll-Eluat“ umgeschaltet, bis keine Gelbfärbung mehr im Schauglas zu erkennen, das heißt das Xanthophyll restlos entfernt ist. Nunmehr läßt man die Kolonne leer laufen (zum „schwachen Xanthophyll-Eluat“).

Als nächster Schritt wird darauf der Kolonne am Kopf schwaches Chlorophyll-Eluat in Benzol + Isopropylalkohol, von einer früheren Adsorption herstammend, zugeführt, das heißt man kehrt jetzt die Arbeitsrichtung der Kolonne um, da die Chlorophyllbande sich näher am Boden als am Kopf der Kolonne befindet. Der Ablauf wird auf „konzentriertes Chlorophyll-Eluat“ umgeschaltet, bis die Färbung im Schauglas am Kopf der Kolonne sich von Dunkel in Hellgrün verwandelt, was nach etwa acht Stunden der Fall ist. Dann ist praktisch alles Chlorophyll ausgewaschen. Hierauf wird frisches Benzol-Isopropylalkohol-Gemisch am Kopf der Kolonne zugepumpt, und der Ablauf wird auf „schwaches Chlorophyll-Eluat“ umgeschaltet, bis nach weiteren etwa acht Stunden die Färbung der Flüssigkeit im Schauglas am Kolonnenkopf verschwunden ist, was die restlose Auswaschung des Chlorophylls anzeigt. Nunmehr läßt man die Kolonne erneut leer laufen (zum „schwachen Chlorophyll-Eluat“), worauf sie für den nächsten Arbeitszyklus bereit ist.

Das durch Hexan extrahierte Carotin enthält noch eine nennenswerte Menge an Lipoiden, es wird einem zweiten chromatographischen Trennungsprozeß unterworfen, der von dem ersten völlig unabhängig ist, ihm aber im Prinzip ähnelt.

Reinigung von Streptomycin

Eine zweite technische Anwendung der Chromatographie, und zwar eine aus Gruppe e) „Reinigung von Substanzen von Verunreinigungen“ stammende, ist die Reinigung von Streptomycin. Die Anlage hierfür steht im Werk Elkton, Va., der amerikanischen pharmazeutischen Fabrik Merck & Co. Das Problem war hier, einen kompliziert gebauten Wirkstoff, der in Wasser und Methanol löslich, aber in fast allen gebräuchlichen organischen Lösungsmitteln unlöslich ist, von großen Mengen von unreinigenden Beimengungen zu befreien, die ähnliche Löslichkeitseigenschaften haben. Da die Reinigung weder durch Extraktion aus wässriger Lösung in organische Lösungsmittel und Rückextraktion in Wasser, noch

benutzte Lösungsmittelgemisch (Hexan + Isopropylalkohol) verunreinigt wird. Hierauf pumpt man ein schwaches Xanthophyll-Eluat in Hexan-Isopropylalkohol, das von einer früheren Adsorption herstammt, von unten her in die Kolonne ein, deren Ablauf auf „schwaches Xanthophyll-Eluat“ umgeschaltet wird. Man arbeitet also hier mit einer Kreislauf-Rückführung, die den Zweck hat, die Xanthophyll-Bande bis zum Kolonnenkopf vorzuschieben. Diese Arbeitsstufe wird so lange weitergeführt, bis sich die hellgelbe Färbung der Flüssigkeit im Schauglas stark vertieft, ein Zeichen dafür, daß das Xanthophyll die Kolonne zu verlassen beginnt. Was etwa eine Stunde Zeit benötigt. Der Kolonnenablauf wird nun auf „konzentriertes Xanthophyll-Eluat“ umgeschaltet. Nach etwa vier Stunden verblaßt die dunkle Xanthophyll-Farbe im Schauglas, woraus hervorgeht, daß die

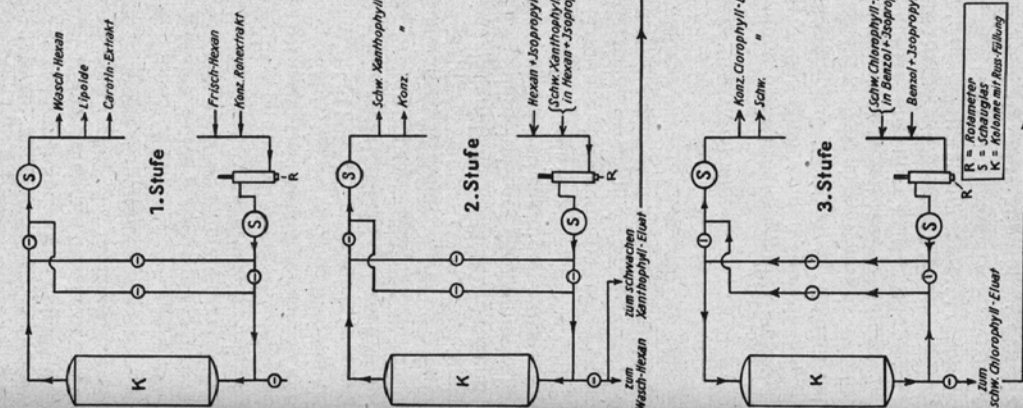


Abb. 2

# 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 abonnentenstärkste 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