

CLB

Chemie in Labor und Biotechnik

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung

- Spinnenseide
- Nobelpreis Chemie: Quasikristalle
- Von der Pharmazie zur Chemie – und darüber hinaus:
Vorträge zur Feier „60 Jahre Institut Dr. Flad“
- Brennende Kerze auf der Waage

Festkörperchemie spielt wiederholt eine Rolle in dieser CLB. Vor 44 Jahren war der Transistor gerade 20 Jahre alt; es dominierte noch Germanium als Halbleitermaterial. Aus dieser Zeit berichtet die CLB 12-1967 über Leitungsmechanismen in Festkörpern.

Die Eigenschaften der Halbleiter

von Ulrich Büttner, Heidelberg

Auf Grund ihrer elektrischen Leitfähigkeit unterscheidet man bei den kristallinen Festkörpern Metalle, Halbleiter und Isolatoren. Man hat dabei folgende willkürliche Einteilung vorgenommen: Metalle haben eine Leitfähigkeit größer als 10^4 Siemens (S, Ohm^{-1}), Halbleiter eine Leitfähigkeit von 10^4 – 10^{-1} S. Noch kleinere Werte kennzeichnen die Isolatoren.

Hier sollen uns nur die Halbleiter interessieren. Unter ihnen war zuerst das Element Selen aufgefallen. Die an ihm gemachten Beobachtungen ließen sich jedoch meist nicht reproduzieren, und ähnliche Erscheinungen bei anderen Materialien wurden meist als „Dreckschleife“ abgetan, womit man die Schuld auf Materialverunreinigungen schob. Inzwischen kennt man aber die Halbleitereigenschaften sehr genau. Es gelang, eine Vielzahl von Überlegungen zu verwirklichen, die auf den Halbleitereigenschaften basieren. Vor allem der Transistor hat heute größte Bedeutung erlangt. Wenn im folgenden die Halbleitereigenschaften beschrieben werden, ist oft von Germanium, einem der bedeutenden Vertreter dieser Klasse die Rede. Die geschilderten Sachverhalte treffen aber genauso auf die anderen Halbleiter zu.

Ionengitter und Elektronengas

Für das Verständnis der Halbleitereigenschaften ist eine kurze Beschreibung einiger Metalleigenschaften nötig. Als Beispiel diene Kupfer.

Kupfer hat ein kubisches Kristallgitter mit einer Gitterkonstante = Kantenlänge des Würfels von $a_{Cu} = 3,61 \cdot 10^{-8}$ cm. Bei Temperaturen nahe 0 Grad K befinden sich die das Gitter bildende Atome in Ruhe. Bei höheren Temperaturen führen sie Schwingungen um diese Ruhelage aus. Ein Kupfer-Atomkern ist von 29 Elektronen auf vier Schalen umgeben. Das 29ste besetzt als einziges die äußerste, die N-Schale und wird durch die voll besetzten K-, L- und M-Schalen gegen den Kern abgeschirmt. Als Folge sitzt das einzige N-Elektron sehr locker und ist für die chemische Bindung dieses Elementes verantwortlich: es ist ein Valenzelektron. Im Kupfergitter bewegen sich die Valenzelektronen zufällig und fast frei. Ihr Weg wird nur begrenzt durch Kollisionen mit den im Gitter verbleibenden Kupfer-Ionen oder durch Streuprozesse an ihnen. Da sich diese

Elektronen ähnlich wie die Atome oder Moleküle eines Gases in einem abgeschlossenen Volumen bewegen, spricht man von ihnen vom „Elektronengas“. Bei normalen Bedingungen sind fast alle Valenzelektronen im Elektronengas enthalten; es besteht ein thermisches Gleichgewicht zwischen emittierten und wieder eingefangenen Elektronen. Man kann sagen, daß sich in einer Raumeinheit gleichviele freie Elektronen wie Atome bzw. Ionen befinden. Das sind etwa 10^{23} cm^{-3} . Bei höheren Temperaturen werden mehr Elektronen freigesetzt, aber auch die Schwingungsamplituden der Kupferionen im Gitter vergrößern sich. Ihre Wirkung ist größer als die der mehr freigesetzten Elektronen. So kommt die Zunahme des elektrischen Widerstandes in Metallen bei Erhitzen zu stande. Legt man an ein Kupferstück eine Spannung, so kommt es zu häufigeren Kollisionen der freien Elektronen mit den Kupferionen, wodurch sich deren Schwingungsenergie steigert, was sich in Erwärmung äußert: *Joulesche Wärme*. Verschiedene Metalle mit verschiedenen Leitfähigkeiten unterscheiden sich durch die Dichte ihres Elektronengases. Die Elektronengaskonzentration ist bei den verschiedenen Metallen nur um geringe Werte verschieden. So besitzt Kupfer $8 \cdot 10^{22}$ freie Elektronen pro cm^3 und Silber $6 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$.

Beim Kontakt verschiedener Stoffe unterschiedlicher Elektronengasdichte kommt es zu einem Austausch von Elektronen durch Diffusion, entsprechend dem vorhandenen Konzentrationsgefälle. Dabei läßt sich die Substanz mit der ursprünglich geringeren Elektronengasdichte negativ auf. Es entsteht eine Potentialdifferenz bzw. ein Kontaktpotential. Die Temperaturabhängigkeit des Elektronengases ist bei den verschiedenen Metallen verschieden. Wird in einem Leiterkreis aus zwei verschiedenen Metallen eine Kontaktstelle erwärmt, entsteht aus dem thermisch bedingten Unterschied zwischen den Kontaktpotentialen eine Thermospannung. Durch den fließenden Thermostrom wird das

Elektronengas an der warmen Kontaktstelle „verdünnt“ und an der kalten „komprimiert“. Dieser thermoelektrische Effekt ist als *Seebeck*- bzw. *Peltier*-Effekt bekannt.

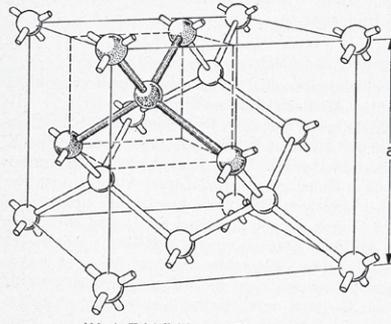


Abb. 1: Kristallgitter vom Diamant-Typ.

Bei Halbleitern sind die Elektronengaskonzentrationen um mindestens vier Zehnerpotenzen kleiner. Auch fehlt der kontinuierliche Übergang zwischen gebundenem und freiem Valenzelektronenzustand, wie er in Metallen vorliegt. Viele halbleitende Stoffe

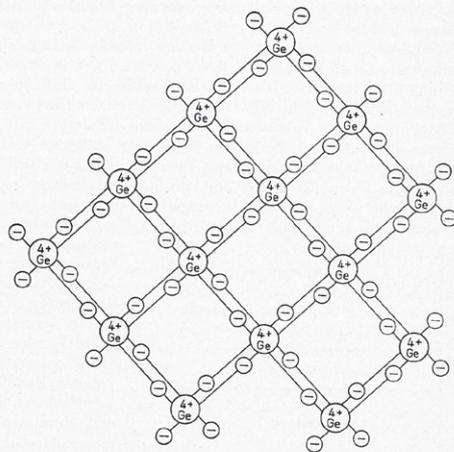


Abb. 2: Ebenes Schema eines Germanium-Gitters (Diamant-Gitter).

besitzen ein Kristallgitter vom Diamanttyp (Abb. 1). Hier ist jeder Gitterpunkt von 4 gleichweit entfernten Nachbarn umgeben. Ihre Bindung aneinander ist homöopolar oder covalent, und die Valenzelektronen, die zur Bindung im Gitterverband bestimmt sind, „umfliegen“ die Kerne gemeinsam (Abb. 2). Die Energie dieser Bindung wird bei 300 Grad K noch nicht so weit aufgehoben wie bei den Metallen. Hier sind nur einige Elektronen frei. Sie genügen aber nicht für eine metallische Leitfähigkeit. Durch Energiezufuhr von außen lassen sich jedoch Doppelbindungen aufbrechen, wodurch mehr Elektronen zur Erhöhung der Leitfähigkeit frei werden. Eine Vermehrung der Leitungselektronen kann aber auch durch Dotieren des Grundmaterials mit einem Element vorgenommen werden, das ein Elektron mehr aufweist als dieses.

Valenzband, Leitungsband, verbotenes Band

Betrachten wir ein isoliertes Germanium-Atom: die Energieinhalte der zugehörigen Elektronen sind in erster Linie von der Geschwindigkeit der Elektronen abhängig, die den Kern umkreisen. Man kann sagen: Je weiter die Elektronen vom Kern entfernt sind, desto schneller bewegen sie sich, und desto größer ist ihr Energieinhalt. Die Energieinhalte sind feste Werte. Durch die Bindung im Kristall verlieren aber besonders die Valenzelektronen ihren festen Energie-

inhalt. Da sie im Zweierverband jeweils zwei Atome umfliegen, schwankt ihre Energie mit der Entfernung von deren Kernen. Ihre Energie wird also durch einen bestimmten energetischen Bereich repräsentiert. Diesen Energiebereich nennt man „Valenzband“. Das Valenzband hat in einer graphischen Darstellung „Bandkanten“. Die obere Bandkante gibt den höchstmöglichen Energiegehalt der noch zum Kristallgitter gehörenden Elektronen an, die untere Bandkante ist beim Valenzband nicht genau definiert. Führt man einem Stück Germanium Energie in Form von Wärme zu, so verlassen durch die Energiezufuhr einige Valenzelektronen das Valenzband und wechseln in das „Leitungsband“. Die freien Elektronen im Leitungsband besitzen eine Energie, deren Größe einem Wert aus dem Leitungsband entspricht. Die untere Kante des Leitungsbandes gibt den Mindestenergieinhalt eines Leitungselektrons an. Nach

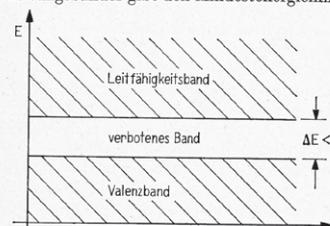


Abb. 3: Bänder-Energiemodell der Elektronen in einem undotierten Halbleiter.

oben ist das Leitungsband nicht begrenzt. Die untere Kante des Leitungsbandes fällt nicht mit der oberen Kante des Valenzbandes zusammen. Vielmehr sind beide Bänder durch ein weiteres Band getrennt, das man „verbotenes Band“ nennt. Energieinhalte dieses Bandes werden von den einzelnen Elektronen nicht eingenommen. Die Breite des verbotenen Bandes ist der Abstand zwischen Valenzband und Leitungsband (Abb. 3).

Mit diesen Kenntnissen lassen sich jetzt die Unterschiede zwischen Leiter, Halbleiter und Isolator deutlicher herausstellen. Ein Leiter hat kein verbotenes Band. Valenzband und Leitungsband gehen stufenlos ineinander über bzw. überlappen einander. Der Halbleiter besitzt ein verbotenes Band. Durch Wärmezufuhr läßt sich die Zahl der Leitungselektronen merklich steigern. Isolatoren oder Nichtleiter haben ebenfalls ein verbotenes Band, das wesentlich größer als das der Halbleiter ist. In ihnen erreichen auch kaum Valenzelektronen durch Temperatursteigerung das Leitungsband, das daher nur ganz geringfügig vorhanden ist. Im einzelnen zählt man kristalline Substanzen zu den Isolatoren, wenn ein Elektron zum Übergang in das Leitungsband eine Energie von mindestens 3 eV mitbringen muß. (Das Elektronenvolt (eV) ist eine Energieeinheit, nämlich die Energie, die ein Elektron erlangt, wenn es eine Potentialdifferenz von einem Volt durchfällt. Ein Elektronenvolt hat den Wert von $1,602 \cdot 10^{-19}$ erg.)

Beim absoluten Nullpunkt sind alle Valenzelektronen am Aufbau des Gitters beteiligt. Bei steigender Temperatur werden Elektronen freigesetzt, die energetisch aus dem Valenzband in das Leitungsband überwechseln. Aus der Existenz

Liebe CLB-Leserin, lieber CLB-Leser,

die Baden-Württemberger wählten ihn sang- und klanglos ab, doch Merck setzt auf die Verbindungen des Stefan Mappus: Der Darmstädter Pharma- und Chemiekonzern schickt ihn nach Südamerika. Dort wird er ab März kommenden Jahres mit Brasilien die größte lateinamerikanische Landesgesellschaft des Konzerns leiten. Das ist die neueste Personalie eines Politikers, der seine neue Karriere in der Industrie sucht. Bekannt ist: Ex-Kanzler Gerhard Schröder ist Aufsichtsratsvorsitzender der Nord Stream AG, die die Ostsee-Pipeline baut, zudem Mitglied des dreiköpfigen Direktoriums des russisch-britischen Ölkonzerns TNK-BP. Hessens Ex-Ministerpräsident Roland Koch ist seit Juli Vorstandsvorsitzender des deutschen Baukonzerns Bilfinger Berger. Der Ur-Grüne und Ex-Kanzler Joschka Fischer ist u.a. Lobbyist für die Energieversorger RWE und den Nabucco-Pipeline-Bauer OMV. Ex-Wirtschafts- und Verteidigungsminister und prominentester Plagiats-Überführter Karl-Theodor zu Guttenberg wird künftig für eine der höchstangesehenen US-Denkfabriken tätig sein, dem Center for Strategic and International Studies (CSIS) in Washington.



Ich nenne diese sicherlich nicht vollständigen Karrierebeispiele ihrer Art nicht als Motivation, Politiker zu werden. Vielmehr gebe ich noch einen anderen Hinweis: IBMs Supercomputer Watson bekommt seinen ersten richtigen Auftrag. Der Krankenversicherer WellPoint will die Watson-Technologie zur Ermittlung von geeigneten Behandlungsmethoden im Gesundheitssektor einsetzen. Mit 34 Millionen Kunden ist WellPoint der größte US-amerikanische Krankenversicherungskonzern. Computer „Watson“ schlug im Februar die US-Quizkönige von Jeopardy. Das ist ein in natürlicher Sprache geführtes Quiz, in dem es die passende Frage zum jeweiligen Schlüsselsatz zu finden gilt. Konkret bedeutet der neue Auftrag: Ärzte können bald individuelle Patientendaten an den Rechner übermitteln und erhalten anschließend eine Diagnose sowie vorgeschlagene Behandlungsmethoden. Und etwas verallgemeinert: Faktenwissen wird immer nebensächlicher; nicht der Arzt stellt die Diagnose, und vielleicht bestimmt auch irgendwann nicht der Chemiker den Re-

aktionsweg, sondern der Computer. Wissen wird ubiquitär verfügbar sein. Gewinner sind die, die solches Wissen kurzfristig für sich persönlich verarbeiten und daraus neue Schlüsse ziehen, neue Lösungen anbieten und dies auch vermitteln können. Und gerade diese Eigenschaften vermittelt ein harter Politikerjob wahrscheinlich besser als jedes Studium. Es ist daher dringend nötig, sowohl in den Lehrplänen der Schulen wie auch der universitären Ausbildungen entsprechende Qualifikationen zu fördern. Mit dazu trägt sicherlich eine praxisorientierte Ausbildung bei. Genau dies vermittelten Vorträge anlässlich des 60. Geburtstags des Instituts Dr. Flad in Stuttgart (s.S. 446-451). GDCh-Präsident Michael Dröscher bemerkte treffenderweise: In einem globalisierten Produktions- und Handelsraum muss ein Chemiker nicht nur Technologien, sondern Kulturen verstehen, damit er die richtigen Produkte in die jeweiligen Märkte bringen kann.

Zum Erfolg gehört sicherlich auch die Fähigkeit, „um die Ecke“ zu denken. Dabei muss man auch eine gewisse Hartnäckigkeit aufweisen, wenn man nicht etablierte Pfade betritt. Dies zeigt sehr gut die Geschichte, die mit der Vergabe des diesjährigen Nobelpreises verbunden ist. Quasikristalle waren in den Köpfen der damaligen Wissenschaftler einfach nicht vorgesehen; Daniel Shechtman glaubte dennoch an seine Versuche – und setzte sich durch (s.S. 436-442). Nun, um die Ecke gedacht hat ja auch Turnschuh-Polit-Ikone Fischer: vom Steinewerfer zum Strom-Lobbyisten...

Welche Überraschungen Politikerkarrieren oder Quasikristalle auch noch für uns verbergen mögen: Ich bin gespannt, was sich aus den Ergebnissen überlichtschneller Neutrinos ergeben wird, die man in dem CERN-Gran-Sasso-Experiment gemessen haben will. Womöglich stellen die Konsequenzen daraus noch alle hier angesprochenen Drehungen und Wendungen in den Schatten,

Ihr

INHALT

Aufsätze

Hoch reißfest und extrem dehnbar Spinnenseide – eine uralte Erfindung der Natur für modernste Materialien _____	432
Wider jede Vorstellungskraft Nobelpreis für die Entdeckung der Quasikristalle an Daniel Shechtman _____	436

Rubriken

Editorial _____	425
Impressum _____	427
F & E im Bild _____	427
Unternehmen _____	428
Personalia _____	430
Förderungen / Preise _____	431
Nobelpreise Physik/Chemie 2011 _____	443
Serie: Seltene Metalle _____	444
Teil 3: Molybdän und Wolfram	
Aktuelles Ereignis _____	446
Pharmazie erfand Chemie – und wie geht es weiter? Festvorträge zur 60-Jahr-Feier des Instituts Dr. Flad	
Umschau _____	452
Festkörperchemie: Viele Stellschrauben für bessere Materialien	
Umschau _____	454
Rastertunnelmikroskopie: Zwischenmolekulare Kräfte komplexer Moleküle	
Der neueste Stand _____	457
Literatur _____	458
Bezugsquellenverzeichnis _____	470
CLB-Geschichte _____	U1, U3



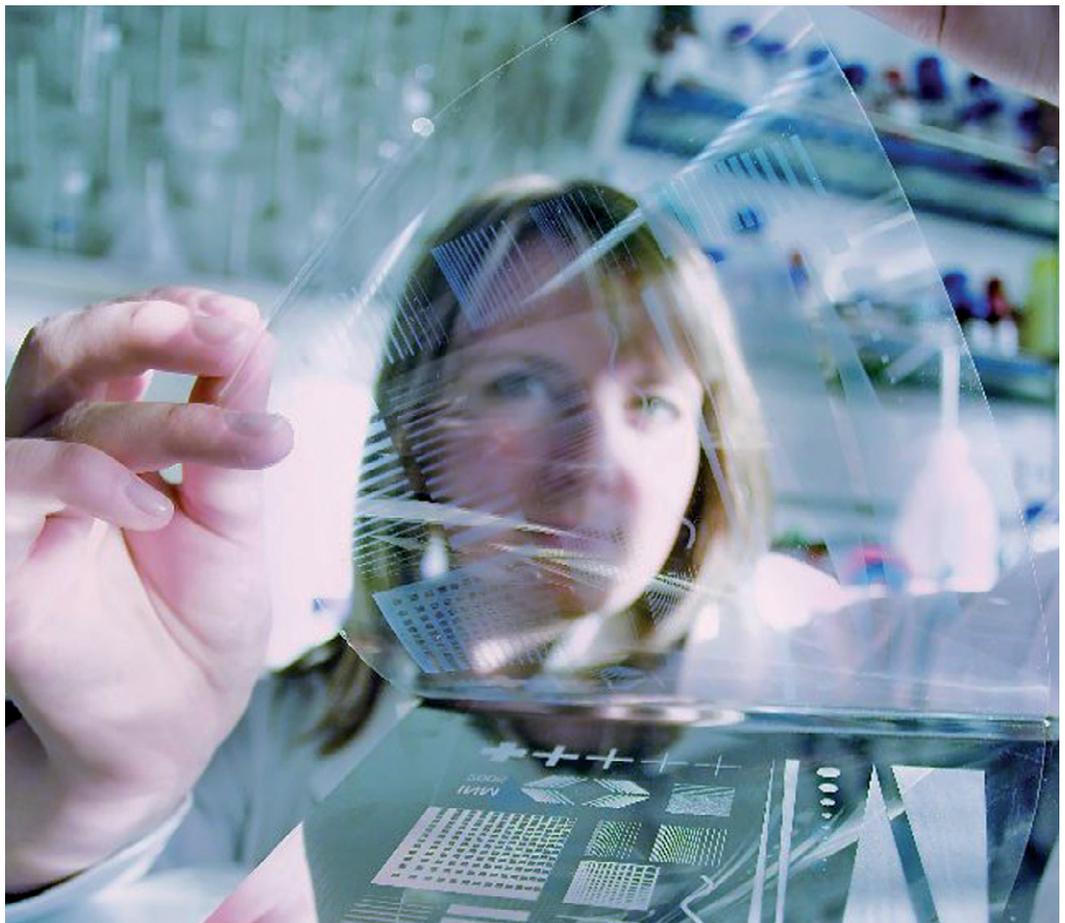
Zum Titelbild: Das Bild weist hin auf den Artikel *Spinnenseide* ab Seite 432. Es ist eine Fotomontage einer Kreuzspinne, die im Verhältnis zu ihrem Netz vergrößert dargestellt ist (Abb.: Kässer/Kickuth).

Erreichen & Erhalten

In-vitro-Gentoxizitätstests unzureichend Aussagekraft von In-vitro-Tests bei Nanomaterialien untersucht _____	460
Gewichtige „Abluft“ Low-Cost-Apparatur zur Massenänderung bei einem brennenden Teelicht _____	462
Man lernt nie aus! Bundesweite BTA-Lehrerfortbildung erstmalig am Berufskolleg Hilden _____	469
Anforderungsprofil der BTA aktualisieren 60 Berufsschullehrer trafen sich in Marburg – VBTA sucht neuen Vorstand _____	470

Unsichtbare Leiterbahnen auf Folie

Material für die Online-Zeitung der Zukunft? Forscher am INM – Leibniz-Institut für neue Materialien haben nun ein Verfahren entwickelt, bei dem sie TCO Nanopartikel (TCO = transparent conducting oxides) durch Tiefdruckverfahren direkt auf Kunststofffolien aufbringen können. Damit wird das strukturierte Drucken von transparenten Leiterstrukturen auf Folien möglich. Durch Zugabe eines Lösungsmittels und eines speziellen Binders lassen sich diese modifizierten TCO Nanopartikel als „Tinte“ mit einer Druckplatte direkt per Tiefdruck auf die Folie aufbringen. Der Tiefdruck ermöglicht es, mit nur einem Prozess-Schritt strukturierte TCO-Schichten kostengünstig zu drucken. Wegen der UV-Härtung bei niedrigen Temperaturen unter 150 °C lassen sich auch dünne Kunststofffolien beschichten. Wegen dieser guten Fixierung bleibt die Leitfähigkeit selbst beim Verbiegen der Folien erhalten - ein Vorteil gegenüber den gängigen Hochvakuum-Techniken (Foto: INM / Bellhäuser).



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

Gründungsherausgeber:
Dr. Dr. h.c. Wilhelm Foerst (†)
Prof. Dr. Wilhelm Fresenius (†)

Herausgeber:
Prof. Dr. Dr. U. Fitzner, Ratingen
Prof. Dr. K. Kleinerhanns, Düsseldorf,
Prof. Dr. J. Schram, Krefeld
Prof. Dr. Georg Schwedt, Bonn
Dr. Wolfgang Schulz, Stuttgart
Prof. Dr. G. Werner, Leipzig.

Redaktion:
Rolf Kickuth (RK, verantwortlich;
E-Mail: kickuth@clb.de),
Dr. Christiane Soigné-Stark
(CS, E-Mail: stark@clb.de).

Ständige Mitarbeiter:
Raymond Blavatt (Grafik) San Diego (USA);
Dr. Maren Bulmahn, Bensheim;
Knut Burgdorf, Ried-Brig (CH);
Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch, Hanau;
Dr. Mechthild Kässer, Diekholzen;
Dr. Annette von Kieckebusch-Gück, Liestal (CH);
Prof. Dr. Röbbbe Wünschiers, Quedlinburg.

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

Anzeigenservice:
Natalia Bajramovic
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

Abonnementbetreuung:
Natalia Bajramovic
E-Mail: service@clb.de

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

CLB erscheint monatlich.
© 2011 Agentur und Verlag Rubikon
Rolf Kickuth

Bezugspreise:
CLB Chemie in Labor und Biotechnik
Einzelheft – außerhalb des Abonnements
– 14,00 Euro, im persönlichen Abonne-
ment jährlich 109,00 Euro zuzüglich Ver-
sandkosten; ermäßigter Preis für Schüler,
Studenten und Auszubildende (nur ge-
gen Vorlage der Bescheinigung) jährlich
79,45 Euro zuzüglich Versandkosten, in-
kl. 7% MWSt. Ausland sowie Firmenbzw.
Bibliothekenabonnements 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 Kün-
digung erfolgt.

Erfüllungsort ist Heidelberg. Mitglieder
des VBTA, des VCÖ sowie des VDC erhal-
ten die CLB zu Sonderkonditionen.

Anzeigenpreisliste:
Nr. 46 vom 01. 12. 2006.

Bei Nichterscheinen durch Streiks oder
Störung durch höhere Gewalt besteht kein
Anspruch auf Lieferung.
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen
einzelnen Beiträge und Abbildungen sind
urheberrechtlich geschützt. Jede Verwer-
tung außerhalb der engen Grenzen des
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustim-
mung des Verlags unzulässig und straf-
bar.
Für die Rückgabe unverlangt eingesand-
ter Buchbesprechungsexemplare kann
keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



NACHRICHTEN & NOTIZEN

Victrex Polymer Solutions eröffnet in Japan ein Technology Center. Es ist weltweit das dritte Technologiezentrum des Unternehmens.

Evonik wird im Nordosten Chinas eine neue Produktionsanlage für Wasserstoffperoxid bauen. Die Anlage wird eine Jahreskapazität von 230 000 Tonnen haben. Die Investition dafür liegt im unteren dreistelligen Millionenbereich.

Lanxess verstärkt mit drei Investitionen von insgesamt rund 30 Millionen Euro sein Engagement in Brasilien. Damit werden u.a. der Bau von zwei neuen Werken finanziert. Eines der neuen Werke wird Durethan und Pocan produzieren, das andere Rhenoshape-Heizbälge (Bladder) und Kautschukadditive.

BASF hat mit EuroChem, Moskau, Russland, einen Vertrag über den Verkauf ihrer Düngemittel-Aktivitäten in Antwerpen, Belgien, unterzeichnet. Darüber hinaus beabsichtigt die BASF, ihren 50-prozentigen Anteil am Joint Venture PEC-Rhin, in Ottmarsheim, Frankreich, an EuroChem zu veräußern. Der Wert der gesamten Transaktion wird in Höhe von rund 700 Millionen Euro erwartet.

Westfalen Gas Schweiz GmbH hat in Eiken unweit von Basel ihren neuen Hauptsitz in Betrieb genommen. Für über acht Millionen Euro entstand ein modernes Werk zur Abfüllung von technischen Gasen, ein Logistikzentrum sowie der neue Verwaltungssitz der Gesellschaft. An dem Standort sind nun 25 Mitarbeiter beschäftigt.

Linde weihte jetzt ein neues Füllwerkzentrum in Hamburg-Müggenburg ein. Jährlich lassen sich dort 500 000 Flaschen mit Industrie- und Lebensmittelgasen befüllen.

Im Osten neue Chancen

Studie zu Russland, Ukraine, Kasachstan, Usbekistan

Positiv sieht eine Studie des Branchenverbandes „Spectaris“ und Germany Trade and Invest (GTAI) den Markt der Analysen-, Bio- und Labortechnik (ABL) in den Ländern Russland, Ukraine, Kasachstan und Usbekistan.

Die noch relativ kleinen Märkte gewinnen für die deutschen Hersteller von Analysen-, Bio- und Labortechnik zunehmend an Bedeutung. So stiegen die Umsätze im Jahr 2010 in Kasachstan um 79 Prozent, in der Ukraine um 74 Prozent, in Usbekistan um 36 Prozent und in Russland um 21 Prozent. Der Anteil der gesamten Ausfuhren in diese Region am deutschen ABL-Gesamlexport belief sich damit bei einem Umsatz von 323 Millionen Euro auf fast fünf Prozent. Den größten Anteil an den Ausfuhren in diese Region nimmt erwartungsgemäß Russland ein. Auch wenn dieses der treibende Markt ist – in den umliegenden Ländern schlummert Potenzial.

Die positive Konjunktorentwicklung in den Ländern spiegelt sich

auch in den Abnehmerbranchen der Analysen-, Bio- und Labortechnik wieder. In Russland ist vor allem die Stimmung der Pharma- und der chemischen Industrie optimistisch. Gleiches gilt auch für die der Medizintechnikindustrie, die von der Modernisierung des Gesundheitssektors profitiert. Ein Steckenpferd der russischen Regierung ist die Erforschung und industrielle Nutzung von Nanotechnologien. Der ukrainische Markt für medizinische Laboruntersuchungen und -forschungen ist noch wenig entwickelt, doch bieten sich hier durch den Nachholbedarf gute Absatzchancen. Die Fortschritte bei der Liberalisierung der Ökonomie und die sprudelnden Deviseneinnahmen aus dem Öl- und Metallexport zeigen sich auch in einer gestiegenen Nachfrage der Kasachen. In Usbekistan geht man davon aus, dass die Nachfrage nach Analysen-, Bio- und Labortechnik aufgrund der zum Beispiel geplanten Modernisierung der Gesundheitsinfrastruktur zukünftig steigen wird.

2012: Unsichere Zeiten für den Arbeitsmarkt

Trotzdem wohl weniger Arbeitslose – BIP schrumpft eventuell

Der rasante Aufschwung von Wirtschaft und Arbeitsmarkt wird sich deutlich abschwächen. Dies zeigt die Herbstprognose des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB).

Bei einem unterstellten Wirtschaftswachstum von einem Prozent im Jahr 2012 werden im Jahresdurchschnitt 2,92 Millionen Menschen arbeitslos sein, 50 000 weniger als 2011.

Die Abschwächung sei zum einen dem ungünstigen wirtschaftlichen Umfeld geschuldet, so die Nürnberger Arbeitsmarktforscher. Die weitere Entwicklung hänge entscheidend davon ab, ob es in der europäischen Schuldenkrise zu einer

Stabilisierung kommt und sich auch die Lage an den Finanzmärkten beruhigt. Zum anderen hätte sich aber der außergewöhnlich positive Arbeitsmarkttrend der letzten Jahre ohnehin nicht im gleichen Maße fortgesetzt. Beispielsweise hatten in den letzten Jahren die Hartz-Reformen zur Verbesserung der Arbeitsmarktsituation beigetragen.

Die gesamtwirtschaftliche Entwicklung sei aktuell durch beträchtliche Unsicherheiten gekennzeichnet. Ungewohnt weit würden Zukunftserwartungen und Einschätzung der aktuellen Lage auseinander klaffen. Deshalb schließen die IAB-Forscher nicht aus, dass das reale Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 2012

sogar leicht schrumpft. Bei einem Rückgang um 0,2 Prozent stiege die Arbeitslosigkeit um 20 000 auf einen Jahresdurchschnitt von 2,99 Millionen Personen. Auch bei leicht rezessiven Tendenzen sei also mit einer insgesamt robusten Entwicklung zu rechnen, erklären die Arbeitsmarktforscher. Sollten sich die jüngsten Einbrüche der Konjunkturindikatoren und Finanzmärkte als überzogen herausstellen und die europäischen Staaten die Schuldenkrise nachhaltig eindämmen, wäre in einem positiven Szenario auch ein Wachstum der Wirtschaftsleistung um 1,6 Prozent denkbar. Dann würde die Arbeitslosigkeit auf 2,89 Millionen Personen sinken.

Deutsche Rohstahlproduktion wird 2012 sinken

Prognose des RWI – Stahlproduktion als Frühindikator der Konjunktur

Die Rohstahlproduktion in Deutschland wird in diesem Jahr voraussichtlich um 0,2 % steigen und im kommenden Jahr um 7,9 % sinken. Damit wird jedoch wohl nur ein moderater Beschäftigungsrückgang verbunden sein. Zu diesen Ergebnissen kommt der aktuelle Stahlbericht des RWI. Die weltweite Stahlproduktion wird demnach 2011 und 2012 wohl nur verhalten zunehmen. Treibende Kraft dürften dabei die Schwellenländer bleiben, während die Stahlproduktion in den fortgeschrittenen Volkswirtschaften eher weiter zurückgehen dürfte.

Die deutsche Stahlindustrie hatte sich rasch von der Rezession erholt, im Frühjahr 2010 lag die Monatsproduktion bei über 4 Millionen Tonnen. Seitdem schwankt sie bei weiter aufwärts gerichteter Nachfrage um einen Wert von 3,7 Millionen Tonnen pro Monat. Dies entspricht einer mittleren Kapazitätsauslastung von 86 %. Die Schwankungen sind zum einen eine Folge des Lagerzyklus. So wurden sowohl in der ersten Jahreshälfte 2010 als auch 2011 die Lager aufgestockt, es folgte jeweils ein Lagerabbau in der zweiten Jahreshälfte. Zudem wurde im vergangenen Jahr in vielen europäischen Ländern im Rahmen von Konjunkturprogrammen die Nachfrage nach Kraftfahrzeugen gefördert. Dies führte zu vermehrten deutschen Stahlexporten für die ausländische Automobilindustrie. Als die Förderprogramme im Verlaufe des Jahres 2010 ausliefen, sanken auch die Stahlausfuhren. Gleichzeitig stiegen die Stahleinfuhren nach Deutschland, weil durch das kommunale Investitionsprogramm vermehrt gebaut wurde und dafür weitgehend Stahlsorten aus dem Ausland zum Einsatz kamen. Seit dem Frühjahr 2011 ist die Handelsbilanz mit Walzstahl negativ, es wird also mehr ein- als ausgeführt. Seitdem gibt auch die inländische Erzeugung nach.

Die Erlöse der Stahlindustrie blieben trotz der guten Kapazitätsauslastung und der nach wie vor recht kräftigen Nachfrage unter Druck. Einerseits stiegen die Kosten der Stahlerzeugung aufgrund verteuerter Rohstoffe kräftig. Andererseits konnten an den Absatzmärkten nur geringe Preiserhöhungen durchgesetzt werden, zuletzt waren die Verkaufspreise sogar leicht rückläufig.

Für den weiteren Verlauf dieses Jahres erwartet das RWI insgesamt eine nahezu gleichbleibende, für das kommende Jahr eine rückläufige deutsche Rohstahlproduktion. Sie dürfte in diesem Jahr durchschnittlich um 0,2 % steigen, im nächsten Jahr um 7,9 % auf 40,4 Millionen Tonnen zurückgehen. Damit würde die Kapazitätsauslastung voraussichtlich auf unter 80 % sinken. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Zum einen dürfte die Produktion der Stahlverwender insbesondere aufgrund der zu erwartenden nachlassenden Investitionsdynamik im nächsten Jahr nur noch um durchschnittlich 1,4 % steigen. Zudem dürften die gefüllten Lager geleert werden und die Exporte wegen der flauen Konjunktur im Euro-Raum nur verlangsamt wachsen.

Moderater Beschäftigungseinfluss

Die Erfahrungen aus der Finanzkrise zeigen, dass Unternehmen bei einer Knappheit an qualifizierten Arbeitskräften bemüht sind, Produktionsrückgänge nicht unmittelbar auf die Beschäftigung durchschlagen zu lassen. Daher ist in der Stahlindustrie für 2012 nur ein moderater Rückgang der Beschäftigung um 1,4 % zu erwarten. Dies impliziert einen Produktivitätsrückgang um 6,5 %, der jedoch voraussichtlich nur vorübergehend hingenommen werden wird.

Auch der internationale Stahlmarkt hatte sich von dem Einbruch während der Rezession rasch erholt. Bereits im März 2010 übertraf die weltweite Rohstahlerzeugung das Vorkrisenniveau. Entscheidend hierfür war die kräftige Zunahme der

chinesischen Produktion. In den fortgeschrittenen Volkswirtschaften lag die monatliche Stahlerzeugung hingegen bis zuletzt unter der vor der Rezession. Im Januar 2011 scheint die globale Rohstahlproduktion ihren Höhepunkt überschritten zu haben. Ursache hierfür war zum einen, dass die Industrieproduktion weltweit weniger stark wuchs. Zum anderen scheint die Stahlerzeugung stärker auf konjunkturelle Verlangsamung zu reagieren als früher. Trotzdem blieben die Preise für die Rohstoffe der Stahlindustrie hoch, die Notierungen für Eisenerz und Schrott befinden sich sogar nahe dem historischen Höchststand. Beim Eisenerz ist der hohe Preis überwiegend auf die Marktmacht weniger Anbieter zurückzuführen, hinzu kommt der hohe Zeit- und Kostenaufwand, um neue Lagerstätten zu erschließen. Trotz flauer Nachfrage dürften die Preise daher kaum sinken.

Das RWI rechnet für 2011 und 2012 mit einer zwar anhaltenden, aber schwachen Expansion der Weltwirtschaft. Entsprechend dürfte die weltweite Nachfrage nach Stahl nur verhalten zunehmen. Für den Jahresdurchschnitt 2011 zeichnet sich zwar ein Plus bei der Rohstahlerzeugung von knapp 8 % ab. Dieses resultiert aber allein aus dem hohen statistischen Überhang und dem kräftigen Zuwachs zu Jahresbeginn, während aktuell die Erzeugung leicht sinkt. Für das kommende Jahr ist mit einer allmählichen Produktionsausweitung zu rechnen, da die dämpfenden Effekte in Japan wohl wegfallen werden und wieder mit einem allmählichen Lageraufbau zu rechnen ist. Allerdings dürfte die Zunahme mit etwa 5 % im Jahresdurchschnitt verhalten bleiben. Treibende Kraft werden wohl die Schwellenländer bleiben, während sich in den fortgeschrittenen Volkswirtschaften, angesichts der dort schwachen gesamtwirtschaftlichen Expansion, eher eine Fortsetzung des Produktionsrückgangs abzeichnet.

BASF Dr. **Robert Blackburn** (43) wird zum 1. Januar 2012 als President neuer Leiter des BASF-Kompetenzzentrums Information Services mit Sitz in Ludwigshafen. Blackburn ist derzeit als Senior Vice President für Global Supply Chain & Process Innovation zuständig.

ELGA LABWATER **Stephan Wagner** (37) übernimmt die Verantwortung für die Aktivitäten von ELGA LabWater in Deutschland. Der neue Geschäftsbereichsleiter für den Bereich Reinstwasser für Labor und Medizintechnik, ist bereits seit 1994 im Unternehmen tätig. Seit 2005 arbeitet er im Bereich Reinstwasser von ELGA LabWater, zunächst verantwortlich für den Service, später als Leiter des Innendienstes und als Key-Account-Manager. ELGA LabWater ist Teil von Veolia Water Solutions & Technologies.

KOELNMESSE **Katharina C. Hamma** (45) ist neuer Chief Operating Officer (COO) der Koelnmesse. Sie wird operativ für das gesamte Messeprogramm am Standort Köln sowie für den Vertrieb und die Marktservices verantwortlich zeichnen. Etwa die Hälfte der rund 500 Kölner Mitarbeiter des Unternehmens ist in diesen Bereichen tätig. Sie komplettiert die Führungsspitze der Koelnmesse, zu der außerdem Messechef Gerald Böse als Vorsitzender der Geschäftsführung (CEO) und Herbert Marner als Chief Financial Officer (CFO) gehören.

LANXESS Der Unternehmensbereich Controlling des Spezialchemie-Konzerns LANXESS bekommt einen neuen Leiter: Zum 1. Januar 2012 wird **Michael Pontzen**, bislang Leiter des Bereichs Corporate Finance innerhalb der Group Function Treasury, die Leitung der Group Function Controlling übernehmen. Joachim Christ, bisheriger Leiter des Bereichs, wird das Unternehmen zum 31. Dezember 2011 auf eigenen Wunsch verlassen.



Drieß



Wagner



Meyer-Blazejewska



Hamma



Kläui



Meister



Pontzen

EHRUNGEN

Der Molekularbiologe Dr. **Bengt-Frederik Belgardt** erhält den **Deutschen Studienpreis** der Körber-Stiftung. Der Preis ist mit 30 000 Euro dotiert. Belgardt hat seine Doktorarbeit an der Universität zu Köln vorgelegt, wies nach, welche molekularen Signalwege im Gehirn Nahrungsaufnahme, Körpergewicht und Blutzuckerspiegel regulieren. Seine Erkenntnisse bieten neue Ansatzpunkte für Therapien gegen die Volkskrankheiten Diabetes mellitus und Adipositas (starkes Übergewicht).

Wie man mit Stammzellen aus Haarfollikeln Schäden an der Hornhaut des Auges heilen kann, damit beschäftigt sich Dr. **Ewa Meyer-Blazejewska**, Forscherin an der Augenklinik des Universitätsklinikums Erlangen. Für ihre wissenschaftliche Arbeit wird die 32-jährige Molekularbiologin jetzt mit dem Nachwuchsforscherpreis der renommierten internationalen Fachzeitschrift „**Stem Cells**“ ausgezeichnet. Der Preis ist mit 10 000 Euro dotiert und wird einmal jährlich an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für eine Publikation von weltweiter Bedeutung vergeben.

Der **Klung-Wilhelmy-Weberbank-Preis** des Jahres 2011 geht an den Physik-Professor **Dieter Braun**. Der Wissenschaftler der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München erhält die mit 100.000 Euro dotierte Auszeichnung für seine Erkenntnisse über die Entstehung des Lebens auf der Erde vor mehr als drei Milliarden Jahren. Im Rahmen seiner Arbeit gelang es ihm, mehr über die Bedingungen herauszufinden, unter denen sich in heißen Unterwasserquellen auf dem Grund der Meere zunächst aus anorganischen Stoffen – etwa Schwefel, Eisen und Wasserstoff – organische Verbindungen bilden konnten, wie sich diese konzentrierten und somit Bausteine für Zellen entstehen konnten.

Für seine wegweisenden wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Siliciumchemie wurde Prof. Dr. **Matthias Drieß** vom Institut für Chemie der TU Berlin mit dem **Wacker Silicone Award 2011** ausgezeichnet. Der mit 10 000 Euro dotierte Preis gehört zu den bedeutendsten internationalen Auszeichnungen auf dem Gebiet der Siliciumchemie und wird alle zwei Jahre durch die Wacker Chemie AG vergeben. Drieß, der Sprecher des Berliner Exzellenzclusters „Unifying Concepts in Catalysis“ (UniCat) ist, erhielt die Auszeichnung für seine zukunftsweisenden Arbeiten auf dem Gebiet niedervalenter Siliciumverbindungen. Diese Stoffe stellen heute aufgrund ihrer Isolierbarkeit und ihres Reaktivitätsverhaltens vielversprechende Bausteine der siliciumorganischen Chemie dar.

Vor knapp einem Jahr hat **Laurens Molenkamp** für die Entdeckung des Quanten-Spin-Hall-Effekts den Europhysics-Preis erhalten. Jetzt hat die American Physical Society dem Würzburger Physiker für die gleiche Arbeit den **Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize 2012** zuerkannt. Damit zeichnet die Gesellschaft alljährlich Physiker für bedeutende Arbeiten auf dem Gebiet der Festkörperphysik aus. Die Gesellschaft würdigt damit die theoretische Vorhersage und die erstmalige experimentelle Beobachtung des Quanten-Spin-Hall-Effektes und topologischer Isolatoren (siehe dazu den Artikel in CLB 08/09-2011 über Spintronik).

Für seine herausragenden Arbeiten zum Verständnis der Funktion von nicht-kodierender RNA wird Prof. Dr. **Gunter Meister** vom Institut für Biochemie, Mikrobiologie und Genetik der Universität Regensburg mit dem **Young Investigator Award 2011** ausgezeichnet. Der mit 10 000 Euro dotierte Preis wird alle zwei Jahre durch die Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie, Frankfurt/Main, verliehen und von der Schering Stiftung, Berlin, gefördert.

Lebensmittelchemie: Roßmann-Preis

Anlässlich des Deutschen Lebensmittelchemiker-Tages vom 17.-19. September 2012 in Münster wird die Lebensmittelchemische Gesellschaft – Fachgruppe in der GDCh – wieder den „Bruno-Roßmann-Preis“ verleihen. Der Preis besteht aus einer Urkunde, dem Bild und dem Lebenslauf des Stifters und 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, wenn z.B. die technischen Apparaturen aus äußeren Gründen nicht mehr einsatzfähig sind; Verbesserung der Ernährung, Ausschaltung von Schadstoffen, bessere physiologische Ausnutzung. Erläuterungen zu einzelnen Begriffen finden sich in der Ankündigung über die Stiftung des Bruno-Roßmann-Preises in *Lebensmittelchemie* 45, Heft Nr. 5 (1991).

Jüngere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden eingeladen, sich um den Bruno-Roßmann-Preis zu bewerben. Dazu müssen jeweils vier Exemplare einer Arbeit aus den o.g. Gebieten, abgefaßt in deutscher oder englischer Sprache, einer einseitigen deutschen Zusammenfassung und Unterlagen über den wissenschaftlichen Werdegang eingereicht werden. Außerdem können von dritter Seite geeignete Arbeiten vorgeschlagen werden, wenn die entsprechenden Unterlagen beigelegt sind.

Über die Preiswürdigkeit der eingereichten oder benannten Arbeiten entscheidet eine Gutachtergruppe, der Prof. Dr. Reinhard Matissek, Köln (Vorsitz), Dr. Georg Schneiders, Recklinghausen und Prof. Dr. Wolfgang Schwack, Hohenheim angehören. Bewerbungen und Vorschläge werden bis zum **15. April 2012** erbeten an den Vorsitzenden der Lebensmittelchemischen Gesellschaft, Postfach 90 04 40, 60444 Frankfurt.

Analytische Spektroskopie

Der DASp - Deutscher Arbeitskreis für Angewandte Spektroskopie - vergibt regelmäßig den „Bunsen-Kirchhoff-Preis für analytische Spektroskopie“, um herausragende Leistungen vor allem jüngerer Wissenschaftler aus Universitäten, Forschungsinstituten oder der Industrie in der analytischen Spektroskopie auszuzeichnen. Besonders erwünscht ist ein Oeuvre in neuen Gebieten, wie Spektroskopie im Nanobereich, Spektroskopie an Biomolekülen usw. Der von der Firma Perkin Elmer mit 2500 Euro ausgestattete Preis soll für das Jahr 2012 wieder verliehen und auf der Analytica, im April 2012 in München übergeben werden.

Nominierungen können gemacht werden durch Mitglieder des DASp, wobei jedoch jeder Wissenschaftler der die Bedingungen erfüllt nominiert werden kann.

Eine Selbstnominierung ist ausgeschlossen. Die Entscheidung zur Verleihung trifft der amtierende Vorstand des DASp. Weitere Informationen unter: <https://www.gdch.de/netzwerk-strukturen/fachstrukturen/analytische-chemie/arbeitskreise/ak-dasp.html>. Den Vorschlag bitte bis zum **31. Dezember 2011** senden an: Prof. Detlef Günther, Vorsitzender der Jury für den Bunsen-Kirchhoff-Preis 2012, Laboratorium für Anorganische Chemie, ETH Höggerberg, HCI, CH-8093 Zürich (Schweiz) (detlef.guenther@inorg.chem.ethz.ch)

Gute Wissenschaftskommunikation

Zum 13. Mal schreibt die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) den Communicator-Preis, Wissenschaftspreis des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft, aus. Dieser persönliche Preis ist mit 50000 Euro dotiert und wird an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vergeben, die sich in herausragender Weise um die Vermittlung ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse in die Öffentlichkeit bemüht haben.

Der Preis kann sowohl an einzelne Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als auch an eine Gruppe von Forschern verliehen werden, die in einem der Zielsetzung entsprechenden Projekt zusammengearbeitet haben. Größere Einheiten, wie Fakultäten oder ganze Universitäten mit ihren Kommunikationsstrategien, können nicht berücksichtigt werden. Die Preisträger müssen im deutschen Sprachraum tätig sein. Selbstbewerbungen und Vorschläge sind möglich. Den Bewerbungen müssen aussagefähige Unterlagen für die Vermittlungsleistung beigelegt sein (maximal 50 Seiten als repräsentativer Querschnitt der Gesamtarbeit, die der Jury ein Urteil ermöglichen). Bei Selbstbewerbungen ist die schriftliche Einschätzung eines zweiten Wissenschaftlers erforderlich. Von jedem Bewerber wird darüber hinaus ein Lebenslauf benötigt.

Wissenschaftliche Arbeiten und Vermittlungsaktivitäten müssen klar getrennt sein. Bewerbungen auf der Grundlage nur eines Projekts sind nicht möglich. Wir bitten nach Möglichkeit um Zusendung der Unterlagen in digitaler Form.

Bei der Zusendung von Audio- oder Videokassetten soll nur eine Kassette eingereicht werden und nur dann, wenn der Vorgeschlagene selbst Autor ist.

Über die Vergabe entscheidet eine Jury aus Kommunikationswissenschaftlern, Journalisten, PR-Fachleuten sowie ausgewählten Wissenschaftlern. Als Maßstab gelten die bisherigen Preisträgerinnen und Preisträger, die sich durch die Breite und Nachhaltigkeit ihrer Vermittlungsarbeit auszeichnen.

Bitte Vorschläge bis spätestens zum **31. Dezember 2011** bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bereich Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Kennedyallee 40, 53175 Bonn, einreichen.

Hoch reißfest und extrem dehnbar

Spinnenseide – eine uralte Erfindung der Natur für modernste Materialien

Mechthild Kässer, Diekholzen

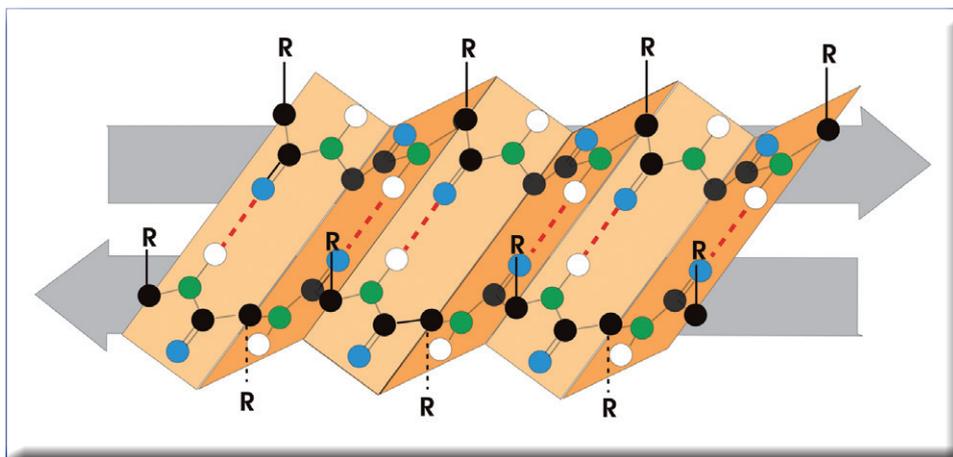


Abbildung 1: Struktur eines antiparallelen β -Faltblatts (nach [10]). β -Faltblätter bestehen aus meist bis zu sechs einzelnen Proteinfasern (etwa 6-15 Aminosäuren lang), die sich parallel zueinander anordnen und über Wasserstoffbrücken verbinden und stabilisieren. Optimale Ausrichtung der Wasserstoffbrücken und Vermeidung sterischer Hinderungen zwingt der Aminosäurekette eine zieharmonikaartige Faltung auf. Oft liegen mehrere Faltblätter übereinander geschichtet vor. Die Aminosäurereste stehen nach oben und unten ab. Nur Reste wie die von Glycin, Alanin oder Serin sind klein genug, um sich und die ganze Anordnung nicht zu stören. Daher kommen sie in dieser Sekundärstruktur besonders häufig vor. Die Pfeile geben die Richtung der Polypeptidstränge an, die jeweils vom Amino- zum Carboxylende zeigen. Gleichgerichtete Stränge heißen parallel, nicht gleichgerichtete antiparallel (alle Abbildungen und Fotos: Kässer).

Kurz gefasst: Spinnenseide

- Spinnenseide, ein Eiweiß, zählt zu den dehnbarsten, zugfestesten und stabilsten Polymeren, die wir kennen.
- Die Sekundärstruktur erklärt die außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften: α -Helices und Spiralen aus β -Schleifen verleihen Elastizität, kristallartige β -Faltblättern Festigkeit.
- Die technische Herstellung von Spinnenfäden gelang erst durch Nachahmung des Spinnvorgangs des natürlichen Vorbilds.
- Anwendung finden die Produkte aus Spinnenseide vor allem in Medizin, Pharmazie, Kosmetik, Lebensmittelindustrie und neuen Materialien.



Die Autorin:

Die promovierte Lebensmittelchemikerin Dr. Mechthild Kässer begeistert sich für Themen der Biologie, Medizin, Biochemie und Gentechnik. Sie ist langjährige Korrespondentin der CLB.

Die Natur ist eine Fundgrube für außergewöhnliche Materialien, die unsere synthetisch hergestellten Werkstoffe bei weitem übertreffen und unsern Alltag erleichtern und bereichern können. Spinnenseide ist ein solcher Stoff. Seine Fäden zeichnen sich durch hohe Reißfestigkeit aus und sind gleichzeitig extrem dehnbar. Diese Kombination geschätzter mechanischer Eigenschaften wurde noch in keiner Kunstfaser erreicht, hätte aber viele Anwendungen wie z. B. für kugelsicheres Gewebe, reißfeste Fallschirme oder elastische Airbags. Das Interesse

an dem begehrten Naturstoff besteht ungebrochen, auch in den fast 30 Jahren, die es dauerte, bis die Hindernisse auf dem Weg zur technischen Gewinnung überwunden wurden.

Über Millionen von Jahren haben Spinnen den Bau ihrer Fangnetze vervollkommen. Das Ergebnis ist beeindruckend. Wer schon einmal gegen ein Spinnennetz gelaufen ist oder Bekanntschaft mit einem im Wind treibenden Spinnenfaden gemacht hat, weiß wie stark und zäh dieser Hauch von Gespinst ist. Zugleich können sich die Fäden der Netze auf mehr als das Dreifache ihrer Länge dehnen und die Energie der fliegenden Beute aufnehmen. Sie bremsen das Insekt vollständig ab, so dass es weder Schaden nimmt noch – wie bei einem Trampolin – vom Netz zurückgeschleudert wird. Ein Kleber, den die Spinne auf ihre Fangfäden aufträgt, verhindert außerdem, dass sich die Opfer befreien können.

Eigenschaften

Übersetzt in technische Daten, die aus Belastungstests stammen, sehen die einzigartigen Eigenschaften der Spinnenseide folgendermaßen aus: Die Energie, die man braucht, um eine Spinnewebe zu zerreißen, liegt fast fünfmal so hoch wie bei einem gleichdicken Stahlseil und mehr als dreimal so hoch wie bei der sehr zähen und schlagfesten Kunstfaser Kevlar (aromatisches Polyamid aus para-Phenylendiamin und Terephthalsäure). Damit zählt Spinnenseide, die zehnmal dünner ist als ein Haar, zu den dehnbarsten, zugfestesten und stabilsten Fäden, die wir kennen. Zugleich ist sie elastischer als Gummi, sehr leicht und wasserfest und kann ähnlich wie Wolle

viel Wasser aufnehmen. Insgesamt vereint Spinnenseide damit beehrte Qualitäten wie kein anderer Werkstoff.

Biologisch gesehen verträgt sich das Supermaterial ausgezeichnet mit Körpergewebe. Es ist für das Immunsystem unsichtbar und wird von unsern Enzymen allmählich abgebaut. Verständlich, dass auch Medizin und Pharmazie großes Interesse zeigen. Spinnenseide käme als chirurgisches Nahtmaterial in Frage, als Wundabdeckung, Überzug für Implantate, als Unterlage für siedelnde Zellen in der Gewebezüchtung oder als Hüllkapsel für Medikamente.

Bau der Spinnenseide

Noch spannender als die ungewöhnlichen Eigenschaften der Spinnenseide ist die Frage, wie die Fäden aufgebaut sein müssen, um solche Fähigkeiten zu erreichen. Spinnen besitzen mehrere Spinnrüden, in denen sie verschiedene Arten Seide herstellen, die eine fester – wie der äußere Ring des Radnetzes oder der besonders robuste Faden, mit dem sich Spinnen blitzschnell abseilen – die andere elastischer, wie die Fäden im Netzinernen. Alle bestehen aus einer Mischung von Eiweißen.

Bei der Untersuchung ihrer Aminosäure-Sequenz fällt auf, dass die vier Bausteine L-Glycin (G), L-Alanin (A), L-Glutamin (Q) und L-Prolin (P) überdurchschnittlich oft vorkommen. Charakteristisch für Spinnenseide sind auch die Wiederholungen von Motiven aus 10-15 Aminosäuren, die bis zu 100 Mal aufeinander folgen. [1] So findet man gehäuft Bereiche aus reinem Alanin (Poly-A) bzw. aus Glycin-Alanin-Folgen (Poly-GA), ebenso Motive aus GGX (X steht für eine andere Aminosäure) oder GP-GXX. Sie alle prägen die mechanischen Eigenschaften der Proteinfäden über die Art, wie sie sich im Raum auffalten (Sekundärstruktur). Poly-A und Poly-GA etwa lagern sich zu antiparallelen β -Faltblättern (Abbildung 1) zusammen, in denen eine fast kristalline Ordnung herrscht. Sie verleihen den Spinnenfäden Festigkeit. Eingebettet sind sie in eine Umgebung aus amorphen Eiweißstrukturen, gebildet von den beiden anderen Motiven, die als α -Helices (Abbildung 2) bzw. Spiralen aus β -Schleifen (Abbildung 3) Dehnbarkeit und Elastizität vermitteln. [2]

Wie sich die kristallähnlichen Abschnitte der Spinnenseide beim Dehnen verändern, untersuchten Forscher an der Georg-August-Universität in Göttingen mittels Röntgenstrahlen. [3] Mit zunehmender Dehnung, so deuteten sie die beobachteten Beugungsmuster, richten sich die Kristallite in Zugrichtung aus und falten sich auf. Dabei müssen Wasserstoffbrücken aufbrechen. Wie viel Energie dieser Vorgang schluckt, schätzen die Wissenschaftler auf etwa zwei Drittel der Energie, die sie zum Dehnen des Spinnfadens aufgewandt hatten.

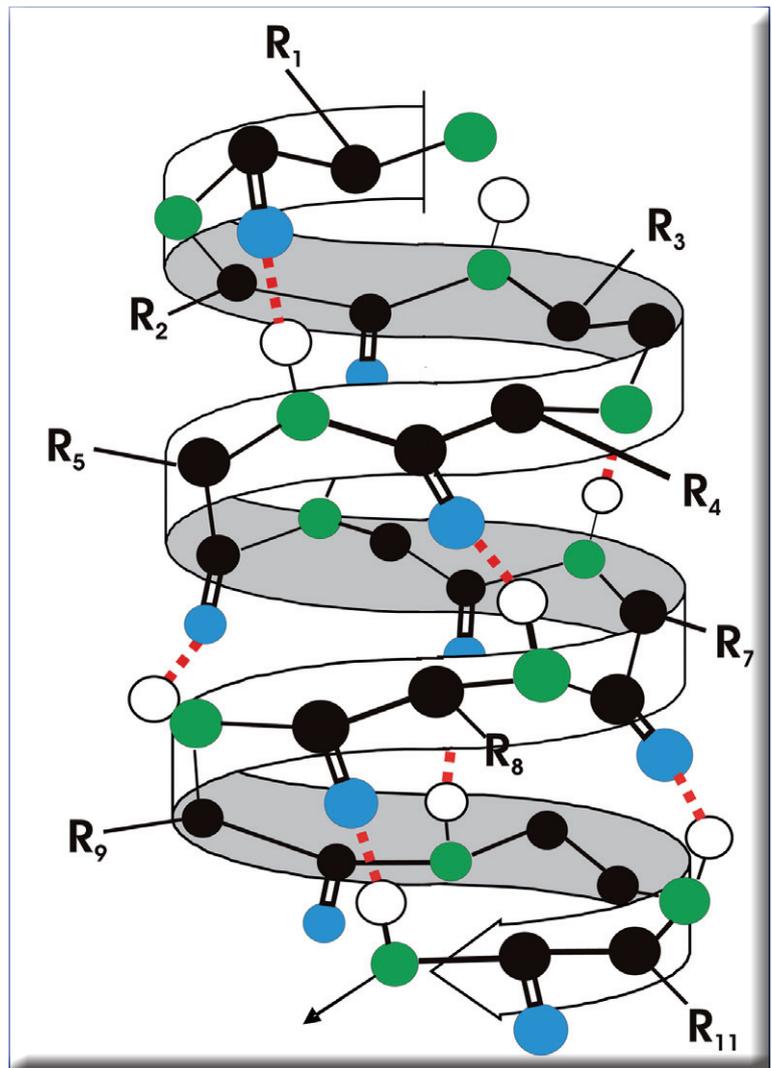


Abbildung 2: Struktur einer α -Helix (nach [11]). Die α -Helix ist die häufigste spiralförmig angeordnete Polypeptidkette. Sie ist rechts-spiralig und enthält pro Windung 3,6 Aminosäuren. Stabilisiert wird sie durch Wasserstoffbrücken zwischen benachbarten Windungen: zwischen Carbonylgruppe einer Aminosäure (n) und Aminogruppe der viertfolgenden Aminosäure (n+4). Einige H-Atome und Reste R sind, um Übersichtlichkeit zu gewährleisten, nicht eingezeichnet.

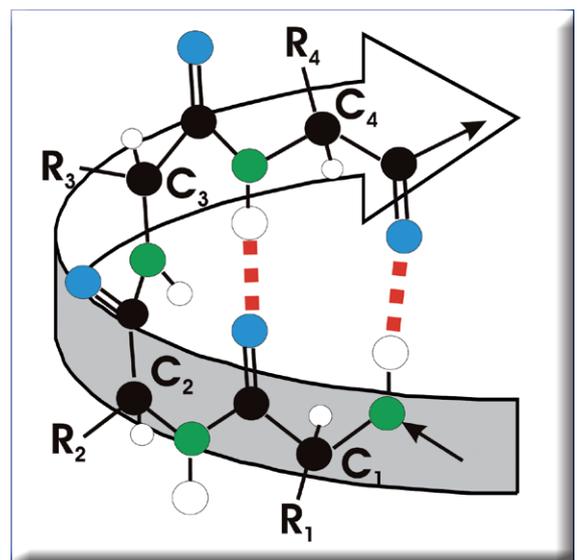


Abbildung 3: Struktur einer β -Schleife (nach [12]) β -Schleifen bilden Haarnadelkurven in der Polypeptidkette. Anders als β -Faltblätter werden sie durch innermolekulare Wasserstoffbrücken in Form gehalten. Verknüpft sind Amino- und Carbonylgruppe einer Aminosäure (n) mit jeweils der Carbonyl- und Aminogruppe der drittfolgenden Aminosäure (n+3) (Abbildungen: Käser).



Abbildung 4: Die Gartenkreuzspinne *Araneus Diadematus* lauert ihrer Beute in der Mitte ihres Radnetzes auf. Obwohl häufig zu finden, gehört sie zu den geschützten Arten (siehe dazu auch das Titelbild).

Die beeindruckende Reißfestigkeit lässt sich also damit erklären, dass zunächst die spiraligen Bereiche des Spinnfadens nachgeben und sich dehnen. Bevor sie bei größerer Belastung reißen, nehmen β -Faltblätter die Energie auf, indem sie sich im molekularen Bereich umstrukturieren. Diese nicht elastischen Verformungen wären demnach der Grund, dass auftreffende Insekten abgebremst, aber nicht zurückgeschleudert werden.

Technische Herstellung

Schon die ersten Untersuchungen des Hochleistungswerkstoffes Spinnenseide waren begrenzt durch die geringen, zur Verfügung stehenden Mengen. Eine großtechnische Gewinnung scheiterte zunächst an den Eigenheiten der Achtbeiner selbst, die als Nutztiere ungeeignet sind, denn Gefangenschaft schmälert die Spinnlust der Tiere und Massenhaltung scheidet wegen ihrer kannibalischen Lebensweise ganz aus. Nach der Entschlüsselung der Seiden-Gene vor zehn Jahren ging man daher dazu über, andere Lebewesen für die Produktion einzuspannen.

Forschern des Instituts für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben gelang es, die

Seiden-Gene der Goldnetzspinne *Nephila clavipes* in Tabak- und Kartoffelpflanzen zu übertragen und relativ hohe Erträge an Spinnenproteinen, zwei Prozent des Gesamteiweißes, zu ernten. [4] Die kanadische Firma Nexia Biotech setzte auf Zellen aus Kuheutern oder Hamstern, die von Natur aus große Eiweißmengen herstellen und ausschütten. Die Aufarbeitung gestaltete sich jedoch schwierig und die aus wässriger Lösung gesponnenen Fäden zeigten nicht die erhoffte Festigkeit. [5]

Besonders ausdauernd widmete sich die Gruppe um T. Scheibel von der TU München, heute Uni Bayreuth, der gentechnischen Herstellung von Spinnenseide. Nach Erfahrungen und ermutigenden Versuchen mit Schmetterlingszellen brachte ein Verfahren mit dem Darmbakterium *E. coli* einen ersten großen Erfolg. Es gelang, zwei Spinneneiweiße des besonders stabilen Abseilfadens der Gartenkreuzspinne *Araneus Diadematus* (Abbildung 4) im Kilogramm-Maßstab zu gewinnen – 1000 L Bakteriensuspension liefern etwa 1 kg Spinneneiweiß. Da *E. coli* als Lebewesen ohne Zellkern andere Wege der Proteinsynthese geht, mussten die beiden ausgewählten Gene künstlich nachgebaut und so abgewandelt werden, dass die Mikroorganismen sie in Eiweiße übersetzen konnten. [6]

Auf dem Weg vom Rohprotein zur technischen Faser tauchte eine weitere Hürde auf: das Verspinnen der klebrigen Eiweißlösung zu Fäden brachte nur unbefriedigende Ergebnisse, was Reißfestigkeit und Elastizität anging. Daher machten sich die Forscher daran, die natürlichen Vorgänge in Spinnendrüse und Spinnkanal zu untersuchen. Sie fanden (Abbildung 5), dass die Eiweiße in der Drüse in sehr konzentrierter Form (bis zu 50 %) bei hohem Salzgehalt in Lösung gehalten werden und auf ihrem Weg durch den wenige hundert Mikrometer dünnen Spinnkanal in feste Fasern umgewandelt werden. Voraussetzung für den Übergang flüssig-fest ist ein Austausch der Na^{+} - und Cl^{-} -Ionen gegen K^{+} - und PO_4^{-} -Ionen sowie das Absenken des pH-Werts von 8 auf 6 [7]. Außerdem muss eine Dehnströmung erzeugt werden, die die Spinnen dadurch erreichen, dass sie den Faden mit ihren Beinen aus der Drüse herausziehen. Unter diesen Bedingungen werden die Eiweißmoleküle in die Länge gestreckt und parallel ausgerichtet. Nun kommen auch chemische und physikalische Wechselwirkungen zum Zuge und vernetzen die einzelnen Moleküle zu einer haltbaren Faser. [8] Wie dies im Einzelnen geschieht, darüber wird noch weiter geforscht.

Anwendungen

Bisher sind alle Versuche gescheitert, Fäden ähnlicher Festigkeit wie die der natürlichen Spinnenseide technisch zu gewinnen (Abbildung 6). Es lässt sich aber mit gentechnisch hergestelltem Spinneneiweiß schon etwas anfangen, indem man es in andere Formen bringt und zu feinsten Kugeln, zu Folien, Vliesen, Schaum oder Kapseln verarbeitet.

Die Amsilk GmbH, eine Ausgründung der TU München zur Vermarktung von Spinnenseide, entwickelt eine Reihe interessanter Erzeugnisse: besonders verträgliche Be-

schichtungen für Implantate sowie feinste Seidenpartikel, die Kosmetika seidigen Glanz geben und dank des hohen Wasseraufnahmevermögens Feuchtigkeit spenden. Weitere Spinnenseiden-Produkte sind abbaubare Kapseln, die Medikamente im Körper langsam freisetzen oder Aromen in Lebensmitteln schützen, Spezialfolien für Membranen und Filter sowie Vliesstoffe für Filter in Medizin und Industrie.

Bei geschickter Auswahl und Zusammenstellung der Eiweiß-Gene bzw. der Gen-Abschnitte für E.coli ist es in Zukunft möglich, die Eigenschaften der Spinneneiweiße nach Wunsch und Bedarf zu variieren und den jeweiligen Anforderungen anzupassen.

Insbesondere in der Medizin hat Spinnenseide gute Aussichten, sich einen festen Platz zu erobern. Sie könnte z. B. zur Heilung von durchtrennten Nerven des peripheren Nervensystems beitragen. Ein Verfahren, das Forscher der Medizinischen Hochschule Hannover entwickelt haben, nutzt eine Vene des Patienten mit eingezogenem Spinnfaden als Tunnel und Platzhalter für die neu ausspießenden Nerven, die sich wieder verbinden sollen. In Versuchen an Ratten und Schafen wachsen die Nerven langsam genau entlang der innen liegenden Spinnenseide zusammen, die nicht nur antibakteriell wirken, sondern sogar das Nervenwachstum anregen soll. [9]

Die Träume der Forscher fliegen aber noch weiter zu neuartigen Verbundmaterialien, in denen ein Zusatz an spinnenseideartigen Proteinen z. B. Metallen, Beton oder Zement bisher nicht erreichte Eigenschaften verleihen. **CLB**

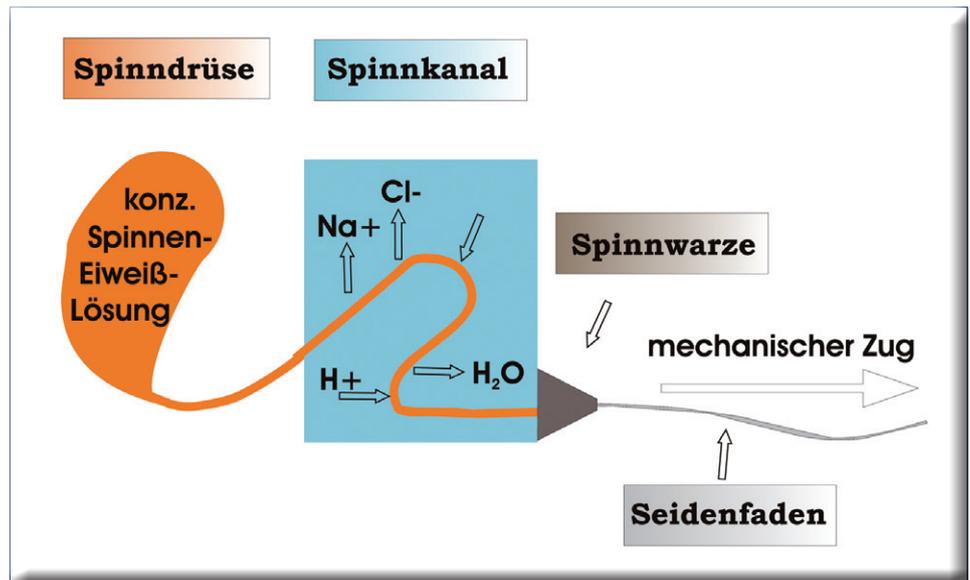


Abbildung 5: Spinnvorgang der Spinnen (nach [13]).

[6] Joachim Eiding, Spinnfäden aus der Retorte, Spektrum der Wissenschaft, Juli 2005 S. 12-13

[7] T. Scheibel, Die amphiphilen Eigenschaften von Spinnenseidenproteinen sind entscheidend für ihr Verspinnen, Angewandte Chemie 119 (2007) Heft 19, S. 3629–3632

[8] S. Rammensee, U. Slotta, T. Scheibel, A. R. Bausch, Assembly mechanism of recombinant spider silk proteins, PNAS 105 (2008) S. 6590-95

[9] www.bionity.com/news/d/71535

[10] <http://www.chemie-im-alltag.de/articles/0040/index.html>

[11] <http://www.uic.edu/classes/bios/bios100/lecturesf04am/alpha-helix.jpg>

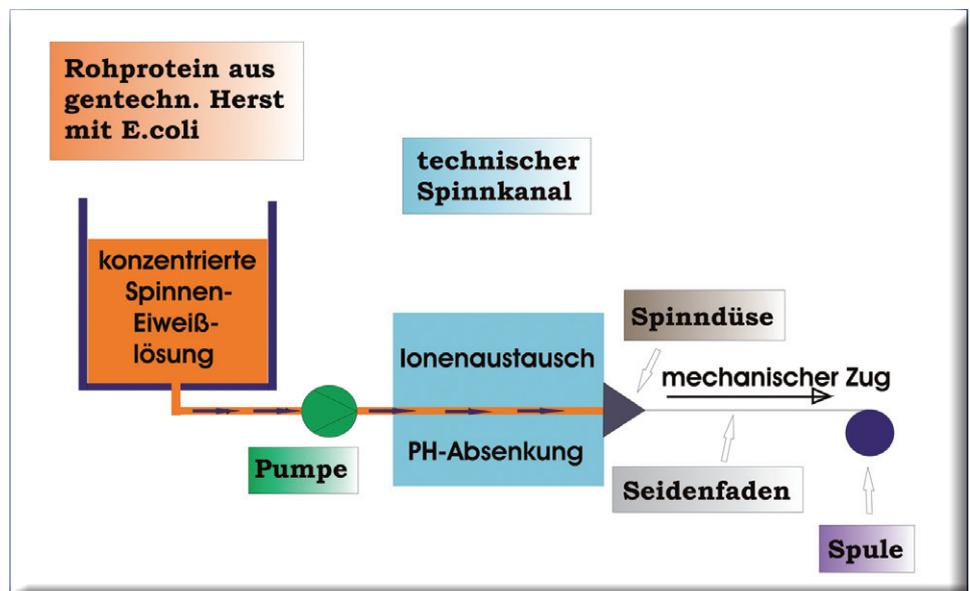
[12] http://www.lcomputer.de/scripte/pdf/biologchem_einfuehrung-proteine.pdf

[13] T. Scheibel, Spinnenseide – was Spiderman wissen sollte, Biospektrum 01.09

Abbildung 6: technisch nachgebildeter Spinnvorgang mit gentechnisch hergestelltem Spinneneiweiß (nach [13]).

Quellen:

- [1] http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/proteine_spinne/spinnenseide.htm
- [2] John M. Gosline, Silk Properties Determined by Gland-Specific Expression of a Spider Fibroin Gene Family, Science 272 (1996) S. 112-115
- [3] Structure Changes in Nephila Dragline: The Influence of Temperature, Humidity and Mechanical Load, Dissertation Anja Glisovic, Göttingen 2007
- [4] J. Scheller, K-H. Gührs, F. Grosse, U. Conrad, Production of spider silk proteins in tobacco and tomato, Nature Biotechnology 19 (2001) S. 573-77
- [5] Lazaris et al., Spider Silk Fibers Spun from Soluble Recombinant Silk Produced in Mammalian Cells, Science 295 (2002) S. 472-476



Wider jede Vorstellungskraft

Nobelpreis für die Entdeckung der Quasikristalle an Daniel Shechtman

Rolf Kickuth, Gaiberg

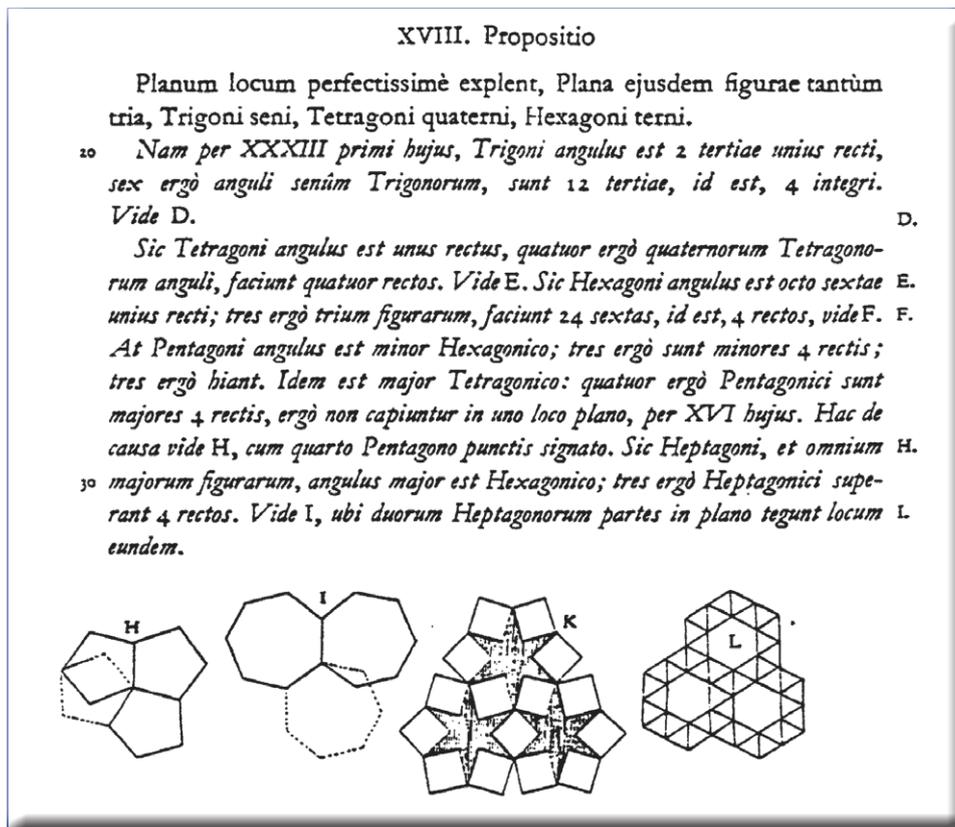


Abbildung 4: Aus Keplers „Weltharmonik“ von 1619. XVIII. Satz: Der ebene Raum lässt sich aufs vollkommenste nur auf dreierlei Weise mit ein und derselben ebenen Figur ausfüllen: Mit jeweils 6 Dreiecken, 4 Vierecken oder 3 Sechsecken. Denn nach Buch 1 Satz XXXIII ist der Winkel des Dreiecks $\frac{2}{3}$ Rechte; also sind 6 Winkel von 6 Dreiecken zusammen $\frac{12}{3}$ oder 4 Ganze. Siehe Figur D. Ebenso ist der Viereckswinkel 1 Rechte; die 4 Winkel von je 4 Vierecken bilden also zusammen 4 Rechte; siehe Figur E. Ferner ist der Sechseckswinkel $\frac{8}{6}$ Rechte; also bilden die 3 Winkel von je 3 solcher Figuren $\frac{24}{6}$ oder 4 Rechte; siehe Figur F. Der Fünfeckswinkel jedoch ist kleiner als der Sechseckswinkel; daher sind 3 kleiner als 4 Rechte, sie lassen also eine Lücke. Andererseits ist der Fünfeckswinkel größer als der Viereckswinkel; daher sind 4 Fünfeckswinkel größer als 4 Rechte, sie haben also um einen Punkt herum in der Ebene keinen Platz, nach Satz XVI. Siehe dazu Figur H, wo das vierte Fünfeck punktiert gezeichnet ist. In gleicher Weise ist der Winkel im Siebeneck und in allen größeren Figuren größer als der im Sechseck; also sind drei Siebeneckswinkel zusammen größer als 4 Rechte. Siehe Figur J, wo Teile von zwei Siebenecken denselben Raum in der Ebene bedecken.



Abbildung 1: Nobelpreisträger 2011 für Chemie: Daniel Shechtman (Abb.: Nobelpreis-Organisation).

Daniel „Dan“ Shechtman, geboren 1941 in Tel Aviv, bekommt in diesem Jahr den Nobelpreis für Chemie für seine Entdeckung der Quasikristalle (Abbildung 1). Zu Anfang seiner Forschung hielt man seine Ergebnisse jedoch für falsch. Der Nobelpreisträger Linus Pauling beispielsweise soll noch bis zu seinem Tode 1994 öffentlich behauptet haben, „der Shechtman erzählt Unsinn“. Heute gibt es mehrere hundert bekannte quasikristalline Verbindungen.

Der Autor
Rolf Kickuth ist
Verleger der CLB.

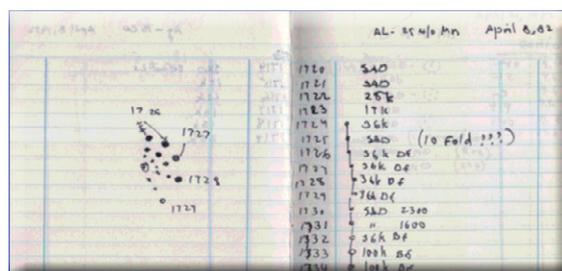


Abbildung 2: Das Notizbuch von Dan Shechtman vom 8. April 1982 zeugt von seiner Entdeckung der Quasikristalle an jenem Tag. Man beachte die Unsicherheit, ausgedrückt durch drei Fragezeichen hinter der Notiz „zehnfach“ (Abb.: Nobelpreis-Organisation).

Häufig findet man als Entdeckungsjahr der Quasikristalle 1984 genannt; in jenem Jahr erfolgte die entsprechende Veröffentlichung [1]. Das Nobelkomitee betonte jedoch, die Entdeckung sei auf den Tag zu bestimmen (Abbildung 2): Am Morgen des 8. April 1982 entdeckte Shechtman an einer Aluminium-Mangan-Legierung (die von ihm untersuchten Legierungen enthielten 10 - 14 % Mn), die er schnell aus der Schmelze heraus abgekühlt hatte, bei Elektronenstrahl-Beugungsexperimenten ein zehnzähliges Beugungsmuster (Abbildung 3). Dies stand so im Widerspruch zu allen Kenntnissen der Kristallographie, dass der Chef des US National Institute of Standards and Technology, an dem der Israeli zu jener Zeit arbeitete, ihm nahelegte, die Arbeitsgruppe zu verlassen. Und nicht nur das: Eine erste Veröffentlichung wurde – offiziell wegen mangelnder Relevanz für die Wissenschaft – im Sommer 1984 vom *Journal of Applied Physics* zurückgewiesen. Erst im November gelang es Shechtman, zusammen mit Cahn, Blech und Gratias, seine Daten in den *Physical Review Letters* zu veröffentlichen. Wie eine Bombe schlug der Artikel dann bei den Kristallographen ein – zweieinhalb Jahre nach der Entdeckung.

Vorarbeiten

Schon Johannes Kepler schrieb in seinen *Harmonices Mundi* 1619, dass mit Elementen, die fünfzählige Symmetrieachsen aufweisen, keine Raumfüllung möglich ist (Abbildung 4).

In den 60er Jahren begannen Mathematiker zu überlegen, ob sich mit einer begrenzten Anzahl von Fliesenteilen ein Mosaik so legen ließe, dass sich ein Muster nie wiederholt. 1966 erreichte ein Mathematiker solch ein aperiodisches Mosaik, benötigte jedoch über 20000 verschiedene Fliesen dafür. 1973 lieferte der britische Wissenschaftler Roger Penrose eine elegante Lösung dafür ab (s.u.; Abbildung 3). Er benötigte

nur zwei verschiedene Fliesen. Solche Muster fand man dann übrigens auch in mittelalterlichen Mosaikböden, -gewölben und -portalen. Der britische Kristallograph Alan Mackay setzte dann die Penrose-Muster auf die atomare Welt an, fragte sich, ob auch Atome aperiodische Muster bilden könnten. Er setzte Kreise – die Atome repräsentieren sollten – an Kreuzungen in Penroses Mosaik. Dann benutzte er dieses Muster als Beu-

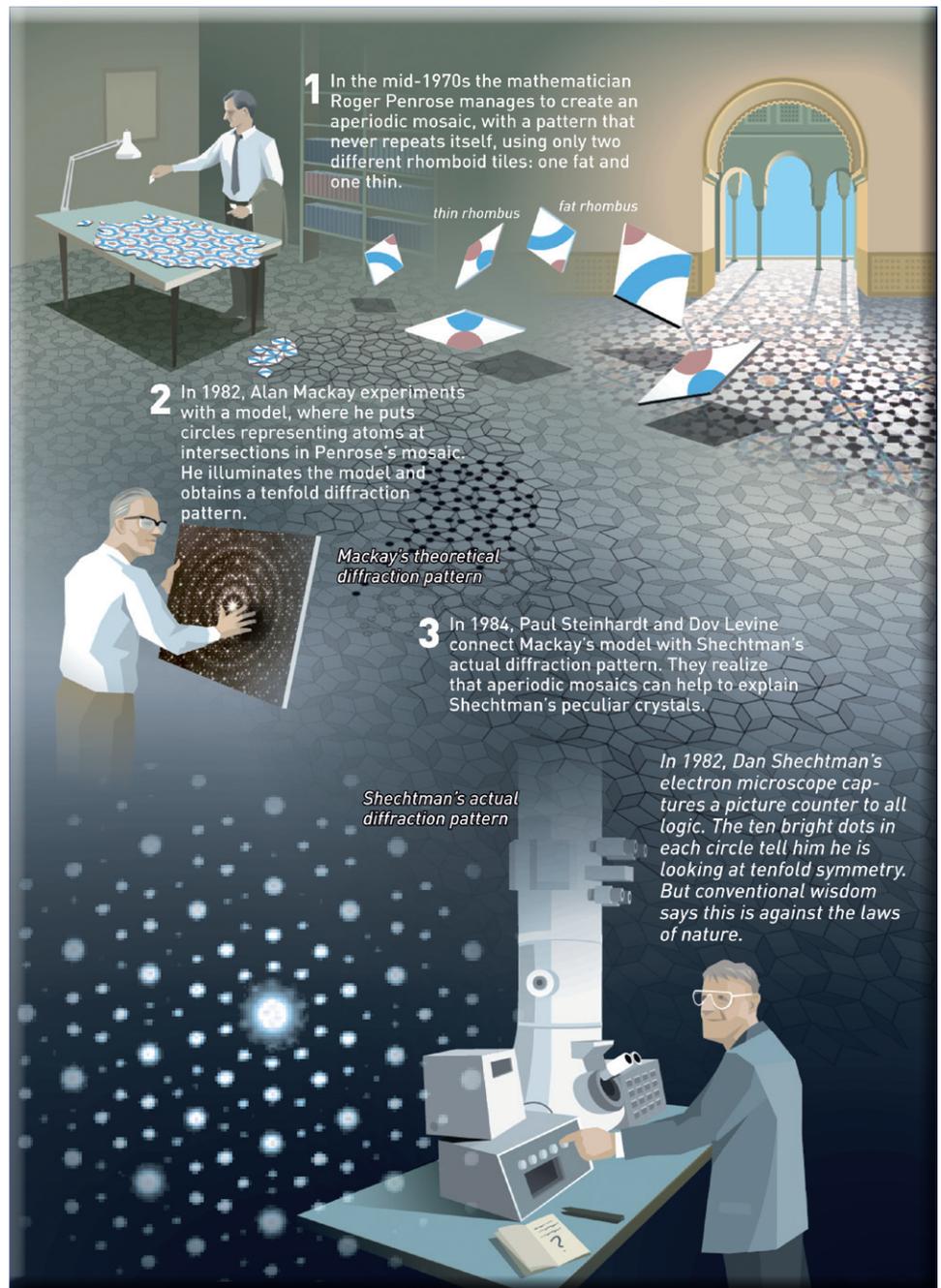


Abbildung 3: Frühere Überlegungen haben schon auf die den Quasikristallen zugrunde liegenden Symmetrien hingewiesen. Die Existenz solcher Symmetrien als atomare Konstrukte hielt man jedoch nicht für möglich – bis Shechtman das Beugungsmuster mit zehnzähliger Symmetrie entdeckte (hier in der Grafik unten links dargestellt). Den untersuchten metallischen Quasikristall (mit der Zusammensetzung $Al_{86}Mn_{14}$ nannte man später Shechtmanit (Abb.: Nobelpreis-Organisation).

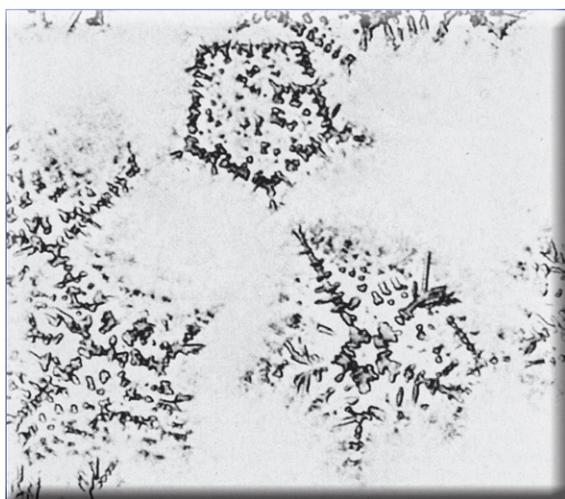
gungsgitter und erhielt ein Beugungsmuster mit zehnzähliger Symmetrie [2]. Die Verbindung zwischen dem Mackay-Modell und der Entdeckung Shechtmans stellten dann die US-Physiker Paul Steinhard und Dov Levine (seit 1190 in Haifa) her; sie erfanden auch die Bezeichnung „Quasikristall“ [3].

Normale Kristalle

Die Aufregung nach der Entdeckung der Quasikristalle hat ihren Grund. Ein Kristall ist ein Körper, dessen Atome oder Moleküle nicht zufällig, sondern regelmäßig in einem Kristallgitter angeordnet sind. Bekannte Kristallmaterialien sind Kochsalz, Zucker, Minerale und Schnee – aber auch die Metalle. Die charakteristische Eigenschaft eines Kristalls ist seine Fernordnung. Der Kristall ist dreidimensional periodisch aus gleichbleibenden Struktureinheiten aufgebaut. Diese Struktureinheit heißt Einheitszelle oder Elementarzelle. Ein Kristall ist ein homogener Körper, denn er ist stofflich und physikalisch einheitlich. Aber die physikalischen Eigenschaften variieren mit der Raumrichtung, d. h. ein Kristall ist anisotrop.

In normalen Kristallen bilden die Atome geordnete periodische Strukturen; d.h. sie fügen sich zu einer lückenlosen Gesamtstruktur zusammen, in der sich ein einziges symmetrisches Muster regelmäßig wiederholt. Aus geometrischen Gründen sind dabei nur ein-, zwei-, drei-, vier- und sechszählige Symmetrien möglich. Diese Zahlenangabe besagt, wie oft sich eine Struktur in

Abbildung 5: Wenn eine geschmolzene Legierung aus Aluminium und Mangan (Shechtmanit) schnell abgekühlt wird, bilden sich solche „Schneeflocken“ mit fünfzähliger Symmetrie – statt sechszähliger wie bei Eiskristallen. Die Aufnahme ist ein 10 000fach vergrößertes elektronenmikroskopisches Bild. Jede „Flocke“ umfasst etwa 10 000 Atomabstände (Abb.: US NIST).



Winkeln zwischen 0 und 360 Grad so drehen lässt, dass sie mit sich selbst zur Deckung kommt.

Ein schon ein realer Kristall enthält jedoch Gitterfehler, das heißt die dreidimensional-periodische Anordnung der Atome ist gestört. Es gibt Punktfehler, Linienfehler, Flächenfehler und Volumenfehler; Punktfehler sind die einzigen Gitterfehler, die auch im thermodynamischen Gleichgewicht vorkommen. Im Regelfall liegt ein kristalliner Festkörper als Polykristall und nicht als Einkristall vor, das heißt er besteht aus vielen kleinen Kristallen (Kristalliten), die durch Korngrenzen voneinander getrennt sind. Zum Beispiel sind Metallgegenstände, Drähte usw. in aller Regel Polykristalle. Silizium ist zurzeit der bekannteste Stoff, der in großen Mengen als Einkristall verwendet wird, und zwar in der Halbleitertechnik. Fehler hin oder her: Die Beugungsmuster von Kristallen entsprechen den o.g. Symmetrien.

Quasikristalle: Eigenschaften

Anders verhält es sich bei Quasikristallen. In ihnen sind die Atome bzw. Moleküle nur in einer scheinbar regelmäßigen, in Wahrheit aber aperiodischen Struktur angeordnet. Es gibt also mindestens zwei verschiedene symmetrische Muster, die sich nicht regelmäßig wiederholen, aber trotzdem eine lückenlose Gesamtstruktur bilden. Unter dieser Voraussetzung können auch acht-, zehn- oder zwölfzählige Symmetrien vorkommen. Diese strukturellen Unterschiede zwischen Kristallen und Quasikristallen lassen sich in Beugungsexperimenten sichtbar machen. In einem Quasikristall befinden sich also lokal die Atome in einer regelmäßigen Struktur, im globalen Maßstab aber ist die Struktur aperiodisch, jede Zelle ist von einem jeweils anderen Muster umgeben. Es herrschen schwächere Ordnungsprinzipien als bei normalen Kristallen. Allerdings muss die Ordnung hinreichend stark sein (Abbildung 5), dass sich bei entsprechenden Experimenten scharfe Beugungsreflexe mit nicht-kristallographischer Symmetrie bilden.

Intermetallische Quasikristalle sind eine Sonderform intermetallischer Verbindungen. Eine intermetallische Verbindung (genauer intermetallische Phase) ist eine homogene chemische Verbindung aus zwei oder mehr Metallen. In ihrem Gitter gibt es eine Mischbindung aus einem metallischen Bindungsanteil und geringeren Atombindungs- bzw. Ionenbindungsanteilen. Sie nehmen somit eine Zwischenstellung zwischen metallischen Legierungen und Keramiken ein. Zu intermetallischen Phasen zählen zum Beispiel Laves-Phasen, Heusler-Phasen (siehe CLB 08/09-2011: Spintronik, Seiten 336-345), Zintl-Phasen und Hume-Rothery-Phasen.

Wie intermetallische Phasen sind intermetallische Quasikristalle häufig hart und spröde und auch chemisch recht beständig. Sie besitzen in der Regel einen hohen Schmelzpunkt, und ihr elektrischer Widerstand ist meist eine Größenordnung höher als der reiner Übergangsmetalle. Die thermische und elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern wird typischerweise durch Phononen (quantenmechanisch beschriebene Gitterschwingungen in einem Kristall) und Bloch-Wellen (z. B. die Wellenfunktionen von Elektronen in einem kristallinen Festkörper) beschrieben, die sich als Konsequenz der periodischen Struktur der Kristalle ausbilden. In Quasikristallen sind solche Transportmoden nicht vorhanden, und dadurch ähnelt ihr Verhalten eher dem von Gläsern – nicht unerwartet. Es gibt ja auch metallische Gläser, die wie normale Gläser eine völlig nichtkristalline, amorphe atomare Struktur aufweisen. Zudem weisen Quasikristalle eine niedrige Oberflächenenergie auf. Dies macht sie widerstandsfähig gegen Korrosionen und Adhäsionen und verleiht ihnen einen niedrigen Reibungskoeffizienten.

Es gibt aber auch Verbindungen mit Halbleitereigenschaften, und einige Verbindungen zeichnen sich sogar durch besondere magnetische oder Supraleitungseigenschaften aus.

Vorkommen von Quasikristallen

Quasikristalle kommen in vielen dreidimensionalen Legierungssystemen vor. Die meisten Legierungen, die Quasikristalle enthalten, sind thermodynamisch instabil, können also nur durch schnelle Abkühlung gebildet werden und wandeln sich beim erneuten Erhitzen in stabilere Kristalle um. Es existieren jedoch auch eine Reihe von thermodynamisch stabilen Legierungen, die quasikristallin aufgebaut sind. Wichtig für die Bestimmung der Struktur von Quasikristallen war die Entdeckung solcher stabiler Formen. Sie können zu beträchtlichen Größen wachsen und typische Eigenschaften gut geordneter kristalliner Phasen aufweisen. 1987 wurden die ersten stabilen Quasikristalle mit Icosaeder-Aufbau synthetisiert, und zwar in einem ternären System mit Eisen, Kupfer und Aluminium [4]. Heute kennt man auch ternäre Systeme, die Zink, Cadmium oder Titan enthalten.

Noch besser ließ sich die Struktur dann mit binären ikosaedrischen Quasikristallen bestimmen, da sie eine geringere Unordnung aufweisen. Das geschah im Jahre 2000 mit den binären Systemen Calcium-Cadmium sowie Ytterbium-Cadmium. Da die quasikristalline Struktur in der Regel nur in einem sehr engen Mischungsbereich der Elemente stabil ist, kann man intermetallische Quasikristalle wie schon gesagt auch zu den in-

termetallischen Verbindungen zählen ($Cd_{5,7}Yb$, $Cd_{5,7}Ca$ in ikosaedrischer Struktur und $Ta_{1,6}Te$ in einer dodekaedrischen Struktur).

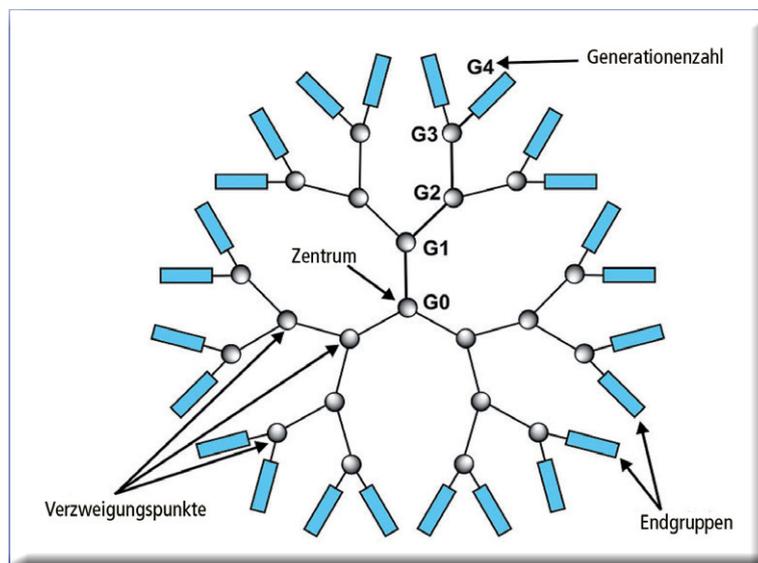
Es ist bislang nur ein natürlich vorkommendes quasikristallines Mineral, der Icosahedrit, bekannt. Es handelt sich dabei um eine Aluminium-Kupfer-Eisen-Legierung mit der Zusammensetzung $Al_{63}Cu_{24}Fe_{13}$, die im Khatyrka-Fluss auf der Kamtschatka-Halbinsel in Russland gefunden wurde, und zwar erst im Jahre 2009.

Besteht die überwiegende Zahl von Quasikristallen aus intermetallischen Verbindungen – davon sind hunderte bekannt (siehe Tabellen 1 und 2), kennt man seit 2004 auch Quasikristalle aus dendrimeren Flüssigkristallen (Abbildung 6) [5], und 2007 hat man solche sogar in Polymeren entdeckt, in ABS Sternpolymeren (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Mischpolymerisate) [6]. Unter dem Begriff Sternpolymer wird eine spezielle Form von verzweigten Polymeren verstanden, bei denen von einem Zentrum drei oder mehr Ketten ausgehen. Das Zentrum kann dabei ein einzelnes Atom (z.B. Stickstoff) oder eine Atomgruppe (z.B. ein Ring) sein. Sternpolymere können entweder Arme von gleicher Länge und Zusammensetzung enthalten oder asymmetrisch aufgebaut sein (unterschiedliche Länge und Blockcopolymerketten). Eine besondere Form der Sternpolymere sind Dendrimere (Abbildung 6); hierbei treten in den Armen weitere Verzweigungen auf. 2009 fand man Quasikristalle als selbstorganisierende Nanopartikel [7].

Neue Kristalldefinition

Die Entdeckung der Quasikristalle hat dazu geführt, dass die Definition „Kristall“ durch die International Union of Crystallography geändert wurde. Die bis dahin gültige Definition lautete: „Ein Kristall ist eine Substanz, in der die sie auf-

Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Dendrimers.



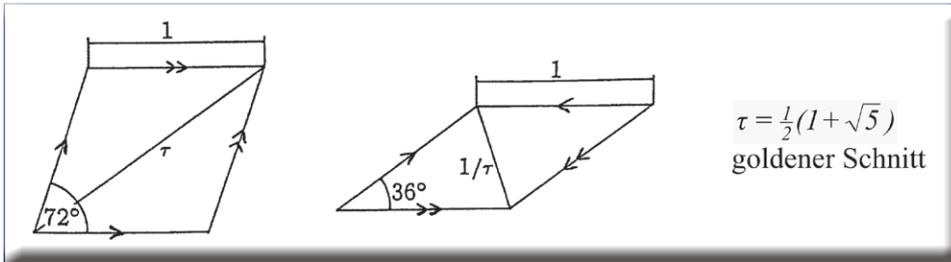
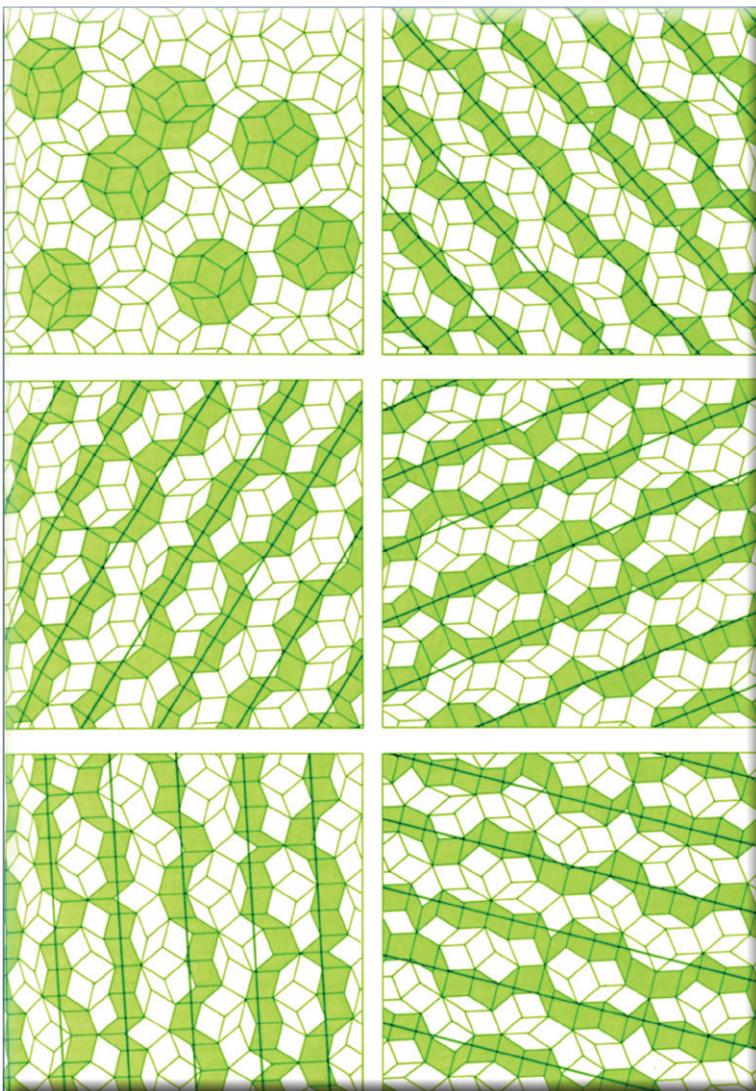


Abbildung 7: Bausteine des Penrose-Musters sind zwei rautenförmige Kacheln, deren Winkel ganzzahlige Vielfache von 36 Grad sind. Die Aufbauregel lautet: Kacheln werden lückenlos derart zusammengefügt, dass zwei aneinandergrenzende Kachelseiten gleichartige Markierungspfeile (Einfach- bzw. Doppelpfeil), die zudem in die gleiche Richtung zeigen, besitzen. Interessant ist, dass in Penrose-Mustern immer wieder die Konstante des Goldenen Schnitts τ auftritt.

bauenden Atome, Moleküle oder Ionen in einem regulären, sich wiederholenden dreidimensionalen Muster gepackt sind.“ Die neue Definition lautete dann: „Ein Kristall ist jeder Festkörper, der ein diskretes Beugungsdiagramm erzeugt.“

Abbildung 8: Im Penrose-Muster sind überall Zehnecke zu finden (oben links). Daneben bilden sich Systeme von unregelmäßigen Streifen, aus denen sich fünf Liniensysteme ableiten lassen. Sie schneiden sich unter Winkeln von 72 Grad.



Das Interessante an der neuen Definition: Man unternahm nicht mehr den Versuch, das Konzept eines Kristalles direkt zu definieren; vielmehr gab man eine operative Definition ab, die auf dem Beugungsmuster des Materials gründet.

Symmetrie wie Penrose-Muster

Die Symmetrie von Quasikristallen lässt sich durch die Penrose-Parkettierung erklären. Sie ist eine von Roger Penrose (Abbildung 9) im Jahr 1973 entdeckte und 1974 publizierte Familie von aperiodischen Kachel-Mustern, welche eine Ebene lückenlos parkettieren kann, ohne dass sich dabei ein Grundschema periodisch wiederholt [9]. Die Fremdartigkeit solcher Muster nahm Penrose übrigens zum Anlass, darauf ein Patent anzumelden, um es zum Bau verwirrender Puzzles einzusetzen.

Die Bausteine des Penrose-Musters sind zwei rautenförmige Kacheln, deren Winkel ganzzahlige Vielfache von 36 Grad sind (Abbildung 7). Beide Kacheln stehen in Verbindung zum goldenen Schnitt. Die Aufbauregel lautet: Die Kacheln werden lückenlos derart zusammengefügt, dass zwei aneinandergrenzende Kachelseiten gleichartige Markierungspfeile (Einfach- bzw. Doppelpfeil), die zudem in die gleiche Richtung zeigen, besitzen.

Zu den Symmetrieeigenschaften der Penrose-Parkettierung zählt, dass alle Kanten zu den Ecken eines regelmäßigen Zehnecks weisen. Daraus ergibt sich die langreichweitige fünf- bzw. zehnzählige Orientierungssymmetrie. Kacheln mit parallelen Seiten bilden Systeme von unregelmäßigen Streifen, die eine Schar von äquidistanten Linien umgeben (Abbildung 8). Insgesamt ergeben sich fünf Liniensysteme, die sich unter Winkeln von 72 Grad schneiden. Diesen Systemen kommt eine ähnliche Bedeutung zu wie Netzebenen in klassischen Kristallen; bei Quasikristallen ergeben sich daraus die scharfen Beugungsreflexe. Und schließlich: Das Verhältnis von dicken Rauten zu dünnen Rauten beträgt in einem unendlichen Penrose-Muster $1,618\dots$, das entspricht der Konstanten des goldenen Schnitts τ (Abbildung 7). Da dieses Verhältnis eine irrationale Zahl ist, kann das Muster unmöglich in eine einzige Elementarzelle zerlegt werden, die eine ganze Zahl jeder Rhombenart enthält. Neben den erwähnten rhombischen Kacheln gibt es noch ein weiteres Paar von Kacheln, die eine aperiodische Parkettierung liefern, genannt „Drachen“ und „Pfeil“.

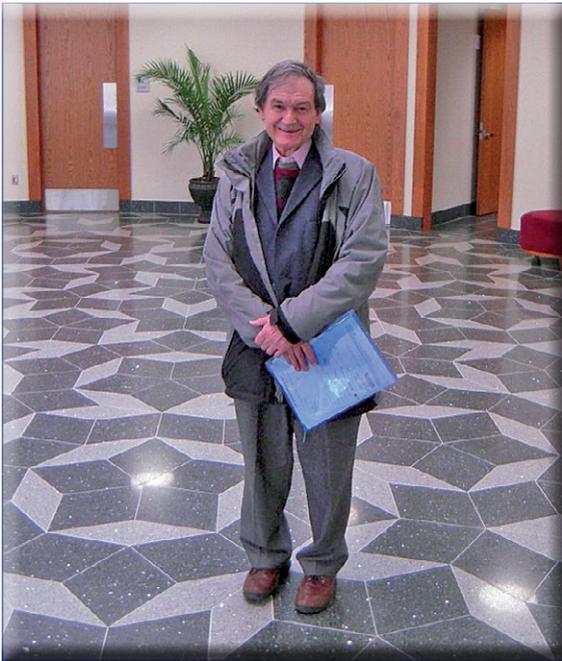


Abbildung 9: Roger Penrose im März 2010 im Foyer des Mitchell Institute for Fundamental Physics and Astronomy, Texas A&M University, dessen Boden mit einem Penrose-Muster ausgelegt ist (Foto: Solarflare100).

Anwendung kommen. Bei ihr handelt es sich um eine Methode des Kristallwachstums, bei der die Komponenten der gewünschten Substanz in einem Lösungsmittel (Flux) gelöst sind. Beim Czochralski-Verfahren werden Kristalle aus der Schmelze gezogen. Man erhält so Einquasikristalle bis zu einer Größe von mehreren Zentimetern (Abbildung 10).

Wissenschaftler und Ingenieure suchen nach verschiedenen Anwendungen für quasikristalliner Verbindungen. Dies betrifft sowohl Komposit-Materialien, in denen Legierungen zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften quasikristalline Verbindungen beigemischt werden, als auch quasikristalline Beschichtungen. Dabei stützt man sich natürlich auf die besonderen Eigenschaften wie Härte, chemische Beständigkeit oder geringe Reibung.

Eine schwedische Firma hat beispielsweise einen sehr festen, duktilen, korrosions- und alterungsbeständigen Stahl entwickelt, der Quasikristalle enthält. Diese harten Metallphasen sind als eine Art Verstärkung in weichere Stahlkompartimente eingebettet. Solch einen Stahl nutzt man nun für Rasierklingen und auch für spezielle Nadeln der Augenchirurgie. Auch Aluminiumlegierungen können durch den Zuschlag

Herstellung und Anwendungen von Quasikristallen

Man kennt zwei Klassen quasikristalliner Phasen, und die unterscheiden sich auch in ihrer Herstellung. Zum einen gibt es metastabile quasikristalline Phasen (Tabelle 1). Diese erhält man durch Unterkühlung der Metallschmelze unter die virtuelle Schmelztemperatur der bei der entsprechenden metastabilen Phase notwendigen Herstellungstemperatur. Geeignete Herstellungsverfahren gehen auf ein schnelles Abschrecken zurück, zum Beispiel durch Schmelzspinnen, Laserschmelzen oder Spaltkühlen. Bei einem anderen Herstellungsverfahren versucht man, heterogene Keimstellen auszuschalten.

Stabile Quasikristalle – nicht notwendigerweise bei Raumtemperatur sondern vielfach Hochtemperaturphasen – benötigen keine tiefe Unterkühlung der Schmelze (Tabelle 2). Vielmehr sind langsame Prozesse nahe am Gleichgewicht möglich; dadurch gelingt die Herstellung großer Einquasikristalle. So lassen sich solche Kristalle züchten. Voraussetzungen dafür sind das Vorhandensein einer stabilen quasikristallinen Phase sowie die Ausbildung eines Zweiphasengleichgewichtes zwischen Schmelze und quasikristalliner Phase. Dann können klassische Kristallzucht-Techniken wie etwa das Czochralski-Verfahren oder die Flux-growth-Technik zur

System	Zusammensetzung	Symmetrie
Al-Mn	$Al_{75-94}Mn_{25-6}$	ikosaedr./dekagonal
Al-Mn-Si	$Al_{79-50}Mn_{20}Si_{1-30}$ $Al_3Mn_{82}Si_{15}$	dekagonal oktogonal
Al-V	$Al_{78-94}V_{22-6}$	ikosaedr./dekagonal
Zr-Cu-Ni-Al-(Ti)-(Be)-(...)	$Zr_{65}Cu_{17}Ni_{10}Al_8$	ikosaedrisch
Pd-U-Si	$Pd_{60}U_{20}Si_{20}$	ikosaedrisch
Cr-Ni-Si	$Cr_{16-25}Ni_{32-35}Si_{52-40}$	oktogonal
V-Ni	$V_{60}Ni_{40}$	dodekagonal
Ti-TM-Si-O (TM=Mn, Fe, Cr)	$Ti_{60}TM_{25}Si_5O_{10}$	ikosaedrisch

Tabelle 1: Metastabile quasikristalline Phasen.

Tabelle 2: Stabile quasikristalline Phasen (Quelle jeweils: DLR).

System	Zusammensetzung ca.	Symmetrie
Al-Cu-Fe	$Al_{62}Cu_{25.5}Fe_{12.5}$	ikosaedrisch
Al-Cu-Co	$Al_{65}Cu_{20}Co_{15}$	dekagonal
Al-Ni-Co	$Al_{65}Ni_{20}Co_{15}$	dekagonal
Al-Pd-Mn	$Al_{72}Pd_{20}Mn_8$	ikosaedr./dekagonal
Al-Ni-Fe	$Al_{71}Ni_{24}Fe_5$	ikosaedrisch
Cd-Yb	$Cd_{85}Yb_{15}$	ikosaedrisch
Ti-Zr-Ni	$Ti_{45}Zr_{38}Ni_{17}$	ikosaedrisch
Zn-Mg-RE (RE=Ho, Dy, Y, Gd, Tb, Er)	$Zn_{60}Mg_{30}RE_{10}$	ikosaedrisch

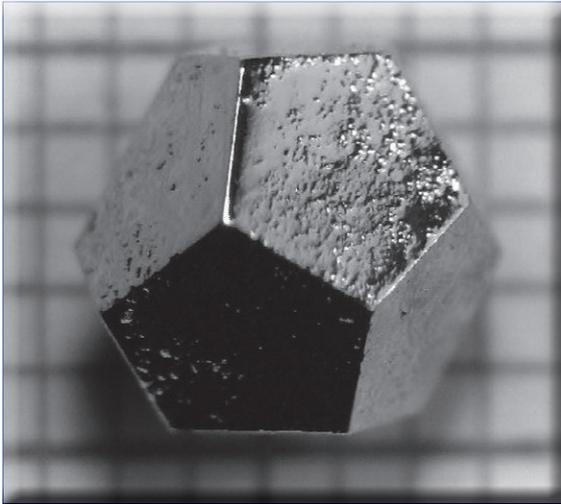


Abbildung 10: Foto eines Zink-Mangan-Holmium-Einquasikristalls; die Kanten sind 2,2 Millimeter lang. Er wurde mit der Flux-growth-Technik hergestellt. Die Zn-Mn-RE-Familie (siehe Tabelle 2, letzte Zeile) war die erste Quasikristallstruktur mit Elementen der seltenen Erden, die das Studium von lokalen magnetischen Momenten in einer quasiperiodischen Umgebung erlaubte (Abb.: US Department of Energy, AMES lab.).

von Quasikristallen in ihren Eigenschaften, etwa der Festigkeit bei hohen Temperaturen oder der Verformbarkeit, verbessert werden.

Quasikristalline Beschichtungen ermöglichen durch ihre Härte und Oxidationsstabilität einen besonders geringen Abrieb und eine geringe Haftung. Daher werden Quasikristall-Beschichtungen als Alternative zu Edelstahlpannen und Polytetrafluorethylen-Beschichtungen untersucht. Der geringe Abrieb von Quasikristallen könnte sie auch für Beschichtungen von Motorenteilen zu bevorzugten Materialien werden lassen. Aufgrund ihrer schlechten thermischen Leitfähigkeit untersucht man die Eignung von intermetallischen Quasikristallen für Thermoelektrik, um dann damit etwa Motorabwärme in Strom zu verwandeln. Auch Anwendungen als thermische Isolatoren sind denkbar.

Eine internationale Forschungsgruppe hat erstmals kolloidale Quasikristalle entdeckt [10]. Bei den entdeckten kolloidalen Quasikristallen handelt es sich um Hydrogele, also um Polymere, die Wasser enthalten, aber selbst nicht wasserlöslich sind. Sie besitzen eine relativ einfache Struktur und kommen dadurch zustande, dass sich mehrere gleichartige „Bausteine“ durch Selbstorganisation zusammenfügen. In Beugungsexperimenten wurde nicht nur eine zwölfzählige Symmetrie, sondern erstmals überhaupt eine 18-zählige Symmetrie beobachtet. Für hochzählige Beugungssymmetrien in kolloidalen Quasikristallen interessiert sich die Photonik. Es hat sich in den letzten Jahren herausgestellt, dass Strukturen mit

hohen Beugungssymmetrien die Eigenschaft haben, Lichtstrahlen nur in bestimmte Richtungen durchzulassen. Infolgedessen sind Strukturen mit hohen Beugungssymmetrien hochinteressant für die Herstellung photonischer Bauelemente.

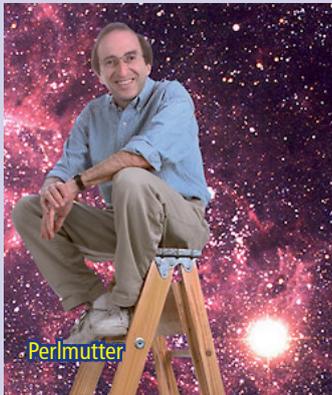
Die Photonik benötigt allerdings Strukturmerkmale von mehreren hundert Nanometern, während kolloidale Quasikristalle nicht über 100 Nanometer hinausreichen. Man arbeitet daher derzeit intensiv daran, dass sich polymere Mizellen zu quasikristallinen Großstrukturen zusammenschließen.

CLB

Literatur

- [1] D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, J.W. Cahn (1984) „Metallic phase with long range orientational order and no translation symmetry“, *Physical Review Letters* 53(20), pp 1951-1954.
- [2] A. Mackay (1982) „Crystallography and the Penrose Pattern“, *Physica A* 114, pp 609-613.
- [3] D. Levine, R. Steinhardt (1984) „Quasicrystals: a new class of ordered structures“, *Physical Review Letters* 53(26), pp 2477-2480.
- [4] A.P. Tsai, A. Inoue, T. Masumoto (1987) „A stable quasicrystal in Al-Cu-Fe system“, *Jpn. J. Appl. Physics* 26, L1505-L1507.
- [5] X. Zeng et al (2004) „Supramolecular dendritic liquid quasicrystals“, *Nature* 428, pp 157-160.
- [6] K. Hayashida et al (2007) „Polymeric quasicrystal: mesoscopic quasicrystalline tiling in ABS star polymers“, *Physical Review Letters* 98, 195502.
- [7] D.V. Talapin (2009) „Quasicrystalline order in self-assembled binary nanoparticle superlattices“, *Nature* 461, pp 964-967.
- [8] L. Bindi, P.J. Steinhardt, N. Yao, P.J. Lu (2011) „Icosahedrite, Al₆₃Cu₂₄Fe₁₃, the first natural quasicrystal“, *American Mineralogist*, pp 928-931.
- [9] R. Penrose (1974) „Role of aesthetics in pure and applied research“, *Bulletin of the Institute of Mathematics and Its Applications*, 10:266.
- [10] Steffen Fischer, Alexander Exner, Kathrin Zielske, Jan Perlich, Sofia Deloudi, Walter Steurer, Peter Lindner, Stephan Förster (2011) „Colloidal quasicrystals with 12-fold and 18-fold diffraction symmetry“, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, PNAS published ahead of print January 11, 2011, DOI-Bookmark: 10.1073/pnas.1008695108.

Nobelpreis 2011 für Physik an drei Kosmologen
Nobelpreis 2011 für Medizin an drei Immunforscher
Nobelpreislaurer kurz zuvor verstorben: Posthume Verleihung



Perlmutter

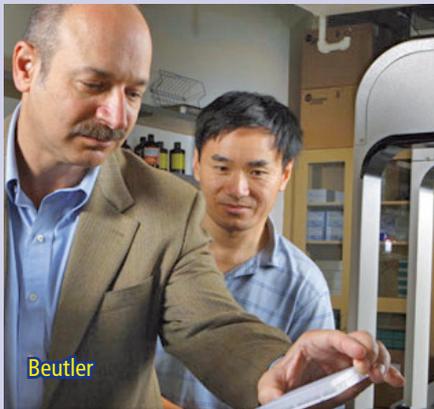


Schmidt



Riess

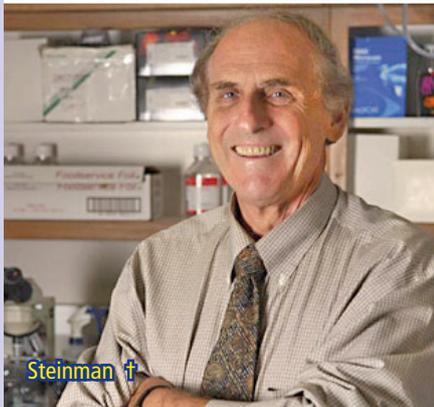
Der Nobelpreis für Physik wird in diesem Jahr an drei Astronomen verliehen: Die eine Hälfte des mit 1,1 Millionen Euro dotierten Preises geht an den US-amerikanischen Forscher Saul Perlmutter, die andere Hälfte teilen sich der US-Australier Brian P. Schmidt und Adam G. Riess (USA). Die Wissenschaftler werden für ihre Entdeckung der beschleunigten Ausdehnung des Universums durch die Beobachtung



Beutler



Hoffmann



Steinman †

entfernter Supernovä geehrt. In der Begründung des Nobelpreis-Komitees heißt es: „Sie haben mehrere Dutzend explodierende Sterne, Supernovae, studiert und herausgefunden, dass sich das Universum mit ständig zunehmender Geschwindigkeit ausweitet.“ Diese Entdeckung sei selbst für die Preisträger eine komplette Überraschung gewesen – und habe das Verständnis des Universums verändert. Es sei zwar schon vor dem wissenschaftlichen Durchbruch klar gewesen, dass sich das Universum ausdehne, nicht aber, mit welcher Geschwindigkeit. Dabei kamen Perlmutter sowie das Team aus Schmidt und Riess unabhängig voneinander zu den gleichen Ergebnissen. Konkret beobachteten die Wissenschaftler eine bestimmte Art von Supernova, die vom Typ Ia. Diese Supernova ist die Explosion eines sehr alten, massenreichen Sterns. Solche sterbenden Sterne können so viel Licht aussenden wie eine ganze Galaxie. Perlmutter, Schmidt und Riess untersuchten nun dieses ausstrahlende Licht – und stellten fest, dass es schwächer wurde als erwartet. Für sie der Beweis, dass die Ausdehnung des Universums beschleunigt wurde. Wenn diese Beschleunigung so weiter geht, wird unser Universum eines Tages in Eis enden. Was die Ausdehnung des Universums vorantreibt, ist noch unklar. Vermutet wird, dass sie durch die „dunkle Materie“ vorangetrieben wird. Allerdings hat die Wissenschaft auch noch nicht geklärt, was diese ist.

Den Nobelpreis für Medizin teilen sich in diesem Jahr drei Wissenschaftler: Bruce Beutler (USA) und Jules Hoffmann (geboren in Luxemburg) sowie Ralph M. Steinman (Kanada) werden für ihre Arbeit zum Immunsystem ausgezeichnet. Beutler und Hoffmann erforschten die angeborene Immunität und fanden heraus, wie die Immunabwehr des Körpers in Gang gesetzt wird. Steinman entdeckte dagegen Zellen, die für die Aktivierung spezieller T-Zellen notwendig sind. Diese T-Zellen bilden Antikörper und zerstören infizierte Zellen. Der Preis ist mit zehn Millionen schwedischen Kronen (1,1 Millionen Euro) dotiert. Wie erst kurz zuvor bekannt wurde, war Steinman drei Tage zuvor gestorben. Eigentlich werden Nobelpreise nicht posthum verliehen. Da die schwedischen Juroren bei ihrer Entscheidung noch nichts von Steinmans Tod wussten, wurde entschieden, dass er dennoch mit der Auszeichnung geehrt wird. Das Komitee hatte seine Preisvergabe wie folgt begründet: „Die diesjährigen Nobelpreisträger haben unser Verständnis des Immunsystems revolutioniert, indem sie zentrale Prinzipien seiner Aktivierung entdeckt haben.“ Ihre Arbeit habe den Weg für neue Präventions- und Therapiemöglichkeiten im Kampf gegen Infektionen, Krebs und Entzündungskrankheiten geebnet. Im Grunde baut die Arbeit der drei Forscher dabei aufeinander auf. So fanden Beutler und Hoffmann durch ihre Versuche mit Fruchtfliegen und Mäusen spezielle Rezeptorproteine: Diese Proteine erkennen Bakterien und andere Mikroorganismen bei ihrem Eintritt in den Körper und können als Reaktion die erste Verteidigungslinie des Immunsystems aktivieren. In der nächsten Phase der Reaktion kommen Steinmans Forschungsergebnisse zum Einsatz: Er entdeckte die dendritischen Zellen, die das im Laufe des Lebens erworbene Immunsystem in Gang setzen. Die dendritischen Zellen helfen dabei, bestimmte Mikroorganismen gezielt aus dem Körper abzutransportieren.

Entdeckung und heutige Verwendung

Teil 3: Molybdän und Wolfram

Georg Schwedt, Bonn

Der Begriff **Sondermetalle** wird meist als unsystematische Gruppenbezeichnung entweder für die Metalle der 4.-6. Nebengruppe im Periodensystem (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) oder für alle Metalle außer Edelmetallen und den sogenannten Gebrauchsmetallen verwendet. Zu den **seltene Metalle** zählen auch Metalle der 4.-6. Hauptgruppe (Ga, In, Ge) sowie auch weitere Metalle aus anderen Hauptgruppen. In dieser Serie werden sie von der Entdeckung über Gewinnung, Eigenschaften bis zur Verwendung heute vorgestellt. Die Fotos (soweit nicht anders angegeben) und die Informationen über den weltweiten Handel mit den auch als Funktions- oder Nebenmetallen **strategische Sondermetalle** bezeichneten Nichteisenmetallen stammen aus der Bonner Metallhandelsgesellschaft Haines & Maassen.

1948 gründet Hugo Haines in Köln eine Metallagentur, die durch die Übernahme des internationalen Metallkonzerns ASCARO und weiterer Vertretungen in Australien und England expandierte. Am 1.1.1973 trat Hartwig Maassen als Partner in das Unternehmen (nun eine OHG) ein und übernahm am 1.1.1978 die Geschäftsanteile von Hugo Haines. Das Unternehmen firmierte nun unter *Haines & Maassen*. Ende der 1970er Jahre erfolgte eine Erweiterung der Geschäftsbereiche mit dem Eigenhandel in Neben- und Spezialmetallen (seit 1.1.1997 als GmbH) und als Repräsentant internationaler Bergbauunternehmen und Metallproduzenten.

Molybdän

Entdeckung: Ursprünglich wurde der Name von den Griechen und Römern für Bleiglanz (PbS) aber auch für andere Erze verwendet (griech. *molybdos* = Blei), sowie für Stoffe, die beim Schreiben einen dunklen Strich ergaben wie Graphit und Molybdänglanz (MoS_2). Bis in das 18. Jahrhundert hielt man diese Stoffe für chemisch identisch. Erst C. W. *Scheele* (1742-1786) isolierte 1778 bei der Umsetzung von „Wasserbley“ (*Molybdaena membranacea nitens* MoS_2) mit Salpetersäure eine „erdige Substanz“ mit sauren Eigenschaften, die er *acidum molybdaena* (Molybdänsäure $\text{MoO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) nannte. 1781 gewann P. J. *Hjelm* (1746-1813; ab 1794 Vorstand des Bergkollegiums in Stockholm) durch Reduktion mit Kohlenstoff (aus der thermischen Zersetzung von Leinöl) das Metall in unreiner Form.

Der Autor

Der Buchautor und Mitherausgeber der CLB, Prof. Dr. Georg Schwedt, war von 1987 bis zu seiner Emeritierung 2006 Professor für Anorganische und Analytische Chemie an der Technischen Universität Clausthal. Jetzt lebt er in Bonn und widmet sich in vielfacher Weise der Aufgabe, die Naturwissenschaften den Menschen nahe zu bringen.

Eigenschaften: Molybdän zählt zu den Übergangsmetallen, ist hochfest, zähe und hart und weist einen silbrig/zinnweißen Glanz auf. Es schmilzt bei 2620 °C, siedet bei 4825 °C und besitzt eine Dichte von 10,28 g/cm³. Bei Raumtemperatur ist das Metall infolge Passivierung sehr beständig. Von reduzierenden Säuren (auch von Flusssäure) wird es kaum angegriffen. Bei erhöhten Temperaturen reagiert es sowohl mit oxidierenden Säuren als auch vielen Nichtmetallen wie Sauerstoff, Halogenen sowie auch Bor, Kohlenstoff, Silicium und Stickstoff.

Gewinnung: Gallium wird elektrolytisch vorwiegend als Nebenprodukt der Zink- und Aluminiumindustrie gewonnen. Bauxit enthält zwischen 0,003 und 0,01 %.

Verwendung: Geringe Zusätze von Molybdän verbessern die Qualität von Stahl ganz wesentlich (Härtung und Verhinderung der so genannten Anlassversprödung). Etwa zwei Drittel des gewonnenen Molybdäns finden in der Erzeugung von Metalllegierungen wie Ferro-Molybdän Verwendung. Wegen seiner hohen Temperaturbeständigkeit werden auch Teile in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Metallurgietechnik aus Molybdän hergestellt. Für Hochleistungsstähle gilt Molybdän als unverzichtbar. In Dünnschichttransistoren (TFTs) wird Molybdän als leitende Metallschicht und in Dünnschichtsolarzellen als metallischer Rückleiter eingesetzt. Molybdänfolien sind als gasdichte Stromdurchführung in Quarzglas – u.a. in Halogenglühlampen und Hochdruck-Gasentladungslampen – zu finden. Molybdänsulfid besitzt eine hervorragende Schmierfähigkeit, ähnlich dem Graphit .



Wolfram

Entdeckung: Der Name ist von *wolf-rahm* = Greifer von Wölfen abgeleitet. *Rahm* könnte auch als allgemeiner Begriff für verunreinigte Metalle gebraucht worden sein. Denn die Vorgeschichte der Entdeckung dieses Metalls beginnt bereits im Mittelalter. Ein Wolframerz – Wolframit ($(\text{Mn,Fe})\text{WO}_4$; 1747 von J. G. Wallerius (1709-1785; ab 1749 Lehrstuhl für Chemie an der Universität Uppsala) beschrieben, nannte Agricola (1494-1555) *spuma lupi* (lat. spuma = Schaum; lupus = Wolf). Berg- und Hüttenleute im Erzgebirge hatten beobachtet, dass ein Vorkommen dieses Minerals in Zinnerzen das Ausschmelzen von Zinn erschwerte. J. G. Lehmann (1719-1767; Bergdirektor im Harz, Preußische Akademie der Wissenschaften in Berlin, ab 1761 Prof. für Chemie in St. Petersburg) schmolz 1760 Wolframit (aus Zinnwald) mit Salpeter (Oxidationsschmelze), beobachtete in einem wässrigen Auszug eine Farbänderung von Grün nach Violett (heute als Disproportionierungsreaktion des Manganat(VI)-Ions bekannt) und fällte durch den Zusatz von Säuren eine „glasige Erde“ ($\text{WO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), ohne diese näher zu untersuchen. 1781 entdeckte auch C. W. Scheele in einem weiteren Wolframmineral, dem *Tungsteen* (schwed. für „schwerer Stein“ (seit 1821 als *Scheelit* bezeichnet: CaWO_4), die Wolframsäure, die er im Unterschied zur Molybdänsäure als „Tungsteensäure“ bezeichnete. Zwei Jahre später gewannen die Brüder Fausto (Chemiker; 1755-1833) und Juan José de Elhuyar (Chemiker und Mineraloge, 1754-1796) ein mit Carbiden verunreinigtes Wolfram durch die Reduktion von $\text{WO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ mit Kohle.

Der Mediziner Oliver W. Sacks (Jg. 1933) berichtet in seiner Autobiographie „Onkel Wolfram. Erinnerungen“ (deutsch 2002) über die Brüder u.a., dass sie Mitglieder des Baskischen Gesellschaft der Freunde ihres Lande gewesen seien, die auch an Dienstagabenden experimentiert hätten. Ab 1777 hätten sie im Ausland Mineralogie bzw. Metallurgie studiert und Juan José d’Elhuyar sei 1782 auch bei Scheele zu Besuch gewesen. Nach Spanien zurückgekehrt hätten sie dann das schwere schwarze Mineral Wolframit untersucht, die Wolframsäure daraus gewonnen und erkannt, dass sie mit Scheeles „Tungstensäure“ identisch war, in der bereits Scheele ein noch unbekanntes Element vermutete.

Eigenschaften: O. W. Sacks beschreibt auch seine Begegnung mit dem Metall, dass ihm sein Onkel Dave in Form des reinen Wolframoxids zeigte: „Ich nahm die Flasche in die Hand; sie enthielt ein dichtes gelbes Pulver, das überraschend schwer war, fast so schwer wie Eisen.“ Sein Onkel erhitzte ein wenig Pulver mit Kohlenstoff in einem Tiegel in einem riesigen Ofen und holte den Tiegel nach einigen Minuten mit Hilfe einer langen Zange heraus: „...nach Abkühlung des Tiegels konnte ich sehen, dass sich eine Veränderung vollzogen hatte. Der Kohlenstoff war ebenso wie der größte Teil des gelben Pulvers verschwunden, und stattdessen lagen die Körner eines matt glänzenden Metalls in dem Tiegel – wie bei den d’Elhuyars im Jahr 1783.“



Fräskopf aus Wolframcarbid.

Wolfram hat von allen Metallen den höchsten Schmelzpunkt mit $3410 \text{ }^\circ\text{C}$ (nach anderen Quellen $3422 \text{ }^\circ\text{C}$; Siedetemperatur $5660 \text{ }^\circ\text{C}$ – die Angaben in der Literatur liegen zwischen 5550 und $5900 \text{ }^\circ\text{C}$) und eine hohe Dichte mit $19,3 \text{ g/cm}^3$ (fast doppelt so hoch wie die des Molybdäns). Bei niedrigen Temperaturen ist das Metall sehr spröde. Wolframcarbid ist noch härter als das Metall selbst (Mohshärte 9,5, für Wolfram 7,5).

Verwendung: Wegen der beschriebenen Eigenschaften (seines sehr hohen Schmelzpunktes) ist Wolfram besonders geeignet für Glühdrähte in Glühlampen, als Elektrode in Gasentladungslampen und in Elektronenröhren (Kathode für Röntgenröhren). Die gleichen Eigenschaften machen Wolfram zu einer idealen Schweißelektrode. In der Eisenmetallurgie erzeugt der Zusatz von Wolfram besonders harte Stähle. In Werkzeugstählen erhöhen die Wolframcarbide die Sekundärhärte. Legierungen mit Cobalt werden WIDIA (hart wie Diamant) genannt. Besonders Einsatzgebiete sind die Herstellung von Bohrern und Schneidwerkzeugen sowie Raketendüsen. Und schließlich wird seit Beginn der 21. Jahrhunderts Wolframcarbid zur Herstellung von Schmuck (Tungsten-Schmuck) verwendet. China steht mit etwa 80 % der geschätzten Weltproduktion von 61 Tausend Tonnen (2010) und mit mehr als 60 % der Wolframreserven an der Spitze der produzierenden Länder. In den USA werden etwa 36 % des Wolframbedarfs aus wolframhaltigen Schrotten recycelt. **CLB**

Quellen

- Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger: Die Welt der Elemente. Die Elemente der Welt, Wiley-VCH, Weinheim 2007
- Rolf Kickuth: Rohstoffe. Die Welt nachfrage nach Funktionsmetallen. Vom Verteilen, Verschwinden und Ersetzen, CLB 59 (6), 222-226 (2008)
- Harry H. Binder: Lexikon der chemischen Elemente, Hirzel, Stuttgart 1996
- Lucien F. Trueb: Die chemischen Elemente. Ein Streifzug durch das Periodensystem, Hirzel, Stuttgart 1996
- Oliver Sacks: Onkel Wolfram. Erinnerungen, Rowohlt, Reinbek 2003
www.haines-maassen.de/deutsch/wolfram.html

Pharmazie erfand Chemie – und wie geht es weiter? Festvorträge zur 60-Jahr-Feier des Instituts Dr. Flad

Mit einem Festabend am 30. September und einem Festkolloquium am Samstag, den 1. Oktober feierte das Institut Dr. Flad in Stuttgart sein 60jähriges Bestehen. In dieser Zeit durchliefen etwa 7000 Schüler die Ausbildungen dort, vermittelt von 350 Lehrern. Und es entstanden 200 „Flad-Ehen“, wie der Sohn des Gründers Dr. Manfred Flad, Wolfgang Flad, den Zuhörern des Festabends schmunzelnd entgegenbrachte. Davon abgesehen: auf die familiäre Atmosphäre ist man am Institut Flad stolz. Dies sei auch dem Blick auf Qualität geschuldet, nicht auf Quantität. Nach relativ schnellem Wachstum in den Anfangsjahren des Instituts von 30 auf 350 Schüler hielte man jetzt diese Zahl zu Gunsten einer profunden Ausbildung konstant (siehe dazu auch

den Artikel in CLB 08-2006: Bald 55 Jahre Institut Dr. Flad in Stuttgart: Noch kein Unterrichtsausfall). Dennoch forderte Wolfgang Flad einen größeren Anteil an Privatschulen in Deutschland; das Land sei mit sieben Prozent EU-Schlusslicht. In den Niederlanden etwa betrage der Privatschulenanteil 70 Prozent.

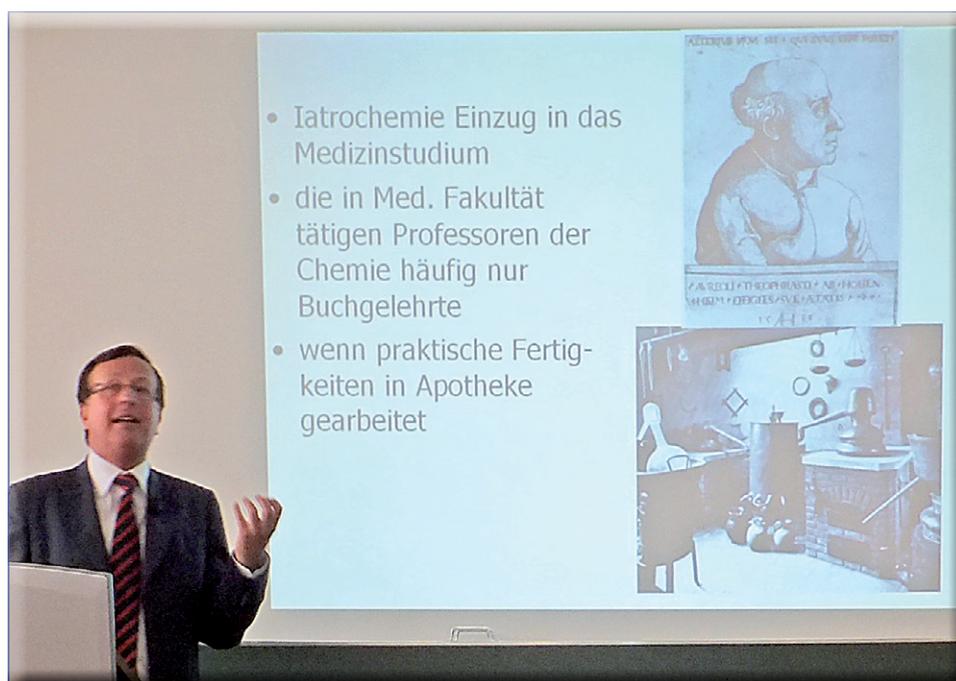
Dem Leitgedanken des Instituts „Wer nur die Chemie versteht, versteht auch die nicht recht“, geprägt vom Physiker und Schriftsteller Georg Christoph Lichtenberg (1742 – 1799), folgte der erste Festredner des Kolloquiums am Samstag: Prof. Dr. Christoph Friedrich vom Institut für Geschichte der Pharmazie, Philipps-Universität Marburg sprach über das Thema „Apotheker als Wegbereiter der Chemie“.

Apotheker als Wegbereiter der Chemie.

Als ersten Vertreter dafür käme Carl Wilhelm Scheele in Betracht. Er lebte von 1742 bis 1786. Der deutsch-schwedische Apotheker machte alle chemischen Untersuchungen im Apothekenlabor. Seine Verdienste liegen allerdings eindeutig auf dem Gebiet der Chemie. Man schätzt, dass Scheele zwischen 15 000 und 20 000 chemische Experimente ausgeführt hat. Insgesamt hätten Apotheker nicht nur auf chemischem Gebiet experimentiert und Entdeckungen gemacht, so der Vortragende, sondern seien Wegbereiter der Wissenschaft Chemie gewesen. Dies sei vorangetrieben worden durch

1. praktische Apotheker, die chemisch arbeiteten;
2. Apotheker, die auf Lehrstühle der Chemie und Pharmazie berufen wurden, und schließlich durch
3. Hochschullehrer für Pharmazie, die Beiträge zur Entwicklung der Chemie lieferten.

Erste chemische praktische Fertigkeiten vermittelten die Apotheken, so Prof. Christoph Friedrich. Einen Anstoß dazu gab die Iatrochemie, die nach Paracelsus einen Zusammenhang zwischen Krankheit und Medikament herzustellen versuchte (Fotos: RK).



Praktische Apotheker im Mittelalter – mit Impulsen für Chemie

Hauptaufgaben des Apothekers im Mittelalter waren, Arzneimittel auf chemischem oder chemisch/physikalischem Wege herzustellen, zu lagern und ihre Qualität zu sichern. Damit sei die Apotheke ein Raum praktischer chemischer Tätigkeit geworden. Vor Scheele erkannte bei solchen Tätigkeiten bereits der Berliner Hofapotheker Caspar Neumann (1683-1737) den Säurecharakter der Bernstein-säure. Scheele selbst entdeckte weitere Säuren: Oxalsäure (die er noch „Zuckersäure“ nannte).

te), Zitronensäure, Apfelsäure, Milchsäure, Benzoesäure, Gallussäure, Schleimsäure, Harnsäure – und bereitete sogar aus Flussspat die Flusssäure zu. Er entdeckte Chlor, Stickstoff, Barium, Molybdän und Wolfram (siehe dazu auch den Artikel über seltene Metalle, Teil 3: Molybdän und Wolfram in dieser CLB), erkannte salpetrige Säure, Blausäure und Schwefelwasserstoff und entdeckte Kupferarsenit, das auch „Schelles Grün“ genannt wird. Seine wichtigste Entdeckung jedoch ist die des Sauerstoffs. Scheeles Arbeiten erlaubten so dem französischen „Hobbychemiker“ Lavoisier (1743-1794), die Phlogistontheorie zu widerlegen. Phlogiston ist eine hypothetische Substanz, von der man im späten 17. und 18. Jahrhundert vermutete, dass sie allen brennbaren Körpern bei der Verbrennung entweicht sowie bei Erwärmung in sie eindringt.

Ein weiterer Apotheker mit großem Einfluss auf die Chemie sei Johann Christian Wiegleb (1732-1800) gewesen (siehe CLB 11/12-2007: Pharmazeut, Chemiker, Chemiehistoriker – Johann C. Wiegleb aus Langensalza). 1779 gründete er ein erstes pharmazeutisches Privatinstitut, übrigens als „chemische Pensionsanstalt“, zur Ausbildung von Apothekergehilfen – was man in dem Privatinstitut Dr. Flad mit Interesse aufnahm... Schon damals fand man die Einheit von theoretischem Unterricht und praktischen Übungen im Labor, eine Unterrichtsmethode für Chemiker, die Justus von Liebig (1803-1873) fortführte. Bis 1797 sind insgesamt 52 Publikationen von Wiegleb nachweisbar. Die Arbeiten beschäftigen sich mit „aus Knochen gezogener Phosphorsäure“, Schwerspat, Pechstein, Platin, Asbest, Speckstein, Feldspat, Hornstein und Glaubersalz. Wieglebs Motto, der allerdings noch die Phlogistontheorie vertrat, war: *Zweifel ist*

Bedeutendste Entdeckung

- Sauerstoff „Vitriolluft“
- Experimente, die er zwischen 1768 und 1773 ausführte
- 1777 *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer*
- Erlaubte französischem Hobbychemiker A. L. Lavoisier (1743–1794), Phlogistontheorie G. E. Stahls (1659–1734) zu widerlegen



Die bedeutendste Entdeckung von Apothekern im 18. Jahrhundert war die des Sauerstoffs. Damit wurde die Phlogistontheorie ad acta gelegt.

der Anfang der Wissenschaft; wer an nichts zweifelt, prüft nichts, und wer nichts prüft, entdeckt nichts, wer nichts entdeckt ist blind und muss blind bleiben.

Apotheker als Professoren der Chemie und Pharmazie

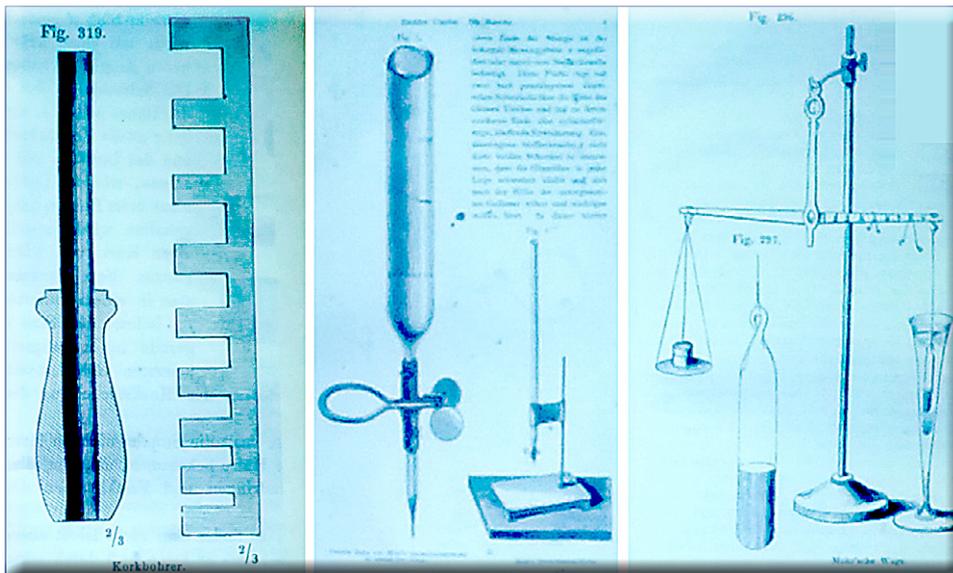
Als wichtigen Pharmazie- und Chemieprofessor nannte Christoph Friedrich Johann Bartholomäus Trommsdorff (1770-1837) aus Erfurt. Er hatte keine wissenschaftliche

Ausbildung, sondern übernahm nach dem Tode seines Stiefvaters 1789 die Erfurter Schwan-Apotheke. Sein Ziel war es, die Pharmazie aus ihrer handwerklichen Beschränkung zu befreien und zu einer „wissenschaftlichen Kunst“ zu entwickeln. Besondere Verdienste liegen in Trommsdorffs modernem Ausbildungskonzept für Pharmazeuten, dessen Ziel es war, das wissenschaftliche Niveau der praktischen Pharmazie zu heben. 1795 gründete

Ein erstes chemisches Experimentierset mit Anleitungsbuch stellte Johann Friedrich August Götting 1790 zusammen.

- Chemisches Taschenlaboratorium
- „Probircabinet“ regte zahlreiche Chemieinteressierte zum Experimentieren an
- freundschaftlicher Kontakt zu Goethe
- inspirierte diesen durch den chemischen Begriff „Wahlverwandtschaft“ zu seinem gleichnamigen Romantitel





Die praktische Ausrichtung von Pharmazeuten des 19. Jahrhunderts bewiesen auch die Erfindungen des Liebig-Duzfreundes Friedrich Mohr (1806-1879). Er erfand u.a. den Korkbohrer, die Quetschhahnbürette sowie die Mohrsche Waage zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten.

er deshalb die „Chemisch-physikalisch-pharmaceutische Pensionsanstalt für Jünglinge“, an der angehende Apotheker in Physik, Chemie und Pharmazie ausgebildet wurden. Damit kann er als Wegbereiter des akademischen pharmazeutischen Studiums bezeichnet werden. Als er 1828 das Institut aus gesundheitlichen Gründen schloss, hatten es über 300 Schüler erfolgreich absolviert, Apothekergehilfen, aber auch Praktiker aus der Fabrikation, Gerberei oder Färberei. Er gründete 1793 das „Journal der Pharmacie für Aerzte und Apotheker“, schrieb 34 Bücher, verfasste über 500 Zeitschriftenartikel.

Laut Friedrich besaß auch Johann Friedrich August Götting (1753-1809) beträchtlichen Einfluss auf die Chemie. Er erhielt eine Ausbildung bei Wiegleb. 1789 ernannte ihn Goethe zum außerordentlichen Professor für Philosophie mit Lehrauftrag für Chemie an der Universität Jena.

Unter anderem regte Göttings „Probircabinett“ zahlreiche Chemieinteressierte zum Experimentieren an. Das dazugehörige Anleitungsbuch von 1790 „Vollständiges che-

misches Probir-Cabinet zum Handgebrauche für Scheidekünstler, Aerzte, Mineralogen, Metallurgen, Technologen, Fabrikanten, Oekonomen und Naturliebhaber“ gilt heute als das erste Hochschullehrbuch für Analytische Chemie. Götting setzte sich – mit Hilfe Goethes – konsequent für den akademischen Chemie-Unterricht ein und befreite die Chemie somit aus ihrer bisherigen Rolle als „Dienerin von Pharmazie und Medizin“. Er betrieb ein privates Lehrinstitut – und regte Goethe durch den chemischen Begriff „Wahlverwandschaft“ zu seinem gleichnamigen Roman an. In der Chemie der damaligen Zeit beschrieb Wahlverwandschaft das anziehende und abstoßende Verhalten von Naturelementen.

Ein weiterer für die Chemie wichtiger Pharmazeut war Heinrich Wilhelm Ferdinand Wackenroder (1798-1854). Er war ab 1828 Professor für Pharmazie in Jena, isolierte 1831 aus der Mohrrübe das Carotin. 1845 entdeckte er die Wackenrodersche Flüssigkeit, die Pentathionsäure.

Auch ein Schüler Trommsdorffs (s.o.) brachte die Che-

mie voran, Johann Andreas Buchner (1783-1852). Bereits 1809 entdeckte Buchner im Tegernseer Erdöl das Paraffin. 1828 isolierte Buchner aus der Weidenrinde das Salicin, ein β -Glukosid aus dem Aglykon Saligenin (Salicylalkohol). Er entdeckte Solanin in Kartoffeln, Nikotin im Tabaksamen, Berberin in der Berberiswurzel und Aesculin in der Eichenrinde. Zudem führte er chemische Analysen von Mineralwässern durch. In seinem „Vollständigen Inbegriff der Pharmazie“ widmete er den Grundwissenschaften der Pharmazie Bände: neben Physik, Naturgeschichte, Toxikologie eben auch der Chemie.

Der Marburger Pharmazie-Historiker nannte in seinem Vortrag als aus dem Apothekerstand hervorgegangene Chemieprofessoren Martin Heinrich Klaproth (1743-1817), der Uran, Zirkon und Cer entdeckte, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849; siehe dazu CLB 2001, Seiten M38-M39, Berzelius und Döbereiner als Wegbereiter für das Periodensystem) sowie Heinrich Rose (1795-1864). Er entdeckte Niob und klärte die Zusammensetzung zahlreicher Mineralien auf, verfasste auch das „Handbuch der analytischen Chemie“.

Beiträge zur theoretischen und methodischen Entwicklung der Chemie von Hochschullehrern der Pharmazie

Laut Friedrich ergab sich Ende des 19. Jahrhunderts die Trennung von Pharmazie und Chemie. Dennoch seien weitere wichtige Impulse für die Chemie von der Pharmazie ausgegangen, so etwa von Friedrich Mohr (1806-1879). Der Duzfreund von Liebig erfand die Mohrsche Waage sowie die Mohrsche Quetschhahnbürette und einen praktischen Korkbohrer. Sein „Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrimethode“ (zwei Teile, 1855 und 1856) forderte genaue und

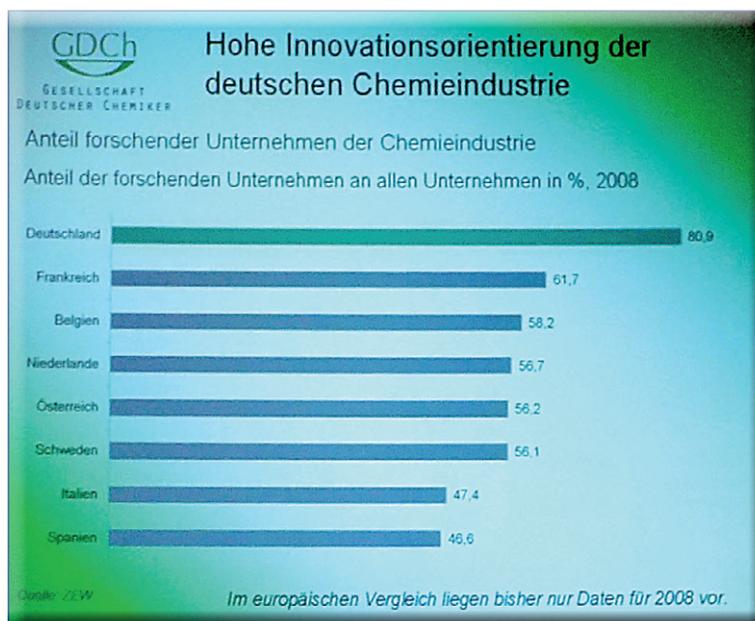
handliche Messinstrumente. Er führte eine exakte Methodik in der Analyse ein.

Weiter wurde Ernst Beckmann (1853-1923) genannt, der bei Remigius Fresenius studierte. Er entdeckte u.a. die Umwandlung des Benzophenoxims in isomeres Benzanilid („Beckmann-Umlagerung“). Sie wird heute noch in der chemischen Industrie zur Herstellung von ϵ -Caprolactam aus Cyclohexanonoxim im Zuge der Herstellung von Perlon angewendet.

Auch Carl Mannich (1877-1947) gehört in diese Reihe der Pharmazieprofessoren. Er war außerordentlicher Professor in Göttingen und Frankfurt, wurde 1927 Ordinarius für pharmazeutische Chemie in Berlin. 1912 fand er eine spezielle Form der Aminoalkylierung, die nach ihm benannte Mannich-Reaktion. Bei ihr findet eine Aminoalkylierung von CH-aciden Verbindungen mit einem Aldehyd und Ammoniak beziehungsweise einem primären oder sekundären Amin statt. Die Mannich-Reaktion findet Anwendung in der Synthese von Naturstoffen, wie beispielsweise Peptid-Nukleosid-Antibiotika und Alkaloiden. Weitere Anwendungsbereiche sind der Pflanzenschutz sowie die Lack- und Polymerchemie.

Fazit: Pharma führte zur Chemie – die verbessert Pharma

Christoph Friedrich resümierte, dass praktische Apotheker im 18. und 19. Jahrhundert eine Vielzahl chemischer Entdeckungen machten. Die bedeutendste sei davon die des Sauerstoffs gewesen. Aus dem Apothekerberuf hervorgegangene Professoren hätten Anteil an der Entstehung der Disziplin Chemie sowie an der Ausarbeitung des Chemiestudiums gehabt, die „chemische Revolution“ insgesamt vorantrieben. Auch im ausgehenden 19. und 20. Jahrhundert hätten



Deutsche Chemie- und Pharmazieunternehmen sind europaweit führend hinsichtlich des Anteils forschender Unternehmen.

pharmazeutische Hochschullehrer der Chemie noch wichtige Anregungen gegeben. Heute profitierten die Apotheker von neuen Erkenntnissen der Chemie, die ihre Wege in die angewandte Pharmazie fänden.

Die Zukunft der Chemie

Die Chemie hat sich zu einem beträchtlichen Teil aus der Pharmazie heraus entwickelt. Nun steuert sie jedoch in nahezu jeden Lebensbereich ihren Beitrag bei, zur Medizin, Werkstofftechnik, Elektronik, Fahrzeugentwicklung, Umwelt- und Energietechnik. Die weitere Entwicklung hängt daher von vielen Faktoren ab. Dies machte der Präsident der GDCh und frühere Evonik-Forschungsmanager Prof. Dr. Michael Dröscher deutlich. Er zeigte in seinem Festvortrag die Makrotrends der künftigen Weltgesellschaft auf – und beleuchtete auch die Rolle Deutschlands, die wesentlich von seiner Forschungsstärke und damit auch von seiner Ausbildungsfähigkeit abhängt. Da gibt es seinen Ausführungen entsprechend jedoch Rückständigigkeiten und Engstellen, die zukünftig die Wettbewerbsfähigkeit gefährden.

So sieht Dröscher zwar die Ausgaben der chemisch/pharmazeutischen Industrie mit ca. zehn Milliarden Euro in diesem Jahr – davon etwa 60 Prozent im Bereich Pharma – erfreulich positiv, ebenso auch den Anteil von etwas mehr als neun Prozent F&E-Mitarbeitern an der Gesamtzahl der Beschäftigten in jenen Industriebereichen. Deutschland erarbeite rund ein Achtel der Forschung im Bereich Chemie/Pharma der 34 OECD-Mitgliedsstaaten (OECD = Organisation for Economic Co-operation and Development).

Er weist aber darauf hin, dass die Bedeutung der Akademiker zunimmt. Zwar sei die Zahl der Studienanfänger in Chemie, die in den 90er Jahren zwischen 3000 und 4000 pro Jahr lag, seit 2000 auf meist über 5000 jährlich gestiegen. Die deutsche Chemieindustrie hätte jedoch eine hohe Innovationsorientierung; nach den USA und Japan sei Deutschland der drittgrößte Chemie-Innovationsstandort. Zudem zähle Deutschland zu den führenden Exportnationen forschungsintensiver Chemiewaren. Andererseits: Ingenieure und Naturwissenschaftler



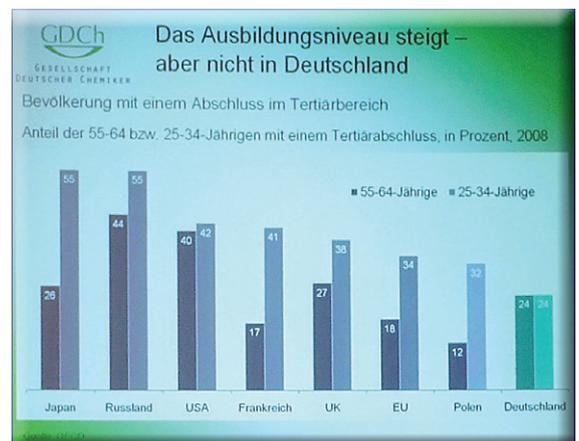
Prof. Michael Dröschler stellte fünf Macrotrends vor, deren weitere Entwicklung auch Einfluss auf die Vorstellungsfähigkeit und Denkweise von Naturwissenschaftlern haben sollte. Sie schaffen ja Grundlagen für Produkte, die sich nach solchen Macrotrends ausrichten. Was sich hinter den einzelnen, in der oberen Reihe angegebenen Macrotrends im Einzelnen verbirgt zeigen die darunter dargestellten Reihen.

seien in Deutschland rar. Das EU-Lissabon-Ziel, den Anteil der Forschung und Entwicklung auf drei Prozent des Bruttoinlandsproduktes zu steigern, ist in Deutschland mit seiner Steigerung auf 2,7 Prozent (2008) noch nicht gelungen, anders als etwa in Schweden mit 3,8 bzw. Japan und Korea mit jeweils 3,4 Prozent. Nur wenig tröstlich: Der OECD-Schnitt liegt mit 2,3 Prozent unter dem deutschen.

Mehr Ausbildung in Naturwissenschaft und Technik

Ob in diesem Zusammenhang die Anstrengungen Deutschlands in naturwissenschaftlich-technischer Ausbildung ausreichen bezweifelte Dröschler jedoch. Die Bildungsausgaben in Deutschland stagnierten. Das Ausbildungsniveau weltweit steige – nur nicht in Deutschland. Auch wenn Dröschler die Statistik der OECD dahingehend relativierte, dass „die einen Bachelor einem Gesellen im Friseurhandwerk gleichstellen“, so blieb sein Grundtenor mahndend für eine bessere naturwissenschaftlich-technische Ausbildung. Schlusslicht sei Deutschland etwa bei der Zahl der privaten Bildungsinstitute, die einen wichtigen Qualitätsfaktor darstellten. Hier werde international viel mehr in Elitemaßstäben gedacht. Ebenso sei es von großer Bedeutung, interdisziplinär zu arbeiten und langfristig, auf Nachhaltigkeit ausgerichtet zu denken – Wasser auf die Mühlen des Instituts Dr. Flad, das seine Ausbildungen schon lange dementsprechend ausrichtet.

In anderen Ländern steigt der Anteil der Bevölkerung mit Hochschul- oder ähnlichem Abschluss, während er in Deutschland stagniert.

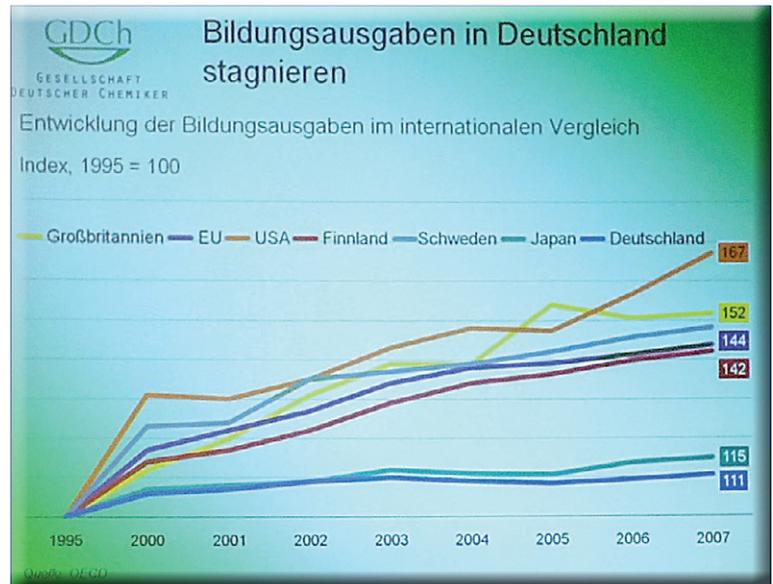


Macrotrends

Dröscher gab ein Beispiel für die Notwendigkeit, möglichst weit in die Zukunft zu blicken: Werden neue Werkstoffe entwickelt, dauere es durchaus auch 15 Jahre, ehe diese ihren Einsatz in Produkten fänden, etwa in neuen Autos. Und noch etwas sei sehr wichtig: Das Bewusstsein der Menschen auf die Akzeptanz von Innovationen hin zu lenken.

Um sich ansatzweise eine Vorstellung von der Zukunft machen zu können stellte Dröscher verschiedene Macrotrends vor. Unerwartete Ereignisse lassen sich per Definitionem nicht voraussagen, aber einen deutlichen Trend stellt beispielsweise der hin zur Globalisierung dar. Auch demographische Entwicklungen und das Verhalten von Konsumenten lässt sich längerfristig prognostizieren. Zudem gibt es Ausblicke auf natürliche Ressourcen und Entwicklungen unserer Umwelt, die bei allen Unsicherheiten doch Trends aufweisen. Auch gesetzgeberische und andere regulierende Maßnahmen haben oft einen langfristigen Charakter. Einzelne Beispiele dazu stellte Dröscher vor.

Eine Konsequenz daraus etwa: In einem globalisierten Produktions- und Handelsraum muss ein Chemiker und CTA nicht nur Technologien, sondern Kulturen verstehen, damit er die richtigen Produkte in die jeweiligen Märkte bringen kann. Wie fühlt sich für welche Kultur ein Kunststoff an kann schon von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des entsprechenden Produktes sein. „Keiner weiß wirklich, wie die Zukunft sich entwickeln wird, aber es kommt darauf an, richtig vorbereitet zu sein“, so Dröscher. Das treffe natürlich auch auf das Institut Dr. Flad zu, schloss Wolfgang Flad in seinen Dankworten an die Vortragenden des Festkolloquiums. Allerdings habe man den Grundstein für eine positive Weiterentwicklung dadurch gelegt, dass die Nachfolgeregelung mit Dr. Ulrike Flad und ihrem Mann Dominik Blossat getroffen worden sei. *Rolf Kickuth*



Seit rund 15 Jahren liegen die Ausgaben für Bildung in Deutschland auf einem vergleichbaren Niveau, während sie andernorts deutlich steigen.

Eine seltene Gruppierung von Repräsentanten der Chemie fand sich zur 60-Jahr-Feier des Instituts Dr. Flad: Drei GDCh-Präsidenten gratulierten (v.l.): Prof. Klaus Müllen (Präsidentenschaft 2008-2009), Prof. Michael Dröscher (2010-2011) sowie Prof. Dieter Jahn (2006-2007).



Wolfgang Flad (3. v.l.) stellte auf dem Festabend zur Feier des Institutgeburtstags seine Familie vor und freute sich, mit seiner Tochter Dr. Ulrike Flad und ihrem Mann Dominik Blossat (4. bzw. 5. v.l.) eine Nachfolgeregelung in der Geschäftsführung gefunden zu haben.

Viele Stellschrauben für bessere Materialien

Festkörperchemie „lebt“ von Fehlstellen in Kristallgittern

Perenne nil nisi solidum – nichts ist unvergänglich, es sei denn, es ist fest: Das ist zwar das Motto der Festkörperchemiker. Dennoch passiert auch in Feststoffen eine ganze Menge. Einen Einblick dazu gab Ende September Prof. Dr. Joachim Maier in einem Vortrag im Rahmen der 15. Stuttgarter Chemietage am Institut Dr. Flad.

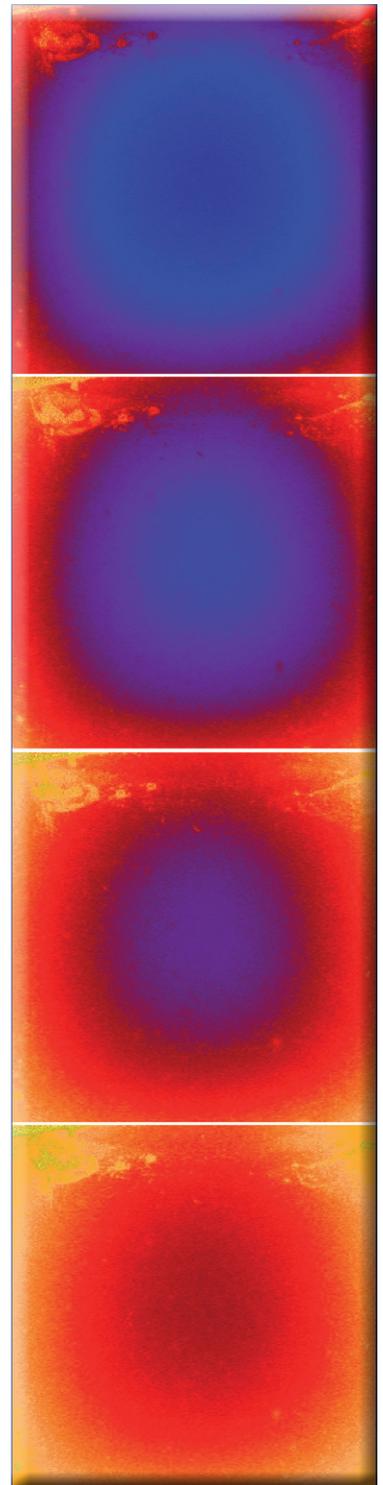
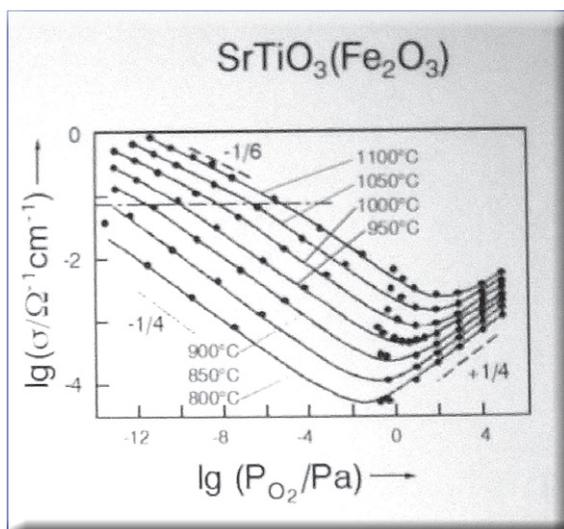
Der Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung (MPI-FKF) in Stuttgart betonte, was häufig eine Wertminderung darstelle könne bei Festkörpern ein Zugewinn sein: Fehlstellen in der atomaren oder molekularen Anordnung. Solche Punktfehler ermöglichen es, Festkörper in einer Art zu behandeln, die der Chemie mit Flüssigkeiten vergleichbar sei. H⁺-Ionen zum Beispiel könne man auch als Fehlstellen in der Phase Wasser betrachten. Zwar seien Zeitkonstanten bei Festkörperreaktionen in Normalfall sehr lang; dies sehe jedoch ganz anders aus, betrachte

man sehr kleinräumige Bereiche bzw. Festkörper bei hohen Temperaturen.

Als ein wichtiges Beispiel angewandter Festkörperchemie stellte Maier Zirkondioxid vor. Bei hohen Temperaturen wird diese Keramik zum Sauerstoffionenleiter. Fehlstellen im Kristallgitter ermöglichen diese Leitfähigkeit. Bekannt wurde Zirkondioxid durch seine Verwendung in Lambdasonden. Diese optimieren das Verhältnis von Luft zu Kraftstoff in Automotoren.

Ein interessantes Material aktueller Forschung sei Strontiumtitanat (SrTiO₃). Die relative Kleinheit des Titanions in der Perovskit-Gitterstruktur der Substanz mache es recht beweglich. Strontiumtitanat kann Leitfähigkeiten verschiedener Form zeigen, und es ist auch durchlässig für Sauerstoff – alles natürlich wieder abhängig von der Temperatur. Um aufzuklären wie schnell Sauerstoff in Strontiumtitanat eindringt gibt es die Möglichkeit, Mikroelektroden auf Probestücke zu setzen und die Leitfähigkeit über die Zeit gemessen. Am MPI in Stuttgart gelang es auch, mit speziellen optischen Methoden der Leitfähigkeitsspektroskopie einen Film davon zu erzeugen, wie Sauerstoff in einen Eisen-dotierten Strontiumtitanatkristall eindringt. Es gibt Entwicklungen, Strontiumtitanat statt Zirkonoxid für Sauerstoffsonden im Motor einzusetzen. Der reine Ionenleiter Zirkonoxid arbeitet für moderne Motorenregelungen zu langsam. Strontiumtitanat jedoch kann bei höheren Temperaturen, d.h. näher am Zylinder eingesetzt werden. Zudem erlauben spezielle Dotierungen Ansprechzeiten im Millisekundenbereich.

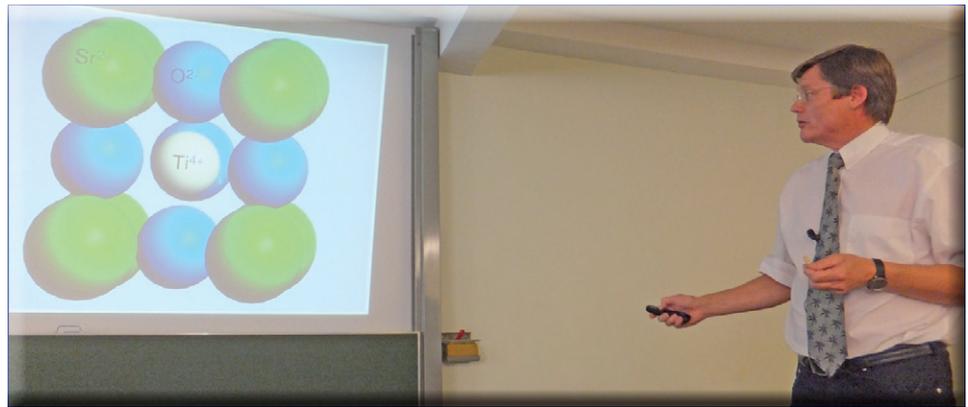
Abhängig vom umgebenden Sauerstoffdruck ändert sich die Leitfähigkeit von dotiertem Strontiumtitanat.



Ein „Film“ vom Eindringen des Sauerstoffs in eine Strontiumtitanat-Probe (Abb.: Bildschirmfotos von <http://www.fkf.mpg.de/maier/downloads/srtio3.html>).

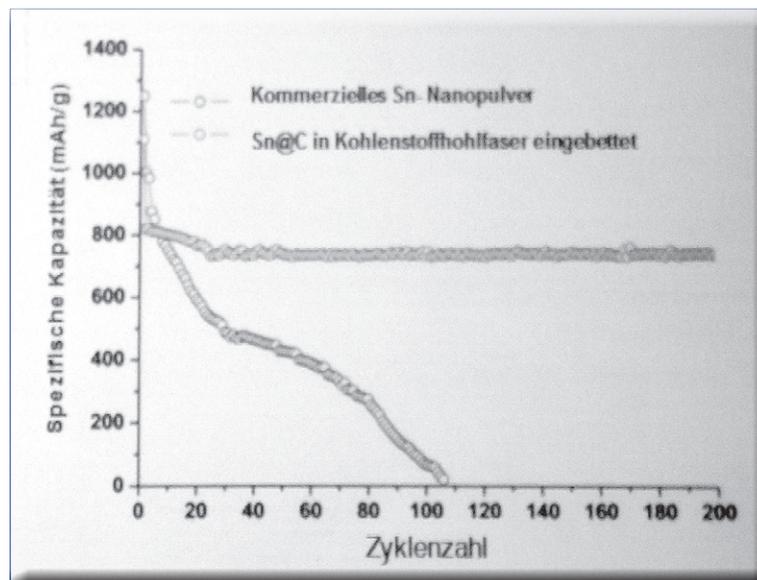
Festkörper können auch ihre Eigenschaften ändern, wenn sich das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ändert, sprich bei Nanostrukturierungen. Maier führte aus, dass beispielsweise bei dem Isolator Aluminiumoxid und der leitfähigen Substanz Silberchlorid eine Leitfähigkeitsanomalie auftritt, bringt man diese Stoffe auf nanoskalige Partikelgrößen. Grund dafür seien Ladungen an Grenzflächen solcher Partikel. Forschungen dieser Art könnten dazu beitragen, neue Materialien für die Elektroden etwa von Lithium-Ionen-Batterien zu entwickeln (siehe Kasten). Damit werde zum Beispiel eine höhere Speicherfähigkeit angestrebt, aber auch längere Haltbarkeiten, d.h. höhere Zykuszahlen von Ladung und Entladung neuer Batteriekonzepte sind Gegenstand der Forschung. So gäbe es spezielle Lithiumakkus, bei denen Zinn als Elektrodenmaterial eine Rolle spiele. Kapsle man das Zinn in Kohlenstoffhohlfasern ein, ergäbe sich eine sehr gute Zyklusfestigkeit.

Insgesamt wachse mit der zunehmenden Komplexität der Strukturen von Festkörpern, die man heute in der Lage sei herzustellen und zu analysieren, auch die Zahl der Stellschrauben, um immer bessere Materialien zu entwickeln. *RK*



Prof. Dr. Joachim Maier erläutert den Aufbau von Strontiumtitanat (Foto: RK).

Die Zyklenfestigkeit bestimmter Zinnelektroden steigt, wenn das Metall in Kohlenstoffhohlfasern eingebettet ist.

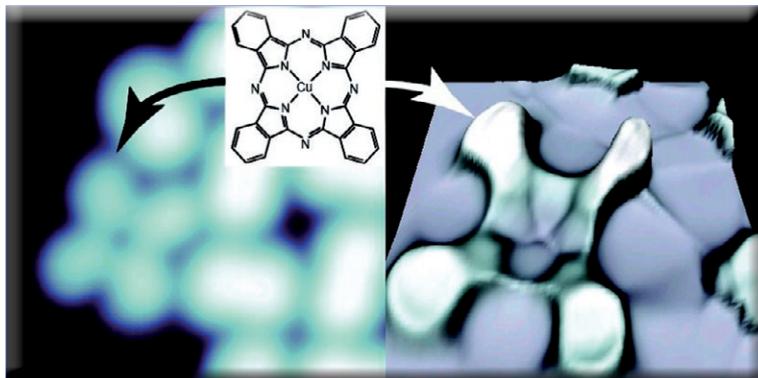


Zinn-Schwefel-Lithiumionen-Akku speichert 1100 Wattstunden pro Kilogramm

Bruno Scrosati und Jusef Hassoun von der Universität Rom haben jetzt einen vielversprechenden Ansatz für eine neue Variante eines Lithiumionen-Akkus entwickelt. Hintergrund: Theoretisch wären Lithium-Schwefel-Akkus Energielieferant der Wahl, da sie – bezogen auf die Masse – wesentlich mehr Energie als konventionelle Lithiumionen-Akkus liefern. Die praktische Anwendung krankt aber daran, dass sich dessen Elektroden nach und nach auflösen, was zu Kapazitätsverlust führt. Außerdem kann sich Lithiummetall in Form von Verästelungen abscheiden, die Kurzschlüsse verursachen. Das ist der Grund, warum kommerzielle „Lithium“-Akkus keine metallischen Lithiumelektroden enthalten, sondern ein Material, das Lithiumionen aufnehmen und wieder freigeben kann, oft Graphit. Der „römische“ Typ einer lithiummetallfreien Zelle arbeitet mit einer Kathode (negative Elektrode) aus einem Kohlenstoff-Lithiumsulfid-Komposit. Die organische Elektrolytlösung ersetzen sie durch eine in eine Gel-Polymermembran eingeschlossene lithiumionenhaltige Flüssigkeit. Das Polymer schirmt die Flüssigkeit von den Elektroden ab. Die Lösung ist zudem mit Lithiumsulfid gesättigt. Beide Maßnahmen minimieren das Auflösen von Elektrodenbestandteilen. Als Anode (positive Elektrode) wählten Scrosati und Hassoun nanoskopische Zinnpartikel, die in eine schützende Kohlenstoffmatrix eingeschlossen sind. An der Kathode wird Lithiumsulfid in elementaren Schwefel und Lithiumionen gespalten. Dabei werden Elektronen abgegeben. Die Lithiumionen wandern durch die Elektrolytmembran zur Anode, wo sie Elektronen aufnehmen und zu ungeladenen Lithiumatomen werden. Letztere werden von den Zinn-Nanopartikeln der Anode in Form einer Legierung gebunden. Der Prozess ist reversibel, sodass der Akku immer wieder aufgeladen werden kann. Mit einer spezifischen Energie von ca. 1100 Wh/kg übertrifft die neue Zelle alle bisherigen lithiummetallfreien Akkus.

Zwischenmolekulare Kräfte komplexer Moleküle

Einzelne Atome als Kontrastmittel für Rastertunnelmikroskope



Die herkömmliche Aufnahme eines Rastertunnelmikroskops mit blanker Spitze (l.) und mit einem Xenon-Atom als Sensor (r.) im Vergleich: Nur die neue Methode zeigt die atomare Struktur des neben einer Lage Perylentetracarbonsäuredianhydrid (PTCDA) befindlichen Kupferphthalocyanin-Moleküls (CuPc; alle Abbildungen: FZ Jülich).

Rastertunnelmikroskope zählen zu den wichtigsten und am weitesten verbreiteten Werkzeugen, um Strukturen auf atomarer Ebene sichtbar zu machen. Bisher war es damit allerdings kaum möglich, bis ins Innere komplexer Moleküle vorzudringen. Jülicher Forscher haben jetzt eine weitere Hürde überwunden, um diese Beschränkung aufzuheben. Sie nutzen einzelne Atome zwischen Mikroskopspitze und Probe als eine Art Kontrastmittel, mit dem sich die innere Molekülstruktur und zwischenmolekulare Kräfte abbilden lassen.

Das Rastertunnelmikroskop eignet sich zur Mikroskopie von leitenden Oberflächen oder Strukturen mit einer Auflösung von etwa einem Nanometer. Dabei wird eine spitze Nadel als Sonde verwendet, die über die abzubildende Oberfläche bewegt wird ohne sie zu berühren. Man nutzt dabei den Effekt aus, das es schon bei einer Annäherung der Spitze von einigen Atom-

abständen eine quantenmechanische Wahrscheinlichkeit gibt, dass ein Tunnelstrom fließen kann. Rastert man die Spitze über die Probe und regelt über den Tunnelstrom die Höhe der Spitze über der Probe nach, so erhält man eine Abbildung der Oberfläche, denn der Strom ist abhängig von der elektronischen Struktur der Probe. Die Bewegungen der Spitze wird durch piezoelektrische Keramiken realisiert, die sich beim Anlegen einer elektrischen Spannung verformen bzw. ausdehnen oder kontrahieren können.

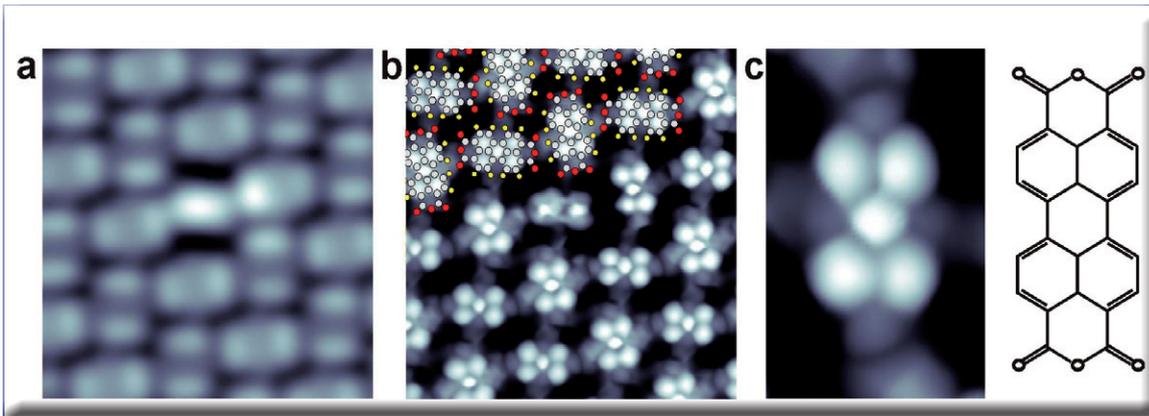
Der Tunnelstrom vermisst allerdings nur die äußere Elektronenhülle. Da sich diese Hülle bei vielen komplexen Molekülen über die Länge des gesamten Moleküls erstreckt, lässt die herkömmliche Anwendung kaum Hinweise auf die tieferliegende, atomare Molekülstruktur zu.

Die Jülicher Arbeitsgruppe um Dr. Ruslan Temirov und Prof. Stefan Tautz vom Peter Grünberg Institut forscht seit mehreren Jahren an Methoden, um die Möglichkeiten der Rastertunnelmikroskopie

zu erweitern. In einem aktuellen Artikel beschreiben sie die Möglichkeit, verschiedene Atom- oder Molekülsorten als Signalwandler mit unterschiedlichen Eigenschaften einzusetzen.

Die Atome haften dabei an der Spitze des Mikroskops. Durch kleine Lageverschiebungen reagieren sie extrem empfindlich auf die Kontur von Molekülen und beeinflussen dadurch den messbaren Tunnelstrom. Auf diese Weise gelingt es schon mit gewöhnlichen, industriell hergestellten Rastertunnelmikroskopen, Bilder von der Anordnung der Atome im Innern komplexer Moleküle anzufertigen und sogar zwischenmolekulare Kräfte wie Wasserstoffbrückenbindungen sichtbar zu machen. Durch den Einsatz verschiedener Atomsorten könnten sich schnell maßgeschneiderte Kontrastmittel für verschiedene Anwendungen bereitstellen lassen. Bei den Experimenten kamen Xenon, Kohlenmonoxid und Methan zum Einsatz, die sich unterschiedlich empfindlich verhalten und dadurch für verschiedene Reichweiten qualifizieren.

Auf dem Weg zum jetzt vorgestellten Verfahren konnten die Forscher bereits 2008 erste Bilder aus dem Innern komplexer organischer Moleküle veröffentlichen. Die Methode, einzelne Atome oder Moleküle als eine Art Signalwandler oder Sensor zwischen den Mikroskopspitze und die Probe zu bringen, ist mittlerweile zum Patent angemeldet. Als Sensor kamen ursprünglich Moleküle aus schwerem Wasserstoff zum Einsatz. Das Deuterium an der Messnadel des Mikroskops wirkt als Sensor an der



STM-Bilder von PTCDA / Ag in herkömmlicher Weise und Deuterium-sensibilisiert aufgenommen. (a) Ein $5 \times 5 \text{ nm}^2$ großes, konventionelles Konstantstrombild der elektronischen lokale Zustandsdichte des Moleküls. In der Mitte des Bildes ist ein Punktdefekt, eine Verunreinigung, zu sehen. (b) Ein $5 \times 5 \text{ nm}^2$ großes Bild von PTCDA, jedoch mit Deuterium-Sensibilisierung aufgenommen. In der oberen linken Teil des Bildes ist die berechnete atomare Struktur einer PTCDA-Schicht auf Ag überlagert. (c) vergrößerter Ausschnitt von (b), $1 \times 1,5 \text{ nm}^2$. (d) Strukturformel von PTCDA.

Probenoberfläche. Da es sehr beweglich an der Spitze hängt, kann es den Konturen folgen. Dies beeinflusst die Ströme, die über die Mikroskopspitze fließen. Das ist, als hätte man die hochsensible Nadel selbst noch einmal mit einem Fühler versehen; die Auflösung eines Rastertunnelmikroskops wird dadurch sehr stark erhöht.

Als eines der ersten Moleküle untersuchten die Wissenschaftler die Verbindung Perylentetracarbonsäuredianhydrid (PTCDA). Sie besteht aus 26 Kohlenstoff-, acht Wasserstoff- und sechs Sauerstoffatomen, die sieben zusammenhängende Ringe bilden. In bisherigen rastertunnelmikroskopischen Aufnahmen mit reinen Metallspitzen wird es nur als rund ein Nanometer großer konturloser Fleck abgebildet. Das Verfahren mit dem Deuteriumatom an der Spitze des Mikroskops ließ dann aber die innere, wabenartige atomare Struktur erkennen, die von den Ringen gebildet wird.

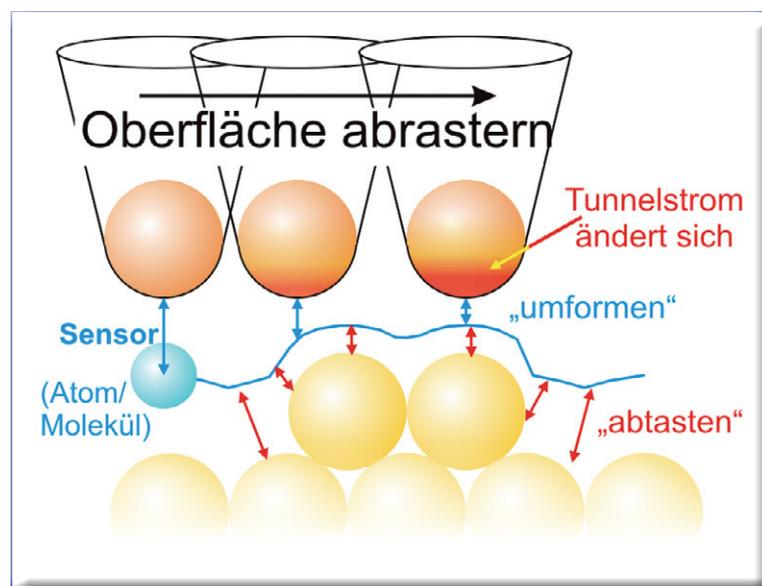
Anhand computergestützter Berechnungen in Kooperation mit der Arbeitsgruppe um Prof. Michael Rohlfing von der Universität Osnabrück entwickelten die Wissenschaftler eine quantenmechanische Theorie zur Funktionsweise:

Demnach ist die kurzreichweitige Pauli-Abstoßung für den Effekt der Hochauflösung verantwortlich. Diese ist eine quantenphysikalische Kraft zwischen Deuterium und Molekül, die die Leitfähigkeit moduliert und es erlaubt, sehr sensitiv die feinen Strukturen zu messen.

Die Deuteriumatome ließen sich allerdings nicht präzise dosieren. Wasserstoff ist sehr leicht beweglich, verhält sich daher ziemlich unruhig und

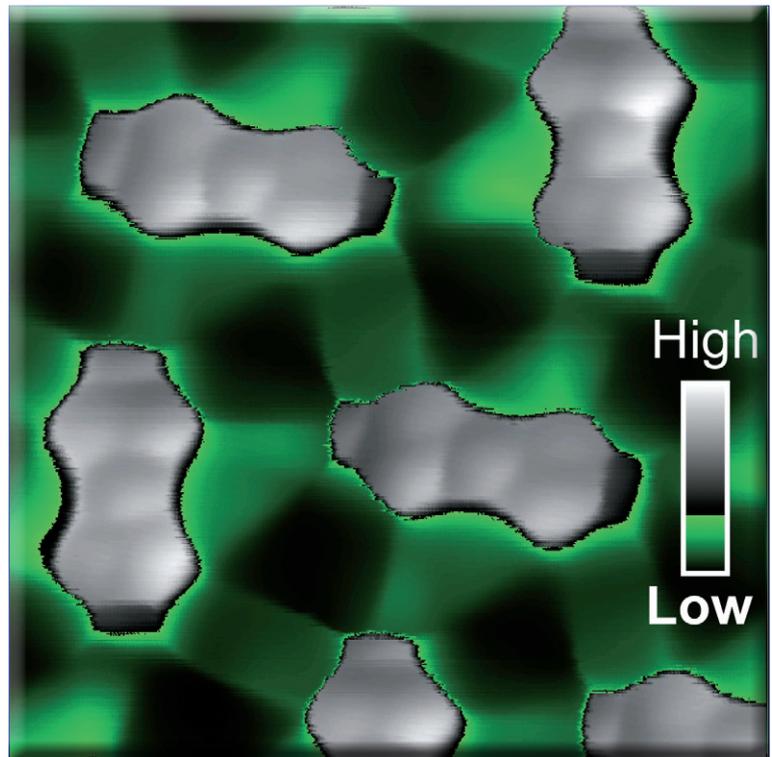
ist im Rastertunnelmikroskop zudem praktisch unsichtbar. Überhaupt ist es so: Normalerweise sind Fremdstoffe bei Messungen am Rastertunnelmikroskop unerwünscht; ein starkes Vakuum sorgt bei minus 260 Grad Celsius für eine absolut saubere, störungsfreie Umgebung. Glücklicherweise reichen winzige Mengen, die sich auf der Probe und der eiskalten Spitze anheften, um den hochauflösenden Effekt zu erzielen.

Ein einzelnes Molekül an der Spitze des Rastertunnelmikroskops verändert seine Lage entsprechend des abgetasteten Oberflächenprofils und beeinflusst dadurch die Leitfähigkeit und den Tunnelstrom.



**Krankheiten:
Mechanismen und Möglichkeiten**

- Forscher am Universitätsklinikum Tübingen haben in den letzten zehn Jahren den Wirkmechanismus eines körpereigenen Moleküls aufgeklärt, das die Immunabwehr seitens der dendritischen Zellen entscheidend beeinflusst. Sie gehen davon aus, dass dies die Basis für die Entwicklung neuer, aller Wahrscheinlichkeit nach sehr sicherer Medikamente für Menschen mit schweren **Autoimmunkrankheiten wie Psoriasis oder Multiple Sklerose** ist. Erste Medikamente dazu sollen noch dieses Jahr auf den Markt kommen. Dazu untersuchte man den Wirkmechanismus des kleinen, körpereigenen Moleküls namens Di-Methyl-Fumarat (DMF), da DMF das erste Molekül ist, das sowohl die Psoriasis als auch die Multiple Sklerose bessert. Das Forscherteam konnte jetzt zeigen, dass kleine Moleküle wie DMF die dendritischen Zellen umerziehen können, und zwar zu Zellen, die vor einer Gewebeerstörung schützen können, die Typ 2 Dendritischen Zellen“.
- Wissenschaftler des KIT untersuchen derzeit einen neuen Ansatz zur Therapie von **Brustkrebs**: Sie wollen die Aktivität des so genannten ErbB-Rezeptors unterdrücken. Dieses Molekül auf der Oberfläche von Krebszellen ist für das Tumorwachstum verantwortlich. Die Forscher wollen jedoch nicht das Wachstumsmolekül selbst angreifen, sondern ein Partnermolekül, ohne das der ErbB-Rezeptor nicht funktioniert.
- Heidelberger Wissenschaftler konnten zeigen, dass die krankhaften Umbauprozesse, die zu **Krampfadern (Varizen)** führen, durch ein einziges Protein eingeleitet werden. Als Reaktion auf die Dehnung der Gefäßwände stößt es die Produktion mehrerer an den Veränderungen beteiligter Moleküle an. Die Arbeit eröffnet vielleicht eine Möglichkeit, in Zukunft die Entstehung neuer Krampfadern medikamentös zu verlangsamen oder sogar zu verhindern.
- Man hat nun die Wirkweise einer neuartigen Antibiotika-Substanzgruppe entschlüsselt, das selbst **multiresistente Keime abtötet**: Acyldepsipeptide (ADEPs) greifen an einer ganz anderen Schlüsselstelle in den Stoffwechsel der Bakterien ein als bisherige Mittel. Sie führen zu einer Fehlsteuerung eines wichtigen Enzyms, der ClpP-Protease. Es bewirkt normalerweise das Recycling von defekten Proteinen des Bakteriums, welches ein ganz strikt kontrollierter Prozess ist. Die ADEPs setzen diese strikte Kontrolle der ClpP-Protease außer Kraft, wodurch nun auch bestimmte gesunde Proteine abgebaut werden. Die Bakterien begehen regelrecht Selbstmord, da die eigene ClpP-Protease nun das für die Zellteilung wichtige FtsZ-Protein zerschneidet und verdaut.
- Die chronische Herzmuskelschwäche kann künftig möglicherweise mit Hilfe der Gentherapie erfolgreich behandelt werden. Vielversprechende Ergebnisse dazu lieferten Versuche mit Schweinen. Bei ihnen wurde das Protein S100A1 mit Hilfe eines Virus als Genfahre in den geschwächten Herzmuskel eingebracht. Der Herzmuskel hatte sich darauf wieder vollständig erholt. Mit ersten klinischen Studien kann in ca. zwei Jahren gerechnet werden.



Mit Hilfe einzelner Atome als Kontrastmittel lassen sich sogar schwache Bindungen zwischen Molekülen darstellen, wie diese Wasserstoffbrückenbindungen innerhalb einer Lage Perylentetracarbonsäuredianhydrid (PTCDA).

Bei dem alten „Deuterium-Verfahren“ ließ es sich allerdings nicht feststellen, wie viele Moleküle sich zwischen Tastkopf und Probe befinden. Die Wissenschaftler sagen: Man muss sich den Wasserstoff vorstellen, die die ganze Probe überzieht. Nachdem die grundlegenden physikalischen Prinzipien über computergestützte Berechnungen geklärt wurden, auf denen die neue Technologie beruht, ist den Forschern jetzt der entscheidende Schritt hin zu einem breiten Anwendungsspektrum gelungen. Das neue Verfahren kann eingesetzt werden, um die atomare Struktur von flachen Molekülen zu vermessen, die als organische Halbleiter oder als Teil von zukünftigen, schnellen und effizienten elektronischen Bauelementen verwendet werden könnten. Aber auch große dreidimensionale Biomoleküle wie Proteine könnten untersucht werden,

wenn die Methoden noch verfeinert werden.

Besonders erfreulich ist die Entdeckung der Forscher insofern, als sich die daraus entstandene Methode einfach mit kommerziellen Tieftemperatur-Rastertunnelmikroskopen koppeln lässt, und die Präparation der Proben weitgehend auf Standardverfahren beruht. Die Arbeit stellt einen ersten Schritt in Richtung einer Standardanwendung dar. Es ist gut vorstellbar, dass sich in Zukunft noch ganz andere Stoffe als Sensor etablieren werden.

Originalveröffentlichung: Single Molecule and Single Atom Sensors for Atomic Resolution Imaging of Chemically Complex Surfaces Georgy Kichin, Christian Weiss, Christian Wagner, F. Stefan Tautz, Ruslan Temirov J. Am. Chem. Soc. DOI: 10.1021/ja204624g. Publication Date (Web): October 3, 2011.

Alpha-Bor eindeutig als thermodynamisch stabile Phase von Bor bestimmt

Zu CLB 06/2011, 258: **Neue chemische Bindungen in Hochdruck-Bor-Kristallen entdeckt**

Lange Zeit war die Wissenschaft uneins über eine für die Grundlagenforschung und ebenso für technologische Anwendungen hochrelevante Frage: Welches ist die stabilste Bor-Phase? Ein Team um Prof. Dr. Natalia Dubrovinskaia, Heisenberg-Professorin für Materialphysik und Technologie an der Universität Bayreuth, und Prof. Dr. Leonid Dubrovinsky am Bayerischen Geoinstitut (BGI) hat diesen Streit jetzt eindeutig zugunsten von Alpha-Bor entscheiden können. Moderne Hochdruck-Technologien können voraussichtlich so angepasst werden, dass es möglich ist, Alpha-Bor im Industriemaßstab zu produzieren. In den Hochdrucklaboratorien des BGI – einem Forschungszentrum der Universität Bayreuth – wurde eine Serie unterschiedlicher

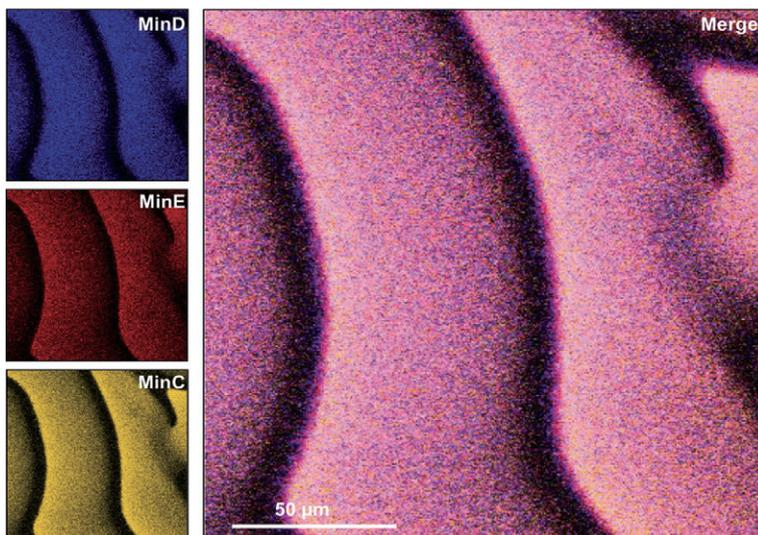
Borkristalle synthetisiert, bei Temperaturen bis zu 2300 Kelvin (ca. 2030 Grad Celsius) und Drücken bis zu 15 Gigapascal. Borkristalle der Alpha-Phase entstanden im BGI bei Drücken zwischen 4 und 11 Gigapascal, die mit Temperaturen zwischen 1400 und 1900 Kelvin einhergingen. Die experimentell gewonnenen Daten führten zu dem Ergebnis, dass diese Alpha-Borkristalle – und nicht, wie vielfach vermutet, Beta-Borkristalle – die stabilste Bor-Phase darstellen. Eine Reihe von Eigenschaften, die für technologische Anwendungen besonders relevant sind, wurden durch hochpräzise Messungen entweder bestätigt oder erstmals zuverlässig nachgewiesen: Alpha-Bor ist ein Halbleiter mit breiter direkter Bandlücke, zeichnet sich durch einen außerordentlichen Härtegrad aus, ist hitzebeständig und vergleichsweise leicht.

Freier Blick auf sich selbst organisierende Proteine

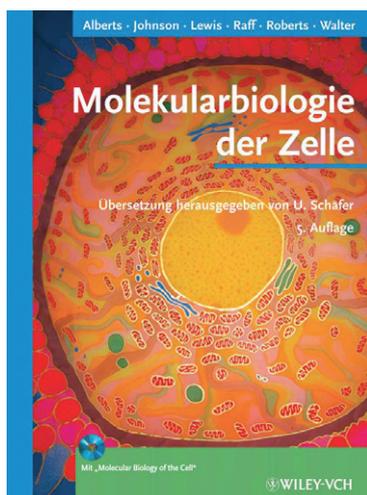
Zu CLB 11/2010, 480-491: **Emergenz: Der Funke der Schöpfung**

Auf einer künstlichen Membran konnten Biophysiker des Biotechnologischen Zentrums der Technischen Universität Dresden (BIOTEC) das erste Mal beobachten, wie sich einzelne Proteine der Min-Familie, die in Bakterien die Zellteilung regulieren, selbst und gegenseitig organisieren. Jedes biologische System, so auch die Zellen, besteht zunächst aus einem Gemisch von Biomolekülen. Die Wissenschaftler interessiert, nach welchen Gesetzen sich plötzlich und ohne Steuerung von außen die Moleküle in diesen homogenen Lösungen organisieren. In der Theorie ist das Phänomen, das sich durch Diffusion und Wechselwirkung Muster ausbilden, gut verstanden. Experimentell sind solche Prozesse allerdings schwer nachzubilden. Um besser zu

verstehen, welche Eigenschaften die Moleküle benötigen, um verschiedene Bewegungsmuster auszubilden, hat man ein oszillierendes System von Proteinen als Prototyp verwendet. Bei den Versuchen wurden verschiedene Proteine der Min-Familie verwendet, die natürlicherweise in E.coli-Bakterien (Darmbakterien) vorkommen und dort die Zellteilung regulieren. Erstmals bildete man damit die Oszillation von Proteinen künstlich nach. Normalerweise befinden sich die Min-Proteine im Inneren der Bakterien, aber im zellfreien Modell des Systems wurden die Proteine frei auf die Membran aufgebracht. Als hauchfeiner Film aus Lipiden lag für die Versuche die künstliche Zellmembran auf dem Deckgläschen. Das Gemisch der Min-Proteine befand sich in Lösung über der Membran, so dass die Forscher mit dem Fluoreszenzmikroskop genau die sich ausbreitenden Wellen beobachten konnten, die bei den Interaktionen der Proteine erzeugt wurden. Die Dresdner Biophysiker konnten weltweit das erste Mal beobachten, wie einzelne Moleküle der sMinD-Proteine an die künstliche Membran binden und auf welche Weise sie von den MinE-Proteinen wieder abgelöst werden. Nach ihren Aussagen kennt man zwar in etwa die Eigenschaften der einzelnen Moleküle, konnten ihr individuelles Verhalten in einer großen Ansammlung aber bisher nicht sichtbar machen. Der neue mechanistische Prototyp bringt die Forscher jetzt weiter, biologische Selbstorganisation besser zu verstehen. Das Bild zeigt drei verschiedene Proteine der Min-Familie, die auf der künstlichen Membran Muster bilden, die wie Wellen aussehen und sich von links nach rechts bewegen (Foto: Biotec/Loose).



Das große Lehrbuch zur Zellbiologie mit DVD in amerikanischer Fassung



Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, Peter Walter: *Molekularbiologie der Zelle*, 1980 Seiten; Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 5. Auflage 2011; ISBN 978-3-527-32384-5; 119,00 Euro (Einführungspreis bis 31. Dezember 2011; danach 129,00 Euro).

Für viele Studierende der Biologie, der Biochemie und der Medizin im Grundstudium gehört das „Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie“ von B. Alberts und Co-Autoren (3. Aufl. 2005; 938 Seiten) zur ersten Wahl unter den Lehrbüchern der Molekularbiologie und der Zellbiologie. Auf

der Grundlage des amerikanischen Standardwerkes „Molecular Biology of the Cell“ liegt jetzt auch das große Lehr- und Handbuch „Molekularbiologie der Zelle“ als deutsche Übersetzung in vollständig überarbeiteter und aktualisierter Fassung als 5. Auflage vor. Die Neuauflage ist in 5 Teile mit den nachstehend genannten 25 Kapiteln gegliedert: (I) *Einführung in die Zelle* (212 Seiten): Zellen und Genome (1), Zellchemie und Biosynthese (2) und Proteine (3).

(II) *Genetische Grundmechanismen* (342 Seiten): DNA, Chromosomen und Genome (4), Replikation, Reparatur und Rekombination von DNA (5), Wie Zellen das Genom ablesen (6) und Kontrolle der Genexpression (7).

(III) *Methoden* (131 Seiten), wobei unter „Handhabung von Proteinen, DNA und RNA“ in Kapitel 8 (90 Seiten) die Isolierung von Zellen und ihre Aufzucht in Kulturen, ferner Reinigung und Charakterisierung von Proteinen sowie von DNA und schließlich die Untersuchung der Expression und der Funktion von Genen beschrieben sind. Kapitel 9 „Das Abbild der Zellen“ umfasst die Betrachtung von Zellstrukturen mit dem Lichtmikroskop und Elektronenmikroskop.

(IV) *Die Innere Organisation der Zelle* (mit 578 Seiten der umfangreichste Teil) mit den Kapiteln 10 bis 18 zu den Lehrinhalten: Aufbau von Membranen und Transport durch Membranen (10 und 11), Zellkompartimente und

Protein-Sortierung (12), Intrazellulärer Vesikelverkehr (13), Energie-Umwandlung (14), Mechanismen der Zellkommunikation (15; mit 99 Seiten), Das Cytoskelett (16; mit 100 Seiten), Zellzyklus (17) und Apoptose (18).

(V) *Zellen in ihrem sozialen Umfeld* (554 Seiten) beschreibt vielfältige aktuelle Erkenntnisse und ihre Bedeutung, wie: Zellverbindungen, Zelladhäsion und die extrazelluläre Matrix (19), Krebs (20), Sexuelle Fortpflanzung (21) und die Entwicklung vielzelliger Organismen (22; mit 137 Seiten das längste Kapitel überhaupt). Hinzu kommen Ausführungen über spezialisierte Gewebe, Stammzellen und die Erneuerung von Gewebe (23), Krankheitserreger, Infektion und angeborene Immunität (24) sowie über das Adaptive Immunsystem (25).

Die vorgenommenen Aktualisierungen umfassen Gebiete wie Epigenetik, Histon-Modifikationen, kleine Ribonucleinsäuren, vergleichende Genomik, Cytoskelettdynamik, Kontrolle des Zellzyklus und Stammzellen. Zur hervorragenden didaktischen Gestaltung tragen folgende Merkmale bei: Einleitend das ausführliche Inhaltsverzeichnis (29 Seiten) sowie eine den einzelnen Kapiteln zugeordnete Liste der 64 Tabellen und der 25 Farbtafeln (davon 18 als Doppelseite). Zusammenfassungen der jeweiligen Lehrinhalte findet man bereits nach jedem Unterkapitel. Zudem sind die zahlreichen Literaturangaben am Ende jedes Kapitels nach Unterkapiteln aufgeschlüsselt. Das Glossar enthält mehr als 1200 Begriffserklärungen (56 Seiten).

Von zusätzlichem Nutzen ist die als „Bestandteil“ des Lehrbuches beigelegte Media DVD-ROM der amerikanischen Originalfassung „*Molecular Biology of the Cell*“ von 2008. Diese DVD umfasst einen Ordner, der die Abbildungen, Farbtafeln, Tabellen und mikroskopischen Aufnahmen aus dem Buch enthält. Ein weiterer Ordner „*Cell Biology Interactive*“ enthält mehr als 125 Videos, Animationen und Molekülstrukturen. Durch Zugriff auf den „Media Guide“ erhält man den Überblick, während die Eingabe von im Lehrbuch-Text hervorgehobenen „Media Codes“ den direkten Zugang zu bestimmten Lehrinhalten bietet. Dieses Werk wird sicherlich weite Verbreitung im Bereich der Lebenswissenschaft finden. Dr. Dieter Holzner

Der rasche Zugang zu einer Vielzahl an nützlichen Informationen

Friedrich W. Küster, Alfred Thiel: *Rechentafeln für die Chemische Analytik: Basiswissen für die Analytische Chemie*; 397 Seiten, De Gruyter Verlag, Berlin, 107. Auflage 2011; ISBN 978-3-11-022962-2; 34,95 Euro.

Als „Logarithmische Rechentafeln für Chemiker“ hat sich dieses traditionsreiche Werk schon für Generationen von Chemikern als nützliches Hilfsmittel bei der Lösung vielfältiger Aufgaben erwiesen. In der nunmehr vorliegenden, von A. und U. Ruland bearbeiteten 107. Auflage ist das „Basiswissen für die Analytische Chemie“ in 9 Kapiteln dargestellt, beginnend mit dem Periodensystem der Elemente sowie der Charakterisierung von Elementen,

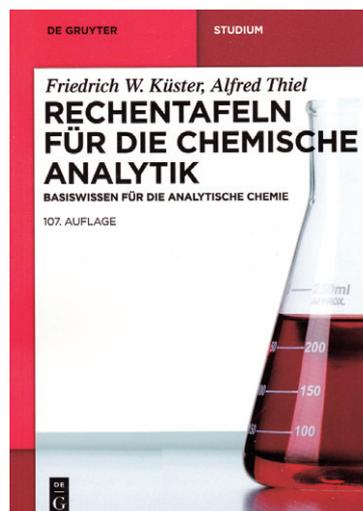
Verbindungen und Atomgruppen. Die Tabelle mit den relativen Atommassen der Elemente wurde den aktuellen IUPAC-Daten angeglichen. Zudem enthält Kapitel 1 eine umfangreiche Tabelle (23 Seiten) mit Angabe der Summenformeln und der molaren Massen gebräuchlicher Verbindungen sowie eine sehr übersichtliche Zusammenstellung zur *Nomenklatur* für chemische Verbindungen, Ionen und Radikale (14 Seiten).

Das längste Kapitel (2; mit 74 Seiten) beschreibt *Quantitative Analysen mit chemischen und physikalischen Methoden* mit den wichtigsten Verfahren der Volumetrie und umfangreichen Tabellen zur Gravimetrie und

zur Gas-Volumetrie. In Kapitel 3 (65 Seiten) werden *Spektroskopische Methoden zur Strukturaufklärung chemischer Verbindungen* besprochen, insbes. Elektronenspektroskopie im sichtbaren und im UV-Bereich, Infrarotspektroskopie, Kernresonanzspektroskopie und Massenspektrometrie. Kapitel 4 befasst sich (auf 69 Seiten) mit der *Bestimmung und Berechnung physikalischer und physikalisch-chemischer Größen*, wobei „Elektrochemische Größen“ besonders ausführlich (41 Seiten) beschrieben werden. In Kapitel 5 sind *Größen, Einheiten und Umrechnungsfaktoren* zusammengestellt. Ein eigenes Kapitel (6; mit 44 Seiten) ist der statistischen *Beurteilung von Messwerten und der Validierung von Analysemethoden* gewidmet. Kapitel 7 umfasst *Formeln und Rechenhilfen aus der Mathematik und der physikalischen Chemie*. Zu Kapitel 8 *Tabellen zur chemischen und chemisch-analytischen Arbeitstechnik* gehören z.B. ausführliche Angaben über Trockenmittel und organische „Lösemittel“.

Das abschließende Kapitel *Arbeitssicherheit* enthält im Abschnitt „Kennzeichnung von gefährlichen Stoffen“ auch nähere Ausführungen zur „CLP-Verordnung“ (Classification, Labelling, Packaging) der EU, im Rahmen des GHS (Global

Harmonisiertes System) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien. Der Nutzen dieses Tabellenwerkes wird noch erhöht durch das Literatur-Verzeichnis sowie durch insgesamt 53 als „Beispiele“ bezeichnete Aufgaben (in der Regel mit Lösungswegen und Lösungen) in den Kapiteln 2 mit 7. Dieses übersichtlich und ansprechend gestaltete Werk ist auch aufgrund der vorbildlichen Relation von Nutzen und Preis für Zielgruppen in der Chemie und der Angewandten Chemie in Studium und Praxis empfehlenswert. *Dr. Dieter Holzner*



Allgemeine Chemie – in beeindruckender Vielfalt als erweiterte Neuauflage

Michael Binnewies, Manfred Jäckel, Helge Willner, Geoff Rayner-Canham: *Allgemeine und Anorganische Chemie*; 880 Seiten; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2. Auflage 2011, ISBN 978-3-8274-2533-1; 69,95 Euro; ISBN 978-3-8274-2744-1; 25,00 Euro (Bild-DVD mit allen Abbildungen und Tabellen; zusätzlich 151 Farbfotos).

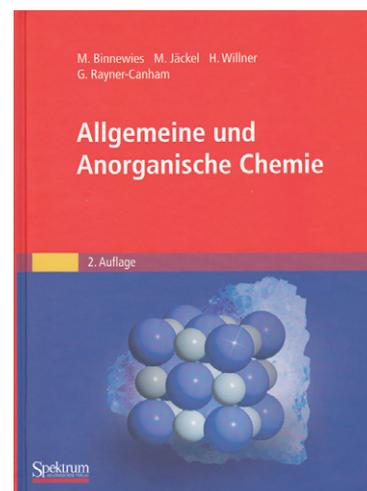
Die 2. Auflage des 2004 erschienenen Lehrbuches der Allgemeinen und Anorganischen Chemie zeichnet sich durch sehr gute Übersichtlichkeit und eine Reihe von Merkmalen aus, die den Lernerfolg sicherstellen. Außer den 25 Kapiteln umfasst das Werk einen aus drei Teilen bestehenden Anhang: (A) Einige Grundbegriffe der Physik, (B) Mathematische Grundlagen und (C) eine Datensammlung mit Tabellen über Enthalpien, Elektronenaffinitäten, Ionenradien und physikalische Eigenschaften anorganischer Stoffe und zur Löslichkeit anorganischer Verbindungen in Wasser. Hinzu kommen eine Zusammenstellung zu weiterführender Literatur, ein 20-seitiges Glossar und ein ausführlicher Index.

Auf eine angemessene Einführung über Reaktionsgleichungen, Größen und Einheiten und zur Nomenklatur folgen Kapitel über den Aufbau der Atome (2), das Periodensystem im Überblick (3) und die Arten der chemischen Bindung (4 mit 6). Danach werden die Thermodynamik anorganischer Stoffe (7) sowie Reine Stoffe und Zweistoffsysteme (8) besprochen. Weitere Lehrinhalte von grundlegender Bedeutung sind das Chemische Gleichgewicht (9), Säuren und Basen (10), Oxidation und Reduktion (11), Komplexreaktionen (12) und die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen (13).

Nach dem Kapitel über Wasserstoff (14) werden die Elemente der Gruppen 1 und 2 sowie 13 mit 18 des Pe-

riodensystems in den Kapiteln 15 mit 22 besprochen. Weitere Kapitel beinhalten eine Einführung in die Chemie der Übergangsmetalle (23), die Nebengruppenelemente (24) sowie Lanthanoide, Actinoide und Transactinoide (25). In den Kapiteln über Wasserstoff und die jeweiligen Gruppen chemischer Elemente tragen auch die Abschnitte „Die wichtigsten Reaktionen im Überblick“ zum Lernerfolg bei.

Am Ende jedes Kapitels sind Übungen (insgesamt 647) aufgeführt. Wie es im Vorwort heißt, stehen die ausführlichen Lösungen zu den Übungsaufgaben allen Lesern elektronisch über die Homepage des Verlages unter www.spektrum-verlag.de/978-3-8274-2533-1 zur Verfügung. Des Weiteren findet man dort insgesamt 151 Farbfotos von chemischen Elementen, Labor-Reagenzien und Mineralien. Die Kapitel enthalten insgesamt 91 *Exkurse* zu „fachübergreifenden Themen“, wie Ionische Flüssigkeiten, Infrarot- und Raman-Spektroskopie, Biominerale und Einlagerungsverbindungen. Ausführungen zur *Bioanorganischen Chemie* findet man in Kap. 3.7 sowie in zahlreichen Kapiteln unter „Biologische Aspekte“. Der Konzeption gerecht werdend ist dieses Lehrbuch für das Grundstudium der Chemie an Universitäten und Fachhochschulen besonders empfehlenswert. Die begleitend zum Lehrbuch angebotene *Bild-DVD* enthält sämtliche Abbildungen und Tabellen sowie die erwähnten Farbfotos. *Dr. Dieter Holzner*

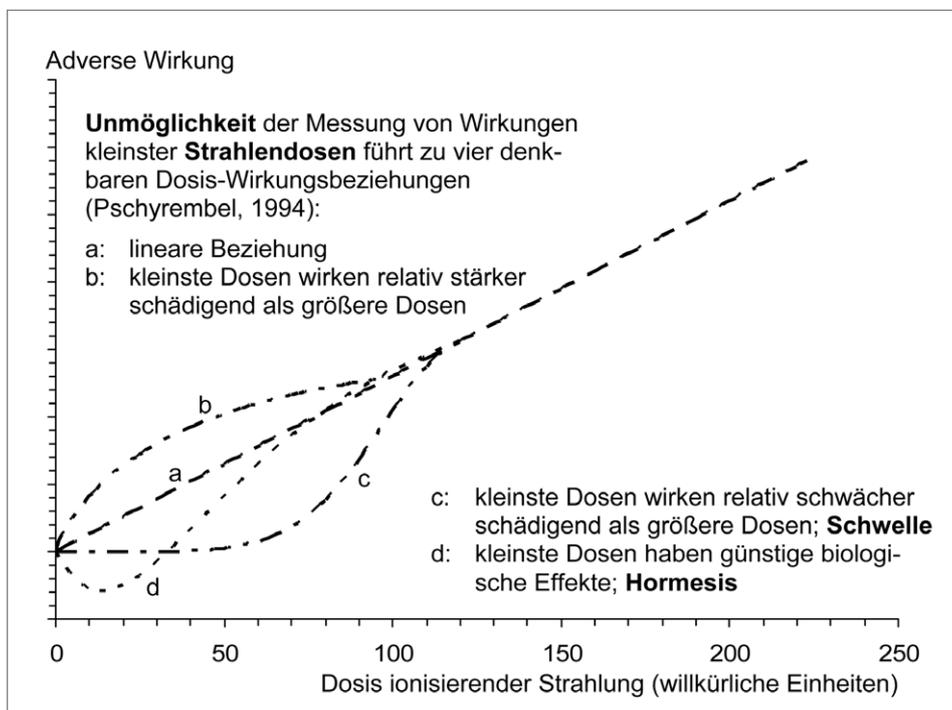


ERREICHEN HALTEN

Die CLB-Rubrik für Ausbildung und Weiterbildung
in Chemie, Labortechnik, Biologie, Biotechnik und verwandte Bereiche
sowie für praxisorientierte Themen aus der Umwelt

Oktober 2011

In-vitro-Gentoxizitätstests unzureichend Aussagekraft von In-vitro-Tests bei Nanomaterialien untersucht



Daten, die im „Reagenzglas“ gewonnen werden, eignen sich nicht, um sichere Aussagen über die krebserzeugende Wirkung von Nanomaterialien, Feinstäuben und Fasern beim Menschen zu machen.

Zu diesem Ergebnis kommt der Forschungsbericht „Bedeutung von In-vitro-Methoden zur Beurteilung der chronischen Toxizität und Karzinogenität von Nanomaterialien, Feinstäuben und Fasern“, den die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Auftrag gegeben und jetzt veröffentlicht hat.

Gesundheitliche Risiken, die im Zusammenhang mit Nanomaterialien stehen, bekommen eine große öffentliche Aufmerksamkeit. Umso wichtiger sind gesicherte Erkenntnisse über mögliche Wirkungen der winzig kleinen Partikel, um eine entsprechende Vorsorge zu treffen. In den vergangenen Jahren wurden viele Versuche In-vitro oder im „Reagenzglas“ durchgeführt, um Aussagen über eine mögliche krebserzeugende Wirkung zu treffen. Im Rahmen einer umfangreichen Literaturlauswertung wurde deshalb die Aussagekraft von In-vitro-Gentoxizitätstests in Relation zur Karzinogenität atembarer faserförmiger und granularer Stäube gemäß Epidemio-

Der Autor der Studie, Markus Roller, hält auch kleinste Partikelbelastungen für potenziell schädlich, vergleicht die Situation mit radioaktiver Strahlung: „Alle Beobachtungen und Überlegungen sind ebenfalls mit der Annahme vereinbar, dass sehr kleine Partikelbelastungen sehr geringe ROS-Freisetzungen (ROS = Reaktive Sauerstoffspezies, vom englischen reactive oxygen species) ein sehr kleines Ausmaß an „herbeigelockten“ Phagozyten und ein sehr kleines Ausmaß an DNA-Veränderungen hervorrufen. Mithin könnten sehr kleine Partikelbelastungen und ROS-Freisetzungen ein sehr kleines zusätzliches Tumorrisiko bedingen. Es ist nicht erkennbar, weshalb nicht dieses sehr kleine Risiko dosisabhängig bei zunehmender Partikelbelastung größer werden sollte – ohne Schwelle oder Risikogrenze. Hartwig (2009) scheint diese Annahme zu stützen: Ein Makrophage sendet dort nach Aufnahme sehr weniger Partikel mehrere ROS aus. Ein einziger Makrophage sendet die Radikale aus. Weshalb sollten für diese ausgesendeten ROS nicht genau dieselben Gesetze gelten wie für spontan entstandene oder durch ionisierende Strahlung induzierte ROS? Die Abbildung zeigt das Nicht-Wissen über den Verlauf von Dosis-Wirkungsbeziehungen bei niedrigen Dosen ionisierender Strahlung. Wegen der Unmöglichkeit der Messung lassen sich nach dem medizinischen Wörter- und Lehrbuch Pschyrembel (1994; wörtlich: „Unmöglichkeit der Messung“) die gezeigten Thesen über lineare oder hyperlineare Kurven, über eine Schwelle oder über die so genannte Hormesis nicht mit wissenschaftlicher Sicherheit beweisen oder widerlegen.“

logie und Langzeit-Tierversuchen untersucht.

Der Schwerpunkt der durchgeführten Literaturlauswertungen lag auf der Analyse der Aussagekraft von In-vitro-Genotoxizitätstests in Relation zur Karzinogenität atembare faserförmiger und granulärer Stäube gemäß Epidemiologie und Langzeit-Tierversuchen. Zur Interpretation der Befunde waren auch einige sonstige Daten zur Toxizität der Stoffe zu berücksichtigen. Die Auswertung der In-vitro-Daten legte es nahe, die Stäube in drei Potenzklassen der karzinogenen Wirkungsstärke einzuteilen.

Für nahezu alle Staubarten (z. B. Dieselruß, SiO₂ kristallin und amorph, TiO₂ fein und ultrafein, Industrieruß fein und ultrafein, Eisenoxid fein und ultrafein), die in In-vitro-Genotoxizitätstests an Säugetierzellen untersucht wurden, waren in manchen Tests dabei auch positive Ergebnisse („Effekte“) festzustellen. Insgesamt lag der Anteil positiver Befunde unter den In-vitro-Tests bei etwas mehr als der Hälfte. Für faserförmige Stäube wurden am konsistentesten positive Befunde erhalten (zirka 70 %). Jedoch ist über alle Stäube und Studien hinweg keine klare Korrelation der Wahrscheinlichkeit positiver In-vitro-Befunde mit den In-vitro-Potenzklassen zu finden. Die Auswertung von 179 Datensätzen zu „GBS, Nanomaterialien und sonstige Stäube“ zeigt eher einen statistischen Zusammenhang mit der Art (öffentlich/privat) des Auftraggebers oder Labors als mit chemisch-physikalischen Partikeleigenschaften (GBS = Feinstäube und Nanomaterialien, die aus biobeständigen Materialien ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität bestehen (alveolengängige granuläre biobeständige Stäube ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität = aGBSobst), z. B. Industrieruß, Titandioxid, Zirkoniumdioxid, Kohlenstäube, Dieselrußpartikel.

Die Beurteilung von Sensitivität und Spezifität der In-vitro-

Methoden hängt stark davon ab, wie man die In-vivo-Daten bewertet bzw. auf welche Referenzinformation man sich bezieht. Nahezu alle betrachteten Staubarten haben sich in mindestens einem In-vivo-Testsystem als karzinogen gezeigt, sofern sie untersucht wurden. Legt man diese Befunde als valide – d. h. als Referenz „in Wahrheit positiv“ – zugrunde, dann entspricht der Anteil von rund 60 % positiven Ergebnissen innerhalb aller ausgewerteten In-vitro-Tests annähernd der „Sensitivität“ der In-vitro-Methoden; das heißt, die Sensitivität liegt dann bei ungefähr 60 % (im Durchschnitt aller Testmodelle und Stoffarten). Die Spezifität lässt sich nicht sinnvoll ermitteln, weil keine geeigneten In-vivo-Daten vorliegen, welche eine krebserzeugende Wirkung hinreichend sicher ausschließen. Für fast alle untersuchten Staubarten gibt es jedoch in der Literatur Zweifel an der Relevanz der vorhandenen In-vivo-Informationen für heutige Arbeitsplatzbedingungen. Solche Zweifel werden, z. B. wegen eines so genannten Overloads, für (Nano-)Materialien vom GBS-Typ besonders verbreitet geäußert. Zumindest im Sinne einer möglichen Wirkungsschwelle sind solche Zweifel aber auch für grundsätzlich als krebserzeugend anerkannte Stoffe wie Nickelverbindungen, Quarz, Dieselruß und Chrysotilasbest veröffentlicht. Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Bericht die Bedeutung statistischer Signifikanz sowie Vorschläge für weiterführende Versuche diskutiert. In Anbetracht der Datenlage und der Schwere einer Krebserkrankung ist es laut Autor Markus Roller verantwortungsbewusst, die vorliegenden Effektbefunde bei Ratten und bei historischen Expositionen in der Epidemiologie zum Maßstab des Handelns auch bei niedrigeren Expositionshöhen zu machen, in Form einer Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellenwert.

Aus der Bildungslandschaft

- Im Rahmen dieser Maßnahme des Fonds der Chemischen Industrie (FCI) zur **„Förderung der Elektrochemie in der universitären Chemikerausbildung“** erhält der Fachbereich Chemie der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) jetzt Mittel in Höhe von 28 000 Euro für die Beschaffung von Geräten für ein Elektrochemiepraktikum für fortgeschrittene Studierende im Rahmen des Master-Studiengangs.

- Im Prüfungsjahr 2010 (Wintersemester 2009/2010 und Sommersemester 2010) erwarben 31 % der insgesamt rund 361 700 Hochschulabsolventen einen Bachelorabschluss. Damit lag der Anteil der **Bachelorabschlüsse erstmals über den traditionellen universitären Abschlüssen**, die 2010 einen Anteil von 29 % erreichten. Wie das Statistische Bundesamt mitteilte, erwarben außerdem 16 % der Absolventen einen herkömmlichen Fachhochschulabschluss, die Lehramtsprüfungen erreichten einen Anteil von 10 % (hier sind die Lehramt-Bachelor- und Lehramt-Masterabschlüsse eingerechnet), gefolgt von den Masterabschlüssen und den Promotionen mit jeweils 7 %. Die Zahl der insgesamt erfolgreich abgelegten Hochschulprüfungen stieg im Vergleich zum vorhergehenden Prüfungsjahr 2009 um 23 000 oder knapp 7 %. Die Bachelorabschlüsse nahmen im Jahr 2010 um 56 % und die Masterabschlüsse um 28 % zu.

- **Praktisch-mündliche Prüfungen des Medizinstudiums sollen kompakter werden.** Diese Forderung hat der MFT Medizinische Fakultätentag in einer Resolution erhoben. „Mit dieser Empfehlung zur Änderung der Approbationsordnung setzen wir uns für bessere Prüfungsbedingungen ein“, erklärt Professor Dr. Dieter Bitter-Suermann, MFT-Präsident. Denn eine Überlastung der Studierenden senke die hohe Qualität des Studiums und mache die Ergebnisse der Prüfungen unter Umständen angreifbar. Untersuchungen zeigten, dass Noten mit längeren Prüfungszeiten nicht verbessert werden, da die Leistungsfähigkeit der Studierenden nachlasse.

- Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) rechnen trotz doppelter Abiturjahrgänge und der Aussetzung der Wehrpflicht in diesem Jahr mit einer aus Sicht der Jugendlichen **weiter deutlich verbesserten Situation auf dem Ausbildungsstellenmarkt.** Dies erklärten Bundesbildungsministerin Annette Schavan und BIBB-Präsident Friedrich Hubert Esser auf einer gemeinsamen Pressekonferenz zum Auftakt des 6. BIBB- Berufsbildungskongresses am 19. September in Berlin.

Gewichtige „Abluft“

Low-Cost-Apparatur zur Massenänderung bei einem brennenden Teelicht

Viktor Obendrauf, Graz*

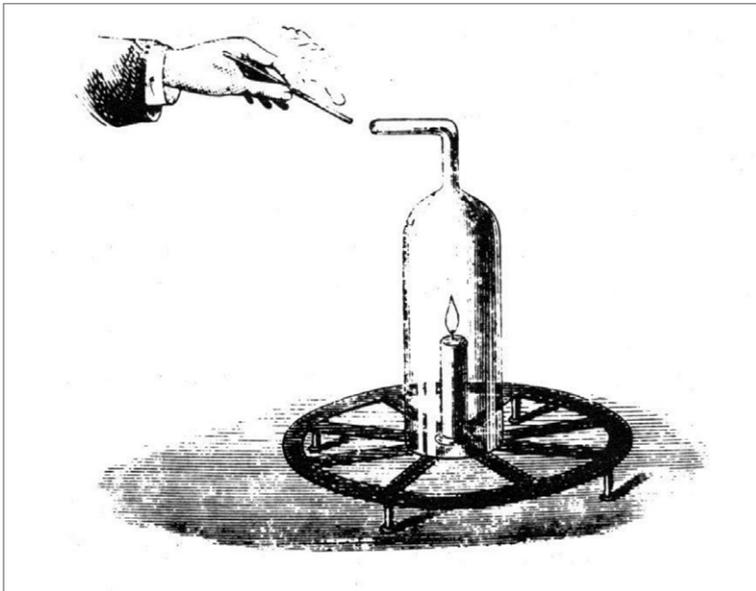


Abbildung 1: Abbildung aus der französischen Übersetzung der Faraday'schen „Christmas Lectures“ von 1860/61: Nachweis von Wasserdampf und „Stickluft“ (Kohlendioxid).

„...Durch diese Röhre nehmen alle Verbrennungsproducte der Kerze ihren Weg, und Ihr werdet gleich bemerken, wie die Röhre ganz undurchsichtig wird. Ich nehme nun eine andere Kerze, setze sie unter eine Glasglocke und stelle dahinter ein Licht, damit Ihr deutlich beobachten könnt, was darin vor sich geht. Ihr seht, die Wände der Kerze werden trübe, und die Kerze beginnt schwach zu brennen. Es sind die Verbrennungsproducte, welche das Licht so verdunkeln und welche die Glocke so undurchsichtig machen. Wenn Ihr nach Hause kommt und einen Löffel nehmt, der in der kalten Luft gelegen hat, und haltet ihn über eine Kerze – aber nicht so, daß er beruht wird – so werdet Ihr finden, dass er ein ebenso mattes Aussehen bekommt, wie die Glocke hier...“

„...Hier habe ich eine Vorrichtung, die uns bei unserer

Untersuchung die nöthigen Dienste leisten wird. Unsere Kerze setzen wir mitten auf den Steg und darüber diesen gläsernen Schornstein – so! Die Kerze wird ganz hübsch weiterbrennen; denn die Luft hat ja unten und oben ungehinderten Durchgang. Zunächst seht ihr wieder die uns schon bekannte Erscheinung, dass die Wandung des Glases feucht wird – es ist das Wasser, zu welchem sich der in der Kerzenflamme entwickelte Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft verbindet; außerdem steigt aber noch etwas Anderes oben he-

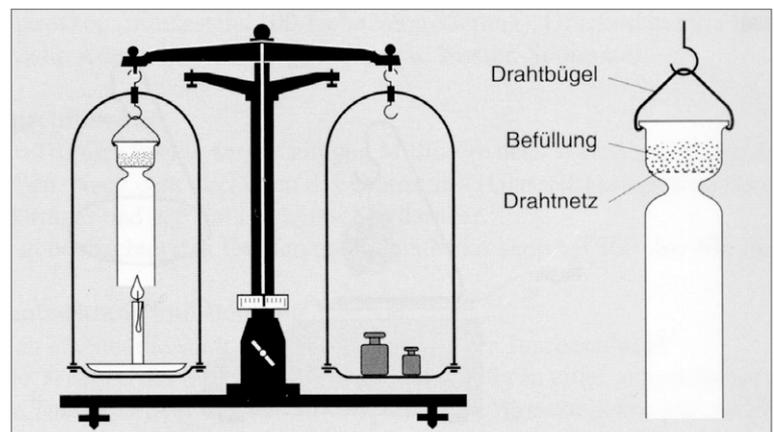
raus: das ist keine Feuchtigkeit, kein Wasser, es ist nicht verdichtbar; und es hat zudem sehr merkwürdige Eigenschaften...

(Michael Faraday: Lectures on the chemical history of a candle, Ausschnitte aus der 2. und 5. Vorlesung, Dezember 1860, Januar 1861, Royal Institution, London, Deutsche Übersetzung aus dem vorigen Jht.)

Klassische Vorbilder

Das Generieren von nachhaltigem chemischen Wissen entlang von Experimenten mit Produkten des Alltags ist keine Errungenschaft der institutionalisierten fachdidaktischen Forschung. Zu den berühmtesten historischen Vorbildern für praxisbezogene Lehr- und Lernsequenzen zählen wohl Michael Faraday's „Vorlesungen zur Naturgeschichte der Kerze“, die er zahlenden Londoner Schülern in den Weihnachtsferien 1848/49 und 1860/61 im Rahmen der seit 1825 jährlich organisierten „Christmas Lectures“ der Royal Institution mit

Abbildung 2: Skizze zur Versuchsbeschreibung „Massenänderung bei einer brennenden Kerze“ [3]. Als Befüllung des Gasfanges wird grobkörniger Natronkalk vorgeschlagen (Bildquelle: [3]).



*Aus dem Nachlass von Prof. Dr. Viktor Obendrauf († 2010)

großem Erfolg vorgetragen hat [1,2].

Bei diesen Vorlesungen behandelte Faraday selbstverständlich auch die Verbrennungsprodukte von Kerzenparaffin (s. o. Zitat aus der deutschen Übersetzung; Abbildung 1).

Etliche Autoren bemühten sich seither, über die Massenzunahme der Reaktionsprodukte zu zeigen, dass bei der Verbrennung von Kerzenparaffin (bzw. Stearin) im Vergleich zum Massenverlust beim Paraffin große Mengen an Luftsauerstoff in den Reaktionsprodukten gebunden werden. An diesem einfachen und für Lernende doch immer wieder so überraschenden Experiment können mehrere Basiskonzepte der Chemie thematisiert werden. Teilchenkonzepte sind konkretisierbar, das Wesen von Verbrennungsprozessen kann prinzipiell diskutiert werden. Die „Stoffteilchen“ der sichtbar (!) kleiner werdenden Kerze verschwinden nicht. Im Gegenteil: Die Masse des gesamten Systems nimmt zu, wenn man die Masse der Verbrennungsprodukte (Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf) experimentell berücksichtigt. Im Fall des kondensierten Wassers können die neuen, „materialisierten“ Stoffteilchen auch visuell registriert werden. Im Fall des Kohlenstoffdioxids sind die Stoffteilchen in den submikroskopischen Bereich gewechselt und können im konkreten Experiment nicht sichtbar gemacht, sondern nur indirekt über ihre Masse erfasst werden.

Traditionelle Ansätze

Im Unterschied zur Massenzunahme bei der sehr oft beschriebenen Oxidation von Eisenwolle, ist die Massenbilanz bei der Verbrennung einer Kerze nicht ganz so einfach demonstrierbar, weil die Reaktionsprodukte flüchtig sind. Als entscheidende apparative Hür-

de hat sich vor allem die Waage mit entsprechender Empfindlichkeit und ausreichender Belastbarkeit erwiesen.

Wird klassischer Natronkalk (gekörnter Löschkalk mit wenig NaOH) zur Absorption des gebildeten Kohlenstoffdioxid verwendet, wären zur möglichst vollständigen Kondensation des Wasserdampfes großflächige Gasfangbehälter aus Glas mit entsprechender Masse und Wärmekapazität von Vorteil. Herkömmliche Balkenwagen mit geeigneter Belastbarkeit liefern in diesem Fall nicht selten nur unbefriedigende Ergebnisse. Außerdem gibt es das Problem, dass sich durch die sukzessive Erwärmung der Apparatur bereits niedergeschlagener (ev. als Masse bereits erfasster) Wasserdampf wieder verflüchtigt und auch im Natronkalk nicht zurückgehalten wird. Ein Beispiel für eine derartige Apparatur mit Natronkalk in einem (6-12 cm langen) Gasfang findet sich in einem relativ neu am Markt befindlichen Experimentierbuch [3] (Abbildung 2.)

Im wohl traditionsreichsten deutschsprachigen Lehrwerk der experimentellen Schulchemie wird zur Absorption der Verbrennungsprodukte konzentrierte Natronlauge vorgeschlagen [4]. Probleme bereitet dabei in der Praxis vor allem die dosierte und doch möglichst vollständige und rasche Absaugung der Verbrennungsprodukte durch die Absorptionslösung hindurch. Da dies mittels angeschlossener Wasserstrahlpumpe geschehen soll, muss die empfindliche (Balken-)Waage mit der gesamten Apparatur während der Versuchsdauer arretiert sein. Der signifikante Vorteil der Apparatur besteht darin, dass man während des Absaugens kondensierten Wasserdampf im Glasrohr und auch die Bildung von unlöslichem Natriumcarbonat in der Absorptionsflüssigkeit beobachten kann.

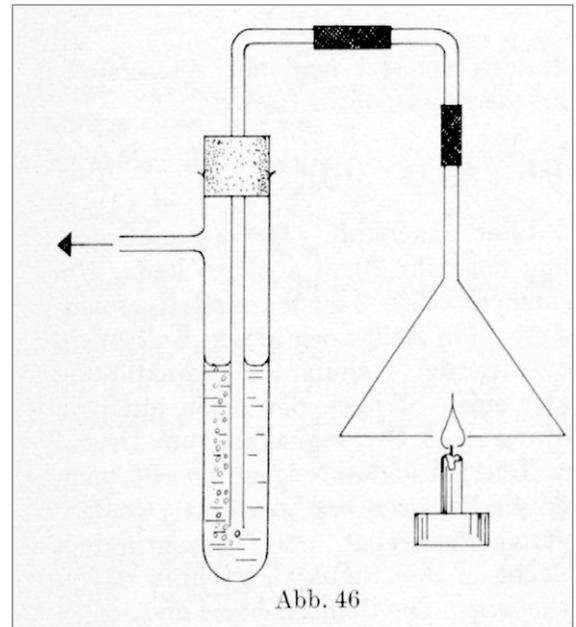


Abbildung 3: Skizze zum Versuch „Verbrennung einer Kerze auf einer Waage“. Als Absorptionsflüssigkeit wird konz. Natronlauge vorgeschlagen [4] (Bildquelle: [4]).

Quantitative Auswertungen sind aber wegen der geringen Massenunterschiede im Lauf der vorgeschlagenen Brenndauer der Kerze (insgesamt 4 Minuten) trotz des relativ großen apparativen Aufwandes (Wasserstrahlpumpe etc.) nicht möglich (Abbildung 3)

Verwendet man hygroskopische Natriumhydroxid-Pellets zur Absorption von Wasserdampf und zur Absorption von Kohlenstoffdioxid, besteht die Gefahr, dass die Versuchsergebnisse bereits durch eine Gewichtszunahme aus dem Wasserdampf der Luft verfälscht werden. Kompensiert werden soll dies in manchen Versuchsvorschriften durch symmetrische Versuchsanordnungen auf einer Präzisions-Balkenwaage, wo beide Waagschalen mit identen Materialien und Chemikalien beschickt werden (Abbildung 4). Nach Entzünden einer Kerze wird die entarretierte Waage beobachtet [5].

Bereits in Karl Heumanns Anleitung zum Experimentieren bei Vorlesungen über Anorganische Chemie aus dem Jahr

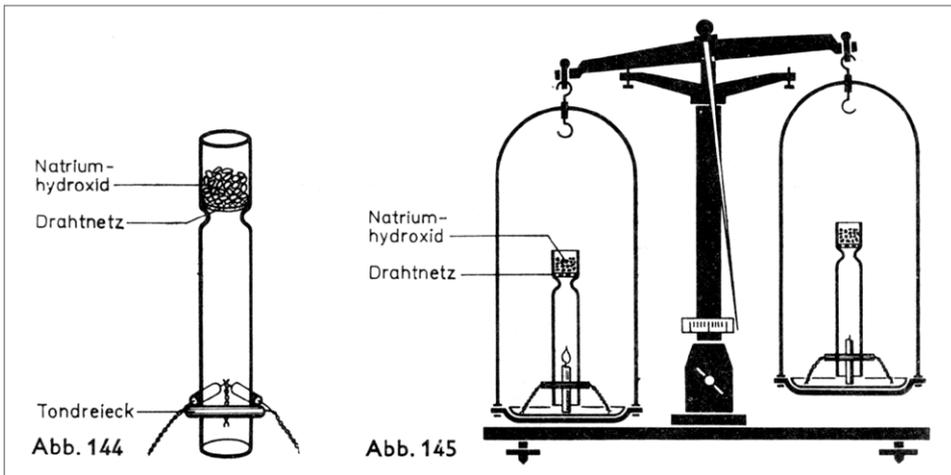


Abbildung 4: Symmetrische Versuchsanordnung zur Kompensation des absorbierten Wasserdampfes aus der Luft. Skizze zum Versuch in [5] "Ermitteln der Massenzunahme beim Verbrennen einer Kerze (Bildquelle: [5]).

1904 [17] ist eine von Victor Meyer konzipierte Apparatur beschrieben, die nach diesem Prinzip arbeitet.

Nach den allgemeinen Erfahrungen, die in [6] auch angesprochen werden, sind die beobachtbaren Massenunterschiede bei dieser Versuchsanordnung häufig zu gering,

um auf herkömmlichen Balkenwaagen immer eindeutig befriedigende Resultate zu erhalten. Die Autoren schlagen in [6] vor, auf ein Absorptionsmittel ganz zu verzichten und die Verbrennungsprodukte der Kerze in einem möglichst großvolumigen Erlenmeyerkolben (5000 ml!) aufzufangen. Dieser soll mittels Holzstäbchen auf einer ausreichend genauen (mind. 10 mg Messgenauigkeit) und auch entsprechend belastbaren elektronischen Waage (mind. 2000 g!) mit der Öffnung nach unten über dem brennenden Teelicht positioniert werden (siehe Abb.5).

Durch den massiven Auftrieb der im Erlenmeyerkolben erwärmten (und damit teilweise verdünnten) Luft kommt es bei dieser Versuchsanordnung vorerst nicht zu einer Massenzunahme des Systems, sondern zu einer Verringerung der Gesamtmasse. Erst nach dem Verlöschen des Teelichtes mangels Zug und Frischluft nach etwa 2 Minuten nimmt die Masse allmählich wieder zu, weil beim Abkühlen die Auftriebs-effekte wegfallen und sich das gebildete Kondensat an der Glaswand in der Massenbilanz doch bemerkbar machen kann. Das didaktische Problem für die Lernenden, die ja an diesem Experiment ihre Vorstellungen

über Verbrennungsprozesse wenn notwendig modifizieren sollen, ist genau die Tatsache, dass es eben zu keiner Massenzunahme kommt, während das Teelicht brennt.

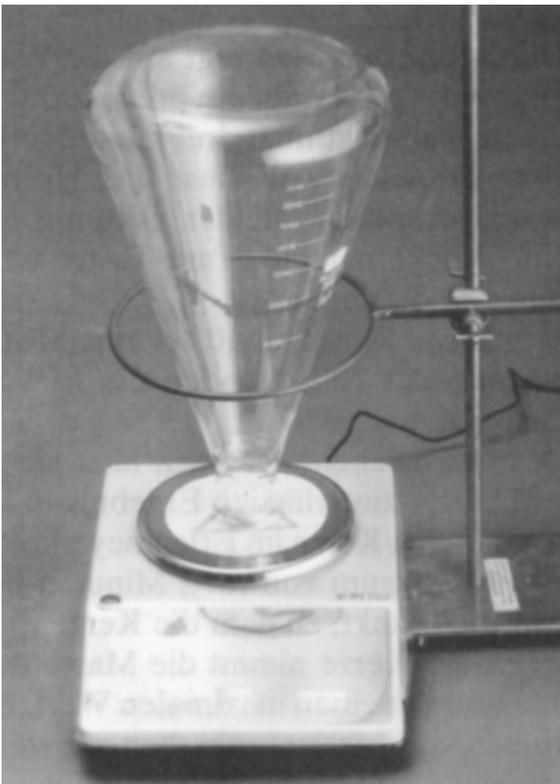
Aufbauend auf das Konzept von Botsch et. al. [7] wiederum schlagen Kremer und Marino einen schülerzentrierten Unterrichtsgang mit einer apparativen Optimierung und Standardisierung vor [8]. Unter Ausnutzung der heutigen Möglichkeiten (relativ kostengünstige elektronischen Waage, ev. mit Computer-Schnittstelle, Belastbarkeit mind. 300 g, Ablesbarkeit mind. 10 mg) wird dabei der Wasserdampf unter Verwendung eines Glasrichters primär an einem gut abgestimmten Glaszylinder abgeschlossen, so dass zumindest in den ersten 10 Brennminuten des Teelichtes eine Massenzunahme feststellbar ist.

Die Verwendung von unproblematischem Natronkalk als Absorptionsmittel für Kohlenstoffdioxid erlaubt auch Schüleraktivitäten insbesondere in der Sekundarstufe 1. Ein typisches Resultat ist in [9] nachzulesen: Bei der Verbrennung von 0,18 g Stearinsäure innerhalb von 5 Minuten bilden sich theoretisch 0,71 g an Verbrennungsprodukten. Im Gasfang zurückgehalten werden 0,36 g. Mit der von U. Zitt modifizierten Apparatur errechnet sich somit für den Gasfang ein Wirkungsgrad von etwa 54 % [9].

Für das beschriebene Experiment denkt man zunächst jedoch an die Notwendigkeit teurer Waagen, weil die zitierte Apparatur (Abbildung 6) zu schwer ist und nicht auf einer elektronischen Waage (Ablesbarkeit 0,01 g) mit einer Belastbarkeit von max. 200 g betrieben werden kann.

Moderne Milligramm-Waagen mit entsprechender Belastbarkeit, wie sie G. Latzel z.B. in [10] vorschlägt, wären zwar

Abbildung 5: Versuchsanordnung zum Auffangen von Reaktionsprodukten eines brennenden Teelichts ohne Absorptionsmittel [6] (Bildquelle: [6]).



sogar für eine Reihe von quantitativen Betrachtungen ideal, liegen aber preislich bereits eine Kategorie höher. Aus diesem Grund hat der Verfasser dieses Beitrages ganze Reihe von technischen Möglichkeiten getestet, mit kostengünstigen Mitteln und einer Waage mit einer Belastbarkeit bis max. 200 g und einer Ablesbarkeit von 0,01 g zu eindeutigen Versuchsergebnissen zu kommen.

Unorthodoxe Low-Cost-Alternative

Im Hinblick auf die vielen verschiedenen Beiträge in der chemiedidaktischen Literatur zum Thema Kerzenflamme (siehe z.B. [11-16] erschienen die Bemühungen zur Simplifizierung der Rahmenbedingungen für die gravimetrische Erfassung von Teelicht-Abgasen besonders reizvoll. Nach etlichen Sackgassen hat sich die Verwendung eines hochformatigen Grablichtbehälters aus leichtem Kunststoff in Kombination mit Natriumhydroxid als Absorptionsmittel für die Teelicht-Verbrennungsprodukte (Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid) bewährt.

Die Kosten für die eingesetzten Materialien liegen weit unter einem Zehntel jenes Preises, der für fertige Versuchssets angegeben ist, wobei die Arbeitszeit für das Besorgen und Adaptieren der geeigneten Materialien kalkulatorisch einbezogen werden müsste.

Der größte Vorteil jedoch besteht darin, dass jene Waagen genutzt werden können, die praktisch an allen Gymnasien und sogar auch an Hauptschulen verfügbar sind. Obwohl der leichte Kunststoffzylinder im Vergleich zu den herkömmlichen Lösungen aus Glas eine sehr geringe Wärmekapazität besitzt und sich rasch erwärmt, kann man das Reaktionswasser zumindest ganz am Anfang des Teelicht-Abbrandes als Kondensat an der oberen Zylinderwand

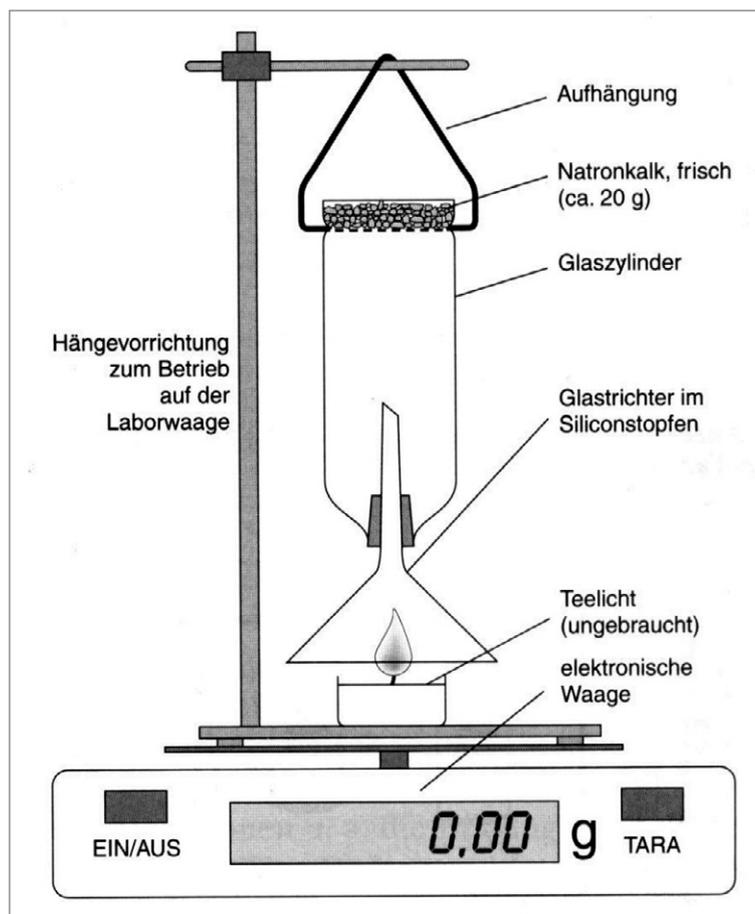


Abbildung 6: Gasfang mit Natronkalk auf elektronischer Waage (Belastbarkeit mind. 300 g). Bezugsquellen: a) www.hedinger.de: „Schwere Flamme“ kompl. Apparatur; 98 Euro + MWSt., Waage Satorius TE412 410 g (570 Euro + MWSt., Stand jeweils 1.10.2011), 250 g Natronkalk; eine analoge Apparatur mit Stützstativ ist bei Zitt Thoma GmbH Laborbedarf Glasbläserei, Freiburg i. Breisgau erhältlich (Bildquelle: [8]).

beobachten. Das Absorptionsmittel Natriumhydroxid hat zwar den Nachteil, dass man die Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft bei der Versuchsauswertung berücksichtigen muss, das gebrauchte Ätznatron kann aber im Gegensatz zum gebrauchten Natronkalk weiter verwendet werden. Man kann die feuchten Plätzchen in Wasser lösen und erhält auf diese Weise mit etwas Carbonat kontaminierte Natronlauge, die jedoch für verschiedenste Neutralisationsreaktionen im schulischen Bereich problemlos verwendbar ist. Die Handhabung der (feuchten) Ätznatronplätzchen erfordert jedoch wesentlich mehr Sorgfalt als der Umgang mit gekörntem Natronkalk. Nachdem in den

Schulen in den seltensten Fällen mehr als eine geeignete elektronische Waage verfügbar sein wird, ist das Experiment ohnehin als Lehrerversuch anzulegen. Die Lernenden können das vom Lehrer in Gang gesetzte Experiment jedoch laufend verfolgen und mittels Zeit/Masse-Diagramm dokumentieren.

Tests mit vier Klassen eines Oberstufengymnasiums haben gezeigt, dass der „Teelicht-Versuch“ zumindest in Österreich auch in der Oberstufe von Nutzen sein kann, wenn es darum geht, Schülervorstellungen über Verbrennungsprozesse einigermaßen handlungsorientiert zu überprüfen und bei Bedarf auch vorsichtig zu modifizieren.



Abbildung 7: Die Materialien: 20,5 cm hohes Jeka Ewiglicht mit Metallring und Windschutz, Paraffin entfernt, Kupferlappen, Teelicht, Schere, scharfes Labormesser.

Experimentelles

Material: JEKA-Ewiglicht (Abbildung 7), Höhe des farblosen Kunststoffzylinders 20,5 cm, Durchmesser 7 cm, mit Metallring und Metall-Windschutz (Supermarktware!), Söke-Kupferlappen, Teelicht, scharfes u. spitzes Labor-Sägemesser, Schere, Feuerzeug, Waage (max. Belastbarkeit 200 g, Ablesbarkeit 0,01 g), Stoppuhr, Natriumhydroxid (Plätzchen), Laborlöffel, Dichter Behälter für gebrauchtes Natriumhydroxid

Präparation des Gasfanges: Das JEKA-Ewiglicht wird ca. eine Stunde in das Tiefkühlfach eines Kühlschranks gelegt. Das versprödete Paraffin lässt sich nach Entfernen des Windschutzes und des Metallringes am oberen Rand des Kunststoffzylinders nun leicht durch Herausschütteln und Klopfen entfernen. Das Paraffin kann für andere Experimente verwendet werden.

Der Metallring wird so in den Kunststoffzylinder (PVC) ein-

gesetzt, dass eine Vertiefung entsteht. Vom Söke-Kupfer-Max wird mit einer Schere ein kreisrundes Stück herausgeschnitten, das etwas größer als die Bodenfläche des gelochten Metallringes im Zylinder ist. Das Kupfer-Gewebe wird wie in den Abbildungen 8 und 9 ersichtlich eingepasst.

Der Boden des Kunststoff-Zylinders wird mit einem scharfen Labormesser von unten ausgeschnitten. Seitlich am unteren Rand des Zylinders werden insgesamt drei dreieckige Schlitze geschnitten, um die Luftzufuhr für das Teelicht zu gewährleisten, ohne dabei die Standfestigkeit des Zylinders zu beeinträchtigen.

Versuchsdurchführung: Auf das eingepasste Kupfernetz im Gasfang gibt man mit dem Laborlöffel ca. 35 g frische Natriumhydroxid-Plätzchen und verteilt sie gleichmäßig über die ganze Fläche, so dass die später anströmenden Verbrennungsgase überall mit dem Absorptionsmittel in Kontakt kommen (Abbildung 10). Der Windschutz des Lichtes wird wieder aufgesetzt. Die Apparatur hat nun zusammen mit dem Absorptionsmittel ungefähr 85 g.

Ein Teelicht wird auf die Waage gestellt. Der Gasfang

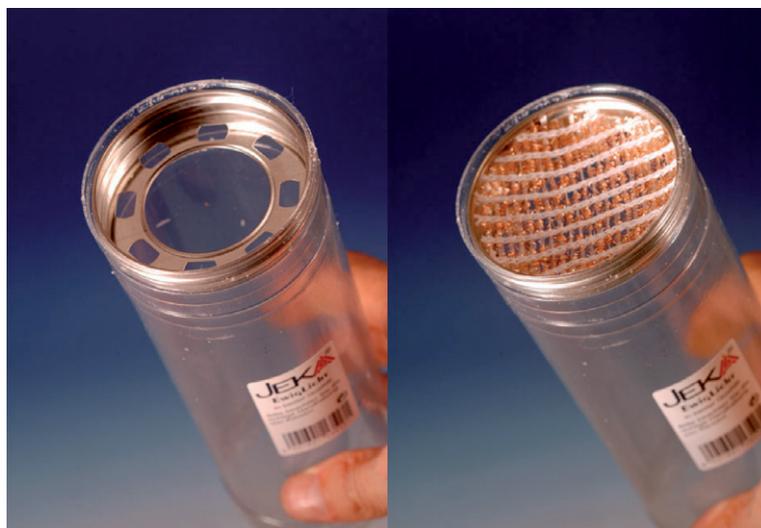
mit dem Absorptionsmittel und dem aufgesetzten Windschutz wird über das noch nicht entzündete Teelicht gestülpt. Um zu eruieren, wie viel Wasserdampf vom Absorptionsmittel innerhalb der vorgesehenen Brenndauer des Teelichtes direkt aus der Luft aufgenommen werden können, wird die Massenzunahme im Zeitraum von genau 3 Minuten festgestellt. Erfahrungsgemäß liegt diese Massenzunahme zwischen 0,02 und 0,04 g (bei etwa 20 °C und 55 % Luftfeuchtigkeit).

Nachdem die Masse des Teelichtes ermittelt wurde, wird es nun mittels Feuerzeug entzündet. Der Gasfang wird rasch übergestülpt, die Gesamtmasse ermittelt und die Stoppuhr betätigt. Nach exakt 3 Minuten wird der Gasfang kurz angehoben und das Teelicht ausgeblasen. Der Gasfang wird wieder übergestülpt. Erst nach einigen Sekunden (um Fehler durch die noch ev. vorhandene Thermik im Gasfang zu vermeiden) wird die Massenzunahme abgelesen. Zusätzlich wird der Massenverlust des Teelichtes ermittelt.

Ermittlung des Wirkungsgrades

Unter der Annahme, dass das Teelicht aus Stearinsäure be-

Abbildungen 8 und 9: Nach Entfernen des Paraffinzylinders wird der Metallring wieder eingesetzt, auf den Ring wird ein zugeschnittenes Stück Kupferlappen als Gitter eingepasst.



	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
m (Teelicht) 0 min	12,33	12,11	12,02
m (Teelicht) 3 min	12,25	12,02	11,88
Δm (Teelicht) nach 3 min	0,08	0,09	0,14
m_R (Reaktionsprodukte) errechnet	0,31	0,35	0,55
m (Gasfang inkl. Teelicht) 0 min	96,41	97,11	97,30
m (Gasfang inkl. Teelicht) nach 3 min	96,57	97,31	97,57
Δm (Gasfang m. Teelicht)	0,16	0,20	0,27
Δm abz. H ₂ O-Dampf-Aufnahme aus d. Luft	0,13	0,17	0,24
Tatsächliches Δm des Absorbens (korr. um Massenverlust des Teelichtes)	0,21	0,26	0,38
Wirkungsgrad (tatsächl. Δm div. durch theoret. Wert)	67 %	74 %	69 %

Tabelle 1: Typische Versuchsergebnisse zur Ermittlung des Wirkungsgrads der Apparatur (Werte in Gramm, wenn nicht anders angegeben).

steht (in Wirklichkeit ist auch ein beträchtlicher Prozentsatz Palmitinsäure dabei, s. [14], mitunter gibt es auch reines Paraffin) lässt sich folgender theoretischer Ansatz aufstellen.

Bei einer vollständigen Verbrennung der Stearinsäure ergibt sich folgende Gleichung:

$$C_{17}H_{35}COOH + 26 O_2 \rightarrow 18 H_2O + 18 CO_2$$

Aus einem Mol Stearinsäure (284 g) entstehen mit 26 Mol Sauerstoff (832 g) insgesamt 18 Mol Wasser (324 g) und 18 Mol Kohlenstoffdioxid (792 g). Aus diesem Ansatz lässt sich in einem direkten Schluss die theoretische Menge an Reaktionsprodukten und auch des Sauerstoffbedarfes errechnen, wenn der Massenverlust des Teelichtes für den Beobachtungszeitraum bekannt ist.

Die tatsächliche Massenzunahme der gesamten Apparatur errechnet sich aus der Differenz der Massen der gesamten Apparatur inkl. Teelicht zum Zeitpunkt 0 und nach 3 Minuten. Von diesem Wert werden 0,03 g (angenommene Wasserdampfaufnahme aus der Umgebungsluft) abgezogen. Die tatsächliche Massenzunahme des Absorbens durch die absorbierten Reaktionsprodukte ist jedoch um den Betrag höher, wie das Teelicht im gleichen Zeitraum an Masse

abgenommen hat. Aus dem theoretischen Wert der Massenzunahme und dem tatsächlichen Wert lässt sich der Wirkungsgrad der Apparatur abschätzen.

Typische Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tipps, Troubleshooting

Die kurze Reaktionsdauer von 3 Minuten sollte unbedingt eingehalten werden, damit sich der Metallring bzw. das Kupfernetz nicht zu stark erhitzen können. Eine Deformation des Kunststoffzylinders wäre die Folge. Die Beschränkung der Versuchsdauer auf 3 Minuten hat auch den Vorteil, dass man das Experiment in einer Unterrichtseinheit mehrmals wiederholen kann, um die Reproduzierbarkeit zu testen. Dazu lässt man den Gasfang kurz auskühlen. Das Aufsetzen des Windschutzes nach der Positionierung des Absorbens reduziert den Zutritt von Luftfeuchtigkeit (Abbildung 11).

Das gebrauchte Natriumhydroxid wird nach Beendigung der Versuchsreihen in einem eigenen Vorratsbehälter gelagert. Die etwas verklebten Plätzchen können zur Zubereitung von Natronlauge für schulische Zwecke verwendet werden.

Das Kunststoffgewebe des Kupferlappens kann durch die Hitze der Verbrennungspro-

dukte etwas schrumpfen. Das Kupfernetz ist aber nach dem Auswaschen des noch anhaftenden Absorbensmittels nach entsprechender Trocknung mehrmals wieder verwendbar. Aus einem Kupferlappen können vier passende Netze zugeschnitten werden. Das lockere Kupfer-Gewebe hat zudem den Vorteil, dass die Verbrennungsprodukte durch Verwirbelung relativ großflächig auf das darüber befindliche Absorbensmittel verteilt wird. Bei der Reinigung der Apparatur darf

Abbildung 10: Etwa 35 g NaOH werden auf dem Kupfernetz gleichmäßig verteilt.





Abbildung 11: Das Teelicht darf nur 3 Minuten brennen. Dann werden die Verbrennungsprodukte von Ätznatron großteils absorbiert.

der Metallring am oberen Rand des Gasfanges nicht übersehen werden.

Didaktische Hinweise und Ausblick

Die Leser dieses Beitrags sind großteils ausgebildete Chemielehrer und wissen, wie man mit den beschriebenen Phänomenen einen spannenden Unterrichtsgang gestalten kann. Nach eigenen Erfahrungen können mit dem Experiment nicht haltbare Schülervorstellungen auch noch in der Sekundarstufe 2 problematisiert und in Kooperation mit den Lernenden korrigiert werden. Mehrere Fragestellungen für die Lernenden drängen sich vor der Überprüfung durch das Low-Cost Experiment förmlich auf: Wie ändert sich die Masse des Teelichtes beim Brennen ohne Gasfang? Bleibt die Gesamtmasse (Teelicht + Gasfang) auf der Waage beim Brennen des Teelichtes unter dem Gasfang konstant? Wird das System schwerer oder leichter?

Nach der Erkenntnis, dass die Verbrennungsprodukte in Summe weit mehr Masse besitzen als beim Teelicht verloren geht, muss die Frage nach der Art der Verbrennungsprodukte mit qualitativen Tests geklärt werden. Erst dann können entsprechende Überlegungen mit Hilfe der theoretischen Verbrennungsgleichung angestellt werden. Trotz der sehr geringen Materialkosten braucht das Low-cost-Experiment den Vergleich mit handelsüblichen Systemen nicht zu scheuen. Wenn die seitlich angebrachten Öffnungen am Gasfangzylinder klein gehalten werden, kann sich die Thermik der Teelichtflamme nicht richtig entfalten. Die Teelichtflamme bleibt klein. Nur unter diesen Bedingungen kann man annehmen, dass die vergleichsweise sehr guten Wirkungsgrade der Low-Cost-Apparatur nicht auch deshalb zustande kommen, weil durch die Thermik des Teelichtes auch vermehrt (feuchte) Raumluft durch den Gasfang bzw. durch das Absorptionsmittel strömen kann. Dieses Problem ist jedoch nicht auf die Low-Cost-Apparatur allein beschränkt. Die Lernenden sollte man jedenfalls über diese mögliche Fehlerquelle nicht ganz im unklaren lassen.

Literatur:

- [1] <http://www.rigb.org/heritage/lectures.html> (28.11.2003)
- [2] <http://www.rigb.org/heritage/downloads/christmasLectures.pdf> (28.11.2003)
- [3] R. Meloefski: Massenänderung bei einer brennenden Kerze. In: K. Freytag, V. Scharf, E. Thomas (Hrsg.), Handbuch des Chemieunterrichts, Sekundarbereich 1, Band 3: Teilchen, Formeln, Redoxreaktionen, S. 12, Aulis-Verlag Deubner & Co KG, Köln 2002
- [4] F. Bukatsch, W. Glöckner, Experimentelle Schulchemie, Studienausgabe in 9 Bänden, Anorganische Chemie Nichtmetalle (I), Band 1, Aulis-Verlag Deubner & Co KG, Köln 1977, S. 108
- [5] H. Boeck, Chemische Schalexperimente, Band 3, Anorganische Chemie, 2. Teil, Verlag Harry Deutsch, Thun/Frankfurt 1978, S. 239 f.
- [6] S. Abberger et al., Ein Versuch auf dem Prüfstand. PdN-ChiS 50 (2001) Nr. 3, S. 7 f.
- [7] W. Botsch et al., Chemie in Versuch, Theorie und Übung, Band 1. Diesterweg, Frankfurt am Main 1994, S. 37
- [8] M. Kremer, S. Marino, Auf den Spuren von Georg Ernst Stahl, Oxidation von Kerzenwachs auf der Laborwaage – ein Unterrichtsgang zur Phlogistontheorie. PdN-ChiS 51 (2002) Nr. 1, S. 8-11
- [9] M. Kremer, S. Marino, U. Zitt; J. Zitt, Schwere Flamme, Salonexperimente im Stil Justus von Liebig, Handout zum Vortrag bei der GDCh-Hauptversammlung München 2003
- [10] G. Latzel, Das Gesetz von der Erhaltung der Masse. PdN-ChiS 51 (2002), Nr. 1, S. 12 ff
- [11] E. Heinze, R. Tietze, Nachweis von Reaktionsprodukten in Verbrennungsgasen – Kerzen- bzw. Spiritusflamme, Chem.Sch.(Berlin) 38 (1991) Nr. 4, S. 140-142
- [12] U. Brunner, Die Kerze im Chemie-Unterricht des Gymnasiums. Chemische und physikalische Überlegungen zur Genauigkeit von Messresultaten. PdN-Ch 33 (1984) Nr. 1, S. 18-21
- [13] R. Demuth, Chemie und Physik der Kerze: Ein Beispiel für adäquates Lernen im Anfangsunterricht. NiU-P/C Heft 11 (1979), S. 334-339
- [14] I. de Roo, H. Jorna, Stearin in Kerzen: Eine quantitative Analyse, MNU 49 (1996) Nr. 8, S. 472
- [15] M. Sanger, Flipping Pennies and Burning Candles: Adventures in Kinetis, JChemEd 80 (2003), Nr. 3, p 304A-304B
- [16] O. Kühling, Karl Heumanns Anleitung zum Experimentieren bei Vorlesungen über Anorganische Chemie zum Gebrauch an Universitäten, Technischen Hochschulen und Höheren Lehranstalten, 3. Auflage, Friedrich Vieweg Verlag Braunschweig, 1904

Man lernt nie aus!

Bundesweite BTA-Lehrerfortbildung erstmalig am Berufskolleg Hilden

Das Biotech-Unternehmen Qiagen und das Berufskolleg Hilden führten die erste Hildener Fortbildung für Lehrer durch, die in der schulischen Ausbildung zum Biologisch-technischen Assistenten (BTA) tätig sind. Schwerpunkt dieser Fortbildung des VBIO (Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin) war die REAL-Time-PCR als „Allrounder“ zur Analytik von Nukleinsäure.

Mit dieser quantitativen Echtzeit-PCR ist eine Vervielfältigung von Nukleinsäuren, die auf dem Prinzip der herkömmlichen Polymerase-Kettenreaktion (PCR) beruht, und zusätzlich die absolute und relative Quantifizierung von Nukleinsäuren möglich. Diese molekularbiologische Methode kommt vielseitig zum Einsatz, wie z.B. im Rahmen von Genexpressionsstudien, zur Gentypisierung und Genidentifikation. Auch beim Nachweis von Infektionskrankheiten wie HIV und HCV oder bei der Viruslast-Bestimmung in einer Blutprobe gehört diese Technik zu den Routinemethoden der klinischen Diagnostik.

15 BTA-Lehrer aus ganz Deutschland informierten sich über den Stand dieser molekularbiologischen Technik und deren Anwendung in der medizinischen und biotechnologischen Forschung, Diagnostik und Produktion. „Gerade im Biotech-Bereich ist die technische Entwicklung rasant. Daher ist es für uns BTA-Ausbildner wichtig, den Praxisbezug sowie die Anforderungen zukünftiger Arbeitgeber an unsere BTA-Schüler zu kennen“, so Dr. Stephan Wahle, Mitorganisator der Fortbildung und BTA-Lehrer für Molekularbiologie am Berufskolleg Hilden. So fand der erste Fortbildungstag auch im Hildener Biotech-



Dr. Stephan Wahle vom Berufskolleg Hilden (rechts) informiert die Teilnehmer der BTA-Lehrerfortbildung in den Räumen des Berufskolleg Hilden über die REAL-Time PCR-Technologie.

Unternehmen Qiagen statt. Dort besichtigten die BTA-Ausbildner die molekularbiologisch-orientierten Labore der Forschungs- und Entwicklungs-Abteilung und tauschten sich mit Tanja Krzizek und Detlev Schlichtinger aus der Qiagener Personalabteilung über das BTA-Ausbildungsprofil intensiv aus.

Der zweite Kurstag beinhaltete Theorie und praktische Übungen zur REAL-Time-PCR. In den Räumen des Berufskollegs Hilden berichteten Dr. Stephan Wahle vom Kolleg sowie Dr. Andrea Missel und Robert Schulte von Qiagen über Hintergründe zu den neuesten Entwicklungen in der REAL-Time-PCR-Technik und deren Durchführung. Robert Schulte, ehemaliger BTA-Schüler des Berufskollegs Hilden, jetziger Qiagen-Mitarbeiter, leitete auch den praktischen Teil der Fortbildung mit. Der BTA stand bei den REAL-Time-PCR-Experimenten zur Quantifizierung von Genen den Kursteilnehmern mit Rat und Tat zur Seite. Die Versuche führten die Lehrkräfte mit high-tech PCR-Geräten, den Rotor Gene Cyclern, durch. Diese Spitzentechnologiegeräte hatte Qiagen dem Berufskolleg Hilden in diesem

Jahr gespendet. „Diese high-tech Cycler nutzen wir vielfältig“, sagt Stephan Wahle. „Gut, dass wir diese dem aktuellen industriellen Niveau entsprechende Geräte haben.“ Dr. Angelika Horstmeyer

Der ehemalige BTA-Schüler des Berufskolleg Hilden und jetzigen Qiagen-Mitarbeiter Robert Schulte (rechts) erläutert den Fortbildungsteilnehmern die Durchführung der REAL-Time-PCR und unterstützt sie bei der Durchführung der Experimente zur Genquantifizierung in den Laboren des Berufskolleg Hilden.



Anforderungsprofil der BTA aktualisieren

60 Berufsschullehrer trafen sich in Marburg – VBTA sucht neuen Vorstand

Über 60 Berufsschullehrer aus ganz Deutschland trafen sich am 16. September zu ihrem jährlichen Gedanken- und Erfahrungsaustausch in Marburg. Aus dem gesamten Bundesgebiet reisten die Lehrer im Rahmen der Fachtagung von Berufsschulen, die Biologisch-Technische Assistentinnen und Assistenten (BTAs) ausbilden, an. Die Fachgruppe Biologie der Adolf-Reichwein-Schule Marburg richtete die Tagung in Zusammenarbeit mit dem VBIO Arbeitskreis BTA-Schulen aus.

„Ziel dieser Treffen ist es, über den Stand der Ausbildung an den Schulen in verschiedenen Bundesländern zu informieren, neue Entwicklungen zu erfahren und im direkten Erfahrungsaustausch mit den Kollegen an aktuellen Entscheidungsprozessen, in diesem Jahr zum Beispiel an der Überarbeitung der Berufsrahmenqualifikation von Biologisch-Technischen Assistenten mitzuwirken und damit eine optimale Ausbildung zu erreichen“, erklärte Robert Petri zum Hintergrund der Tagung, Bereichsleiter Biologie der gastgebenden Adolf-Reichwein-Schule.

Schwerpunkt der Tagung war laut Dr. Hartmut Böhm, Vorsitzender des Arbeitskreises BTA-Schulen, die Aktualisierung des Anforderungsprofils der BTA. Unterschiedliche Einstufung von Lernergebnissen und verschiedene Berufsbildungs- und Qualifikationssysteme innerhalb der europäischen Länder behinderten die Flexibilität. Die aktuellen Berufsrahmenqualifikationen bestünden schon seit 16 Jahren. Deshalb müsse man sie überarbeiten. Dieser Aktualisierung widmeten sich die Teilnehmer in sieben Workshops.

Die Lehrer informierten sich auch im Forschungszentrum Neu-Ulrichstein über das Wissenschaftsgebiet der Ökotoxikologie. Für die Berufsschullehrer ergab sich bei

der Besichtigung des Forschungszentrums ein umfassender Einblick in dieses Wissenschaftsgebiet.

Im Hörsaal des Forschungszentrums informierte Dr. K. Peter Ebke die Lehrkräfte in einem ausführlichen theoretischen Vortrag, dem sich eine Begehung der Forschungsanlage im Freiland anschloss. Die Themengebiete der Ökotoxikologie werden derzeit nur wenig oder gar nicht an den Berufsschulen unterrichtet. „Die mittlere letale Dosis (LD_{50}) von toxischen Chemikalien dürfte jedem Schüler in diesem Gebiet ein Begriff sein, die mittlere effektive Konzentration (EC_{50}) von Chemikalien in einem Umweltmedium wie Wasser ist den meisten jedoch unbekannt“, führte Robert Petri von der Fachgruppe Biologie der Adolf-Reichwein-Schule als Beispiel aus. Bei den beiden Begriffen handelt es sich um Dosisangaben für die Wirksamkeit eines Stoffes. Während die LD_{50} die für 50 Prozent der Testorganismen tödliche Dosis bezogen auf das Körpergewicht beschreibt, beschreibt die EC_{50} die Konzentration eines Wirkstoffes im Medium bei der 50 Prozent der Testorganismen in diesem Medium reagieren.

Aus Sicht von Dr. Ebke sollte die Ökotoxikologie an den Schulen vermehrt in die Lehrpläne einbezogen werden. Er stellte den Lehrern an Europas größter Teichforschungsanlage des Instituts für Gewässerschutz beispielhaft die Forschungsgebiete der Ökotoxikologie vor. An einem sogenannten Mesokosmos, einem Teichversuchssystem, stellte er die Vielfalt der Lebewesen im Wasser vor. Solch ein Mesokosmos enthält mehrere tausend Liter Wasser und gibt einen einzigartigen Einblick in Teich-Ökosysteme. Die Organismen reichen von Libellenlarven über Wasserflöhe bis hin zu verschiedenen Wasserschnecken. An solch einem System kann die



Sucht dringend Nachfolger für Vorstandsfunktionen im VBTA: Thomas Wittling. Er und auch Rechnungsführerin Barbara Woll stellten sich nicht zur Wiederwahl (Foto: RK).

Umweltwirkung sehr genau von Stoffen untersucht werden.

VBTA ohne Vorstand

Bei dem Treffen in Marburg hatte auch der VBTA seine Mitgliederversammlung 2011. Wichtigster Tagesordnungspunkt waren Wahlen zum Vorstand. Der langjährige Vorsitzende Thomas Wittling stellte sich nicht zur Wiederwahl. Leider fand sich noch kein Nachfolger, sodass Wittling kraft Gesetz weiter die Geschäfte des Vereins führt, obwohl er kein Vorsitzender mehr ist. Eine vergleichbare Lage trifft auch auf die Rechnungsführerin Barbara Woll zu; auch sie trat nicht zur Wiederwahl an. Verstärkt will Wittling nun Kandidaten für den Vorsitz des VBTA finden – oder als letzte Konsequenz Schritte zur Auflösung des Vereins einleiten. *RK*

ANALYSEN



Altmann Analytik GmbH & Co. KG
München
Tel: 089 724805-90
info@analytics-shop.com
www.analytics-shop.com
Zubehör für Chromatographie
und Probenvorbereitung
HPLC Säulen, Spritzenfilter, Vials uvm.

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

Ilse Beetz
Mikroanalytisches Laboratorium
Postfach 1164, D-96301 Kronach
Industriestr. 10, D-96317 Kronach
Tel. 09261 2426, Fax 09261 92376

ARBEITSSCHUTZARTIKEL



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

CHEMIKALIEN



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

GERBU Biotechnik GmbH
Rischerstr. 12, D-69123 Heidelberg
Tel.: 06221 726416 0
Fax: 06221 726416 9
www.gerbu.de, E-mail: info@gerbu.de

DEUTERIUMLAMPEN



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

DICHTUNGSSCHEIBEN AUS GUMMI MIT AUFVULKANISIERTER PTFE-FOLIE

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

FTIR-SPEKTROMETER-ZUBEHÖR



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

GEFRIERTROCKNER

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

GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN



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

HOHLKATHODENLAMPEN



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

KÜHLUND TIEFKÜHLGERÄTE



LAB TECHNOLOGY

Föhrenstr. 12
D-78532 Tuttlingen
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125
www.hettichlab.com
info@hettichlab.com

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

LABORCHEMIKALIEN



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

LABOREINRICHTUNGEN

Wesemann GmbH & Co. KG
Postfach 1461, D-28848 Syke
Tel. 04242 594-0, Fax 04242 594-222
<http://www.wesemann.com>

LABORHILFSMITTEL



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 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



LAB TECHNOLOGY

Föhrenstr. 12
D-78532 Tuttlingen
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125
www.hettichlab.com
info@hettichlab.com



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

LEITFÄHIGKEITS-MESSGERÄTE



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

Große
Anzeigen zu
teuer? Hier
kostet ein
Eintrag nur
6 Euro pro
Zeile, ein
Millimeter
pro Spalte
3 Euro!

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-MESSGERÄTE



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

REINIGUNGSMITTEL FÜR LABORGLAS



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 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

TEMPERATUR-MESSGERÄTE



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

STERILISATOREN

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

THERMOMETER

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



TEMPERATUR-MESSGERÄTE

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



VAKUUMKONZENTRATOREN

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

**Große Anzeigen zu teuer?
Hier kostet ein Eintrag nur
6 Euro pro Zeile,
ein Millimeter pro Spalte
3 Euro!**

eines verbotenen Bandes folgt, daß ein Mindestenergiebetrag notwendig ist, um Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband zu befördern. Ein geringerer Energiebetrag läßt die Elektronen sofort in das Valenzband zurückfallen. Eine energetische Anregung, die nicht zur Paarbildung (s. u.) führt, kann auch „angeregte Zustände“ zwischen Ion und Elektron erzeugen. Man nennt diese Zustände Exzitonen. Sie repräsentieren keine Ladungsträger.

Die „Löcher“ = Elektronenfehlstellen

Elektronen, die auf diese Weise von Valenzelektronen zu Leitungselektronen werden, hinterlassen dabei an der Stelle, die sie sonst eingenommen haben, eine Elektronenfehlstelle oder ein Loch. Dieses Loch, auch „Defektelektron“ genannt, ist der Träger einer positiven Elementarladung. Die Werte beider Ladungen sind gleich groß, lediglich ihr Vorzeichen ist verschieden. Die Leitungselektronen zeichnen sich im Gitter durch eine bestimmte Beweglichkeit aus. Aber auch die Löcher sind beweglich. Sie können durch benachbarte Elektronen aufgefüllt werden. Dadurch entstehen an den Stellen, an denen diese Elektronen vorher saßen, jetzt neue Löcher. Durch das Wechseln eines Valenzelektrons zum Leitungselektron wird nun nicht etwa ein Germaniumstück zu einem negativ geladenen Körper. Durch die Lochbildung wird das betroffene Germaniumatom zu einem positiven Ion, womit die Neutralität nach außen hin erhalten bleibt. Die Bildung eines Leitungselektrons, die mit der Bildung eines Lochs einhergeht, nennt man Paarerzeugung oder Paarbildung. Die Ladungsträger-Paarbildung steht im Gleichgewicht mit der Wiedervereinigung der Ladungsträger, ihrer Rekombination. Dieses Gleichgewicht ist temperaturabhängig. Die Paarbildung steigt mit der Temperatur pro Zeiteinheit. Die Rekombination nimmt mit steigender Temperatur pro Zeiteinheit ab.

Legt man an ein Stück Germanium eine Gleichspannung, so bewegen sich die Löcher wegen ihrer positiven Ladung zur Kathode und die Elektronen wegen ihrer negativen Ladung zur Anode. Dieses Verhalten beider Ladungsträger nennt man Drift. Man spricht daher von Elektronendrift bzw. Löcherdrift. Die durch ihre Wanderung innerhalb eines Kristalls entstehenden Ströme sind der Elektronenstrom und der Löcherstrom (Abb. 4).

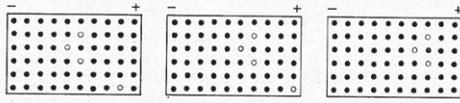


Abb. 4: Schematische Darstellung des „Löcher“-stroms.

Der Elektronenstrom ist der gleiche, der im Leiter vorliegt. Der Löcherstrom ist spezifisch für Halbleiter: durch Auffüllen der Löcher mit Elektronen aus der Stromquelle wandern die Zentren positiver Ladung von Atom zu Atom.

Dotieren mit Elementen mit nur drei Valenzelektronen eine Erhöhung der Löcherzahl. Durch das Dotieren wird natürlich das Paarbildungs-Rekombinations-Gleichgewicht verschoben. So wird durch eine Vergrößerung der Zahl der freien Elektronen die Löcherzahl herabgesetzt, weil die Rekombinationswahrscheinlichkeit entsprechend zunimmt. Umgekehrt ist es bei einer Vergrößerung der Löcherzahl. Die Zeit, die zwischen der Paarbildung und Rekombination eines Ladungsträgerpaares liegt, nennt man Ladungsträgerlebensdauer. Auch sie wird durch Dotierung verändert. Erhöht man durch Dotieren die Zahl der freien Elektronen in einem Halbleiter, so steigt die Rekombinationswahrscheinlichkeit und die Ladungsträgerlebensdauer nimmt ab. Die Zahl der dotierenden Atome ist sehr gering. Sie beträgt etwa $1 \cdot 10^8$ Germaniumatome.

Ein Fremdatom mit drei Valenzelektronen nennt man Akzeptoratom, da es noch ein Elektron aufnehmen kann (lat.: accipere = annehmen), es stellt also ein Loch dar, da es sich trotz seiner drei Valenzelektronen in das Gitter einbaut. Dieses Loch wird aus der Nachbarschaft rasch wieder aufgefüllt, wodurch das dotierende Atom zum negativen Ion wird, dafür hat sich benachbart ein Loch gebildet. Mit Akzeptoratom dotiertes Germanium nennt man p-dotiert. Dotiert man mit Fremdatomen, die fünf Valenzelektronen besitzen, liegen genau umgekehrte Verhältnisse vor. Hier hat man mit Donatoratomen versetzt, die ein Elektron abgeben (lat.: donare = schenken). Mit Donatoren dotiertes Germanium nennt man n-dotiert. Hier wird trotz vermehrter Elektronenzahl des Germanium nicht negativ, da das Fremdatom nach Abgabe des fünften Valenzelektrons zum positiven Ion wird. Das Verhalten der Fremdatome ist bei den kovalenten Halbleitern wesentlich einfacher zu betrachten als bei den III-V-Verbindungen. Bei diesen hängt es davon ab, welches Atom der Verbindung oder Legierung durch welches Störatom ersetzt wird. Hier wirkt eine Gruppe-VI-Verunreinigung als Donator, wenn es ein V-Atom ersetzt und ein IV-Atom als Akzeptor. Wird jedoch ein III-Atom ersetzt, wirkt ein IV-Atom als Donator und ein II-Atom als Akzeptor.

i-, n- und p-Leitung

In der i-Zone sind die Fremdatome so selten, daß nur die Eigenleitfähigkeit des Materials ins Gewicht fällt. Dabei sind von jeder Ladungsträgersorte gleichviele vorhanden. Eigenleitend ist aber auch die Kompensationszone. In ihr gibt es gleichviele Akzeptoren und Donatoren, deren Wirkungen sich gegenseitig aufheben. Bei der Kompensationszone spricht man von „Netto-Störstellendichte“. Deren Wert bezeichnet den Unterschied zwischen den Beträgen der Donatoren- und der Akzeptordichte. i-Leitfähigkeit liegt zusätzlich immer dann vor, wenn die Temperatur des Halbleitermaterials einen Wert übersteigt, bei dem durch vermehrtes Aufbrechen von Bindungen mehr Ladungsträger freigesetzt werden als durch Fremdatome eingebracht werden.

Die Eigenleitfähigkeit ist die Leitfähigkeit des reinen Materials. Sie hat ihre Ursache in den Elektronen, die genügend thermische Energie erhielten, um die

Reinheit und Fremdatome

Das für Transistoren und Halbleiterzähler verwendete Material ist Silicium oder Germanium extremer Reinheit. Zusätzlich kommen Kombinationen von Elementen in Frage, deren Bestandteile jeweils III- und V-wertig sind. Von diesen kennt man Legierungen wie Gallium-Arsenid, GaAs, und chemische Verbindungen wie Indiumphosphid, InP. III-V-Verbindungen, unter diesem Sammelnamen erscheinen sie, werden deshalb noch wenig benutzt, weil ihre Herstellung bisher nicht genügend beherrscht wird.

Die Reinheitsforderungen an das zu verwendende Silicium oder Germanium ist außerordentlich hoch. So darf ein Germanium für Transistoren nur ein störendes Fremdatom auf 10^{10} Germaniumatome enthalten. Derartige Anforderungen lassen sich durch chemische und spektroskopische Mittel nicht mehr überprüfen. Allein Leitfähigkeitsmessungen geben Aufschluß über die Reinheit.

Die auf Grund der gebildeten Ladungsträgerpaare vorhandene Eigenleitfähigkeit der Halbleitermaterialien ist sehr gering. Sie entspricht $50 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$. Dies bedeutet eine Zahl von 10^{13} Ladungsträgerpaaren pro cm^3 Germanium. Ein cm^3 Germanium enthält $4,4 \cdot 10^{23}$ Atome. Diese Zahl ist $2,2 \cdot 10^9$ mal größer als die Ladungsträgerzahl. Hieraus erkennt man auch die Mindestreinheitsforderung von 10^{10} Störatomen pro cm^3 Ge. Durch diesen Höchstwert wird die Eigenleitfähigkeit bei Germanium nicht erhöht. Eigenleitfähigkeit nennt man kurz i-Leitfähigkeit nach der englischen Bezeichnung „intrinsic-conductance“.

Als störende Fremdatome kommen in Frage:

- a) Elemente, die ein Elektron mehr oder eines weniger auf der Valenzschale haben als Germanium oder Silicium. Diese Elemente erhöhen die Leitfähigkeit des Materials.
- b) Elemente mit zwei oder mehr Elektronen weniger oder mehr auf der Valenzschale als das verwendete Halbleitermaterial, z. B. besonders Kupfer, Eisen und Gold. Sie stellen „traps“ (Fallen) dar, die die Ladungsträgerlebensdauer verringern.
- c) Elemente mit der gleichen Anzahl Elektronen wie das Halbleitermaterial in der Valenzschale. Zinn- oder Kohlenstoffatome kommen besonders oft vor. Sie dürfen jedoch in größerer Zahl vorhanden sein, denn sie stören weniger. Von den dreiwertigen Elementen sind in diesem Zusammenhang Aluminium, Indium und Gallium wichtig, von den fünfwertigen Arsen, Antimon und Phosphor.

Das Dotieren

Reines Halbleitermaterial wird mit Zusätzen versehen, die für die verschiedenen, sich elektrisch unterschiedlich verhaltenden Zonen im Halbleiter verantwortlich sind. Diese Zusätze dienen der Vergrößerung der Ladungsträgerzahl. Man wählt als Zusätze Elemente, die ein Valenzelektron mehr oder weniger als Germanium besitzen. Durch Dotieren — wie man das Versetzen mit bestimmten Elementen in diesem Zusammenhang nennt — mit Atomen mit fünf Valenzelektronen erhält man eine Erhöhung der Elektronenzahl und durch

Bindung im Gitter zu verlassen. Die Störleitung ist entweder die n-Leitung oder die p-Leitung. Sie heißt auch extrinsisch nach „extrinsic conduction“. Durch Bestrahlung mit Gamma-Quanten oder Neutronen lassen sich ebenfalls Störstellen im Gitter herstellen; man nennt sie „Frenkel-Defekte“. Gitterleerstellen an der Oberfläche heißen „Schottky-Defekte“. Abgesehen von den Störstellen im Germaniumgitter bilden die Dotierungsatome Störstellen.

Die verschiedenen Halbleiter unterscheiden sich durch die Breite der verbotenen Zone. Die Eigenleitung ist um so geringer, je breiter die verbotene Zone ist, da mit wachsender Breite der verbotenen Zone die Konzentration der Elektronen im Leitungsband geringer wird.

Die verbotene Zone ist nur für die Grundsubstanz von Bedeutung und nicht für die Störstellen, die eine periodische Störung des Gitterpotentials darstellen. Auf Grund ihres Verhaltens dürfen wir die Fremdatome energetisch durchaus im verbotenen Band „ansiedeln“. Die Akzeptoren liegen nahe oberhalb des Valenzbandes und die Donatoren nahe unterhalb des Leitungsbandes. Dabei geben die Donatoren ihre Elektronen an das Leitungsband ab, während die Akzeptoren Elektronen aus dem Valenzband aufnehmen (Abb. 5). Die Breite des verbotenen Bandes wird dadurch kleiner und die Leitfähigkeit größer, da die Konzentration der freien Elektronen im Leitungsband größer geworden ist.

In der sog. n-Zone, der Zone, die mit fünf Valenzen besitzenden Atomen dotiert ist, sind mehr Elektronen als Löcher vorhanden, während in der p-Zone die umgekehrten Verhältnisse vorliegen, also mehr Löcher als Elektronen vorliegen. In diesem Zusammenhang spricht man von „Minoritätsladungsträgern“ und „Majoritätsladungsträgern“. In der n-Zone sind die Elektronen die Majoritäts- und die Löcher die Minoritätsladungsträger, während in der p-Zone die Verhältnisse wieder umgekehrt sind. Den durch die Ladungsträgerdrift entstehenden Strom nennt man entsprechend der Art der beteiligten Ladungsträger Minoritäts- oder Majoritätsströme.

Erläuterung zum Titelbild: Chemische Untersuchung des Mondbodens an Ort und Stelle. Dieses Bild schickte Surveyor 5 zur Erde. Es zeigt das erste „Labor“ auf dem Mond, das die Aufgabe hat, die chemische Zusammensetzung des Mondbodens zu analysieren. Das Testgerät wurde an einem Nylonfaden herabgelassen und auf den Mondboden gesetzt, nachdem Surveyor 5 im Meer der Ruhe gelandet war. Sonde und Testgerät sind durch ein breites Band (in Serpentina) verbunden, über das das Lab-or seine Anweisungen erhält und die Testergebnisse zur Übermittlung an die Erde an das Raumschiff gibt. (Bild: Amerika-Dienst).

Keine Experimente!

Ihre Planungshilfe für moderne Laborgestaltung



Dieses praxisorientierte Handbuch thematisiert die unerlässlichen Erfolgsfaktoren für Nachhaltigkeit im Laborbetrieb und macht Sie mit allen Planungs-determinanten bei der chronologischen Entstehung moderner Laborprojekte vertraut:

- ▶ Details für die Einrichtung und die technische Gebäudeausstattung, aber auch für vielfältige Sonderlabore
- ▶ Diskussion technischer Lösungen von Teilen der Einrichtung und zur Beachtung anliegender Normen
- ▶ Anforderungen an die Architektur und Sensibilisierung für sicherheitsrelevante Bestandteile von Laboratorien
- ▶ Fragen des Labormanagements, zu Kostencontrolling und kaufmännischer Effizienz

Eine kompakte Darstellung für die gesamte Fachwelt – unverzichtbar für integrale **Planung, Management und Betrieb moderner Laboratorien!**

Handbuch für nachhaltige Laboratorien

Herausgegeben von **Egbert Dittrich**
2012, ca. 550 Seiten, fester Einband,
€ (D) 178,-, ISBN 978-3-503-13053-5

Weitere Informationen:

 www.ESV.info/978-3-503-13053-5

ESV

ERICH SCHMIDT VERLAG
Auf Wissen vertrauen

Bestellungen bitte an den Buchhandel oder: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG · Genthiner Str. 30 G · 10785 Berlin
Fax 030/25 00 85-275 · www.ESV.info · Tel. 030/25 00 85-265 · ESV@ESVmedien.de

