

CLB

Chemie in Labor und Biotechnik

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Ausund Weiterbildung

- Chemie und Energie
- Emergenz bei Clock-Reaktionen
- Aromen der Frankfurter Grünen Soße
- Schlangengift und Blutgerinnung
- Neue Antibiotika
- Porzellanmanufaktur Meißen
- Periodensystem historisch
- Altersbestimmung von Dokumenten
- Experimente mit Trockeneis

ANALYTISCHE CHEMIE, CHROMATOGRAPHIE			
327/11	Kapillar-GC, Fortgeschrittenenkurs	Prof. Dr. T. Welsch	Neu-Ulm
308/11	HPLC, Einführung	Prof. Dr. J. Kinkel	Nürnberg
322/11	HPLC, fortgeschrittene Techniken	Prof. Dr. C. Huber	Frankfurt am Main
374/11	DC für Anwender	Prof. Dr. B. Spangenberg	Offenburg in der Ortenau
299/11	Flüssig-Flüssig-Verteilungschromatographie	Prof. Dr. J. Kinkel	Nürnberg
365/11	Proteom-Analytik	Prof. Dr. B. Küster	Freising-Weihenstephan
364/11	Multidimensionale u. Comprehensive Chromatographie	Dr. M. Geißler	Frankfurt am Main
335/11	Hochleistungs-DC-MS	PD Dr. rer. nat. habil. G. Morlock	Stuttgart
321/11	Enantiomerenrennung im synthetischen Labor	Prof. Dr. J. Kinkel	Nürnberg
ANALYTISCHE CHEMIE, SPEKTROSKOPIE			
505/11	NMR-Spektrenauswertung, Grundlagenkurs	PD Dr. R. Meusinger	Frankfurt am Main
319/11	Massenspektrometrie, Einführung	Prof. Dr. D. Kuck	Bielefeld
503/11	Schwingungsspektroskopie für Qualitäts- und Prozesskontrollen	Prof. Dr. H. W. Siesler	Essen
506/11	NMR-Spektrenauswertung, Fortgeschrittenenkurs	PD Dr. R. Meusinger	Frankfurt am Main
363/11	Photoelektronenspektren	Prof. Dr. R. Szargan	Leipzig
ANALYTISCHE CHEMIE, ANWENDUNGEN UND VERFAHREN			
519/11	Workshop AQS	Prof. Dr. rer. nat. G. Papke	Frankfurt am Main
347/11	Analytische Mikroarrays	Univ.-Prof. Dr. R. Nießner	München
389/11	Kristallographie, Grundkurs	Prof. Dr. R. E. Dinnebier	Frankfurt am Main
675/11	Elementspeziesanalytik, Einführung	Dr. P. Fecher	Leipzig
302/11	Röntgenbeugung, Rietveldanalyse	Dr. J. Birkenstock	Bremen
353/11	Pyrolyse-GC/MS von Kunststoffen	Prof. Dr. G. Knupp	Rheinbach (bei Bonn)
142/11	Chemometrik	Prof. Dr. J. W. Einax	Jena
298/11	Feld-Fluss-Fraktionierung	Prof. Dr. J. Kinkel	Nürnberg
517/11	Qualitätssicherung, Teil I	Prof. Dr. Dr. h.c. A. Zschunke	Frankfurt am Main
518/11	Qualitätssicherung, Teil II	Prof. Dr. Dr. h.c. A. Zschunke	Frankfurt am Main
507/11	Chromatographie u. Spektroskopie von Polymeren, Überblick	PD Dr. R. Meusinger	Frankfurt am Main
523/11	Methodenvalidierungen	Dr. B. Pohl	Frankfurt am Main
512/11	Umweltanalytik, AQS	Prof. Dr. rer. nat. G. Papke	Frankfurt am Main
BIOWISSENSCHAFTEN			
157/11	Toxikologie, Einführung	Prof. Dr. Dr. U. Heinrich	Hannover
174/11	Downstream Bioprocessing	Prof. Dr. M. Fernández-Lahore	Bremen
168/11	Medizinische Chemie für qualifizierte Mitarbeiter, Grundlagen	Dr. rer. nat. Dr. med. P. Steinfeld	Frankfurt am Main
166/11	Fluoreszenzanwendungen in der Biochemie	Prof. Dr. rer. nat. R. Ebbert	Nürnberg
169/11	Medizinische Chemie, Einführung	Prof. Dr. M. Wiese	Bonn
159/11	Nachhaltigkeitsbewertungen, Ökoeffizienz-Analyse und SEEBALANCE	Dr. P. Saling	Frankfurt am Main
SYNTHESEMETHODEN			
052/11	Moderne Synthesemethoden der Organischen Chemie	Prof. Dr. K. Rück-Braun	Berlin
056/11	Präparative Organische Chemie für Laboranten	Prof. Dr. H. Butenschön	Frankfurt am Main
014/11	Selektive Oxidationsreaktionen	Prof. Dr. A. Berkessel	Frankfurt am Main
034/11	Organokatalyse für die Asymmetrische Synthese	Prof. Dr. B. List	Frankfurt am Main
907/11	Chemical Development and Scale-Up	Dr. W. Watson	Frankfurt/Main
LEBENSMITTELCHEMIE			
676/11	Tierarzneimittelrückstände in Lebensmitteln	LM-Chem. R. Lippold	Frankfurt am Main
669/11	Lebensmittelrecht	Prof. Dr. A. H. Meyer	Frankfurt am Main
711/11	Sichere Spielwaren, Kontrolle stofflicher Risiken	Dr. A. Pfalzgraf	Erlangen
674/11	HPLC-MS/MS in der Lebensmittel-/Futtermittelanalytik	Prof. Dr. H.-U. Humpf	Münster
672/11	Fruchtsäfte	Dr. V. Ara	Paderborn
656/11	Pestizidanalytik	Dr. G. Kempe	Frankfurt am Main
702/11	Lebensmittelbedarfsgegenstände, Sicherheit und Recht	Prof. Dr. A. H. Meyer	Frankfurt am Main
678/11	Health Claims-Verordnung	Prof. Dr. A. H. Meyer	Frankfurt am Main
609/11	Real-Time-PCR in der Lebensmittelanalytik	LM-Chem. H.-U. Waiblinger	Freiburg
MODERNE METHODEN UND VERFAHREN			
601/11	Kolloidchemie, Grundlagen und moderne Entwicklungen	Prof. Dr. W. Richtering	Aachen
960/11	Statistische Versuchsmethodik (DoE)	Dipl.-Math. S. Soravia	Frankfurt am Main
592/11	DoE Workshop	Dipl.-Math. S. Soravia	Frankfurt am Main
596/11	Tenside, Aufbaukurs	Dr. F. Müller	Essen
024/11	Präparative Chemie in Mikroreaktoren	Prof. Dr. W. Reschetilowski	Dresden
011/11	Nanotechnologien	Prof. Dr. Dr. h.c. M. Veith	Saarbrücken
665/11	Funktionelle und nanostrukturierte Polymermaterialien	Prof. Dr. M. Stamm	Dresden
595/11	Emulsionen und Suspensionen, Rheologie	Prof. Dr. K.-H. Jacob	Nürnberg
594/11	Biofilme	Prof. Dr. rer. nat. H. Horn	Frankfurt am Main
605/11	Emulsionstechnologie	Prof. Dr. S. Ortanderl	Rheinbach (bei Bonn)
593/11	Industrielle Statistik, grundlegende Methoden	Dipl.-Math. S. Soravia	Frankfurt am Main
CHEMIE UND UMWELT			
202/11	Struktur-Aktivitäts-Beziehungen (QSAR)	Prof. Dr. G. Schüürmann	Leipzig
200/11	Toxikologische Wirkung chemischer Stoffe	Prof. Dr. G. Schüürmann	Leipzig
192/11	Polyfluorierte Verbindungen, aktuelle Erkenntnisse und Analytik	Dr. rer. nat. T. Stahl	Frankfurt am Main
CHEMIE UND WASSER			
255/11	Wasser, komplexes Problem im Produktionsalltag	Dipl.-Biol. H. Gabriel	Frankfurt am Main
349/11	Praxisgerechte Wasserbeurteilung	Prof. Dr. E. Worch	Dresden
CHEMIE UND WIRTSCHAFT			
884/11	Finanzielle Führung, strategisches Controlling	Dr. T. Truijens	Frankfurt am Main
929/11	F&E-Management	Dr. K. Griesar	Frankfurt am Main
900/11	Betriebswirtschaftslehre, Einführung für Chemiker	Dr. C. Schaffer	Frankfurt am Main
997/11	Informationsquellen Chemie, Bewertung	Dr. E. Zaß	Frankfurt am Main
950/11	Bewertung von Bauwerkschäden	Prof. Dr. A. Gerdes	Eggenstein-Leopoldshafen
CHEMIE UND RECHT			
990/11	Gewerblicher Rechtsschutz	Dr. rer. nat. N. von Fünér	Frankfurt am Main
991/11	Patent Know-how	PA Dr. H.-P. Jönsson	Frankfurt am Main
908/11	Technische Schutzrechte, Teil I	Dr. A. Bieberbach	Würzburg
CHEMIE FÜR NICHTCHEMIKER			
948/11	Grundlagen Anorg./Allg. Chemie für Mitarbeiter Produktion u. Technik	Dr. J. Hocker	Bad Dürkheim
949/11	Grundlagen Org. Chemie für Mitarbeiter Produktion u. Technik	Dr. J. Hocker	Bad Dürkheim
958/11	Grundlagen Anorg./Allg. Chemie für Mitarbeiter Produktion u. Technik	Dr. J. Hocker	Bad Dürkheim
985/11	Grundlagen Allg./Anorg. Chemie für Kaufleute u. Ing.	Dr. J. Hocker	Frankfurt am Main
959/11	Grundlagen Org. Chemie für Mitarbeiter Produktion u. Technik	Dr. J. Hocker	Bad Dürkheim

Liebe CLB-Leserin, lieber CLB-Leser,

die relativ junge Wissenschaft der Informatik ist schwer zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften bzw. der Mathematik einzuordnen; es gibt den Begriff der Bindestrich-Informatik: Wirtschafts-Informatik, Bio-Informatik etc. Die Chemie hingegen gilt neben der Physik und Biologie als eine Säule der Naturwissenschaften. Die 63. Vollversammlung der UN hat dieses Jahr als „Internationales Jahr der Chemie“ proklamiert. In die Öffentlichkeit getragen werden Themen wie Chemie und Energie, Chemie und Ernährung, Chemie und Medizin, Chemie und Umwelt – alles ebenfalls Bindestrich-Thematiken, oder? Ist ja auch nicht verwunderlich: Information, Materie und Kräfte sind alle miteinander verknüpft; es kommt auf die Betrachtungsweise und die Aufgabenstellung an, von welcher Seite man sich einer Thematik nähert.



Wie gewohnt versucht die CLB, diese Vernetzung der Wissenschaften in ihren Artikeln widerzuspiegeln. So findet sich auch das Thema Chemie und Energie (ab Seite 60), u.a. mit dem Schwerpunkt Elektromobilität. Dabei zeigt sich erst recht, dass man bei Betrachtung nur einer Komponente der Verkehrsproblematik verloren ist.

Unerwartete Verknüpfungen zeigt der Artikel ab Seite 48. Es gibt Menschen, die empfinden bei der Wahrnehmung von Farben gleichzeitig bestimmte Gerüche, oder sie verbinden Töne mit Farben. Synästhesie nennt man so etwas. Sogar das Sehen eines Buchstabens kann eine zusätzliche Farbempfindung auslösen. Ungefähr zwei Prozent aller Menschen sind Synästheten. Jülicher Forscher wiesen 2009 nach, dass bei solchen Menschen die graue Gehirns substanz in zwei Bereichen des Gehirns vermehrt vorkommt, insbesondere auch bei einem Teil, dem Scheitellappen, der die Aufgabe hat, verschiedene Sinneseindrücke miteinander zu verknüpfen. Ich weiß nicht, ob Döbereiner oder Goethe zu den Synästheten zählten; zumindest suchten sie Zusammenhänge zwischen ihren frühen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, die heute etwas befremdlich erscheinen. Dennoch habe ich nach Beratungen und Abwägungen in diese CLB einen Artikel von Peter Brodersen veröffentlicht, der sowohl auf die geschichtliche Relevanz von Döbereiner und Goethe für das Periodensystem eingeht wie auch Verknüpfungen dieses Systems zu Farb- und Klangempfindungen bildet. Der Artikel entfernt sich damit der trocken-sachlichen Naturwissenschaft, aber eventuell regt er ja auch die Eine / den Anderen an, Versuche zu unternehmen, über konventionelle Denkweisen hinauszugehen – und kommt so zu neuen Erkenntnissen. In der Musik von Bach steckt ja auch viel Mathematik; manch einer vermutet Geheimbotschaften darin. Vielleicht schreiben Sie mir Ihre Einschätzung zu dem Artikel.



Soviel zur Verknüpfung der Chemie mit dem Alltag, anderen Wissenschaften usw. Kein Wunder, dass sich die Lehrer darüber streiten, welchen Stoff man noch in den Unterrichtsplan nehmen soll. Es ist aber soviel, dass man wirklich Methodik-Beherrschung und Verständnis jetzt deutlich den Vorrang geben sollte. Fakten speichert der Computer. Vielleicht haben Sie es gehört: Computer „Watson“ schlug 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. Noch ist das „Schaltkreismonster aus dem IBM-Keller“ (so der Spiegel) mit seinen 2880 Prozessorkernen ein gewaltiger Rechner, aber das war mit „Deep Blue“ 1997, der Schachweltmeister Kasparow schlug, auch der Fall. Heute schafft das ein besserer Desktop-Rechner. Was bedeutet da noch nacktes Wissen?

Komplex vernetzte Forschung ist die Herausforderung unserer Tage. Da nutzt keine Drill-Ausbildung, wie sie die chinastämmige US-Autorin Amy Chua in ihrem Buch „Die Mutter des Erfolgs“ beschrieb – und die bei uns als Kindesmisshandlung verfolgt würde. Allerdings darf es an Mitteln für Forschung und Entwicklung nicht fehlen (wie sie schon in der CLB vor 60 Jahren angemahnt wurden, siehe Umschlagseite 3 in dieser Ausgabe). Um die bundesdeutschen Ausgaben für 2011, die groß vom Ministerium mit „plus 7 %“ verkündet wurden, hier mal anders zu beleuchten: ExxonMobil erzielt nach Abzug aller Ausgaben und Steuern 2010 mit 30,5 Milliarden Dollar einen Gewinn, der etwa doppelt so groß ist wie die deutschen Forschungs- und Bildungsausgaben mit 11,6 Milliarden Euro! Nun ja, der Umsatz des Konzerns (sagenhafte 383 Milliarden Dollar) übersteigt das Volumen des Bundeshaushalts 2011 auch um 77 Milliarden Euro...

Ich denke, die CLB vermittelt Bildung in einer Weise, dass sie einen kleinen Teil zum Volksvermögen beitragen kann. Insofern freue ich mich auf die nächste Zeit mit der CLB und mit Ihnen,

Ihr

INHALT

Aufsätze

Einfachste Clock-Reaktion, eine Landolt-Reaktion Emergentes Verhalten an einem einfachst möglichen chemischen Reaktionssystem _____	8
Die Frankfurter Sieben Der gesunde Aromenstrauß der „Grünen Soße“ _____	18
Schlangengift verhindert Blutgerinnsel In den Multi-Pharmaka-Cocktails stecken raffinierte Gerinnungshemmer _____	28
Meist reserviert für resistente Keime Neue Antibiotika: Leitstrukturen und Angriffspotenziale _____	34
Auf den Spuren des Porzellanmachers Böttger 300 Jahre Porzellanmanufaktur Meißen _____	44
Vor 200 Jahren postulierte Döbereiner das „chemische System“ Das Periodensystem und konstruierte Zusammenhänge mit Farben und Tönen _____	48



Zum Titelbild:
Christian Saffert, Chemielaborant, baut in einer Glove-Box eine Lithium-Ionen-Testbatterie zusammen. Mit ihr werden verschiedene neuartige Kathodenmaterialien untersucht (siehe dazu den Artikel „(Elektro-)Mobilität: Chemie macht's möglich“ ab Seite 60; Foto: BASF).

Rubriken

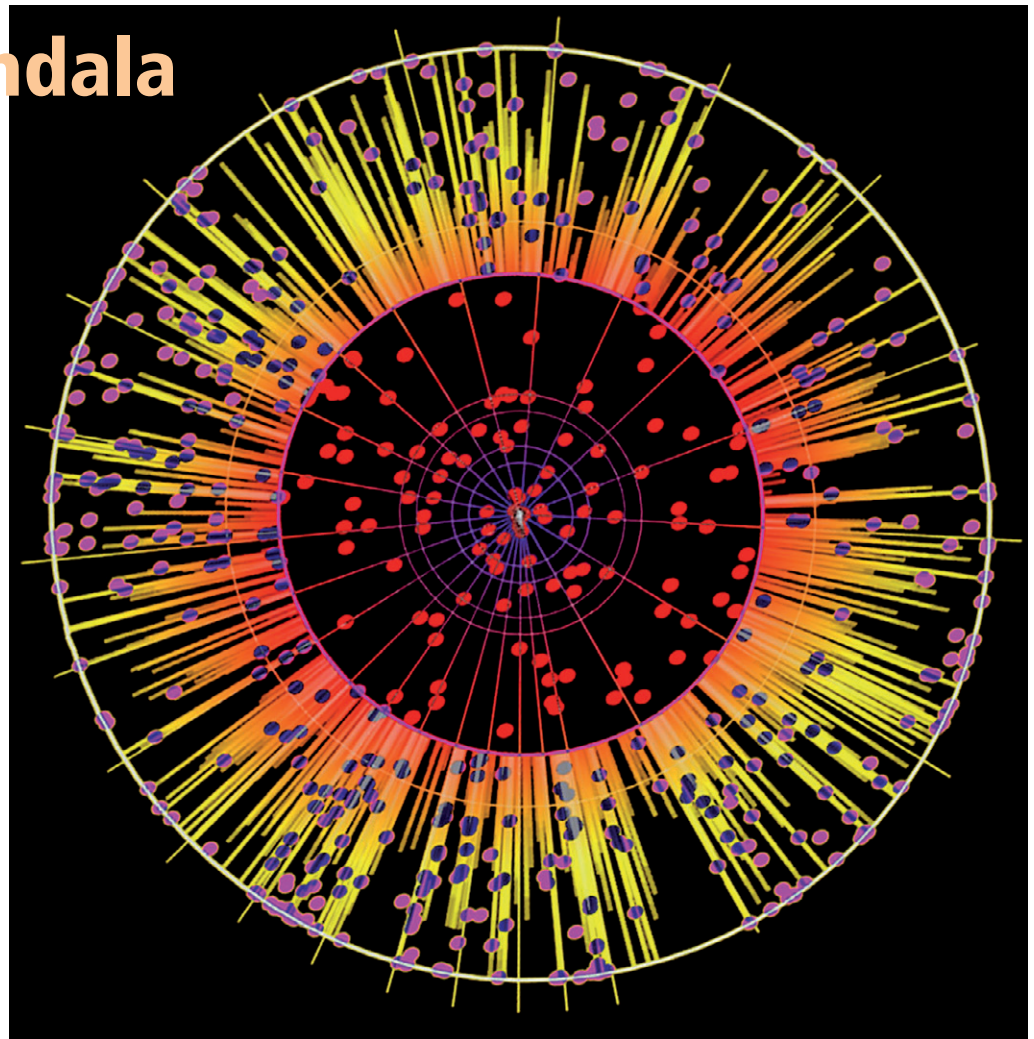
Editorial _____	1
Impressum _____	3
F & E im Bild _____	3
Unternehmen _____	4
Personalia _____	6
Nachschlageseite _____	27, 43
Umschau _____	60
(Elektro-)Mobilität: Chemie macht's möglich _____	60
Die Aussagen der Tinte aufgespürt – Analytik in der Kriminaltechnik _____	66
Forschung und Technik _____	69
Der neueste Stand _____	74
Literatur _____	75
Neue Produkte _____	77
Bezugsquellenverzeichnis _____	87
Index 2010 _____	I
CLB-Geschichte _____	U3

Erreichen & Erhalten

Bester Abschluss wird belohnt Bewerben für den GDCh-Absolventenpreis 2011 _____	79
Trockeneis aus dem Supermarkt Low-Cost-Experimente im Microscale-Maßstab _____	80
Elfte Runde in Dornbirn Grand Prix Chimique 25. bis 30. September _____	85
IR-Spektroskopie Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich _____	86

DNA-Mandala

Zur Veranschaulichung von Resultaten aus statistischen Untersuchungen des Erbguts hat man an der Uni Genf „Chromosomen-Mandalas“ erstellt. Sie zeigen, an welchen Stellen Retroviren ihr Erbgut in dasjenige des Menschen einbauen – und dadurch Teil unseres eigenen Genoms werden. Dieses besteht zu 40 Prozent aus genetischem Material, das ursprünglich Retroviren entstammt. Bioinformatiker verglichen nun alle bekannten Einbaustellen des Maus-Leukämie-Virus (MLV) mit spezifischen Merkmalen, wie stark das menschliche Erbgut aufgewickelt und deshalb für eindringende Viren zugänglich ist. Dafür verwendeten sie statistische Methoden, die denen von Suchmaschinen-Algorithmen ähneln abgeschaut hatten. Das Resultat nannte man „Supermarker“. Mit ihm lassen sich drei Viertel der Einbaustellen des MLV erklären, auch die fatale Stelle neben dem aktivierten Krebsgen. Sie hatte bei einem Gentherapieversuch zu Blutkrebs geführt (Abb.: Jeremy Luban).



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

Abonnentenbetreuung:
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

Petronas und BASF planen eine gemeinsame Produktion von Spezialchemikalien in Malaysia. Eine Machbarkeitsstudie wird erstellt. Die geplante Investition würde rund eine Milliarde Euro betragen. Anlagenbeispiele sind eine nichtionische Tensidanlage, eine Methansulfonsäuranlage, eine Isononananlage sowie Anlagen für weitere C4-basierte Spezialchemie-Produkte.

Bayer will seine Kapazitäten zur Produktion hochwertiger Materialien in China bis zum Jahr 2016 erheblich ausbauen. Dazu sind am Standort Shanghai Investitionen von rund einer Milliarde Euro geplant. So sollen die Kapazitäten für den Polyurethan-Rohstoff MDI auf eine Million Jahrestonnen und für den Hochleistungskunststoff Polycarbonat auf 500 000 Jahrestonnen mehr als verdoppelt werden. Außerdem werden F&E-Aktivitäten dort erheblich verstärkt. Zudem wird die Hauptverwaltung des Geschäftsbereichs Polycarbonates vom Stammsitz in Leverkusen nach Shanghai umziehen.

Sartorius Stedim Systems GmbH will bislang getrennte Arbeitsbereiche und Produktionsflächen zusammenführen und wird deshalb ein neu zu errichtendes Gebäude im Industriegebiet der Stadt Guxhagen beziehen. Der Umzug ist in etwa einem Jahr.

Thermo Fisher Scientific will für 2,1 Milliarden Dollar den US-Wettbewerber Dionex Corp übernehmen. Dieser Prozess soll bis März abgeschlossen werden.

Lanxess und die niederländische Royal DSM N.V. haben sich grundsätzlich auf einen Verkauf von DSM Elastomern an den deutschen Spezialchemie-Konzern für 310 Millionen Euro ohne Barmittel und Schulden verständigt. DSM Elastomers produziert unter dem Markennamen Keltan den Synthesekautschuk Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM).

Air Products hat seinen Verwaltungssitz von Hattingen nach Bochum verlegt. Damit trägt das Unternehmen dem durch Zentralisierung entstandenen Bürobedarf Rechnung.

Evonik Industries und das indische Chemie-Unternehmen Gujarat Alkalies and Chemicals Limited (GACL) treiben Pläne für ein neues Millionenprojekt voran. Kernstücke dabei sind der Bau einer neuen Anlage für Wasserstoffperoxid durch Evonik sowie die Errichtung einer neuen Anlage für Propylenoxid durch GACL.

Polymer-Chemie mit Sitz in Bad Sobernheim verleiht sich jetzt die die Masterbatch Winter GmbH ein. Dadurch umfasst die Polymer-Gruppe nun sieben Compoundierunternehmen: Polymer-Chemie, Polyblend, TechnoCompound, PolyMIM, Tula Polymer, Sun Alloys Europe und Masterbatch Winter. 400 Mitarbeiter trugen im Jahr 2010 zu einem Umsatz von rund 140 Mio. Euro bei.

Axel Semrau hat jetzt den Vertrieb der Produkte von DANI Instruments in Deutschland und Österreich exklusiv übernommen. Die Vorzüge der DANI Systeme liegen in der besonders robusten und servicefreundlichen Technik.

Megatrend Pflanzenrohstoffe

Studie: Wachstumstreiber für Chemie bis 2020

Weitreichende Umwälzungen in Wirtschaft, Politik, Kultur und Klima und deren Zusammenwachsen haben zur Entstehung globaler Megatrends geführt. Diese Megatrends eröffnen Unternehmen aller Größen interessante Möglichkeiten, sowohl in der Chemieindustrie wie auch alle anderen Branchen. Die Entwicklung von pflanzenbasierten Rohstoffen anstelle von Rohöl wird bis 2020 der wichtigste Trend in der Chemieindustrie sein, angetrieben zum Teil durch die von gesellschaftlichen Trends gelenkte Konsumentennachfrage.

Megatrends sind globale, langfristige und makroökonomische Entwicklungskräfte, die sich auf das Geschäftsleben, die Wirtschaft, die Gesellschaft, die Kultur und die persönlichen Lebensbereiche auswirken und so unsere zukünftige Welt und das stetig anwachsende Tempo der Wandlungsprozesse bestimmen. In einer aktuellen Studienreihe identifiziert, definiert und bewertet Frost & Sullivan solche Megatrends und deren zukünftige Auswirkungen auf eine Reihe von Branchen und Märkten, einschließlich der Chemie- und Werkstoffindustrie.

„Megatrends haben einen großen Einfluss auf die zukünftige Richtung der Chemie- und Werkstoffindustrie“, erklärt Brian Balmer, Industry Principal bei Frost & Sullivan. „Das Wachstum der Megastädte zum Beispiel wird das Wachstum vieler chemischer Produkte vorantreiben, wie z.B. Verglasung mit zusätzlicher akustischer Isolierung, und auch von Werkstoffen wie Kunststoffe und Klebstoffe, welche die Herstellung von kompakteren Haushaltsgeräten ermöglichen.“

Die fortschreitende Verstärkung in den Industrieländern wird zudem langfristig zu einer Nachfrage nach mehr Werkstoffen führen, die dazu beitragen, Gebäude gesundheitsfreundlicher zu machen, wie zum Beispiel geruchsneutralisierende Farben.

Die Auswirkungen gesellschaftlicher Belange in Bezug auf nachhaltige und erneuerbare Werkstoffe werden die Entwicklung von aus Algen hergestellten Biotreibstoffen der zweiten Generation anregen, und damit die Frage nach dem Wettbewerb zu Nahrungspflanzen beseitigen.

„In Produkten, die für moderne und zukünftige Lifestyles entwickelt werden, kommt ein breites Spektrum von innovativen chemischen Produkten zum Einsatz“, vermerkt Balmer. „Dies schließt strukturelle Werkstoffe mit ein, wie zum Beispiel technische Kunststoffe für kompaktere konvergierte Geräte mit umfassenderem Funktionsumfang wie Smartphones, Verbundstoffe für leichtere und widerstandsfähigere Sportausrüstung sowie umweltfreundliche Materialien für biobasierte, recyclebare, wieder verwendbare oder biologisch abbaubare Verpackung.“

Produktbereiche, die aufgrund der Auswirkungen von Megatrends in Zukunft an vorderster Stelle stehen werden, reichen von Nanomaterialien, intelligenten Werkstoffen und nachhaltigen/erneuerbaren Werkstoffen bis hin zu organischer Elektronik, Biotechnologie, Kohlenstofffasern und technischen Naturfasern. Deren steigendes Aufkommen wird im Gegenzug Auswirkungen auf zahlreiche chemische Produkte haben.

Nanotechnologie wird zum Beispiel eine wichtige Rolle bei Kunststoffen, Farben, Kosmetik und in vielen anderen chemischen Bereichen spielen. Auch wird das Aufkommen von organischer Elektronik die Attraktivität von polymeren Werkstoffen erhöhen, die elektrische Leiter oder Halbleiter darstellen und ein breites Spektrum von Vorrichtungen ermöglichen wie Kleidung mit eingebetteter Elektronik, E-Papier und Tapeten mit Beleuchtungsfunktion.

13 % Plus: 3,1 Milliarden für F&E

Bayer-Innovations-Perspektive 2010 – mit Blick auf Politik und Gesellschaft

„Unsere Aufwendungen für Forschung und Entwicklung werden wir im Jahr 2010 voraussichtlich auf einen Rekordwert von 3,1 Milliarden Euro steigern – ein Plus von 13 Prozent“, sagte Vorstandsvorsitzender Dr. Marijn Dekkers im Dezember beim Presseforum „Bayer-Innovations-Perspektive 2010“. Das Forschungs- und Entwicklungs-Budget von Bayer sei schon seit Jahren das größte der chemisch-pharmazeutischen Industrie in Deutschland.

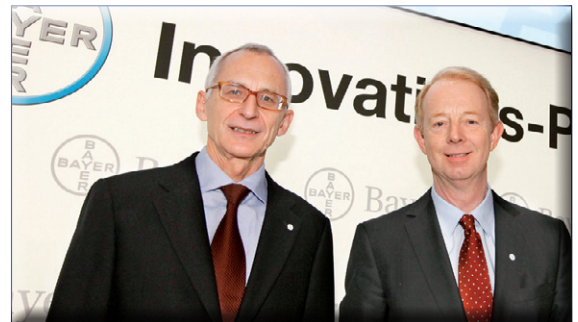
Allerdings gebe es auch Entwicklungen, die Anlass zur Sorge bereiten würden. So stelle sich die Frage, ob die Gesellschaft auch in Zukunft bereit sein werde, für Innovationen einen angemessenen Preis zu zahlen. Das gelte vor allem für den Bereich HealthCare. Hier sei es oft sehr schwer, den Wert eines Produkts zu ermitteln, denn es gehe dabei nicht nur um Kosten und Gewinne. „Dahinter steht auch die Frage, wieviel einer Gesellschaft die Gesundheit – oder das längere Leben – von Einzelnen wert ist. Dies sind legitime Fragen, mit denen wir uns intensiv auseinandersetzen müssen. Nur wenn wir hierauf positive Antworten finden, werden wir auch in Zukunft neue Produkte erfolgreich entwickeln können“, so Dekkers.

Problematisch sei auch die mangelnde Akzeptanz für neue Technologien: „Hier werden oftmals Emotionen und Ängste geschürt – ohne wissenschaftlich fundierte Grundlagen.“ Wer heute in Deutschland eine neue Industrieanlage plane oder eine neue Technologie auf den Markt bringen wolle, müsse mit erheblichen Widerständen der Gesellschaft rechnen. „Dabei wird komplett unterschätzt, was dies für den Standort und die Le-

bensqualität bedeutet – und am Ende auch für die Arbeitsplätze.“ Die Unternehmen müssten alles dafür tun, um Vorbehalte gegenüber der Industrie und gegenüber neuen Technologien auszuräumen. Hier seien aber auch Politik und Behörden in der Pflicht, indem sie Sachlichkeit und Transparenz sicherstellen und technologiefreundliche Rahmenbedingungen schaffen.

Als Beispiel verwies Dekkers auf die Debatte um die Grüne Gentechnik. Diese sei eine innovative Züchtungsmethode mit großem Potenzial, deren Sicherheit sich in langer Praxis in vielen Regionen der Welt erwiesen habe. Dennoch stehe diese Technologie in Europa vor großen regulatorischen Hürden. „Für mich zeigt sich daran: Politiker sollten die Ängste der Bevölkerung zwar ernst nehmen, sich aber nicht von ihnen treiben lassen. Grundlage für eine Beurteilung müssen Fakten sein, nicht Ängste“, betonte Dekkers.

An den geplanten Aufwendungen für Forschung und Entwicklung bei Bayer im laufenden Jahr hat HealthCare mit 67 Prozent den größten Anteil, hauptsächlich für Projekte in der dritten klinischen Studienphase. Die Pharma-Pipeline soll aktuell mit insgesamt über 50 Projekten in allen klinischen Phasen gut gefüllt sein. CropScience folgt mit 25 Prozent am gesamten Forschungsbudget. In den zehn Jahren von 2000 bis 2009 hat der Teilkonzern 23 neue Wirkstoffe auf den Markt gebracht; bis 2012 sollen sechs weitere folgen. Zusätzlich verfolgt der Wachstumsbereich BioScience 60 Projekte für verbesserte Pflanzeigenschaften und Saatgut. Auch MaterialScience entwickelt zahlreiche neue Produkte und Anwendungen. Die sieben Prozent aus dem Gesamtbudget machten immerhin rund 230 Millionen Euro aus, so Dek-



Dr. Marijn Dekkers, seit vergangenem Oktober Vorstandsvorsitzender der Bayer AG (rechts), und Forschungsvorstand Dr. Wolfgang Plischke eröffnen die Bayer Innovations-Perspektive 2010 in Leverkusen.

kers. „Als Erfolg sehen wir mehr als 20 Prozent des Umsatzes von MaterialScience mit Produkten, die seit 2005 auf den Markt gekommen sind.“

Bayer hat rund 12 500 Mitarbeiter in der Forschung und Entwicklung.

Zu den herausragenden Bayer-Entwicklungen im Bereich HealthCare gehört der Gerinnungshemmer Xarelto (Wirkstoff: Rivaroxaban), der derzeit am intensivsten untersuchte Faktor-Xa-Hemmer in der klinischen Entwicklung. Mehr als 65 000 Patienten sollen an dem klinischen Entwicklungsprogramm für Xarelto teilnehmen. Über die Prophylaxe von venösen Thromboembolien nach geplanten Hüft- oder Kniegelenkimplantationen soll der Einsatzbereich des Medikaments erweitert werden. „Dieses Arzneimittel hat ein jährliches Spitzenumsatzpotenzial von mehr als zwei Milliarden Euro“, sagte Dr. Wolfgang Plischke, im Vorstand der Bayer AG unter anderem für die Bereiche Innovation, Technologie und Umwelt verantwortlich.

Auch der Bereich CropScience setzt auf Innovationen: Bis 2012 sollen sechs neue Wirkstoffe mit einem Umsatzpotenzial von insgesamt mehr als einer Milliarde Euro auf den Markt gebracht werden.

AiCURIS Dr. Marie-Paule Richard ist neuer CMO (Chief Marketing Officer) bei der AiCuris GmbH in Wuppertal. Sie kann auf über 24 Jahre Erfahrung in der Pharmazeutischen Industrie zurückblicken, zuletzt als Vizepräsidentin der klinischen Entwicklung bei Sanofi Pasteur und als medizinische Beraterin für einige Biotechunternehmen in der Schweiz und in Frankreich sowie für ein Capital Venture Fonds.



EEAC Die US-amerikanische Politikwissenschaftlerin Prof. Dr. Miranda Schreurs ist zur neuen Vorsitzenden der Europäischen Umweltund Nachhaltigkeitsräte (EEAC) gewählt worden. Sie ist seit 2008 Mitglied im Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung und war seit 2010 stellvertretende Vorsitzende des EEAC; außerdem ist sie seit 2007 Professorin für vergleichende Politikwissenschaft an der FU Berlin und Leiterin des Forschungszentrums für Umweltpolitik (FFU). EEAC ist der Zusammenschluss von 30 Umweltund Nachhaltigkeitsräten aus 16 Europäischen Ländern.



FVEE Das Direktorium des Forschungsverbands Erneuerbare Energien (FVEE) wählte Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Eberhardt vom Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH zu seinem Sprecher für das Jahr 2011. Stellvertretender Sprecher ist Prof. Dr. Gerd Hauser vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik.



INGen Die InGen BioSciences Gruppe mit Sitz bei Paris, die Diagnostik-Kits für die Klinik entwickelt und vertreibt, hat Dr. Isabelle Buckle (49) zum CEO ernannt. Isabelle Buckle arbeitet seit 25 Jahren in Unternehmen für Molekulare Medizin und Proteomics, zuletzt bei Applied Biosystems als geschäftsführende Direktorin für Global Strategic Accounts.



ITER Zum stellvertretenden Generaldirektor hat der ITER-Rat den geborenen Niederländer und



Maschinenbauer Dr. Remmelt Haange (67) vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald ernannt. Er ist für den Aufbau des internationalen Testreaktors ITER (lateinisch „der Weg“) verantwortlich, der in weltweiter Kooperation im südfranzösischen Cadarache errichtet wird. Das Entstehen großer Fusionsanlagen hat Remmelt Haange bereits mehrfach begleitet, zuletzt beim Stellarator Wendelstein 7-X im IPP-Teilinstitut in Greifswald.

ROCHE Alan Hippe (44), früher im Vorstand der Continental-Gruppe und seit 2009 CFO (Chief Financial Officer) und Vorstandsmitglied der ThyssenKrupp AG, wird ab April 2011 in der Roche-Konzernleitung als neuer CFO die Nachfolge von Erich Hunziker übernehmen.

SARTORIUS Der ehemalige Millipore Top-Manager Dominique Baly hat die spartenübergreifende Leitung der Marketing-, Vertriebsund Serviceaktivitäten für das Laborgeschäft von Sartorius übernommen. In dieser neu geschaffenen Funktion berichtet er an den Vorstandsvorsitzenden und ist Mitglied des Sartorius Group Executive Committees.

WHITEHOUSE SCIENTIFIC Whitehouse Scientific, ein führender Hersteller von Glas-Mikrokugeln zur Kalibrierung, hat Jamie Storey, seit fast 10 Jahren im Unternehmen, zum neuen Geschäftsführer ernannt. Firmengründer Dr. Graham Rideal ist weiterhin als CEO tätig. Firmendirektor Lauren Prinz leitet die Vertriebsund Marketingaktivitäten für das Unternehmen.

ZBSA Prof. Wolfgang Driever von der Fakultät für Biologie der Universität Freiburg ist zum neuen Geschäftsführenden Direktor des Zentrums für Biosystemanalyse (ZBSA) ernannt worden. Stellvertretender Direktor ist Prof. Dr. Jens Timmer von der Fakultät für Mathematik und Physik.

EHRUNGEN

Prof. Dr. Karsten Suhre vom Institut für Bioinformatik und Systembiologie am Helmholtz Zentrum München erhält am 15. März in Paris einen der **Gay-Lussac-Humboldt-Preise 2011**. Der Physiker wird damit für seine langjährige wissenschaftliche Zusammenarbeit mit französischen Forschungseinrichtungen und sein Engagement für gemeinsame universitäre Lehrgänge ausgezeichnet. Der Gay-Lussac-Humboldt-Preis wird jährlich vom französischen Forschungsministerium vergeben. Das Preisgeld ist für einen Forschungsaufenthalt in Frankreich zweckgebunden, welchen Suhre in Form eines gemeinsamen Diabetes-Projekts plant. Suhre ist nicht nur Leiter der Arbeitsgruppe für Metabolomics am Institut für Bioinformatik und Systembiologie des Helmholtz Zentrums München und Professor für Bioinformatik an der Ludwig-Maximilians-Universität München, sondern auch Forschungsdirektor am CNRS, dem Centre National de la Recherche Scientifique.

Der Dresdner Materialwissenschaftler Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback wurde mit dem **Skau-py-Preis 2010** geehrt, dem wichtigsten Preis auf dem Gebiet der Pulvermetallurgie im deutschsprachigen Raum. Damit werden seine vielfältigen Verdienste gewürdigt, mit denen er unter anderem Dresden zum führenden Standort für Pulvermetallurgie in Deutschland und Europa gemacht hat. Prof. Kieback, Leiter des Institutsteils Dresden des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM sowie Direktor des Instituts für Werkstoffwissenschaft mit der Professur für Pulvermetallurgie, Sinterund Verbundwerkstoffe an der Technischen Universität Dresden, hat während seiner Laufbahn auf verschiedenen Gebieten der Pulvermetallurgie, zunächst Sinterstahl und in der Folge vor allem Hartmetalle, geforscht und gelehrt.

Prof. Dr. Matin Qaim (42) hat als erster Preisträger den „**Großen Internationalen DLG-Förderpreis für wissenschaftliche Leistungen**“ der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) erhalten. Der Agrarwissenschaftler der Universität Göttingen wurde für sein Engagement in Fragen der globalen Ernährungssicherung sowie bei der Untersuchung wirtschaftlicher und sozialer Auswirkungen der Gentechnik im internationalen Kontext geehrt. Das Preisgeld in Höhe von 25 000 Euro soll den Preisträger bei seiner weiteren Arbeit unterstützen. Der Förderpreis ist eine Ehrung für wissenschaftliches Engagement im Agrar- und Lebensmittelsektor und geht an junge deutsche oder ausländische Wissenschaftler.

Der **Rudolf-Kaiser-Preis** wird jährlich an einen deutschen Nachwuchswissenschaftler in der Experimentalphysik verliehen. Mit 35 000 Euro ist er einer der höchstdotierten deutschen Nachwuchspreise im Bereich der Physik. **Hanns-Christoph Nägerl**, Institut für Experimentalphysik der Universität Innsbruck, erhält den Preis für seine Arbeiten auf dem Gebiet ultrakalter Atome und Quantengase. Seit 2006 ist Nägerl außerordentlicher Universitätsprofessor und eigenständiger Leiter mehrerer sehr erfolgreicher Forschungsprojekte.

Dr. Tobias Meckel, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Biologie der TU Darmstadt, erhielt für seine Forschungen zu Prozessen in lebenden Zellen den mit 50 000 Euro dotierten **Adolf-Messer-Preis**. Tobias Meckel arbeitet in der Einzelmolekül-Mikroskopie nicht nur an isolierten Zellen, sondern auch an Zellverbänden und vollständigen Organismen (zum Beispiel Zebrafisch-Embryonen oder Pflanzen). Der Adolf-Messer-Preis ist der höchstdotierte Wissenschaftspreis der TU Darmstadt und wird jährlich für Leistungen auf den Gebieten Naturwissenschaften, Medizin, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaft vergeben.

Die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich hat **Prof. Dr. Hans-Werner Schmidt**, Inhaber des Lehrstuhls Makromolekulare Chemie I und Vizepräsident der Universität Bayreuth für den Bereich Forschung und wissenschaftlicher Nachwuchs, mit der **Staudinger-Durrer-Medaille** ausgezeichnet. Diese Ehre wird für Leistungen auf dem Gebiet der Materialwissenschaften verliehen. Mit der Würdigung ist eine Einladung zur Staudinger-Durrer Lecture verknüpft, die Professor Schmidt im Materials Department der ETH Zürich gehalten hat. Die Medaille erhielt Professor Schmidt für seine Beiträge zur Entwicklung neuartiger Funktionspolymere. Die Staudinger-Durrer-Medaille wird seit 1998 vom Materials Department der ETH Zürich vergeben.

Prof. Kurt Kremer, Direktor am Mainzer Max-Planck-Institut für Polymerforschung (MPI-P), wird für seine computerbasierten Simulationen von Polymeren von der American Physical Society mit dem **APS-Award 2011** ausgezeichnet. Er erhält den Preis gemeinsam mit dem amerikanischen Physiker Gary Grest von den Sandia National Laboratories. Der APS-Award ist mit insgesamt 10 000 Dollar dotiert und wird vom Chemiegiganten Dow Chemical gestiftet. Kremer beschäftigt sich am MPI-P mit der Simulation der Eigenschaften von Polymeren und ihres Verhaltens unter verschiedenen Bedingungen. Er konnte damit ein weiteres Untersuchungsinstrument neben der experimentellen und der theoretischen Analyse in der Polymerforschung etablieren.

Der mit 100 000 Euro am höchsten dotierte europaweit ausgeschriebene Multiple-Sklerose-Forschungspreis, der **Sobek-Forschungspreis**, geht in diesem Jahr an **Prof. Rudolf Martini** (55) von der Neurologischen Klinik der Universität Würzburg. Rudolf Martini teilt sich den Sobek-Forschungspreis mit einer Kollegin, **Prof. Catherine Lubetzki** vom Hôpital de la Salpêtrière

in Paris. Vergeben wird der Sobek-Forschungspreis im jährlichen Turnus von der „Roman, Marga und Mareille Sobek-Stiftung“. Martini zeigte, dass genetische Schäden in den Markscheidenzellen der Grund für eine Immunattacke sein können. Dabei gehen nicht nur die Markscheiden verloren, also die „Schutzhüllen“ um die Nervenfasern. Es entstehen auch die bei der MS klinisch bedeutsameren Verluste von Nervenfasern und Nervenzellen.

Die Berliner Krebsgesellschaft hat den mit 10 000 Euro dotierten **Curt Meyer-Gedächtnispreis 2010** an die Krebsforscher **Dr. med. Anne Letsch** und **Dr. rer. nat. Maurice Reimann** verliehen. Mit ihren Arbeiten zu „Aktivierung von Zellschutzprogrammen“ und „Vakzinierungstherapie bei Patienten mit akuter myeloischer Leukämie“ haben beide Wissenschaftler neue Erkenntnisse zur Krebsbekämpfung gewinnen können. Jetzt teilen sie sich den mit 10 000 Euro dotierten Preis. Seit 1988 verleiht die Berliner Krebsgesellschaft den Curt Meyer-Gedächtnispreis an Wissenschaftler, die an Berliner Forschungseinrichtungen tätig sind, für Arbeiten auf dem Gebiet der klinischen, experimentellen und translationalen Krebsforschung.

Für ihre „Leistungen auf dem Gebiet der Krebsforschung“ ist **Prof. Dr. Ulrike Stein**, Charité, Universitätsmedizin Berlin und Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch, von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften mit dem **Preis der Monika-Kutzner-Stiftung** zur Förderung der Krebsforschung in Potsdam ausgezeichnet worden. Sie entdeckte in Patienten mit Dickdarmkrebs ein Gen, das nicht nur das Krebswachstum, sondern auch die Metastasenbildung fördert. Der Preis ist mit 10 000 Euro dotiert und kann jährlich verliehen werden. Prof. Stein forscht am Experimental and Clinical Research Center (ECRC) von Charité und MDC in Berlin-Buch.

Einfachste Clock-Reaktion, eine Landolt-Reaktion

Emergentes Verhalten an einem einfachst möglichen chemischen Reaktionssystem

Peter Bützer, St. Gallen, Schweiz

An einem der einfachst möglichen, chemischen Reaktionssysteme wird das Wesentliche gezeigt, wie emergentes Verhalten zustande kommt. Dazu werden „Simulations-Werkzeuge“ verwendet, die der „Systems Biology“ zu viel Erfolg verholfen haben.

Grundlagen des Experiments

„The moral, perhaps, is that the best way to get on in science is to waste more time drinking coffee with colleagues from other subject areas. That, at least, has served me well.” [1]

David Colquhoun (1936-), Britischer Pharmakologe

Albert Szent-Györgyi (1893-1986) hat die Arbeit von 1928, in der er die Entdeckung von Vitamin C (Ascorbinsäure) beschreibt, unter dem Titel veröffentlicht [2]: „Observations on the Function of Peroxidase Systems and the Chemistry of the Adrenal Cortex.“ Er reduzierte die schrittweise Isolation dieses Vitamins aus einem Substanzgemisch so lange, bis auf Grund der besonderen Eigenschaften der Nachweis sicher war. Dieses Vorgehen kann man daher als reduktionistisch bezeichnen.

In dieser bahnbrechenden Arbeit beschreibt er Reaktionen von Iodid, Iod und Wasserstoffperoxid und einer reduzierenden Substanz, der Hexuronic acid, eine Säure von einem Zucker mit 6 C-Atomen, seine Bezeichnung für *Ascorbinsäure* (S.1388): „If, however, peroxide is added before the iodine, the *iodine reduction* will be found smaller; the decrease of the iodine uptake is equivalent to the peroxide added. The substances which reduce iodine are thus oxidised by the *peroxide*.“ Er bestimmte auch das Reduktionspotential von Vitamin C mit

einer Gold-Redoxelektrode (S.1401): “The preliminary measurement of the potential with the *gold electrode* showed that the substance has a definite reduction potential and decreases the E, of the pure buffer solution from +240 mV to +90 mV, corresponding to an rH of 17.14.“

Mit dem Untertitel (S. 1404) “The oxidation in coupled systems“ wird in dieser Arbeit ebenfalls deutlich, dass nicht nur die Besonderheiten der OH-Gruppen im Molekül der Ascorbinsäure, sondern auch die Eigenschaften von übergeordneten, gekoppelten Systemen betrachtet wurden. Wenn Emergenz als das spontane Auftauchen neuer Eigenschaften oder Strukturen eines Systems durch das Zusammenspiel seiner Elemente definiert ist, dann wird mit der bahnbrechenden Arbeit Szent-Györgyi deutlich, dass gute Chemiker, Biochemiker und Biologen isolierte Einzelheiten schon seit dem frühen 20. Jahrhundert als Teile von einem größeren, komplexen Ganzen [3] gesehen haben.

In Anlehnung an einige Sätze von Bolouri [4] in seinem Grundlagenwerk zu „Systems Biology“ sei das Wort ‚Biology‘ durch ‚Chemistry‘ ersetzt um zu zeigen, in welche Richtung diese Wissenschaft heute gehen wird: „‘Chemistry‘ is an experimental discipline, but good experiments are the result of considerable thinking, planning and analysis. As experimental technologies – and associated data – become more complex, the necessary thinking, planning, and analyses are becoming ever more intellectually demanding. As a result, computational model building and model analysis have become integral parts of ‘chemistry’.“

Anhand der Dynamik einer erstaunlichen Reaktion soll nur mit den in der Arbeit von Szent-Györgyi verwendeten Substanzen und Messmethoden der Begriff der Emergenz praktisch verdeutlicht werden.

Emergenz bei einer Clock-Reaktion

Die Konzentrationsänderungen, die in pro Zeiteinheit auftreten, bezeichnet man als Reaktionsgeschwindigkeit. Es ist dabei möglich, dass die Reaktionsgeschwindigkeit eines Reaktionssystems gleich der Summe der Reaktionsgeschwindigkeiten der Teilreaktionen ist – eine lineare Verknüpfung mit einfach erklärbarem Resultat, also keine Emergenz.

Ein Gegenbeispiel ist eine Reaktion, bei welcher sich eine Konzentration schlagartig ändert. Die ers-

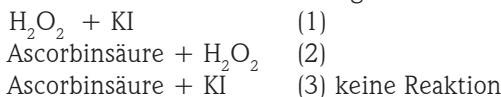
Prof. Dr. Peter Bützer ist Dozent für Chemie an der Pädagogischen Hochschule St.Gallen/Schweiz. Seine Interessen liegen in den Bereichen Chemie, Molekulare Dynamik, Systemdynamik und Risikomanagement. Daneben wirkte er auch als: Gruppenleiter im Hot-Labor des Paul Scherrer Instituts; Gruppenleiter in der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen; Delegierter der Schweiz für Radioaktive Abfälle bei der OECD und der IEA; Dozent für Risikomanagement und Sicherheitsökonomik an der Uni St.Gallen; Dozent an der ETH und der Uni St.Gallen bei Nachdiplomstudien; Chef ACSD des zivilen kantonalen Führungsstabes St.Gallen; Experte der Eidg. Kommission für ABC-Schutz.



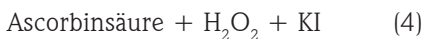
te Reaktion dieser besonderen Art wurde 1886 von Hans Heinrich Landolt (1831-1910) gefunden [9] und wird immer wieder beschrieben [10, 11]. Hier ändert sich die Iodkonzentration sprunghaft nach einer Verzögerungszeit, sie ist daher auch unter dem Namen Ioduhr, oder Iodine-Clock, die allgemeine Art als Zeitreaktion, Clock-Reaction oder Hourglass Reaction [12] bekannt – nach IUPAC heißt sie korrekt [13] Landolt reaction und ist wie folgt definiert: „A slow chemical reaction, in which the formation of a product is delayed by a suitable reagent added for the purpose.“ Die chemischen Voraussetzungen, die zu diesem Phänomen führen, wurden erst 82 Jahre nach der Entdeckung, 1968, von Church und Dreskin gefunden [14].

Das Zusammenspiel der drei ungefährlichen Substanzen Wasserstoffperoxid (H_2O_2 , 0,176 mol/L, 3%), Kaliumiodid (KI, 0,002 mol/L) und Ascorbinsäure (Vitamin C, $C_6H_6O_6$, 0,04 mol/L) führt zu so einer Clock-Reaktion. Wie kann man dieses Reaktionssystem verstehen?

Es sind drei Teilreaktionen möglich:



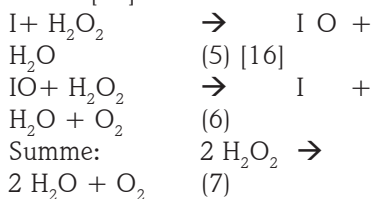
Die Gesamtreaktion ist dann:



Die Verläufe der Redoxpotentiale der Reaktionen (1), (2) und (4) zeigt Abbildung 2.

Wie lässt sich erklären, dass die Kombination der Reaktionen (1) und (2) zum Reaktionsverlauf von (4) führt, mit einem Konzentrationssprung nach 20 Minuten!

Die Katalyse der Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Iodid (I) wird beispielsweise wie folgt vereinfacht erklärt [15]:



Der Katalysator kürzt sich aus der Summe von (5) und (6) zu (7) der Gesamtreaktion weg. Messen kann man eine beschleunigte Zersetzung durch den Katalysator, der nicht verbraucht wird – die Erklärung für Katalysator ist gefunden.

Nur als Nebenreaktion bekannt ist dabei die Bildung von Iod:

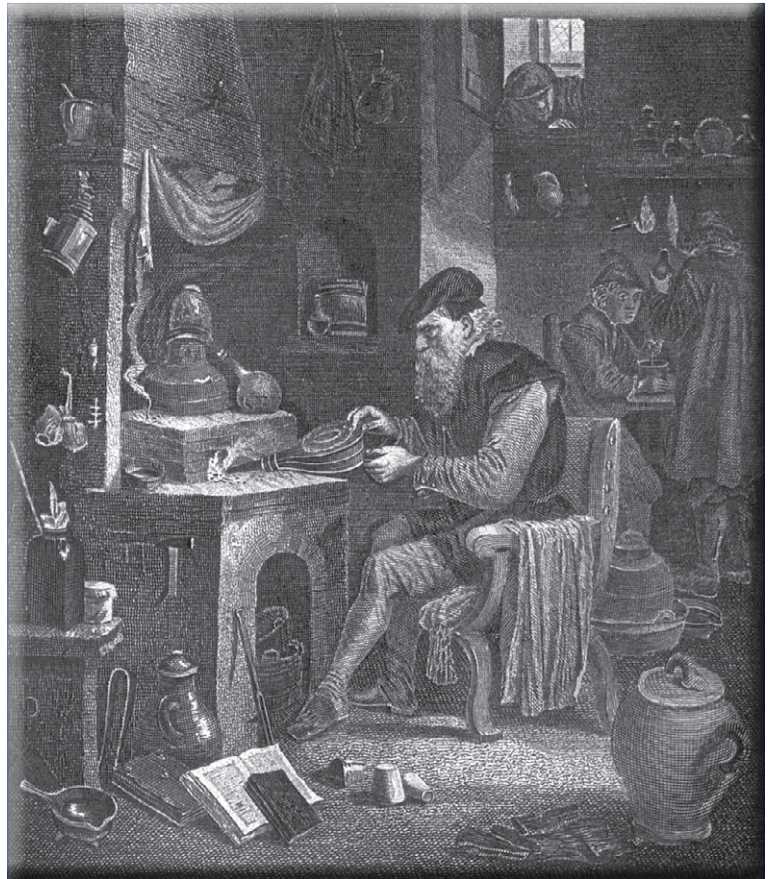
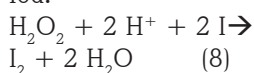
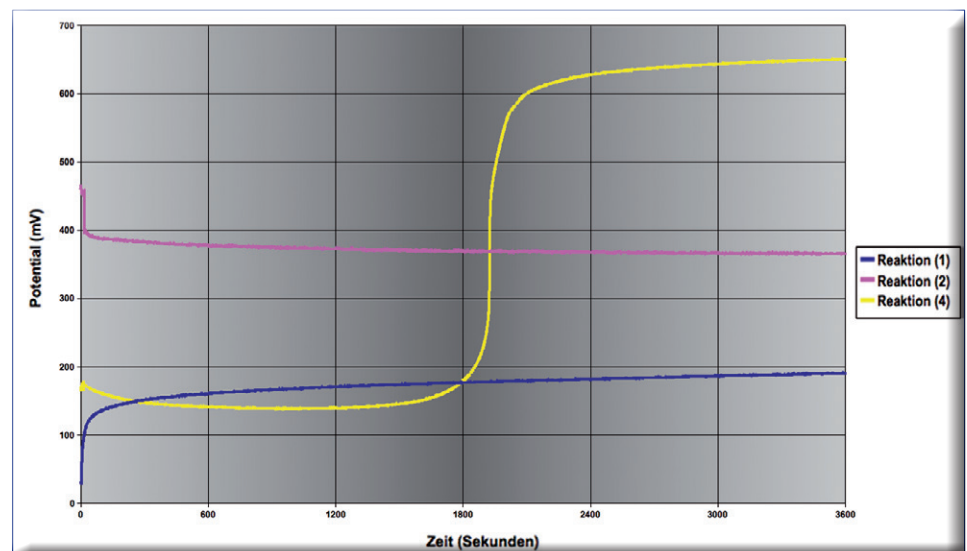
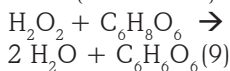


Abbildung 1: Alchemist. Hat dieser Alchemist [5] (ca. 1780) erwartet, wie Libavius schreibt, durch Mischen, Kochen, Mazerieren [6], Destillieren und Reverberieren [7] ein „Elixier des Lebens“ zu erhalten [8]? Dann hätte er aus bekannten Bestandteilen mit einem ausgeklügelten Verfahren ein Elixier mit völlig neuen Eigenschaften kreiert, die sich nicht aus den einzelnen Eigenschaften der Bestandteile ableiten lassen. Für die neue Eigenschaft „Elixier des Lebens“ wäre der Begriff Emergenz zutreffend.

Abbildung 2: Dynamik der Reaktion (1): Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und Kaliumiodid (KI), Reaktion (2): Wasserstoffperoxid mit Ascorbinsäure (Vitamin C) und Reaktion (4): Wasserstoffperoxid und Ascorbinsäure (Vitamin C) mit Kaliumiodid. Das Redoxpotential ist mit einer Gold-Redox-Sonde gemessen. ($[H_2O] = 55.5$ [mol/L], $[H_2O_2] = 0,176$ [mol/L], [Ascorbinsäure] = 0,04 [mol/L], $[I^-] = 0,002$ [mol/L], $T = 298$ [K]).



Gibt man Wasserstoffperoxid zu Ascorbinsäure, dann wird diese oxidiert, wenn auch nicht sehr rasch (vereinfacht):

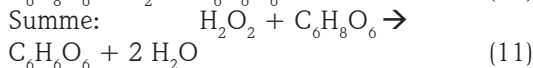
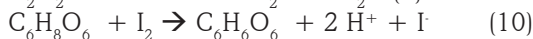
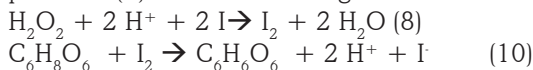


Ascorbinsäure reagiert mit Kaliumiodid nicht, wohl aber mit dem Nebenprodukt Iod (I_2) der Reaktion (8):



Man erkennt, dass im Gemisch die Reaktion (10) eine Rückkopplung mit den Reaktionen (9) und (8) zeigen könnte. Wie reagieren nun diese drei Substanzen gelöst als Reaktionsgemisch?

Beobachtet man das Reaktionsgemisch, dann stellt man lediglich eine geringe Sauerstoffbildung fest, weshalb ausgerechnet die Bildung des Nebenprodukts (8) scheinbar wichtig wird.

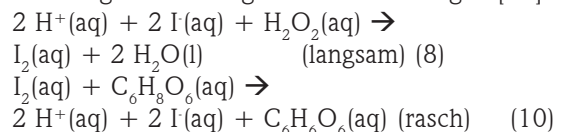


Wie bei den Gleichungen (1),(2) und (3) kürzt sich Iodid und Iod bei der Summengleichung von (8) und (10) zu (11) weg. Kaliumiodid könnte somit ein Katalysator oder ein Inhibitor [17] sein – es könnte die Gesamtreaktion beschleunigen oder verlangsamen. Beides ist, wie die Abbildung 1 zeigt, nicht der Fall. Die Gesamtreaktion lässt sich somit nicht als Summe der beiden Teilreaktionen (8) und (10) verstehen, das Ganze ist mehr als die Summe der Teile – das ist Emergenz. Was läuft denn ab?

Ein neues Clock-Reaktionssystem

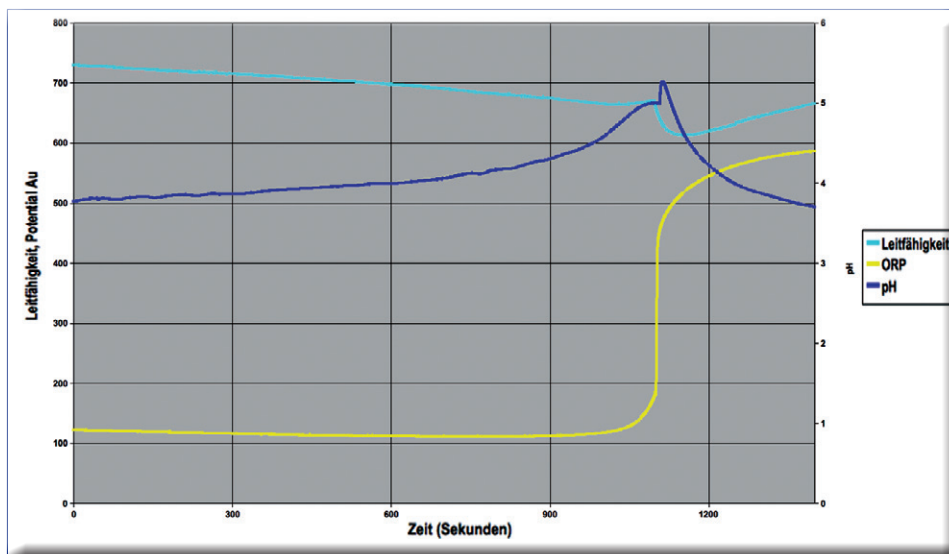
Eine Clock-Reaktion mit Vitamin C (Ascorbinsäure), Lugolscher Lösung, also mit einer Iod-Kaliumiodidlösung (I_2/KI) und Wasserstoffperoxid wurde von Wright 2002 beschrieben [18, 19]. Das ist nicht die erste Beschreibung einer Ascorbinsäure-Clock-Reaktion, denn Weisz und Rothmaier haben den Nachweis von Molybdän schon 1974 veröffentlicht [20]: „Das System Wasserstoffperoxid-Jodid-Ascorbinsäure wurde verwendet, um Molybdän im Bereich von 1–20 μg pro 10 ml zu bestimmen.“ Auch Wunsch [21] erwähnt diese Reaktion im Jahr 2000 bereits als Demonstrationsexperiment mit demselben – falschen – Reaktionssystem wie Wright.

Eigene Versuche haben bestätigt, dass Iod nicht notwendig ist und die Reaktion folgedessen mit nur 3 Reaktanden, Vitamin C (Ascorbinsäure), Kaliumiodid und Wasserstoffperoxid korrekt abläuft. Wright ersetzt in den Landolt-Gleichungen für seine Reaktionsgleichungen einfach die Schwefelige Säure durch Ascorbinsäure. Er hat dabei übersehen, dass die Landoltsche Reaktion fast immer mit Sulfiten in stark sauren Lösungen mit einem Schwefelsäureüberschuss durchgeführt werden. Die Reaktionsgleichungen von Wright widersprechen sogar seinen eigenen Beobachtungen [22]:



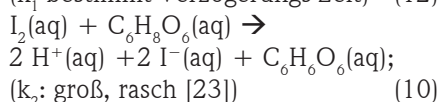
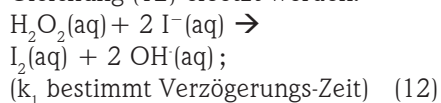
Wright erwähnt in seiner Arbeit selbst, dass die Zeit bis zum Farbwechsel, die Verzögerungs-Zeit, bei zunehmendem pH-Wert – abnehmender H^+ -Konzentration, abnimmt, was zum Schluss führt, dass H_3O^+ als Reaktand in Gleichung (8) die Geschwindigkeit nicht erhöhen kann. Mit eigenen Messungen konnte das Gegenteil nachgewiesen werden: Säurezugabe erhöht die Verzögerungszeit. Eine Simulation dieser Reaktionsgleichungen (8) und (10) zeigt zudem eine starke Abhängigkeit der Gesamtreaktionsgeschwindigkeit vom pH-Wert, und das erst noch in die falsche Richtung. Bei der Landolt-Reaktion wird die Konzentration von H^+ durch Zugabe von Schwefelsäure einigermaßen konstant gehalten, weshalb dort die Verzögerungszeit vom pH-Wert praktisch unabhängig ist. Diese Voraussetzungen sind mit Ascorbinsäure als einziger Säure nicht gegeben, da diese während der

Abbildung 3: Dynamik von pH und Potential. Das Redoxpotential (ORP: Oxidation-Reduktions Potential) ist mit einer Platin-Redox-Sonde gemessen. ($[\text{H}_2\text{O}] = 55,5 \text{ [mol/L]}$, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0,176 \text{ [mol/L]}$, $[\text{Ascorbinsäure}] = 0,02 \text{ [mol/L]}$, $[\text{I}^-] = 0,002 \text{ [mol/L]}$, $T = 298 \text{ [K]}$).



Reaktion aufgebraucht wird. Der pH-Wert steigt im Laufe der Reaktion an, die Reaktionsgeschwindigkeit, gemessen als Redoxpotential, verändert sich bis zum „Umschlag“ nur unwesentlich.

Die Reaktionsgleichung (8) muss daher durch Gleichung (12) ersetzt werden:



k_1, k_2 : Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten

Reaktionen (12) und (10) sind zusammen das auf das Minimum reduzierte Reaktionssystem, das nie die genaue Dynamik, wohl aber den prinzipiellen Gesamtverlauf darstellen kann. So ist bekannt, dass erst nachdem die sehr rasche Oxidation der Ascorbinsäure abgelaufen ist, die Dushman Reaktion wichtig wird [24], daher wird die Dynamik nach der schlagartigen Konzentrationsänderung nicht berücksichtigt. Dieses Reaktionssystem kann also die Dynamik nur bis zur Verzögerungszeit einigermaßen korrekt wiedergeben, nachher nicht mehr.

Experimentell lässt sich zeigen, dass die neu postulierte Reaktion (12) in diesem System die dynamischen Sachverhalte richtig wiedergibt, indem der pH-Wert kurz steigen muss, wenn alle Ascorbinsäure aufgebraucht ist, also nach der Verzögerungszeit. Die Leitfähigkeit der Reaktionslösung muss gleichzeitig fallen, da die Anzahl der leitfähigen Ionen mit abnehmender Säurekonzentration sinkt, auch das stimmt mit den Messungen überein. Das Redoxpotential ändert sich während der Verzögerungszeit nur unwesentlich, weil sich Oxidations- und Reduktionsprozesse die Waage halten (Abbildung 3).

Das Reaktionssystem (12) und (10) kann als autokatalytisch bezeichnet werden, weil der Katalysator Iodid als Endprodukt der Reaktion (10) auftritt¹⁷. Die Iodidkonzentration nimmt jedoch eine besondere Stellung ein, weil diese Konzentration für Reaktion (12) ziemlich konstant bleibt.

Was auf der Makroebene beim Konzentrationsprung von Iod sichtbar wird, lässt sich erst durch die Kopplung der beiden Reaktionsgleichungen erklären – mit dem Katalysator Iodid und den unterschiedlichen Reaktionsgeschwindigkeiten.

Über 30 andere mögliche Reaktionen mit ihren Zwischenprodukten [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32] (Ionen, Radikale, Komplexe) nehmen einen indirekten Einfluss auf die beobachtete Reaktionsgeschwindigkeit des Gesamtsystems – es handelt sich somit als Ganzes um ein sehr komplexes System. Diese vielen theoretisch denkba-

ren Zwischenprodukte und Reaktionen gehen bei den Redoxmessungen von Abbildung 1 nur als Summe ein. Zudem muss die Interpretation der Simulation vor dem Hintergrund der Aussage von Gerold Karl Schwarzenbach (1904-1978) [33] gesehen werden: „Die chemische Gleichung unterrichtet uns also nicht über den Weg, den die Reaktion einschlägt. Dieser kann nur durch kinetische Messungen, d.h. das Studium der Reaktionsgeschwindigkeit aufgeklärt werden.“

Erklärungen mit Simulationen

„Was den Menschen auszeichnet und ihn definiert, ist seine Fähigkeit, Werkzeuge herzustellen. Die Technik ist also ein Werk des Menschen, durch das sich der Mensch als Mensch definiert; dies klingt absurd, weil selbstverständlich.“ [34]

Jeanne Hersch (1910-2000), Schweizer Philosophin

Jede Interpretation eines Reaktionsablaufs setzt ein Modell mit den wesentlichen Einflussgrößen voraus. Bei Systemen sind das mehrere Reaktionsgleichungen.

Im Römpp-Lexikon steht zur Landoltschen Zeitreaktion als Erklärung [35]: „Das Gesamttempo dieser gekoppelten Reaktionskette wird durch denjenigen Teilprozess bestimmt, der am langsamsten verläuft (a). Am Beisp. der L. Z. wurde der geschwindigkeitsbestimmende Einfluss des langsamsten Teilschritts für die Brutto-Stufenreaktion erkannt.“ Die Eigenschaften der Kopplung werden mit dieser qualitativen Erklärung nicht erfasst. Dieselben Eigenschaften wie Kaliumiodid würde auch Eisen(III)-chlorid (FeCl_3) als homogener Katalysator erfüllen, er nimmt Einfluss auf Wasserstoffperoxid [36, 37] und auf Ascorbinsäure [38], kann zwischen zwei Oxidationsstufen variieren und doch zeigt die Gesamtreaktion kein „Clock-Verhalten“ – die Kopplung ist dafür nicht richtig. Interessant ist jedoch, dass das System Ascorbinsäure/ Wasserstoffperoxid mit pH-Elektroden, das System Ascorbinsäure/ Wasserstoffperoxid/ Eisen(III)-chlorid mit gewissen Redoxelektroden Oszillationen [39, 40] zeigt – ebenfalls ein typisches Phänomen mit Emergenz.

Die meisten Erklärungen der Landolt-Reaktion berücksichtigen auch nicht, dass es ganz entscheidend ist, welche Reaktion rasch und welche langsam abläuft – die Reaktionsgleichungen (12) und (10) sind nicht vertauschbar, auch nicht mit angepassten Anfangskonzentrationen.

Das eigentliche Reaktionssystem ist sehr komplex und kann mit den beiden Gleichungen (12) und (10) den vielen möglichen Elementarreaktionen nicht erfassen. Einen konkreten Eindruck über die Komplexität können die in der Form verschiedenen Messkurven bei Erreichen der

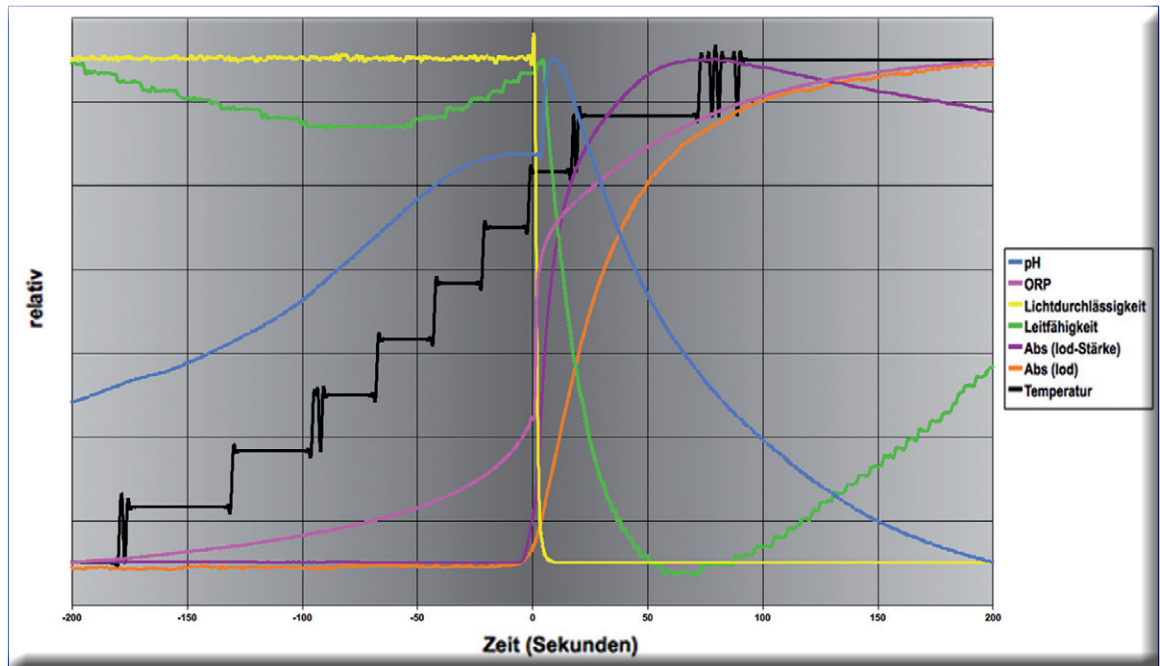


Abbildung 4: Messkurven am Umschlagspunkt, ORP: Redoxmessung mit Au-Elektrode (mV), Lichtdurchlässigkeit: Messung mit Lichtsonde (Lux), Leitfähigkeit: ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Abs: Absorption bei 565 nm (Iod oder Iod-Stärke-Komplex), Temperatur; Gleiche Reaktionsbedingungen wie bei Abbildung 2.

Verzögerungszeit, hier $t=0$ Sekunden, vermitteln (Abbildung 4).

Wie kann man mit unvollständigen Grundlagen bei den einzelnen Reaktionen trotzdem zu sinnvollen Interpretationen kommen? Oder anders gefragt, wie sieht das minimalste Reaktionssystem aus, welches die Dynamik einigermaßen korrekt beschreibt?

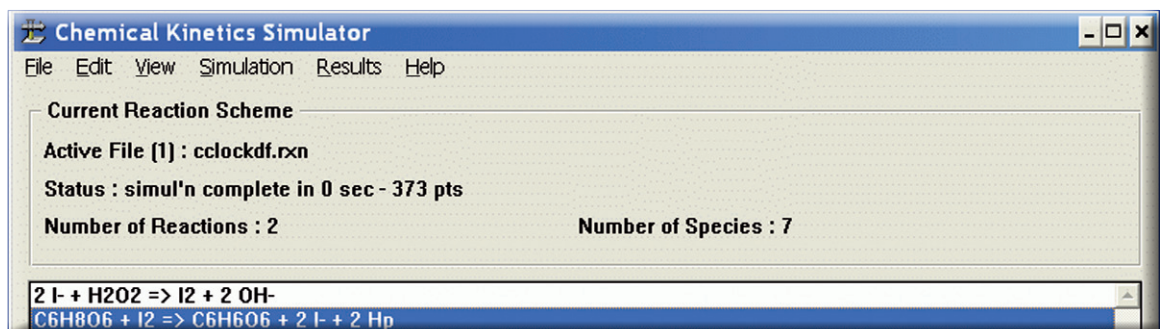
Das sehr stark vereinfachte Reaktionssystem mit den zwei Reaktionsgleichungen (12) und (10), sowie den 7 beteiligten Teilchen kann mit dem „Chemical Kinetics Simulator“ [41], eine Freeware-Software, mit kleinem Aufwand simuliert werden (Abbildung 5). Die Simulation ist stochastisch, das heißt, die einzelnen Reaktanden treffen sich nach dem Prinzip der Wahrscheinlichkeit. Je höher die Konzentration, desto wahrscheinlicher sind Treffer.

Da im Reaktionssystem der zeitliche Verlauf von Iod (I_2) direkt berechnet werden kann, ist ein Vergleich mit der kolorimetrisch gemessenen Iodkonzentration möglich (Abbildung 6).

Der Vergleich von Messung und Simulation zeigt, dass das verwendete Reaktionssystem den schlagartigen Konzentrationsanstieg von Iod sehr gut nachbilden kann – auch ohne Kenntnis der Elementarreaktionen.

Die Simulation mit dem von Wright postulierten Reaktionssystem (8) und (10) zeigt kein Clock-Verhalten, wenn die Ascorbinsäure als einziger Protonenlieferant berücksichtigt wird. Damit wird das Potential der Simulation deutlich, welches eine theoretische Kontrolle von Reaktionssystemen möglich macht.

Abbildung 5: Eingabemaske des Chemical Kinetics Simulator für die Clock-Reaktion mit den Reaktionsgleichungen (10) und (12). ($\text{H}_p = \text{H}^+$, da + in der Gleichung nicht zulässig ist). Messung mit dem Colorimeter bei 565 nm: ($[\text{H}_2\text{O}] = 55.5$ [mol/L], $[\text{H}_2\text{O}_2] = 0.176$ [mol/L], [Ascorbinsäure] = 0.041 [mol/L], $[\text{I}^-] = 0.002$ [mol/L], [lösliche Stärke] = 0.0004 [mol/L], $T = 298$ [K], $k_1 = 50000$ [$\text{L}^2\text{mol}^{-2}\text{sec}^{-1}$]; bestimmt die Verzögerungszeit, $k_2 = 10$ [$\text{L}^1\text{mol}^{-1}\text{sec}^{-1}$]; bestimmt die Biegung); CClockdf.RXN



Eine ähnliche stochastische Simulation ist auch mit dem Open-source-Programm Dizzy [42] möglich, welches in Systems Biology verwendet wird.

Grundsätzlich verschieden zu den vorigen Simulationen ist Systemdynamik-Software, welche mit numerischen Verfahren Modelle mit Differentialgleichungen lösen kann [43, 44, 45, 46, 47, 48]. Hier wird ein Modell des Reaktionssystems als Flussdiagramm aufgebaut und dynamisch, deterministisch gelöst.

Abbildung 7 zeigt das Simulationsdiagramm der Reaktion mit der Software Vensim [45] (Typ 1,3,4) [49].

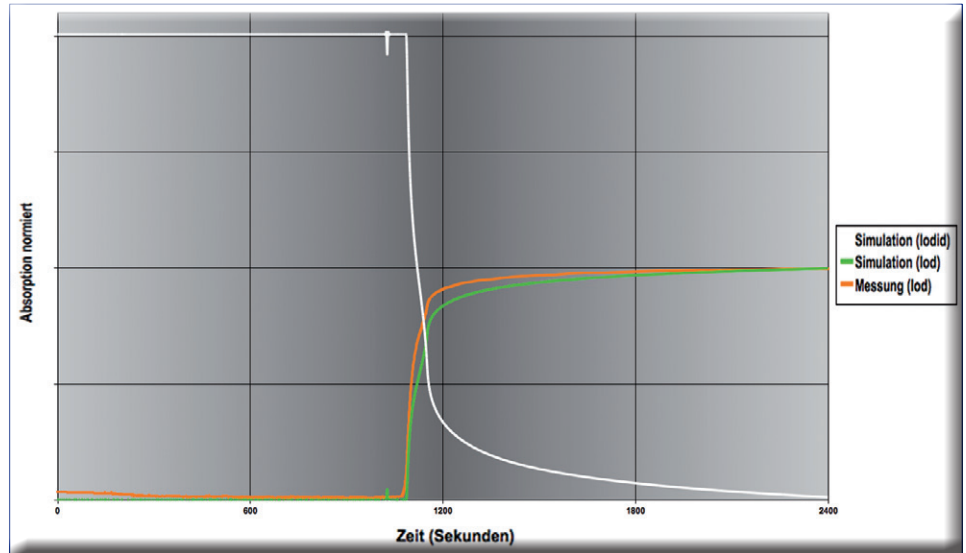


Abbildung 6 (oben): Vergleich der stochastischen Simulation des „Chemical Kinetics Simulator“ (CKS) mit den kolorimetrischen Messungen von Iod.

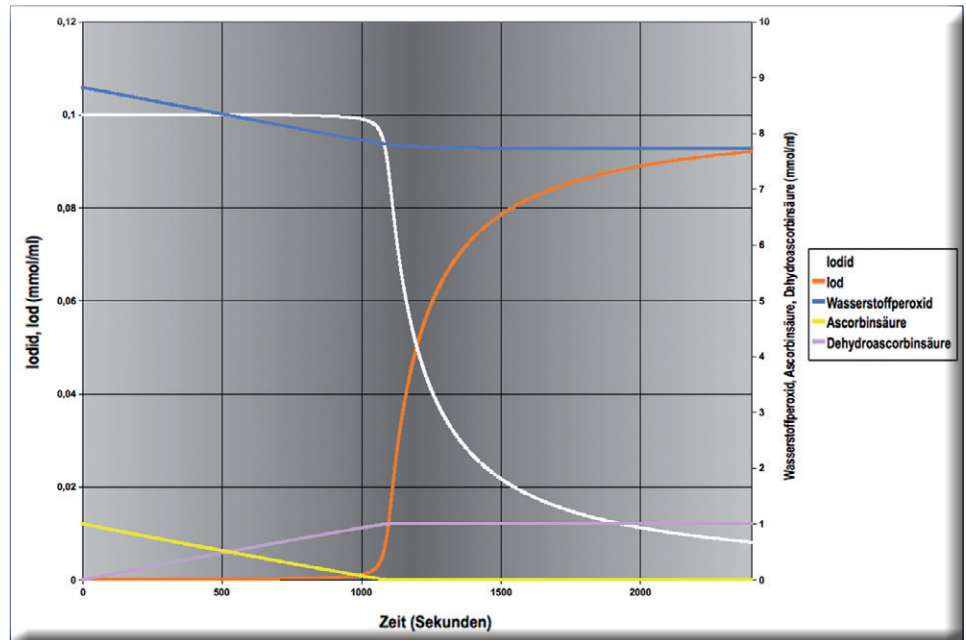


Abbildung 8 (rechts): Mit der Simulation lassen sich auch Konzentrationsverläufe von Reaktanden und Produkten verfolgen, die nicht direkt einer einfachen Messung zugänglich sind. Die Simulation gibt Hinweise, in welche Richtung weitere Untersuchungen wichtig wären.

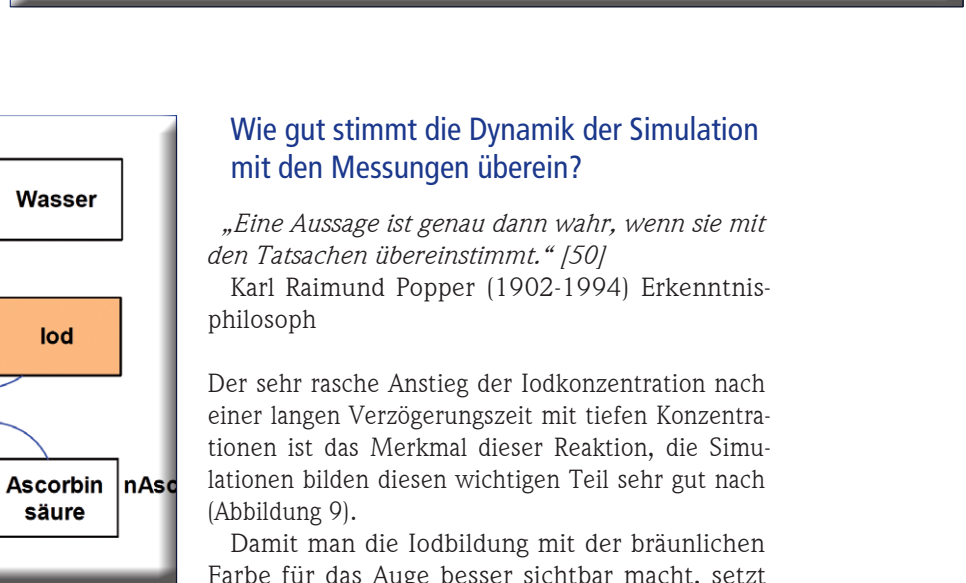


Abbildung 7 (unten): Simulationsmodell; Der an Wasserstoffperoxid und Ascorbinsäure gekoppelte Kreislauf von Iodid und Iod macht die Emergenz deutlich.

Wie gut stimmt die Dynamik der Simulation mit den Messungen überein?

„Eine Aussage ist genau dann wahr, wenn sie mit den Tatsachen übereinstimmt.“ [50]

Karl Raimund Popper (1902-1994) Erkenntnisphilosoph

Der sehr rasche Anstieg der Iodkonzentration nach einer langen Verzögerungszeit mit tiefen Konzentrationen ist das Merkmal dieser Reaktion, die Simulationen bilden diesen wichtigen Teil sehr gut nach (Abbildung 9).

Damit man die Iodbildung mit der bräunlichen Farbe für das Auge besser sichtbar macht, setzt

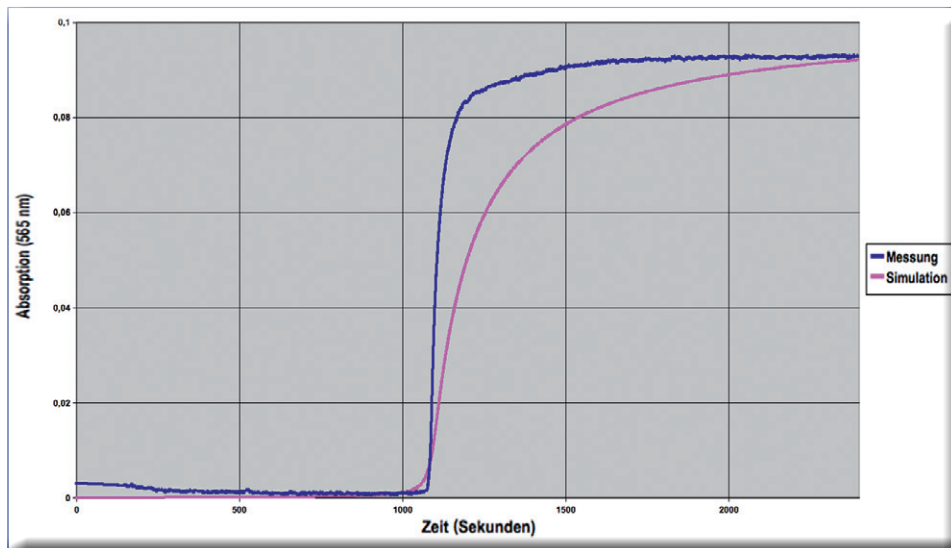


Abbildung 9: Vergleich von Messung und systemdynamischer Simulation der Iodbildung; Absorption bei 665 nm. Der Teil nach der Verzögerungszeit ist durch die Simulation nicht mehr erfasst und passt daher schlecht mit den Messdaten überein.

hat, die sich prinzipiell nicht aus den Eigenschaften der Systemkomponenten ableiten lässt – das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Generell gilt: Wenn sich das Gleichungssystem in eine einzige Gleichung zusammenfassen lässt, liegt nie eine Emergenz vor. Die Nichtlinearität der beiden Differentialgleichungen bei der Simulation mit Vensim ist zudem ein weiteres Merkmal für Emergenz [52, 53].

Lehren aus der Geschichte mit noch weniger verfügbarer Information

Der Landolt hat sich nicht nur einen bleibenden Namen mit seinen „Physikalisch-chemischen Tabellen“, dem „Landolt-Börnstein“, geschaffen, er war auch ein hervorragender Experimentator. Mit sehr vielen genauen Experimenten hat er die heute als „Landolt-Reaktion“ bekannte Zeitreaktion beschrieben. Die kinetischen Grundlagen und Messungen waren ihm damals nicht zugänglich. So bestimmte er die Verzögerungszeit mit vielen Experimenten und stellte Formeln auf, diese Zeit in Abhängigkeit der Konzentrationen zu berechnen [54]:

$$T = \frac{524.35}{[\text{H}_2\text{SO}_3]^{0.904} \cdot [\text{HJO}_3]^{1.642}} \quad \text{Formel 1;}$$

für 20°C; []: Konzentration in mol/m³

Ein Jahr später erweiterte er die Formel mit der Temperaturabhängigkeit [55]:

$$T = \frac{906.05 - 23.01 \cdot t + 0.1888 \cdot t^2}{[\text{H}_2\text{SO}_3]^{0.904} \cdot [\text{HJO}_3]^{1.642}} \quad \text{Formel 2;}$$

t: Temperatur in °C.

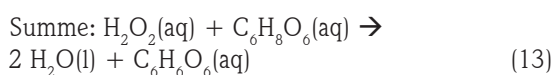
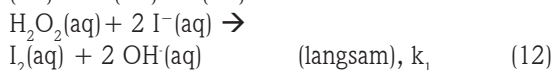
Diese Berechnungen sind einfachste Simulationen eines Reaktionsgleichungssystems, von dem außer den Konzentrationen der Reaktanden und dem zeitlichen Endpunkt weiter nichts bekannt war.

Diese einfachsten Vertreter der Funktionen, die Booleschen Funktionen werden überall dort mit Erfolg eingesetzt, wo wenig Detailwissen vorhanden, aber trotzdem sinnvolle Vorhersagen notwendig sind. Das ist beispielsweise bei metabolischen und genregulatorischen Netzwerken (GRN) der Fall [56, 57]. Der einfache Ansatz von Landolt, der trotz

man dem Reaktionsgemisch wie bei der Landolt-Reaktion [51] etwas Stärke zu, womit eine schlagartige Blaufärbung mit dem Iodkomplex auftritt.
 $2 \text{I}_3 + \text{Stärke} \rightarrow$
 Stärke—I₅Komplex (blau) + I; rasch (14)

Stärke wurde für die Redoxmessungen nicht zugeetzt, um eine mögliche Störung auszuschließen.

Die Clock-Reaktion lässt sich nur durch die Unterschiede in den Reaktionsgeschwindigkeiten der gekoppelten, simultanen Reaktionen des Systems erklären. Es braucht eine langsame und mit ihr gekoppelt gleichzeitig eine sehr rasche Reaktion. Jede einzelne dieser Reaktionsgeschwindigkeiten bestimmt isoliert das Verhalten des Gesamtsystems nicht, ihr gegenseitiges Verhältnis und ihre Kopplung sind entscheidend. Die beobachtbare Dynamik ist somit durch mehr bestimmt als durch die Summe ihrer Teilreaktionen – erst das gegenseitig abgestimmte Zusammenspiel zeigt die verzögerte, spontane Bildung des Produkts. Das lässt sich einfach zeigen indem man die Summe der Reaktionen (12) und (10) zu (13) bildet:



Bei der Summengleichung (13) geht die Kopplungssubstanz Iodid und damit genau das verloren, was die Besonderheit der Dynamik des Systems ausmacht. Man spricht hier von Emergenz in einem starken Sinne, weil das System eine Eigenschaft

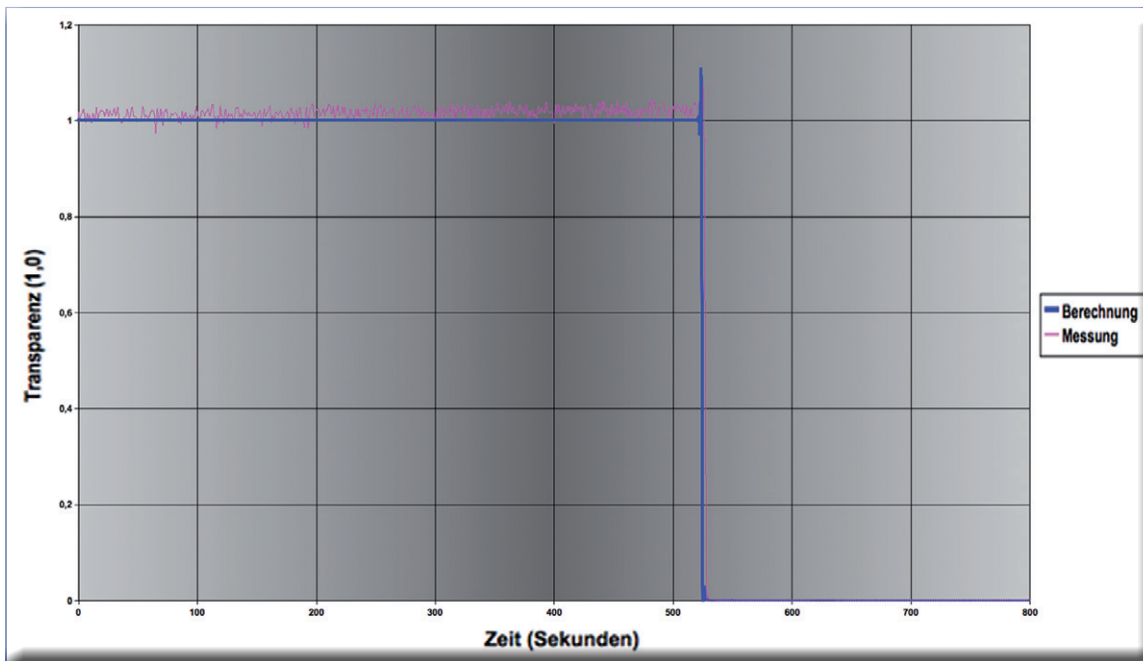


Abbildung 10: Darstellung der Berechnungen von Landolt (Formel 1) mit zwei Konzentrationen und einer Konstanten als „Stepfunktion, Boolesche Funktion 0/1“ – vor der Zeit $T = 524$ Sekunden ist es hell, der y-Wert ist 1, dann findet der Farbumschlag statt, die Lösung wird dunkel, der Wert wird 0.

Unwissenheit sinnvolle Aussagen möglich machte, ist wieder modern geworden.

Das Auftreten von Emergenz muss als Phänomen nicht komplex sein, erst wenn man versucht ein emergentes System zu zerlegen merkt man, dass ab einem gewissen Punkt genau die Eigenschaft verloren geht, nach der man sucht.

„Wenn das Gehirn des Menschen so einfach wäre, dass wir es verstehen könnten, dann wären wir so dumm, dass wir es doch nicht verstehen würden.“
[58]

Jostein Gaarder (1952-), Norwegischer Schriftsteller

Experimenteller Teil

Reagenzien:

Ascorbinsäure, 3% Wasserstoffperoxid (H_2O_2), 0,1 mol/l Kaliumiodid (KI)

Alle Reaktanden und Produkte sind ungefährlich und lassen sich ohne Probleme beseitigen.

Messung:

Messintervall: 1 Messung pro Sekunde

Redox-Elektrode: Vuille (Pt-, und AuKombinations-Elektrode) mit Electrode-Amplifier, Vernier; pH-Sonde: Vernier, Lichtsonde: Vernier; Licht: LED im Rührer; Go-Temp, Stahl-Temperatursonde; Vernier; Colorimeter: Vernier; Leitfähigkeitssonde: Vernier. GoLink Interface, Software: LoggerPro 3.8.3, Windows 7 PC.

Magnetrührer: Rührgeschwindigkeit so, dass kein starker Wirbel gebildet wird (ca. 50 U/sec).

Durchführung:

In ein Becherglas mit Magnetrührer werden zu 80 ml Wasser 0,36 g (1 mmol) Ascorbinsäure gegeben und gelöst. Dazu werden 20 ml 3% Wasserstoffperoxid (8,82 mmol) und unmittelbar danach:

Für die Clock-Reaktion 2 ml 0.1 mol/l Kaliumiodid-Lösung (0.1 mmol) zugegeben.

Für einen gut sichtbaren Farbwechsel muss 1 ml Stärkelösung (2%) zugegeben werden.

Rasches, ungefährliches Experiment: Die einfachste Clock-Reaktion

In einer Flasche ca. 200-500 ml mit 50 ml Wasser 1 Vitamin C-Brausetablette (ca. 60 mg Ascorbinsäure pro Tablette) auflösen.

Etwa 5 ml gelöste Stärke (z.B. Maizena in heißem Wasser gelöst, ca. 2%) zugeben.

Dann 50 ml Wasserstoffperoxid 3% und danach 5 ml Kaliumiodid (0,1 mol/L entspr. 1,7 g/100 ml Wasser) zugeben. Flasche verschließen und 10 Sekunden gut schütteln – dann warten (ca. 2 Minuten).

Hinweis für die Simulationen:

Folgende Unterlagen können von meiner Homepage als lauffähige Files heruntergeladen werden, URL: <http://www.buetzer.info/index.php?id=354>

- Dokumentationen für den „Chemical Kinetic Simulator“ (VitCCloc.RXN) und Dizzy (VitC-Clock-minimal.cmdl).
- Das lauffähige File für Vensim (clock_ascorbic_acid-Emergenz-Iod.mdl)

CLB

Literatur

- [1] David Colquhoun, The quantitative analysis of drugreceptor interactions, a short history, Trends in Pharmacological Sciences, 2006, 27(3) 156.
- [2] Szent-Györgyi A., CLXXIII. Observations on the Function of Peroxidase Systems and the Chemistry of the Adrenal Cortex, Biochem. J., 1928, 22, 1387-1409.
- [3] Whitesides G.M., Ismagilov R.F., Complexity in Chemistry, Science, 1999, 284, 89-92.
- [4] Bolouri H., Computational Modeling of Gene Regulatory Networks – a Primer. London, Imperial College Press, 2008, 2.
- [5] Bützer P., Private Sammlung als Kupferstich.
- [6] Mazerieren: einweichen
- [7] Reverberieren: zurückschlagen, -werfen
- [8] Libavius A., Die Alchemie von Andreas Libavius, 1597, Verlag Chemie, Weinheim, 1964, 144-145
- [9] Landolt H.H., Ueber die Zeitdauer der Reaction zwischen Jodsäure und schwefliger Säure, Ber. Dt. Chem. Ges., 1886, 19, 1317–1365.
- [10] Aleya H.N., Dutton F.B. (ed.), Tested Demonstrations, J.Chem. Soc., Easton 1966, 19, 85, 130
- [11] Bützer P., Roth M., Chemische Reaktionen als dynamische Systeme, T³-Schweiz, August, 2002, 47-49.
- [12] Rensing L., Meyer-Grahl U., Ruoff P., Biological Timing and the Clock Metaphor, Oscillatory and Hourglass Mechanisms. Chronobiology International, 2001, 18(3), 329–369.
- [13] IUPAC Compendium of Chemical Terminology, Landolt reaction, 1993, 65, 2296, 2nd Edition (1997).
- [14] Church J.A., Dreskin S.D., Kinetics of Color Development in the Landolt („Iodine Clock“) Reaction. J. Phys. Chem. 1968, 72(4), 1387–1390.
- [15] Mortimer Ch.E., Chemie, Das Basiswissen der Chemie in Schwerpunkten, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 1976, 398.
- [16] Bray W.C., Gaulkins A.L., Reactions Involving Hydrogen Peroxide, Iodine and Iodate Ion. II. The Preparation of Iodic Acid. Preliminary Rate Measurements, 1931, 53, 44.
- [17] Laidler K.L., A glossary of terms used in chemical kinetics, including reaction dynamics (IUPAC Recommendations 1996). Pure & Appl. Chem, 1996, 68(1), 155.
- [18] Wright S.W., Reedy Ph., The Vitamin C Clock Reaction, J. Chem. Educ., 2002, 79(1), 41-43.
- [19] Wright S.W., Folger M.R., Rice M.A., A Clock Reaction Sympathetic Ink from Consumer Chemicals. J Chem Educ 2006, 83(10), 1473-1475.
- [20] Weisz H., Rothmaier K., Eine kinetische Differenzmethode unter Verwendung von Reaktionen des Landolt-Typs, Analytica Chimica Acta, 1974, 68(1), 93-102.
- [21] Wünsch G., Einführung in die Philosophie der Chemie, Studienbuch für Chemiker und an Chemie Interessierte, Verlag Königshausen & Neumann, Würzburg, 2000, 153.
- [22] Church J.A., Dreskin S.D., Kinetics of color development in the Landolt („iodine clock“) reaction. J Phys Chem 1968, 72 (4), 1387–1390.
- [23] Fang W.F., Yang J.T., High performance Microreactor for Rapid Fluid Mixing and Redox Reaction of Ascorbic Acid, EDA Publishing Association DTIP, 9-11 April 2008,
- [24] Csekő G., Varga D., Horváth A.K., Nagypál I., Simultaneous investigation of the Landolt and Dushman reactions, J Phys Chem A. 2008, 112(26), 5954-5959.
- [25] Frost A.A., Pearson R.G., Kinetics and Mechanism, John Wiley & Sons, Inc., New York/London, 1961, 207.
- [26] Latham J.L., Elementary Reaction Kinetics, Butterworths, London, 1969, 82.
- [27] Christen H.R., Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie, Verlag Sauerländer, Aarau, 4. Auflage, 1973, 338.
- [28] Schmitz G., Effects of oxygen on the Bray-Liebafsky reaction, Phys. Chem. Chem. Phys., 1999, 1, 4605-4608.
- [29] Schmitz G., Kinetics and mechanism of the iodate-iodide reaction and other related reactions, Phys. Chem. Chem. Phys., 1999, 1, 1909-1914.
- [30] Gottardi W., Iodine and Iodine Compounds in: Block S.S., Disinfection, Sterilization, and Preservation, Lea&Febiger, Philadelphia/London, 1991, 153.
- [31] Buettner G.R., Schafer F.O., Ascorbate (Vitamin C) as an Antioxidant. in Vitamin C: its Functions and Biochemistry in Animals and Plants. Ed May JM, Asard H, Smirnov N. BIOS Scientific Publishers, 2004, 173-188.
- [32] Bors W., Buettner G.R., The vitamin C radical and its reactions in Vitamin C in Health and Disease, ed. by L. Packer and J. Fuchs, Marcel Dekker, Inc., New York, Chapter 4, 1997, 75-94.
- [33] Schwarzenbach G., Allgemeine und Anorganische Chemie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Vierte Auflage, 1950, 150.
- [34] Hersch J., Von der Einheit des Menschen, Benziger Verlag Zürich/Köln, 1978, 132
- [35] Landoltsche Zeitreaktion, Römpp-Online, Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, <http://www.roempp.com/prod/>, 2011-01-20
- [36] IUPAC Compendium of Chemical Terminology, Fenton reaction, 1997, 69, 1274.
- [37] IUPAC Compendium of Chemical Terminology, Haber-Weiss reaction, 1997, 69, 1277
- [38] Kellie A.E., Zilva S.S., CXXVII. The Catalytic Oxidation of Ascorbic Acid, Biochem. J., 1935, 29, 1028-1035
- [39] Bützer P., Phänomene, Modelle und Folgerungen, Systemdynamische Interpretation der glykolytischen Oszillationen der Hefe, CLB Chemie in Labor und Biotechnik, 60(10), 2009, 376-382.
- [40] Bützer P., Roth M., Rhythmen in Chemie und Biochemie, Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, 91, 2008, 329-340.
- [41] Hinsberg W., Houle F., Allen F., International Business Machines Corporation, , Chemical Kinetics Simulator, Version 1.01, 1996 (free software)
- [42] Ramsey S., Dizzy, Version 1.11.4, 206/09/28, <http://magnet.systemsbiology.net/software/Dizzy/>, 2011-01-16
- [43] Hupfeld W., Dynasys, Version 1.27, 2003, <http://www.hupfeld-software.de/pmwiki/pmwiki.php>, 2010-11-27
- [44] Isee Systems, Stella, <http://www.iseesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx>, 2010-11-27
- [45] Ventana Systems Inc, Vensim, <http://www.vensim.com/software.html>, 2010-11-27
- [46] Macey R., Oster G., Berkeley Madonna, Version: 8.3.18, <http://www.berkeleymadonna.com/>, 2010-11-27
- [47] Simulistics Ltd., Simile, version 5.7, <http://www.simulistics.com/>, 2010-11-27

- [48] Powersim Software AS, Powersim Studio 8, <http://www.powersim.com/>, 2010-11-27
- [49] Bützer P., Roth M., Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, verlag pestalozzianum, Zürich, 2006, 37ff, 50ff, 57ff.
- [50] Popper K.R., Objektive Erkenntnis, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg, 1993, 47
- [51] Landolt H.H., Ueber die Zeitdauer der Reaction zwischen Jodsäure und schwefliger Säure, Ber. Dt. Chem. Ges., 1886, 19, 1317–1365.
- [52] Meinhardt H. Gierer A., Pattern formation by local self-activation and lateral inhibition, BioEssays, 2000, 22(8), 754.
- [53] Landolt H., Ueber die Zeitdauer der Reaction zwischen Jodsäure und schwefliger Säure, Ber. Dt. Chem. Ges. 1887, 20, 745–760
- [54] Kickuth R., Emergenz: Der Funke der Schöpfung, CLB Chemie in Labor und Biotechnik, 2010, 480-491.
- [55] Eggert J., Über die Landoltreaktion, Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie, 1917, 23(1-2), 8.
- [56] Bolouri H., Computational Modeling of Gene Regulatory Networks – a Primer. London, Imperial College Press, 2008, 114.
- [57] Spieth Ch., Systembiologie – Vom Experiment zur Struktur, BIOSpektrum, 11(1) 2005, 100-102.
- [58] Gaarder Jostein G., Sofies Welt, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1993, 372.

Kolloidale Quasikristalle durch Selbstorganisation

Eine internationale Forschungsgruppe hat erstmals kolloidale Quasikristalle entdeckt. Im Unterschied zu den bisher bekannten Quasikristallen, die sich nur unter speziellen Laborbedingungen herstellen lassen, handelt es sich um einfach strukturierte Polymere, die durch Selbstorganisation entstehen. Aufgrund ihrer Struktureigenschaften werden sie voraussichtlich bei der Entwicklung neuartiger Bauelemente in der Photonik zum Einsatz kommen können.

Quasikristalle zeichnen sich durch eine sehr ungewöhnliche Anordnung der Atome aus. 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 1-, 2-, 3-, 4- und 6-zählige Symmetrien möglich. Diese Zahlenangabe besagt, wie oft sich eine Struktur in Winkeln zwischen 0 und 360 Grad so drehen lässt, dass sie mit sich selbst zur Deckung kommt. Anders verhält es sich bei Quasikristallen. Hier liegen geordnete aperiodische Strukturen vor; d.h. es gibt mindestens zwei verschiedene symmetrische Muster, die sich nicht regelmäßig wiederholen, aber trotzdem eine lückenlose Gesamtstruktur bilden. Unter dieser Voraussetzung können auch 8-, 10- oder 12-zählige Symmetrien vorkommen. Diese strukturellen Unterschiede zwischen Kristallen und Quasikristallen lassen sich in Beugungsexperimenten mit elektromagnetischen Wellen sichtbar machen.

Hydrogele als Quasikristalle

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. Diese „Bausteine“ sind polymere Mizellen: kleine kugelförmige Gebilde mit Durchmessern zwischen 5 und 100 Nanometern, die ohne labortechnischen Aufwand in größerem Maßstab herstellbar sind. Deshalb sind kolloidale Quasikristalle für viele Wissenschaftler und auch für die Industrie leicht zugänglich.

Schon seit längerer Zeit untersucht die Arbeitsgruppe von Prof. Stephan Förster an der Universität Bayreuth polymere Mizellen, die sich zu Gitterstrukturen zusammenlagern können – und zwar auf Längenskalen von bis zu 100 Nanometern. Bei gemeinsamen Forschungsarbeiten am Institut Laue-Langevin in Grenoble und am DESY in Hamburg wurde nun kürzlich entdeckt, dass aus derartigen Prozessen der Selbstorganisation quasikristalline Gitterstrukturen hervorgehen können. In

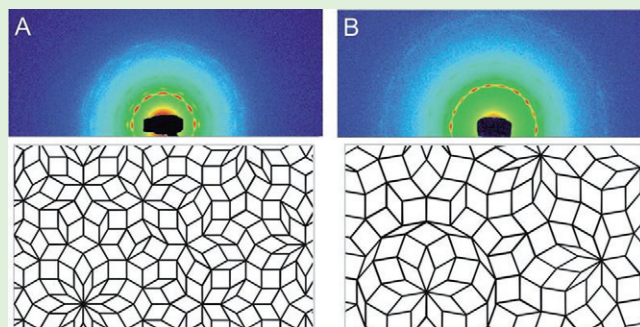
Beugungsexperimenten wurde nicht nur eine 12-zählige Symmetrie, sondern erstmals überhaupt eine 18-zählige Symmetrie beobachtet.

Quasikristalle für Bauelemente der Photonik

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. Kolloidale Quasikristalle sind daher voraussichtlich weit besser für Anwendungen in der Photonik geeignet als die ca. 100 quasikristallinen Verbindungen, die bisher bekannt waren. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um Metall-Legierungen, die nur in kleinen Mengen und unter speziellen Laborbedingungen hergestellt werden können. Um quasikristalline Strukturen für die Photonik herzustellen, bedurfte es daher bisher sehr aufwändiger elektronen-lithographischer Verfahren. Dass Quasikristalle überhaupt existieren, wurde erstmals 1984 von einem Forschungsteam um den US-amerikanischen Physiker Dan Shechtman nachgewiesen. Danach galten Quasikristalle lange Zeit als eine Laborkuriosität, bis die Photonik auf deren ungewöhnliche Struktureigenschaften aufmerksam wurde.

A: Beugungsbild eines kolloidalen Quasikristalls mit 12-zähliger Symmetrie; darunter das zugehörige Kachelungsmuster. B: Beugungsbild eines kolloidalen Quasikristalls mit 18-zähliger Symmetrie; darunter wiederum das zugehörige Kachelungsmuster (Abb.: Physikalische Chemie I, Uni Bayreuth).



Die Frankfurter Sieben

Der gesunde Aromenstrauß der „Grünen Soße“

Wolfgang Hasenpusch, Universität Siegen

Schon Johann Wolfgang Goethe schwärmte von dieser Kräuterkomposition in der „Grie Soß“, die seine Mutter Katharina ihm so gerne mit frischen Kartoffeln und Tafelspitz servierte. Die klassischen sieben Kräuter der Frankfurter Soße lernen die Frankfurter Mädchen schon in ihren ersten Schuljahren: Borretsch, Kerbel, Kresse, Petersilie, Pimpinelle, Sauerampfer und Schnittlauch. Und Soßenrezepte soll es so viele, wie die Anzahl der Frankfurter Hausfrauen geben, denn jede hat seit Generationen eigene Varianten überliefert bekommen. Bei all den segensreichen Inhaltsstoffen dieser Kräuter enthalten sie jedoch auch Verbindungen, die nicht immer bekömmlich sind. Nicht von ungefähr bieten die Marktfrauen bereits abgepackte Tüten mit dem richtigen Mischungsverhältnis der sieben Kräuter zur frischen Bereitung der Frankfurter Grünen Soße an. Grund genug, sich ihre Inhaltstoffe einmal etwas näher anzuschauen.

Kalte Soßen mit Frühlingskräutern

Die Frankfurter „Grie Soß“, war zwar zu der Zeit Johann Wolfgang von Goethes (1749 – 1832) in der Mainmetropole sehr geschätzt, ihren Ursprung soll sie jedoch in Frankreich als „Sauce verte“ haben. Auch in Italien ist sie bekannt: dort heißt sie „Salsa verde“.

Schon vor über zwei Jahrtausenden brachten die Römer die Kräuter-Soße aus dem Orient mit. Möglicherweise führten die Glaubensflüchtlinge aus den französischen Provinzen die Grüne Soße im 17. Jahrhundert in Hessen ein.

Die Tradition geht stets von der gleichen Voraussetzung aus: die kalte dickflüssig, cremige Soße aus saurer Sahne oder zur Hälfte mit Milchjoghurt, Quark oder Creme fraîche (zusammen 300 g), Essig, Öl und zerdrücktem, abgekochtem Eigelb u. a. muss mindestens sieben verschiedene Kräuter in stark gehackter Form (250 g) enthalten. Dazu lassen sich frische Kartoffeln oder auch Bratkartoffeln und Rindfleisch oder auch halbierte gekochte Eier servieren. Die Rezeptur-Varianten füllen eine Reihe von Kochbüchern [1] und auch im Internet sind diverse Rezepte zu finden [2].

Abbildung 1: Die Kräuter-Portionen für die Frankfurter Grüne Soße.



Der Autor

Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch, beschäftigt in der Chemischen Industrie als Referent für Sicherheit und Umwelt, hält darüber hinaus eine Honorar-Professur an der Universität Siegen in Industrieller Anorganischer Chemie mit den Schwerpunkten Innovationsmanagement, Recycling und Bionik. Das weite Spektrum an bearbeiteten Themen resultiert aus der vielfachen Dozenten-Tätigkeit am Deutschen Institut für Betriebswirtschaft, den Schulen der Berufsgenossenschaft Chemie sowie Universitäten.



Zu den klassischen sieben „Frankfurter Kräutern“ zählen Borretsch, Kerbel, Kresse, Petersilie, Pimpinelle, Sauerampfer und Schnittlauch.

Vor den Toren Frankfurts im Stadtteil Oberrad liegen weit angelegte traditionelle Gärtnereien, in denen diese Kräuter wachsen und frisch, eingepackt in Rollen aus weißem Papier im richtigen Mischungsverhältnis an die Märkte geliefert werden (Abbildung 1). Diese Packungen enthalten ausschließlich die sieben Original-Kräuter.

Die Saison der Frankfurter Grünen Soße beginnt in der Regel am Gründonnerstag vor Ostern, wenn es für viele Frankfurter Familien die traditionelle Mahlzeit darstellt, und reicht bis zum ersten Frost in den Winter hinein. Als optimaler Monat für die Grüne Soße gilt der Mai.

Seit dem 21. Mai 2007 können Besucher der Oberrader Kräuter- und Gemüse-Plantagen auch ein Denkmal für die Grüne Soße bewundern (Abbildung 2), das die Ludwigsburger Künstlerin Olga Schulz entwarf: sieben in Längsreihe stehende grüne Gewächshäuschen mit Acrylverglasung [3].

Segen und Fluch der Kräuter

„Die Kräuter der Grünen Soße sind ein Gaiumenschmaus und bringen die Gesundheit auf Trab“ schreibt die Ernährungswissenschaftlerin Dorothee Hahne. Sie fördern die Verdauung, hemmen das Wachstum von Mikroorganismen, haben einen günstigen Einfluss auf die Blutfette, schützen vor Krebs und wirken der Bildung von Blutgerinnseln entgegen.

Es sind die Gerbstoffe, Senföle, Vitamine und die würzigen Aromen, die ein Gutteil des Salzens entbehrlich machen und die das Kräutergemisch der Grünen Soße so gesundheitsfördernd einstufen lassen.

Aber die Kräuter enthalten auch Stoffe, vor deren Übermaß man sich in Acht nehmen sollte. So bewirkt die Oxalsäure in den frischen Blättern des Sauerampfers beispielsweise eine verminderte Verfügbarkeit von Calcium, Magnesium und Eisen aus der Nahrung. Nierenkranke oder zu Steinen neigenden Menschen sollten oxalatreiche Lebensmittel grundsätzlich meiden [4].

Die sieben Kräuter

Neben den klassischen sieben Kräutern haben auch andere pflanzliche Geschmacksträger die Gunst der Soßenkünstler erhalten. Hier sind vor allem Dill und Zitronenmelisse zu nennen, wie sie in der nordhessischen Grünen Soße anstelle von Kerbel und Kresse Verwendung finden. Auch Liebstöckel und Estragon sind als Kräuter-Komponente in Spezialrezepten zu finden. In Notzeiten griffen Köche auch auf die Blätter von Gänseblümchen, Löwenzahn und Breitwegerich zurück.



Abbildung 2: Denkmal für die Grüne Soße vor den Toren Frankfurts: Sieben grüne Gewächshäuschen.

Die Italiener ergänzen ihre „Salsa verde“ mit Basilikum, Majoran, Knoblauch und gehackten Kapern.

Für die Frankfurter aber sind die klassischen sieben Kräuter Tradition. Nach langer Zeit der mündlichen Überlieferung erschien 1860 das erste Kochbuch in Frankfurt von Wilhelmine Rührig.

Auf die wesentlichen Inhaltsstoffe von Borretsch, Kerbel, Kresse, Petersilie, Pimpinelle, Sauerampfer und Schnittlauch soll besonderes Augenmerk gelegt werden.

Borretsch

Borretsch (*Borago officinalis*; Abbildung 3), oder des Geschmacks wegen auch Gurkenkraut ge-

Abbildung 3: Borretsch in der grafischen Darstellung und in der Natur.



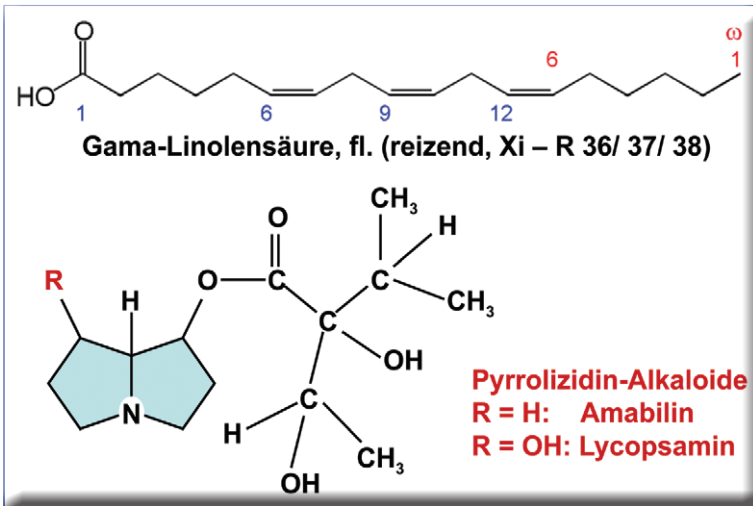


Abbildung 4: Gamma-Linolensäure sowie die giftigen Pyrrolizidin-Alkaloide in der Borretsch-Pflanze.

nannt, ist eine Rauhbblattpflanze, deren Ursprünge im Mittelmeerraum zu finden sind. Die Namensherkunft deuten Autoren recht unterschiedlich:

- nach dem lateinischen „borra“ = Gewebe aus rauer Wolle, analog zu den behaarten Blättern und Stängeln
- nach dem arabischen „abu r-rach“ = Vater des Schweißes, nach der schweißfördernden Eigenschaft der Pflanze und
- nach dem keltischen „Borrach“ = Mut.

An Inhaltsstoffen des Borretsch ist der relativ hohe Vitamin C-Gehalt mit 150 mg/ 100g Frischgewicht zu nennen, ferner: Schleimund Gerbstoffe, Harze und Saponin, Kaliumnitrat und Kieselsäure, Gamma-Linolensäure sowie ätherische Öle.

Gegen ein gelegentliches Verzehr von Borretsch samt der blauen Blüten und der dunklen, ölhaltigen Samen ist nichts einzuwenden. Allerdings sind im Borretsch auch geringe Mengen von etwa 10 mg/ kg Trockengewicht an giftigen Pyrrolizidin-Alkaloiden (Abbildung 4) nachweisbar, wie Amabilin, Intermedin, Lycopsamin und Supinin.

In der Naturheilkunde genießt Borretsch den rühmlichen Ruf, Fröhlichkeit zu verbreiten und Sorgen wie auch Melancholie zu vertreiben [5].



Abbildung 5: Wiesenkerbel (A) und der sehr giftige Wasserschierling (B).

Kerbel

Kerbel (*Anthriscus cerefolium*) gehört zu den Doldenblütlern. Seine Herkunft liegt im Süden Russlands und im Kaukasus. Heute sind Anbauflächen auf der ganzen Welt zu finden. Der Name leitet sich von dem lateinischen „caerifolium“ = wachsbältrig ab.

Sein unverwechselbarer Anis-Geschmack machte den Kerbel zu einem beliebten Küchenkraut. Durch Trocknen oder Kochen verlieren die Blätter ihren Geschmack, so dass sie erst am Ende zugegeben werden sollen, sich aber besonders für kalte Zubereitungen eignen.

Beim Sammeln in der freien Natur sollte eine gute Kenntnis der Pflanzenstruktur vorhanden sein, weil Verwechslungen mit dem ähnlich aussehenden sehr giftigen Wasserschierling tödlich ausgehen können (Abbildung 5).

Die verwendeten Blätter enthalten Vitamin C und viele wichtige Mineralien sowie an ätherischen Ölen hauptsächlich das Estragol. Das anisartig riechende Estragol, Allyl-4-methoxybenzol, wird auch in der Lebensmittel-Industrie als Duftstoff verwendet. Da Estragol in reiner Form als krebserregend und erbgutschädigend eingestuft wurde, sollte der Kerbel wie auch der Estragon zurückhaltend verwendet werden (Abbildung 6).

Ebenso enthält der Kerbel winzige Mengen an Undekan. In höheren Konzentrationen reizt diese Verbindung Atemwege und Lunge, was unter

Abbildung 6: Formel und Gefahrstoff-Eigenschaften des Estragols im Kerbel.

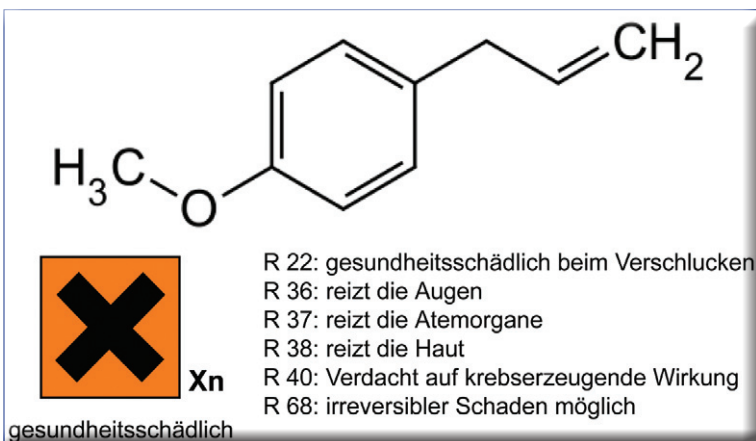




Abbildung 7: Keimende Gartenkresse.

Umständen bis zum Kehlkopfödem Lungenödem führen kann [6].

Kresse

Ein weiteres Kulturkraut ist die aus Asien und dem vorderen Orient stammende Gartenkresse (*Lepidium sativum*). Die einjährige Kreuzblütler-Pflanze mit ihren kahlen Stängeln kann eine Höhe von 50 cm erreichen. Den rosafarbenen Blüten folgen Schoten [7].

Der Geschmack der rohen Kresse ist durch ihre Senfö-Glykoside beißend scharf und erinnert an Senf und Rettich (Abbildung 7).

Als Küchenkraut werden in der Regel die einwöchigen Keimlinge verwendet.

Die Gartenkresse zeichnet sich durch einen relativ hohen Gehalt an Vitamin C, Eisen, Kalzium und Folsäure aus (Abbildung 8). Die Folsäure, auch Vitamin B9 genannt, spielt bei der Zellteilung eine wichtige Rolle. Der empfohlene Tagesbedarf für Erwachsene liegt bei 0,4 mg. Schwangere sollten die doppelte Menge über beispielsweise Vollkornprodukte, grüne Salate, Karotten, Tomaten und Nüsse zu sich nehmen [8].

Weitere Inhaltsstoffe sind Ethyl(C_2H_5-NCS) und Benzyl-isothiocyanat (Benzylsenfö; $C_6H_5-CH_2-NCS$) sowie Phenyl-acetonitril ($C_6H_5-CH_2-CN$) [9].

Benzylisothiocyanat ruft beispielsweise in höheren Konzentrationen eine verstärkte Durchblutung von Organen durch verhinderten Blut-Abfluss (Blutfülle; Hyperämie) hervor. Sie kann an der Rötung der Haut sichtbar sein.

Phenylacetonitril dagegen ist eine sehr giftige Flüssigkeit, die als augenreizender Kampfstoff eingestuft wurde (Abbildung 9).

Petersilie

Die Petersilie (*Petroselinum crispum*; Abbildung 10) zählt zu den zweijährigen Doldenblütlern.

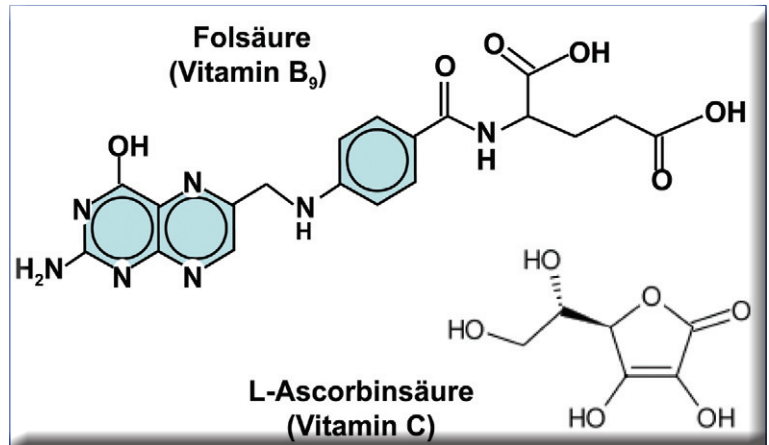


Abbildung 8: Die segensreichen Inhaltsstoffe der Gartenkresse.

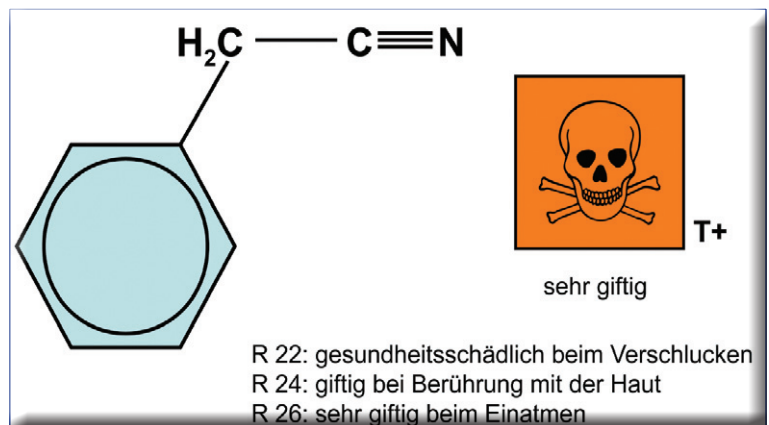


Abbildung 9: Sehr giftiger Inhaltsstoff Phenylacetonitril in der Gartenkresse.

Abbildung 10: Petersilie in der grafischen Darstellung und in der Natur.



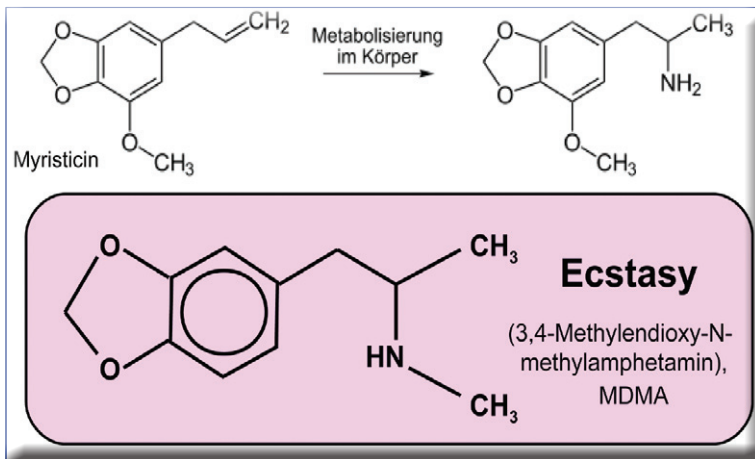


Abbildung 11: Myristicin-Metabolisierung im Körper und die chemische Struktur der Clubdroge Ecstasy zum Vergleich.

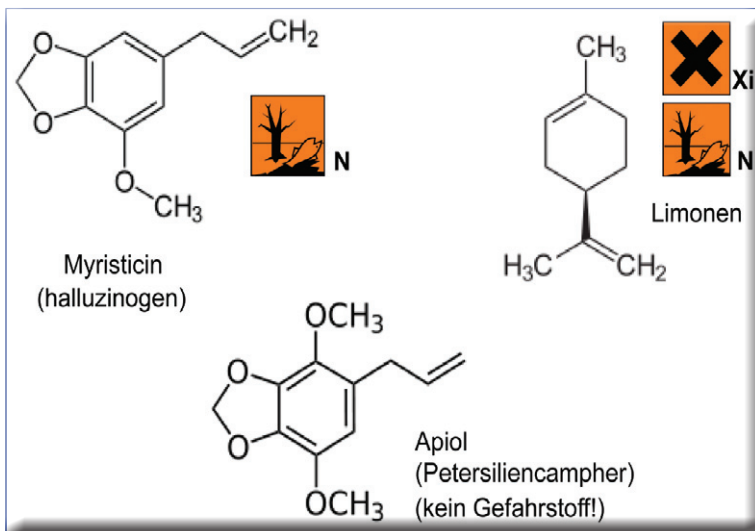


Abbildung 12: Inhaltsstoffe der Petersilie.

Abbildung 13: Das typische Blattwerk der Pimpinelle.



Die aus dem Mittelmeerraum stammende grüne Pflanze kommt in der glatten und in der krausen Zuchtform vor und besitzt eine karottenförmige helle Wurzel. Die unteren dunkelgrünen Blätter sind doppelt bis dreifach gefiedert.

Die Griechen sahen die Petersilie einst als heilige Pflanze an. Kränze aus geflochtener Petersilie überreichte man den Siegern sportlicher Wettkämpfe.

In den Klöstern Europas züchteten die Mönche Petersilien-Sorten mit krausen Blättern, um sie von der ähnlich aussehenden aber giftigen Hundspetersilie zu unterscheiden.

Beim Erhitzen verliert die Petersilie ihr typisches Aroma.

Blätter und Wurzel der Petersilie enthalten vergleichbare Inhaltsstoffe: Myristicin, Limonen sowie 1,3,8-p-Menthatrien ($\text{CH}_3\text{-C}_6\text{H}_6\text{-(CH}_3\text{)C=CH}_2$).

Bei dem Myristicin (5-Allyl-1-methoxy-2,3-(methylenedioxy)benzol) handelt es sich um ein halluzinogen wirkendes ätherisches Öl (Sdp.: $276,5^\circ\text{C}$). Das Metabolisierungs-Produkt des Myristicins weist eine auffallende Ähnlichkeit mit dem Amphetamin Ecstasy auf (Abbildung 11). Myristicin trägt die R-Sätze 52 und 53 (schädlich für Wasserorganismen), ist für den Menschen jedoch unbedenklich ($\text{LD}_{50(\text{Ratte, oral})} = 4260 \text{ g/kg}$).

Limonen (4-Isopropenyl-1-Methylcyclohexen) ist eine angenehm zitronenartig riechende Verbindung, die in der Natur recht häufig vorkommt (Sdp.: 176°C).

In reiner Form zählt Limonen zu den hautreizenden, hautsensibilisierenden und für Wasserorganismen sehr giftigen Gefahrstoffen. Mit einem LD_{50} -Wert (Ratte, oral) von 4400 mg/kg besteht allerdings keine Gefahr für den Menschen [10].

Der Inhaltsstoff Apiol, auch „Persiliencampher“ genannt, wurde bisher nicht als Gefahrstoff eingestuft (Abbildung 12).

Pimpinelle

Die Pimpinelle (*Sanguisorba minor*) wächst auf trockenen warmen Wiesen in Mitteleuropa. Der angenehm würzige Geruch entströmt den gezähnten, an den Stängeln paarweise angeordneten 2 cm langen Blättchen (Abbildung 13). Vom Geschmack her ähneln die Blätter einer Gurke. Die Gewürzpflanze entstammt dem Mittelmeerraum. Von April bis Juli blüht die bis zu 40 cm anwachsende Pflanze mit weißen oder rosa gefärbten Blüten. Neben Vitamin C enthält die Pimpinelle Gerbstoffe und Flavone [11].

Gerbstoffe oder Tannine kommen in der Natur weit verbreitet vor. Sie schützen die Pflanzen vor Fäulnis, Schädlinge und Tierfraß. Sie wirken adstringierend und fällen Eiweiß-Lösungen. Mit Eisen bilden sie dunkelblaue oder grüne Chelate.



Abbildung 14: Sauerampfer.

Ebenso sind die Flavone im Pflanzenreich weit verbreitet. Therapeutisch finden die Flavone als gefäßerweiternde und kapillaraktivierende Medikamente ihre Anwendung.

In den Wurzeln des Doldengewächses ist das Pimpinellin (5,6-Dimethoxy-2H-furo[2,3-h]-1-benzopyran-2-on) enthalten, ein photoallergisierendes Furocumarin.

Sauerampfer

Der Sauerampfer (*Rumex acetosa*), der auch unter der Bezeichnung „Großer Sauerampfer“ oder „Wiesen-Sauerampfer“ zu finden ist, gehört zur Familie der Knöterichgewächse (Abbildung 14).

Der Sauerampfer bevorzugt stickstoffreiche, lehmige Böden. Für die Landwirtschaft wurde er zur Plage: Die Samen bleiben auch in Gülle keimfähig, die bis zu 150 cm langen Wurzeln sind auch noch in Reststücken nach dem Pflügen keimfähig, in Heu-Ballen und in Silage faulen die Blätter, so dass sie vom Vieh gemieden werden.

Bereits die alten Ägypter nahmen den Sauerampfer zu sich, wenn sie wieder einmal zu üppig von den fetten Speisen gekostet hatten, und die Seefahrer des Mittelalters bekämpften mit den frischen Blättern schon Skorbut.

Das Wildgemüse, das beim Sammeln nicht von überdüngten Wiesen mit viel Löwenzahn stammen sollte, kann kalt in Salaten oder warm wie Spinat zubereitet werden.

Sauerampfer enthält sehr viel Vitamin C. Bei Verdauungsbeschwerden empfiehlt die Naturheilkunde den Verzehr von Sauerampfer. Allerdings nicht, wenn die Menschen bereits an einer Steinbildung oder an Nierenkrankheiten leiden. Denn der Sauerampfer enthält auch hohe Mengen an Oxalsäure (Abbildung 15).

Die Oxalsäure hemmt auch die Verwertung des Eisens aus der Nahrung. Daher sollten Menschen mit Eisenmangel eher auf den hohen Konsum

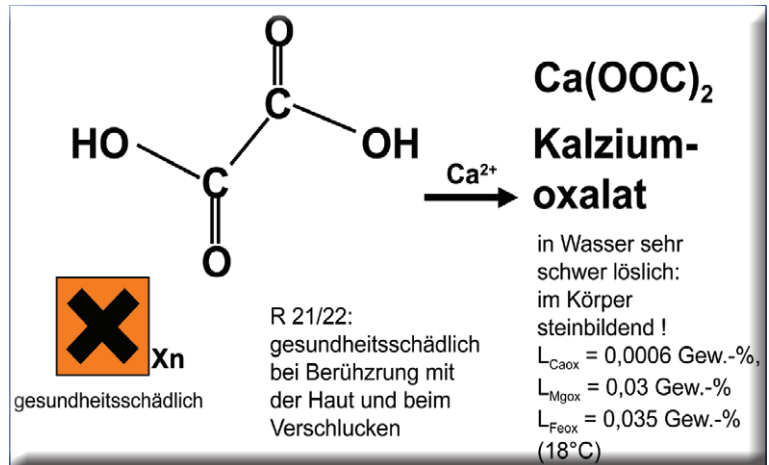


Abbildung 15: Oxalsäure und seine schwerlöslichen Oxalate.

von Sauerampfer verzichten, obwohl die Pflanze selbst relativ große Mengen an Eisen enthält [12].

Schnittlauch

Der Schnittlauch (*Allium schoenoprasum*), oder auch „Graslauch“ genannt, zählt als Gewürzpflanze zu den Zwiebelgewächsen. Aus den länglichen dünnhäutigen Zwiebeln treiben runde hohle Stängel aus. Die tief abgeschnittenen Schnittlauch-Blätter treiben das ganze Jahr über nach. In der Zeit von Juli und August bilden sich an den Stängelspitzen zahlreiche violette Dolden mit einem Durchmesser von etwa 5 cm (Abbildung 16).

Der Name der Bezeichnung „schoenoprasum“ setzt sich aus den griechischen Wörtern „schoinos“ = Binse und „prason“ = Lauch zusammen.

Der deutsche Name bezieht sich auf die oberirdische Ernte des Lauchs.

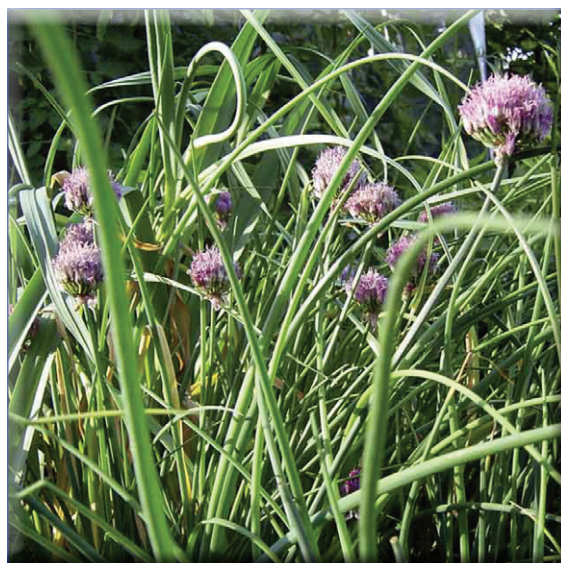


Abbildung 16: Schnittlauch.

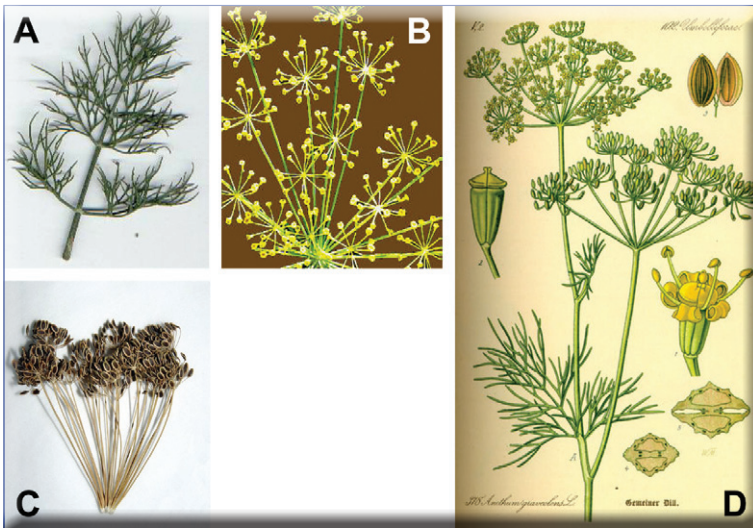


Abbildung 17: Dillpflanze mit Zweig (A), Pflanze (B), Samen (C), Graphik (D).

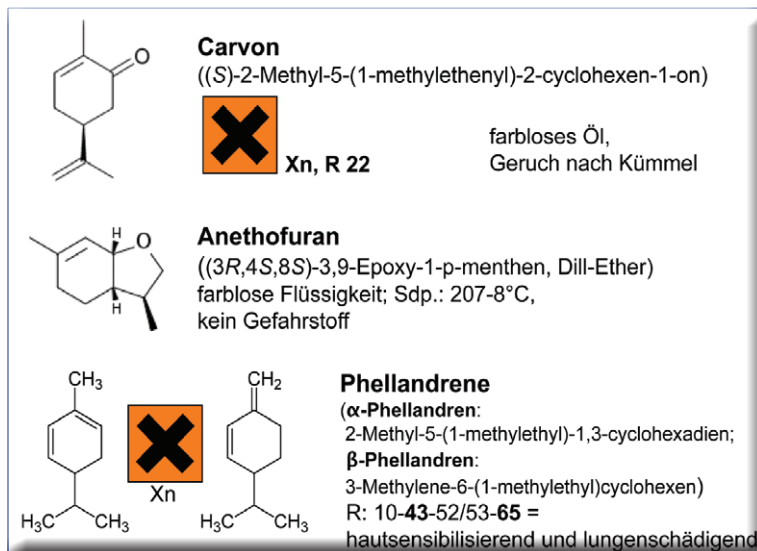
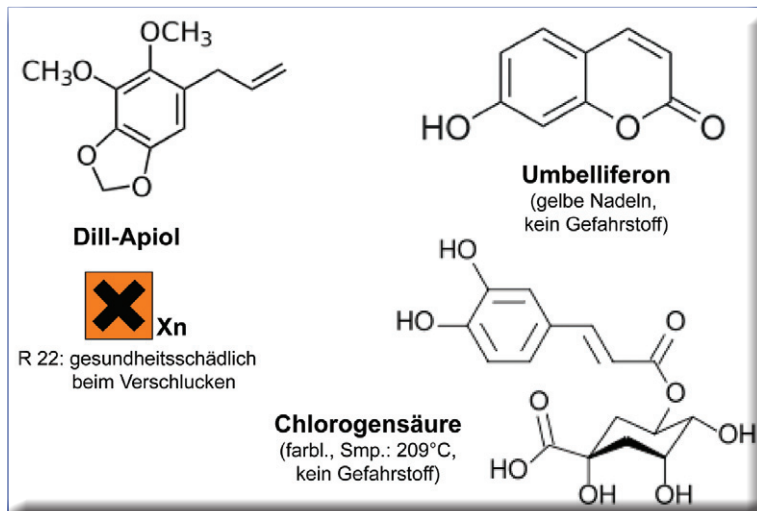


Abbildung 18: Inhaltsstoffe der Dill-Pflanze (I).

Abbildung 19: Inhaltsstoffe der Dill-Pflanze.



Der Ursprung der Schnittlauch-Pflanze liegt in Kanada und Sibirien. Sie ist noch in Höhen bis zu über 2500 m anzutreffen, bevorzugt auf feuchten und kalkhaltigen Wiesen.

Der Geschmack von Schnittlauch ist leicht zwiebelartig. Aus den Küchen der Haushalte und Gastronomie ist er in frischer oder gefriergetrockneter Form nicht mehr wegzudenken.

Schnittlauch enthält größere Mengen der Vitamine A, B und C. Der Vitamin C-Gehalt frischen Schnittlauchs liegt bei 130 mg/ 100 g. Der Wassergehalt schwankt um 86 Gew.-%.

In der Naturheilkunde hat der Schnittlauch eine große Bedeutung: er

- hemmt den Bakterienwuchs
- regt den Appetit an
- fördert die Verdauung
- reguliert erhöhten Blutdruck
- beugt der Tumorbildung vor
- hilft bei der Vermeidung von Blutverklumpung
- senkt den Cholesterin-Spiegel
- verhindert Wasseransammlungen im Gewebe
- vermeidet die Bildung von Harnsäure
- wirkt schleimlösend
- stärkt Verdauungssystem und Kreislauf.

In manchen Haushalten zählt der Schnittlauch zu den Hauptbestandteilen der Gründonnerstag-Suppe, die das ganze Jahr über die Familie gesund erhalten soll [13].

Weitere Soßen-Kräuter

Neben den vielen Kräutern, die findige Heimund Restaurant-Köche verwenden, sind in vielen Rezepten auch Dill, Liebstöckel, Zitronenmelisse und Estragon enthalten. Auch auf sie soll noch kurz eingegangen werden.

Dill

Der Dill (*Anethum graveolens*) war als Doldenblütler bei den alten Ägyptern 1500 v. Chr. bekannt. In Papyrus-Schriften erwähnen sie das Einreiben der Gladiatoren mit Dill-Öl. Hildegard von Bingen lobte die „Unterdrückung sinnlicher Triebe“ durch Dill (Abbildung 17).

Heute dient die Gewürzpflanze nicht nur zur Konservierung eingelegter Gurken, sondern in ganz Europa zur Verfeinerung von Salaten, Soßen und weiteren Speisen.

Dill-Samen und -Kraut enthalten eine Reihe von verträglichen Inhaltsstoffen, wie Carvon, Limonen, Dehydrocarvon, Carveol, Dill-Apiol, Anethofuran, Phellandren, Myrcen (wie Phellandren) und Alpha-Pinen [14]. Das Carvon, Dill-Apiol, Myrcen, Phellandren und Alpha-Pinen (wie Phellandren) sind allerdings als gesundheitsschädlich eingestuft (Abbildungen 18 und 19).



Abbildung 20: Liebstöckel.



Abbildung 21: Zitronenmelisse.

Liebstöckel

Liebstöckel (*Levisticum officinale*), auch durch die Geschmacksähnlichkeit als Maggikraut bekannt, gehört zur Familie der Doldenblütler und soll aus Persien über die Mittelmeerländer zu uns gekommen sein (Abbildung 20).

Der Geschmack der frischen Blätter erinnert an eine etwas schärfere und bittere Variation von Sellerie [15].

Liebstöckel enthält, wie auch Sellerie, Alkylphthalide, Derivate des Iso-Benzofuranons, als typische Geruchsstoffe im etherischen Öl.

In den Wurzeln befinden sich auch photoallergisierende Furocumarine.

Zitronenmelisse

Die Zitronenmelisse oder einfach Melisse (*Melissa officinalis*) gehört zur Familie der Lippenblütler und stammt aus den östlichen Mittelmeerländern.

Der Name leitet sich aus dem griechischen Wort für „Biene“ ab, da diese Pflanze von den Bienen besonders gerne angefliegen wird (Abbildung 21).

Neben einem sehr hohen Vitamin C-Gehalt von 253 mg/ 100g Frischgewicht enthält die Pflanze Citral, Citronellal, Linalool, Geraniol sowie die entsprechenden Aldehyde [16].

Citral wirkt reizend und besitzt allergenes Potenzial. Citronellal ist ebenfalls in reiner Form als reizender Gefahrstoff (Xi) mit den R-Sätzen 36 bis 38 (reizt Augen, Atemorgane und die Haut) eingestuft.

Als hautreizend gilt auch das Linalool in reiner Form, während das Geraniol wieder mit den R-Sätzen 36 bis 38 belegt ist (Abbildungen 22 und 23).

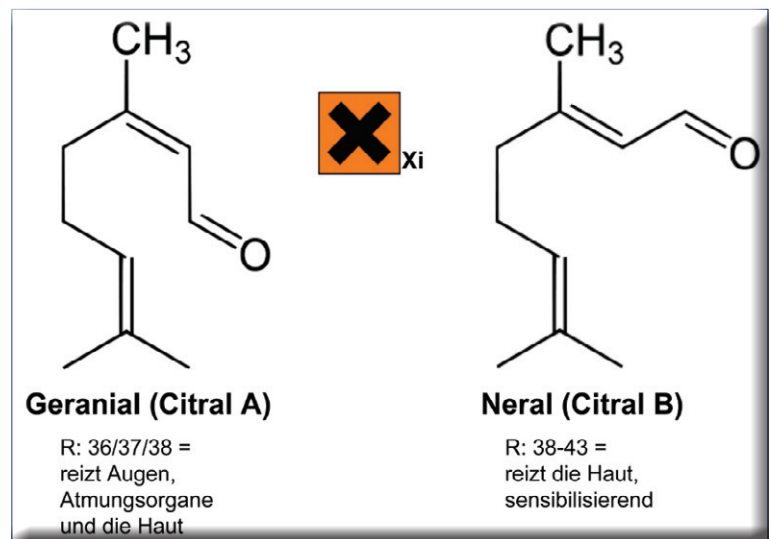


Abbildung 22: Inhaltsstoffe der Zitronenmelisse.

Abbildung 23: Inhaltsstoffe der Zitronenmelisse.

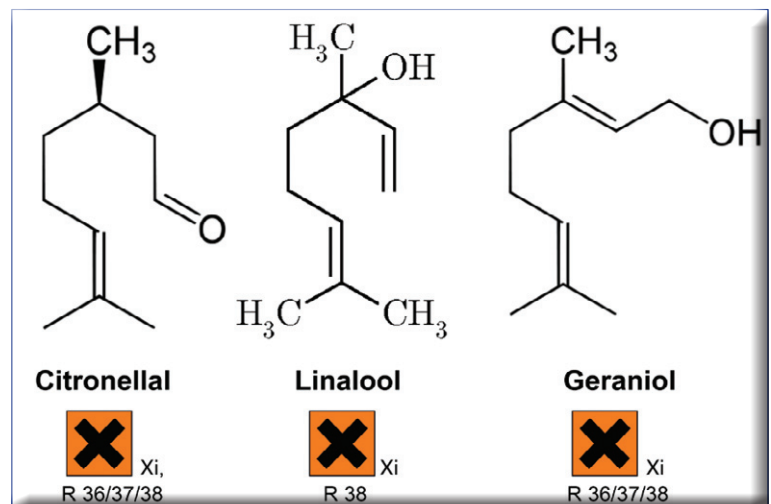


Abbildung 24:
Estragon.

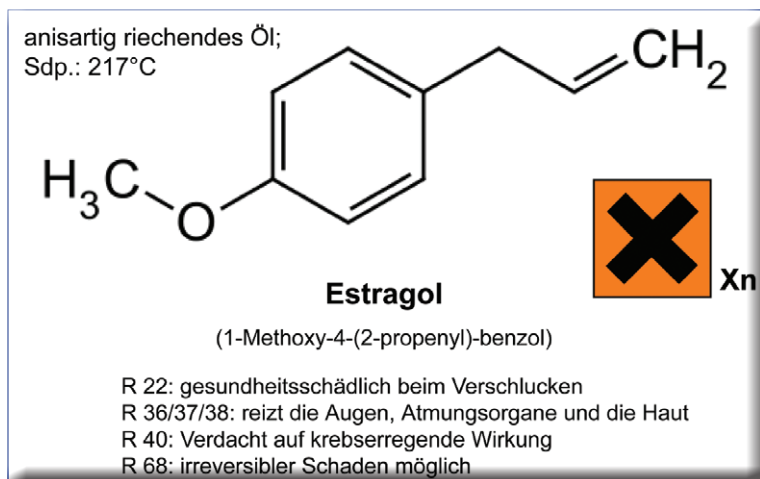
Estragon

Der Estragon (*Artemisia dracunculus*) gehört zur Familie der Korbblütler und stammt aus China. Variationen sind der „Deutsche bzw. Französische und der Russische Estragon“. Zum Würzen werden die jungen Triebe und Blätter verwendet. Da der Russische Estragon zwar nicht das typische Aroma enthält, aber frostunempfindlich ist, wird er vermehrt in Gärtnereien angebaut (Abbildung 24).

Eine medizinische Wirksamkeit des Estragons ist bisher nicht belegt. Auf Grund des enthaltenen Estragols, das für den Menschen als krebserregend und erbgutschädigend erkannt wurde (Abbildung 25), sollte der Gebrauch von Estragon auf ein Minimum beschränkt bleiben [17].

Zusammenfassung

Seit hundert Jahren hat die Frankfurter Grüne Soße ihre unumstößliche Tradition. Gründonnerstag hat sich als eines der Tage erhalten,

Abbildung 25:
Struktur und
Eigenschaften
des Estragols aus
dem Estragon.

an denen die Grüne Soße ein „Muss“ ist. Mitunter wird sie mit Spinat etwas farblich geschönt, damit sie nicht so blass aussieht.

An der Zusammensetzung der Kräuter wollen aber viele Köche nicht rühren.

An dieser Tradition wäre auch nichts auszusetzen, solange die originale Frankfurter Grüne Soße nur selten auf den Tisch kommt. Wer allerdings ein regelrechter Fan dieser Soße geworden ist und sie mal mit Tafelspitz, mal mit Ei, Fisch oder Garnelen verspeist, der sollte sich genau überlegen, ob hier nicht ein Zuviel an photosensibilisierenden Spurenstoffen, Kalk und Eisen bindenden Oxalaten oder krebserregendes und erbgutveränderndes Estragol in den Körper gelangt.

Die Nordhessen verhalten sich da nur geringfügig vorsichtiger: Die Kasseler Grüne Soße, zu der die Kasseleräner „Griene Sose“ sagen, soll ebenfalls sieben Kräuter enthalten, jedoch Kerbel, Kresse und Liebstöckel werden nicht verwendet. Dafür favorisieren sie Dill und Zitronenmelisse [18]. Unter Berücksichtigung der Inhaltsstoffe wahrlich auch keine gesündere Variation der Grünen Soße bezüglich der reinen Inhaltsstoffe. **CLB**

Literatur:

- [1] Schick, I., „Grüne Soße – Die besten Rezepte“, CoCon Verl., Hanau, 120 Seiten (2009)
- [2] http://www.aalfred.de/rezepte/saucen/grie_soss_1.php
- [3] <http://www.oberrad.tv/galerie/main: Bilder von der Einweihung des „Grüne Soßen-Denkmal“, 21. Mai 2007>
- [4] Hahne, D., „Frankfurter Grüne Soße – sieben Kräuter müssen es sein“, Neue Apotheken Illustrierte, Govi-Verl. GmbH, 1. Mai 2010
- [5] <http://de.wikipedia.org/wiki/Borretsch>
- [6] <http://www.tee.org/gewuerze/kerbel.html>
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Gartenkresse>
- [8] Selig, M., S. Pötzsch und V. Schneider, „Folsäure – Lehrmaterial für den Biologieunterricht“, Medizinische Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität, 39120 Magdeburg, Leipziger Str. 44; www.med.uni-magdeburg.de/fme/zkh/mz
- [9] <http://de.wikipedia.org/wiki/Phenylacetonitril>
- [10] <http://de.wikipedia.org/wiki/Petersilie>
- [11] Kreuter, M.-L., „Kräuter und Gewürze aus eigenem Garten“, BVL Verl. Ges., München (1985)
- [12] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wiesen-Sauerampfer>
- [13] <http://de.wikipedia.org/wiki/Schnittlauch>
- [14] [http://de.wikipedia.org/wiki/Dill_\(Pflanze\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Dill_(Pflanze))
- [15] <http://de.wikipedia.org/wiki/Liebstoekel>
- [16] <http://de.wikipedia.org/wiki/Zitronenmelisse>
- [17] http://de.wikipedia.org/wiki/Deutscher_Estragon
- [18] http://de.wikipedia.org/wiki/Gruene_Sauce

Molekulargewichte							Molekül- und Formelmassen, berechnet aus den relativen Atommassen
Anorganische Stoffe		Aminosäuren		Nukleinsäure-Derivate		Bioorganische Stoffe	
CO ₂	44,01	Alanin	89,09	Adenin	135,13	Ameisensäure	46,03
CaCl ₂	110,99	Arginin	174,20	Adenosin	267,24	Azetsäure	60,05
HCN	27,03	Asparaginsäure	133,10	ADP	427,20	Barbital	184,19
HCl	36,46	Cystein	121,16	AMP	347,22	Cyclohexylamin	99,18
HNO ₃	63,01	Glutaminsäure	147,13	dAMP	331,22	EDTA	292,25
H ₂ O	18,02	Glyzin	75,07	ATP	507,18	Ethanol	46,07
H ₂ SO ₄	98,08	Histidin	155,16	Cytosin	111,10	Glucose	180,16
H ₃ PO ₄	98,00	Hydroxyprolin	131,13	Cytidin	243,22	Guanidin-HCl	95,53
KCl	74,54	Isoleuzin	131,17	CMP	323,20	HEPES	238,33
KCN	65,11	Leuzin	131,17	dCMP	307,20	Methanol	32,04
KSCN	97,18	Lysin	146,19	Guanin	151,13	NAD	663,43
KOH	56,11	Methionin	149,21	Guanosin	283,24	NADP	743,11
KH ₂ PO ₄	136,09	Phenylalanin	165,19	GMP	363,22	Pyridin	79,10
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246,45	Prolin	115,13	dGMP	347,22	Ribose	150,13
NH ₃	17,03	Pyroglutaminsäure	129,12	Thymin	126,11	Tricin	179,17
NH ₄ Cl	53,49	Serin	105,09	dThymin	242,23	Triethylamin	101,19
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,14	Threonin	119,12	dTMP	322,21	Trimethylamin	59,11
NaCl	58,44	Tryptophan	204,23	Urazil	112,09	Tris	121,14
NaHCO ₃	84,01	Tyrosin	181,19	Uridin	244,20	Urea	60,06
Na ₂ HPO ₄ ·2H ₂ O	177,98	Valin	117,15	UMP	324,18	Zitronensäure·H ₂ O	210,14

CLB

FAX: 06223-9707-41

Wollen Sie die CLB nicht erst als 4., 5. oder 6. in Ihrer Firma lesen?

Für nur 109 Euro pro Jahr erhalten Sie als persönlicher Abonnent monatlich die CLB mit dem Ausbildungs- und Umweltbezogenen Teil Erreichen & Erhalten.

Abo-Bestellcoupon

- JA, ich möchte die CLB abonnieren. Ich erhalte als persönlicher Abonnent die CLB zunächst für ein Jahr (= 12 Ausgaben) zum Preis von 109 Euro zzgl. Versandkosten (Inland: 13,60 Euro, Ausland: 24,40 Euro). Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn es nicht bis acht Wochen vor Ende des Bezugsjahres gekündigt wird.

Datum / 1. Unterschrift

Name / Vorname

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

Straße / Postfach

Land / PLZ / Ort

Datum / 2. Unterschrift

Telefon oder e-Mail

Schlangengift verhindert Blutgerinnsel

In den Multi-Pharmaka-Cocktails stecken raffinierte Gerinnungshemmer

Johannes A. Eble, Frankfurt/Main

Schlangengifte enthalten einen ganzen Arzneischatz voller hochwirksamer Stoffe, die binnen kurzer Zeit zu Schock, Lähmung oder unstillbaren Blutungen führen können. Forscher interessieren sich vor allem für Verbindungen, welche die Blutgerinnung hemmen, denn sie könnten pharmakologisch interessante Leitstrukturen für neue Wirkstoffe sein, die das Risiko eines Herzinfarkts, Gehirnschlags und anderer Thrombosen mindern.

Mehrere Male am Tag treten in unserem Körper kleinste Verletzungen und Blutungen auf, die durch den ausgefeilten Mechanismus der Blutstillung gestoppt werden, ohne dass wir es überhaupt merken. Offensichtlicher ist der Prozess bei Schnitt- und Schürfwunden der Haut. Hier können wir beobachten, wie sich innerhalb weniger Minuten ein weißer Blutpfropf bildet, der als Schorf die Wundheilung einleitet.

Doch manchmal läuft dieser Prozess auch fälschlicherweise ab, denn die Blutgerinnungskaskade wird bisweilen auch durch krankhafte Veränderungen der Gefäße ausgelöst. Es bildet sich ein Blutgerinnsel (Thrombus), das vom Blutstrom mitgerissen wird und ein Blutgefäß des Herzens, Gehirns oder eines anderen lebensnotwendigen Organs verstopfen kann (Embolie). Dadurch wird die Nährstoff- und Sauerstoffversorgung des umliegenden Gewebes vermindert. Der resultierende Herzinfarkt oder Gehirnschlag ist nicht selten töd-

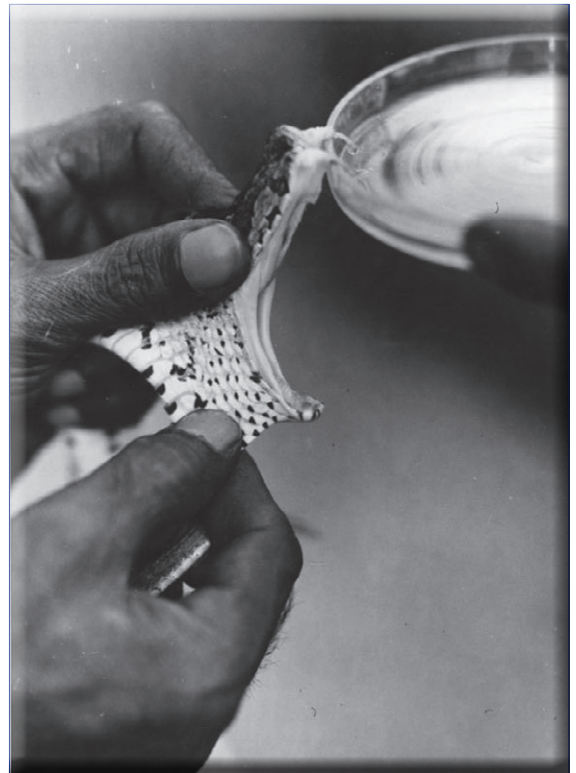


Abbildung 1: Um die Komponenten des Schlangengiftes erforschen und auf ihre pharmakologische Wirkung prüfen zu können, muss man die Giftdrüsen „melken“. Frankfurter Forscher kooperieren vor allem mit Kollegen in Südamerika, um möglichst viele unterschiedliche Gifte untersuchen zu können. Das Bild hier wurde 1938 bei einer Expedition in Kalkutta aufgenommen (Abb.: Bundesarchiv, Bild 135-KA-01-019 / CC-BY-SA).

Der Autor

Prof. Dr. Johannes A. Eble, 45, studierte Biochemie in Tübingen und Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Nach einem Postdoc-Aufenthalt an der Harvard Medical School in Boston (1995 bis 1998) begann er eigene Arbeiten an der Universität Münster, wo er sich 2004 habilitierte. Anschließend war er Gruppenleiter am Institut für Physiologische Chemie und Pathobiochemie am Universitätsklinikum Münster. Seit Januar 2009 ist er Leiter des Schwerpunkts Vaskuläre Matrixbiologie am Exzellenzcluster Cardiopulmonary Systems an der Goethe-Universität in Frankfurt. Er erforscht die Interaktion von kollagen- und lamininbindenden Integrinen mit ihren extrazellulären Matrixproteinliganden und ihre Hemmung durch Integrinantagonisten aus Schlangengiften auf molekularer und zellulärer Ebene.



lich. Deshalb behandelt man Risikopatienten vorbeugend mit Medikamenten, welche die Bildung von Blutgerinnseln hemmen.

Wie werden Blutplättchen aktiviert?

Obwohl Blutplättchen in großen Mengen im Blut vorhanden sind, bilden sie in der Regel nur dann Gerinnsel, wenn sie durch biochemische Prozesse aktiviert werden [1]. Verstärkt wird dieser Prozess dadurch, dass aktivierte Plättchen in ihren Vesikeln gespeicherte Substanzen abgeben, die dann weitere Plättchen aktivieren. Auch gefäßverengende

Substanzen, die den Blutfluss zur verletzten Stelle vermindern, sind darunter.

Nach der Aktivierung haften die Plättchen extrem gut an Fibrin und anderen Gerüstproteinen des gefäßumgebenden Gewebes und bilden so eine erste Barrikade, die das Blut stoppt.

Was löst die Aktivierung der Plättchen aus? Werden bei einer Verletzung die Endothelzellen, die das Innere der Blutgefäße auskleiden, abgetragen, kommen sie mit den darunterliegenden Matrixproteinen, zum Beispiel Kollagen und Von-Willebrand-Faktor (vWF), in Kontakt. Diese Proteine werden von Rezeptoren auf der Plättchenoberfläche wahrgenommen. Eine dadurch ausgelöste biochemische Reaktionskette, bei der die intrazelluläre Kalzium-Ionenkonzentration zunimmt, führt das Plättchenintegrin, den Fibrinrezeptor auf den Blutplättchen, in seine bindungsaktive Form über [2]. Es bindet nun fest an das Fibrinnetzwerk. Verstärkt wird die Anhaftung der Plättchen dadurch, dass sie eine Scheibenform mit vielen Fortsätzen annehmen, die ihre Vernetzung untereinander und mit dem Fibrinnetzwerk erleichtert (Abbildung 2).

Wenn das Blut ins Stocken kommt

Wenn Fibrinogen zu unlöslichem Fibrin umgesetzt wird, aggregiert es zu Fibrillen, die, ähnlich den Verstrebungen einer Stahlkonstruktion, miteinander vernetzt sind [3]. Wie ein Klebstoff wirkt das Fibringerüst, in dem die Blutkörperchen, darunter die Blutplättchen, hängen bleiben (Abbildung 2). So bildet sich innerhalb von 5 bis 15 Minuten nach der Verletzung ein stabiler Blutpfropf.

Als Katalysator für die Umwandlung des Fibrinogens zu Fibrin dient Thrombin. Es wird über zwei verschiedene Wege im Körper aktiviert. Thrombin und die meisten Gerinnungsfaktoren sind Proteasen. Gemeinsam wirken sie wie eine fächerförmig aufgestellte Formation umfallender Dominosteine: Das einmal ausgelöste gerinnungsauslösende Signal wird enorm verstärkt. Die lawinenartige Be-

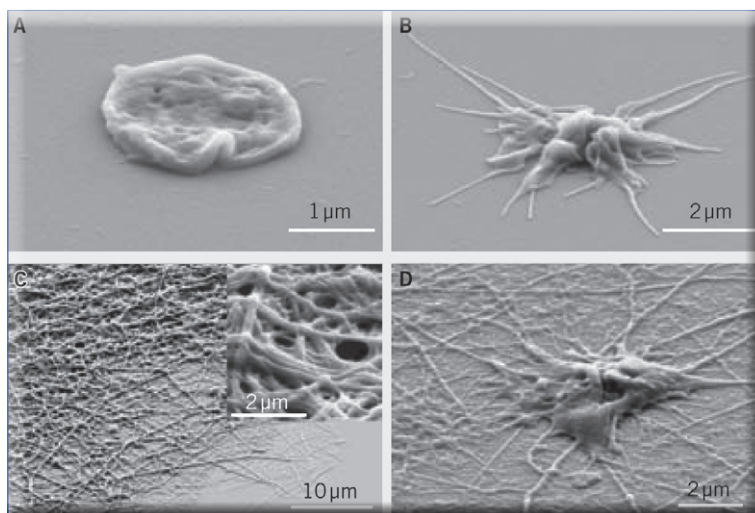


Abbildung 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines ruhenden (A) und durch Kollagen aktivierten (B) Thrombozyten, des Fibrinnetzwerkes (C) sowie eines aktivierten Thrombozyten im Fibrinnetzwerk (D).

reitstellung von Fibrin gewährleistet, dass nur im örtlich und zeitlich eng begrenzten Gebiet der Verletzungsstelle ein Fibrinnetzwerk entsteht. Im restlichen Blutkreislauf dagegen unterbleibt die Blutgerinnung.

Um Fehler in der Gerinnungskaskade mit fatalen Konsequenzen zu vermeiden, sind mehrere Kontrollmechanismen eingeschaltet. Zum einen können die Gerinnungsfaktoren durch Hemmstoffe in Schach gehalten oder aber durch andere Proteasen inaktivierend abgebaut werden. Als Proteasehemmstoff liegt im Blut Antithrombin vor, das an Thrombin und die Gerinnungsfaktoren IXa, Xa, XIa und XIIa bindet und ihre katalytische Aktivität blockiert. Antithrombin wird in seiner inhibierenden Wirkung durch die Bindung von Heparin deutlich verstärkt. Dagegen baut Protein C die Gerinnungsfaktoren Va und VIIIa ab und hemmt so eine überschießende Blutgerinnung.

Die drei Säulen der Blutgerinnung

Nach einer Verletzung laufen in zeitlicher Abfolge drei Prozesse ab:

1. Verengung der betroffenen Blutgefäße (Vasokonstriktion),
2. Aktivierung und Aggregation der Blutplättchen (Thrombozyten) und
3. Gerinnung der im Blutplasma löslichen Blutgerinnungsfaktoren, die zum unlöslichen Fibrinnetzwerk führen.

Diese drei Wege sind nicht unabhängig voneinander, sondern greifen regulierend ineinander über.

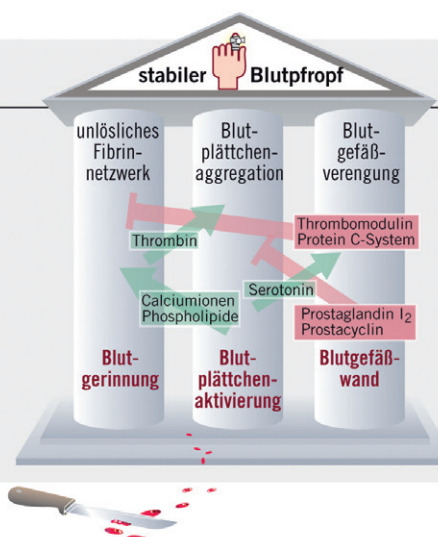




Abbildung 3: Verschiedene Giftschlangen: Jararaca (*Bothrops jararaga*) (A) und Gewöhnliche Lanzenotter (*Bothrops atrox*) (B) aus Südamerika, Waldklapperschlange (*Crotalus horridus*) (C) und Texas-Klapperschlange (*Crotalus atrox*) (D) aus Nordamerika, Gewöhnliche Puffotter (*Bitis arietans*) (E) aus Afrika und Kupferkopf (*Agkistrodon contortrix contortrix*) (F) aus Nordamerika.

Schlangengifte – Multi-Pharmaka-Cocktails mit todsicherer Wirkung

Ein Fünftel der etwa 2700 Schlangenarten zählt zu den Giftschlangen (Abbildung 3). Sie verteilen sich auf 4 der 18 Schlangenfamilien: die Giftnattern (*Elapidae*), die Nattern (*Colubridae*), die Vipern (*Viperidae*) und die Erdvipern (*Atractaspididae*). Ihre Speicheldrüsen haben sich zu Giftdrüsen entwickelt, deren Sekret durch besonders entwickelte Zähne in die Beute injiziert wird.

Auch wenn Menschen nicht zur Beute von Schlangen gehören, so beißen Schlangen auch zur ihrer Verteidigung. Jährlich werden etwa 2,5 Millionen Menschen gebissen, davon sterben über 100 000. Schlangengifte wirken meistens auf mehrere Organsysteme (Abbildung 4). Nervenund

Muskelgifte führen zur Lähmung. Andere Giftkomponenten lösen einen schlagartigen Kreislaufkollaps des Beutetiers aus. Seine Flucht wird dadurch in Sekundenschnelle vereitelt. Weiterhin können Schlangengifte die Wände der Blutgefäße zerstören. Zusammen mit der Beeinträchtigung der Blutstillung führt dies zum Verbluten des Schlangenbissopfers. Eng verbunden damit ist auch das Versagen der Niere. Diese verschiedenen Wirkungen werden von unterschiedlichen Komponenten der Schlangengifte ausgelöst, die alle zusammen den Ausfall lebensnotwendiger Organsysteme und somit den Tod des Beutetiers bewirken.

Pharmakologisch betrachtet sind Schlangengifte Cocktails aus pharmazeutisch hochwirksamen Naturstoffen, die bereits in tropfenkleinen Volumina injiziert sehr drastische Effekte besitzen. Pharmazeutisch geht es darum, diese Einzelkomponenten zu identifizieren, zu isolieren sowie ihre Wirkungen und Nebenwirkungen zu analysieren. Danach wird die molekulare Struktur der Einzelkomponenten und der für ihre Wirkung verantwortliche Molekülteil bestimmt.

Um eventuelle Nebenwirkungen, zum Beispiel immunologische Reaktionen, auszuschalten und die Pharmakokinetik und -dynamik beeinflussen zu können, versuchen wir, diese Wirkstruktur durch chemisch oder biochemisch synthetisierte Verbindungen zu imitieren (Abbildung 5).

Schlangengiftkomponenten – Blutstillungshemmer der Zukunft?

Für die Entwicklung gerinnungshemmender Pharmaka sind Schlangengifte von großem Interesse. In faszinierender Weise enthalten die Schlangengifte sehr effektive Hemmstoffe, die in einer Jahrtausenden langen Evolution „gereift“ sind und jeweils spezifisch gegen fast jeden Blutgerinnungsfaktor, gegen fast jeden Rezeptor der Blutplättchen und auf die essenziellen Bestandteile der Blutgefäßwand wirken [4].

Unter den Schlangengiftkomponenten, die auf die Blutgerinnungsfaktoren wirken, gibt es sowohl gerinnungsfördernde als auch gerinnungshemmende Wirkstoffe [5]. Zu den Ersteren gehören Proteasen, die die Gerinnungsfaktoren V, X und Thrombin aktivieren können oder in Thrombin-ähnlicher Weise Fibrinogen zum unlöslichen Fibrin spalten [6]. Dies führt zur pathologischen Bildung von Thromben und Embolien mit tödlichem Verlauf. Andererseits werden durch diese gerinnungsfördernden Komponenten auch die Blutgerinnungsfaktoren derart stark verbraucht, dass selbst im Falle eines Überlebens die Blutgerinnung über längere Zeit verhindert ist. Dieser Effekt wird als Verbrauchskoagulopathie oder als disseminierte intravasale Gerinnung bezeichnet.

Dagegen sind Antikoagulantien aus Schlangengiften für die Entwicklung pharmazeutischer Präparate von weitaus größerer Bedeutung. Dazu zählen Protein-C-aktivierende Substanzen, Blutgerinnungsfaktor IX und X-bindende Proteine sowie Inhibitoren von Thrombin und anderen Gerinnungsfaktoren. Protein-C-aktivierende Komponenten wurden aus den Giften der Gattungen Dreieckskopftottern (*Agkistrodon*), Amerikanische Lanzenottern (*Bothrops*), Bambusottern (*Trimerusurus*) und Afrikanische Hornvipern (*Cerastes*) isoliert. Es handelt sich um Serinproteinasen, die Protein-C-unabhängig vom Thrombin-Thrombomodulin-Komplex aktivieren. Aktiviertes Protein C hemmt die Blutgerinnungskaskade durch Abbau der Gerinnungsfaktoren V und VIII. Der Protein-C-Aktivator des Kupferkopfes (*Agkistrodon contortrix contortrix*) wird als Protac bereits in der medizinischen Diagnostik eingesetzt [7].

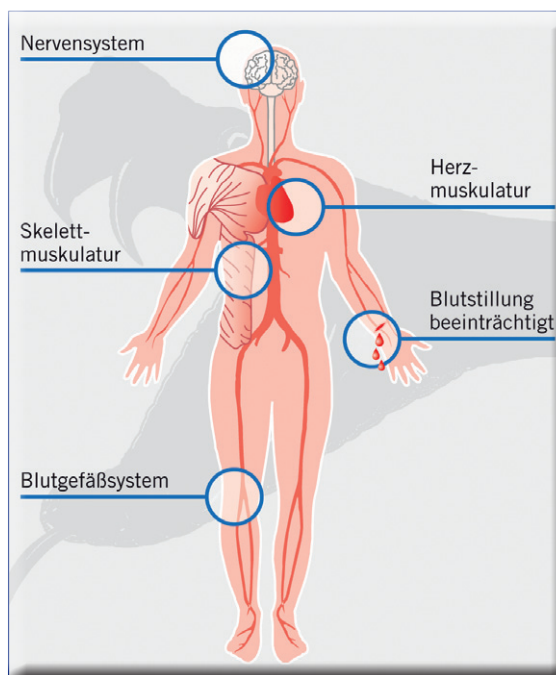
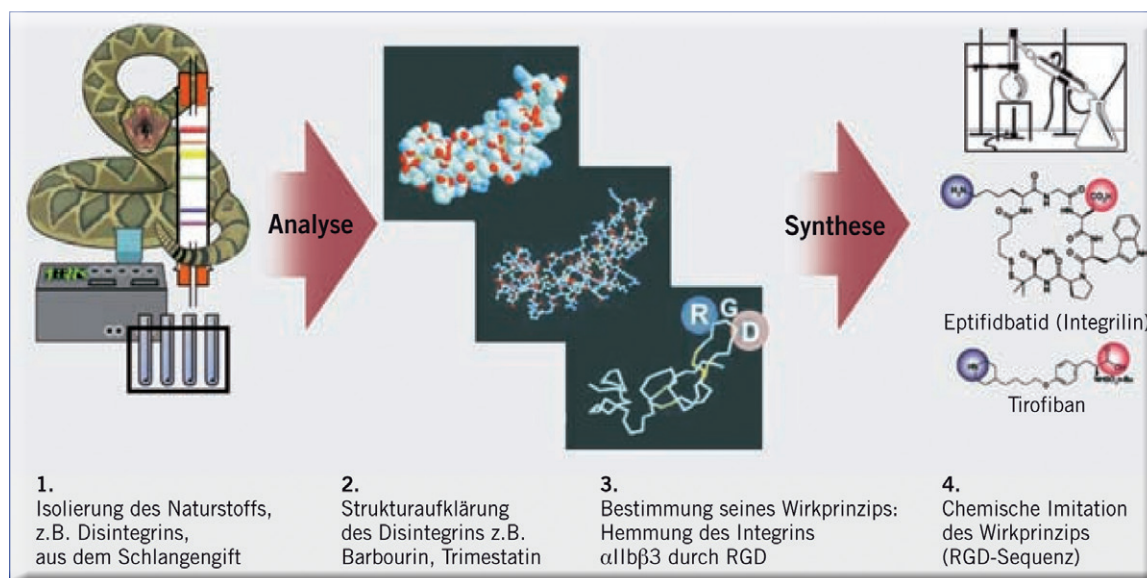


Abbildung 4: Schlangengifte und ihre Wirkungen auf menschliche Organe.

Ebenfalls sehr effektive Blutgerinnungshemmer sind Bindeproteine (BP), die inhibierend mit den Gerinnungsfaktoren IX und / oder X interagieren. Solche Faktor-IX / X-Bindeproteine (FIX / X-BP) werden aus den Giften verschiedener Schlangen isoliert. Sie bestehen aus zwei fest miteinander assoziierten Untereinheiten, die eine Bindungstasche für die Gerinnungsfaktoren bilden. Der pharmazeutische Einsatz dieser Schlangengiftkomponenten beziehungsweise ihrer Mimetika gegen diese Blutgerinnungsfaktoren müsste selektiv und ohne größere Nebenwirkungen möglich sein. Thrombin

Abbildung 5: Der Weg vom Naturprodukt über die Leitstruktur zum Pharmakon. Eine blutstillungshemmende Komponente aus dem Schlangengift, zum Beispiel ein Disintegrin, wird biochemisch isoliert und analysiert. Mithilfe des gereinigten Proteins kann die Struktur aufgeklärt werden. Durch Bestimmung der Bindungsstelle für die Zielstruktur, zum Beispiel das α IIb β 3 Integrin, kann das Wirkprinzip der Schlangengiftkomponente bestimmt werden, so zum Beispiel die Proteinschleife mit der Aminosäuresequenz Arginin-Glycin-Aspartat (RGD). Dieses Wirkprinzip dient als Leitstruktur, die durch chemisch synthetisierte Pharmaka imitiert wird.



ist die Zielstruktur inaktivierender Thrombin-Bindeproteine verschiedener Schlangen, zum Beispiel des Bothrojaracins aus *Jararaca (Bothrops jararaca)* und des Bothroalernins der Halbmond-Lanzenotter (*Bothrops alternatus*).

Hilfe bei Herzinfarkt und Schlaganfall

Von sehr großer medizinischer Bedeutung für die Entwicklung von Fibrinolytika sind dagegen Fibrin(ogen)abbauende Proteasen aus Schlangengiften [6]. Viele der bislang isolierten Fibrinogenasen bauen das Fibrinogen beziehungsweise Fibrin zu Fragmenten ab, die kein Fibrinnetzwerk aufbauen können und sogar die Ausbildung des Maschenwerks aus thrombingespalteten Fibrinmolekülen stören (Abbildung 2). Wegen dieser Eigenschaft und ihrer Fähigkeit, fibrinhaltige Blutgerinnsel aufzulösen, dienen sie der Entwicklung von Fibrinolytika zum Einsatz bei Herzinfarkt oder Schlaganfall. So wird die Fibrolase aus dem Kupferkopf (*Agkistrodon contortrix contortrix*) in einer leicht modifizierten Form gentechnologisch als Alfimprose hergestellt. Ihre klinische Anwendung wird derzeit erprobt. Ancrod aus dem Gift der Malaien-Mokassinotter (*Calloselasma rhodostoma*) ist in klinischer Prüfung.

Eine große Zahl von Schlangengiftkomponenten sind antagonistisch gegen Oberflächenrezeptoren von Blutplättchen gerichtet [1], [8]. Insbesondere Disintegrine, die gegen den Fibrin(ogen)-Rezeptor gerichtet sind, sind in fast jedem hämorrhagischen Schlangengift enthalten und sind sehr gut erforscht [9]. Sie enthalten als integrinhemmendes Motiv die Peptidsequenz Arginin Glycin-Aspartat (im Einbuchstabencode der Aminosäuren: RGD) in einer Proteinschleife. Sie wurden zur Ausgangsverbindung bei der Entwicklung einer neuen Generation von Antithrombotika, zum Beispiel Aggrastat (Tirofiban) und Integrilin (Eptifibatid) [2].

Während die meisten RGD-haltigen Disintegrine am Fibrinrezeptor angreifen, der nur in aktivierten Plättchen an Fibrin bindet, sind andere Giftkomponenten gegen Rezeptoren gerichtet, die an früheren Schritten der Plättchenaktivierung oder gar an deren Auslösung beteiligt sind. Beispiele für solche „frühen“ Zielstrukturen der Plättchenaktivierung sind die Rezeptoren für vWF oder Kollagen. Bei der Suche nach Hemmstoffen gegen das kollagenbindende Integrin $\alpha_2\beta_1$ ist man mittlerweile in drei Schlangengiften fündig geworden und hat die drei Inhibitoren, EMS16, Rhodocetin und VP12, isoliert. Sie gehören alle zur Familie der C-TypLektin-ähnlichen Proteine [10]. Von den beiden erstgenannten liegen bereits Kristallstrukturen vor. Dies lässt hoffen, ihre Hemmeigenschaft durch synthetische Inhibitoren imitieren zu können und so die kollageninduzierte Plättchenaktivierung zu unterbinden.

Die Natur inspiriert neue Leitstrukturen

Die faszinierende Vielfalt von Stoffen, die im Schlangengift synergistisch die Blutstillung hemmen, basiert auf einem Kanon bestimmter Proteinfaltungsmodule, die in vielfältiger Variation gegen verschiedene Gerinnungsfaktoren und Thrombozytenrezeptoren gerichtet sind [4]. Die molekularen Strukturen dieser Module zu kennen, ist notwendig, um ihre pharmakologischen Wirkprinzipien zu entschlüsseln. Daraus abgeleitete Leitstrukturen erlauben Chemikern und Pharmazeuten, neue Antikoagulantien, Antithrombotika und Fibrinolytika zu entwickeln. Durch Modifikation und Variation der Leitstruktur wird die Pharmakokinetik und -dynamik synthetischer Mimetika gegenüber den Naturstoffen verbessert (Abbildung 5). Dass dies praktisch möglich ist, zeigt das Beispiel der neuartigen Antithrombotika, die auf den RGD-haltigen Disintegrinen basierend gegen den Fibrin(ogen)-Rezeptor der Blutplättchen zielen. Auf diese Weise können die über Jahrtausende evolutionär gereiften Schlangengifte mit ihrer hohen Spezifität und Effektivität zum medizinischen Nutzen verwendet werden. Die Natur macht es uns vor – wir müssen nur von ihr lernen. **CLB**

Literatur

- [1] Andrews, Robert K. & Berndt, Michael C. (2000): Snake venom modulators of platelet adhesion receptors and their ligands; *Toxicon*, 38, 775 – 791.
- [2] Casserly, I. P. & Topol, E. J. (2002): Glycoprotein IIb) IIIa antagonists – from bench to practice *Cell. Mol. Life Sci.*, 59, 478 – 500.
- [3] Mosesson, M. W. (2005): Fibrinogen and fibrin structure and functions; *J. Throm. Haemost.*, 3, 1894 – 1904.
- [4] Eble, Johannes A. (2010): Matrix Biology meets Toxinology; *Matrix Biol.* 29(4), 239 – 247.
- [5] Lu, Q., Clementson, M. & Clementson, J. (2005): Snake venoms and hemostasis; *J. Thromb. Haemost.*, 3, 1791 – 1799.
- [6] Swenson, S. & Markland, F. S. Jr (2005): Snake venom fibrin(ogen)olytic enzymes; *Toxicon*, 45, 1021 – 1039.
- [7] Marsh, Neville A. (2001): Diagnostic uses of snake venom; *Haemostasis*, 31, 211 – 217.
- [8] Wijeyewickrema, Lakshmi C., Berndt, Michael C. & Andrews, Robert K. (2005): Snake venom probes of platelet adhesion receptors and their ligands; *Toxicon*, 45, 1051 – 1061.
- [9] Calvete, Juan Jose, Juárez, Paula & Sanz, Libia (2009): Snake venomomics and disintegrins, Portrait and evolution of a family of snake venom antagonists. In: Mackessy, S. P. (ed.) *Handbook of venoms and toxins of reptiles* CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA. S. 333 – 353.
- [10] Eble, Johannes A., Niland, Stephan, Bracht, Thilo, Mormann, Michael, PeterKatalinic, Jasna, Pohlentz, Gottfried & Stetefeld, J. (2009): The $\alpha_2\beta_1$ integrin-specific antagonist rhodocetin is a cruciform, heterotetrameric molecule; *FASEB J.*, 23, 2917 – 2927.

Das Online-Magazin für Labor und Analytik

Kontakt Newsletter Anzeigen schalten Über uns FAQ Shop

Labor Magazin ANALYTIK NEWS

++ ANALYTIK NEWS Aktuell ++ Produkte Stellenangebote Veranstaltungen Nachrichten Fachartikel Links

Das Online-Labormagazin ANALYTIK NEWS ist eine Zeitschrift der Dr. Beyer Internet-Beratung und bietet seit 1998 tagesaktuelle, unabhängige, redaktionell geprüfte Informationen aus den Bereichen Labor und Analytik.

In unseren wöchentlichen Email-Newslettern informieren wir mehr als 30.000 Anwender im deutschsprachigen Raum über Produktneuheiten, Nachrichten, Fachartikel, Veranstaltungen, Stellenangebote und vieles mehr aus Labor, Chemie, Pharma, Life Science, Biotechnologie, Biologie, Medizin und Materialforschung.

Produktneuheiten alle Anzeigen schalten

Aktuelle Neuheiten aus Labor, Analytik und Messtechnik inklusive Laborsoftware und Qualitätskontrolle

- Wie Millipores Wasseraufbereitungssysteme die Arbeit im Labor rationalisieren
- TemPro Spektrometer - Fluoreszenzlebensdauermessungen für jedes Labor leicht gemacht
- Tischzentrifugen ROTINA 380 / 380 R setzen Maßstäbe in Kapazität und Effizienz
- Ministat® - Maßstab der Kompaktthermostate

Stellenangebote alle Stellenanzeige schalten

Aktuelle Jobs für Chemiker, Biologen, Ingenieure, Analytiker, Laborleiter, Laboranten und Techniker

Chemielaborant, CTA (m/w)

Teamleitung Qualitätskontrolllabor Pharmaproduktion (m/w)

Mitarbeiter Qualitätsmanagement - Auditierung und Zertifizierung (m/w)

© 2000-2010 Dr. Beyer Internet-Beratung Kontakt Newsletter Anzeigen schalten Über uns FAQ AGB Impressum

Was Sie bei uns finden

- E-Mail-Newsletter und RSS-Feeds
- Produktneuheiten
- Nachrichten und Fachbeiträge
- Stellenmarkt
- Veranstaltungskalender
- Laborbranchenbuch „LabFirms“
- Diskussionsforum und Gebrauchtes
- Linksammlung und Suchmaschine

www.analytik-news.de

Besuchen Sie uns am 19. April auf der Life-Science Jobmesse „CONTACT2011“ im DKFZ in Heidelberg.

Meist reserviert für resistente Keime

Neue Antibiotika: Leitstrukturen und Angriffspotenziale

Mechthild Kässer, Diekholzen

Schon seit Jahren fordert die Medizin die Entwicklung neuer Antibiotika, nur so könne sie ihre knappe Überlegenheit im ständigen Kampf mit den Bakterien behaupten. Insbesondere machen ihr Keime zu schaffen, die gelernt haben, sich der Antibiotika zu erwehren und zu überleben. Um auch diese resistenten Erreger abzutöten, wären Antibiotika mit völlig neuen Leitstrukturen und Wirkmechanismen vonnöten. In den letzten zehn Jahren wurden einige solcher Medikamente zugelassen. Sie stehen jedoch nicht zur breiten Anwendung zur Verfügung, sondern bereichern das Arsenal der Reserve-Antibiotika, die nur in ganz speziellen Fällen z. B. bei Infektionen mit nachgewiesenen, mehrfach resistenten Keimen eingesetzt werden dürfen.

Noch vor wenigen Jahrzehnten war man überzeugt, alle bakteriellen Infektionskrankheiten mit Antibiotika in den Griff zu bekommen. Und tatsächlich sind Penicillin und seine Nachfolger wahre Wunderwaffen. Gemäß einer Einschätzung amerikanischer Infektiologen [1] erhöhten sie die Lebenserwartung in westlichen Ländern um rund zehn Jahre; nicht nur durch Bekämpfung von Tuberkulose, Typhus, Wundinfektionen und andern durch Bakterien ausgelösten Leiden; es wurden auch Organverpflanzungen und ähnlich schwere chirurgische Eingriffe selbstverständlich, die ohne Antibiotika nur die wenigsten Menschen überstehen könnten, schon gar nicht geschwächte oder ältere Patienten. Daher stehen Infektionskrankheiten als Todesursache heute in Deutschland weit hinter den Herz-Kreislauf-Krankheiten und Krebs. Weltweit liegen sie jedoch an der Spitze.

Resistenzen

Schon der Entdecker des Penicillins, Sir Alexander Fleming, beobachtete, dass einige seiner



Die Autorin:

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

Bakterienkulturen gegen Penicillin allmählich unempfindlich wurden. Widerstandsfähige Keime tauchten im Lauf der Zeit auch bei allen folgenden bakterienbekämpfenden Wirkstoffen auf. Die Keime weichen der Gefahr aus, indem sie entweder das Antibiotikum zerstören oder sogleich aus der Zelle hinausbefördern, oder sie mutieren und verändern die Struktur, an der das Gift ansetzt, so dass der Angriff ins Leere geht. Und sie geben diese erworbenen Fähigkeiten an andere Mikroben bereitwillig weiter. Als Folge verbreiten sich multiresistente Erreger, wie die viel zitierten „Methicillinoder Vancomycin-resistenten Staphylokokken (MRSA bzw. VRSA)“ oder „Vancomycin resistenten Enterokokken (VRE)“. Sie sind in den vergangenen 10-15 Jahren zu einem ernststen Gesundheitsproblem geworden. Bedroht sind vor allem Patienten auf Intensivstationen und Menschen mit geschwächtem Immunsystem. Die meisten Schwierigkeiten tauchen da auf, wo auch die größten Mengen von Antibiotika verwendet werden. Besonders schlimm scheint es die USA getroffen zu haben. In einem Kommentar zu einer entsprechenden JAMA-Studie [2] hieß es schon 2007, dass in den USA jedes Jahr mehr Personen an einer Infektion mit MRSA sterben als an Aids. Auch in Deutschland liegt der Verbrauch hoch. Etwa 250-300 Tonnen Antibiotika werden jedes Jahr verschrieben, die in der Nutztierhaltung eingesetzten Mengen nicht inbegriffen [3]. 2010 schätzten Mediziner die Zahl der Infektionen auf 400 000 und die der Todesfälle durch multiresistente Erreger auf 10 000 im Jahr. Die resistenten Keime seien bereits sehr weit in der Bevölkerung verbreitet [4].

Inzwischen gibt es einige Zeichen des Umdenkens: Immer mehr Krankenhäuser entdecken die Hygiene wieder und fordern von ihrem Personal systematisches häufiges Händewaschen. Einige Hausärzte werden zurückhaltender bei der Verordnung, versichern sich erst durch einen Test, ob eine Infektion durch Bakterien verursacht ist, oder weichen auf andere Medikamentengruppen aus. Auch die Erforschung von Phagen, der natürlichen Feinde der Mikroben, hat Auftrieb bekommen. Trotz dieser Alternativen bleibt der Ruf der Mediziner nach neuen Antibiotika unvermindert drängend, auch wenn seit einigen Jahren

Einführung	Markenname	Hersteller	Wirkstoff	Antibiotika-Klasse	Verwendung
2001	Ketek	Sanofi-Aventis	Telitromycin	Ketolid	
	Zyvoxid	Pfizer	Linezolid	Oxazolidinon	Reserve-Antibiotikum
2002	Invanz	MSD	Ertapenem	Carbapenem	Reserve-Antibiotikum
2006	Cubicin	Cubist, Novartis	Daptomycin	zykl. Lipopeptid	Reserve-Antibiotikum
	Tygacil	Wyeth	Tigecyclin	Glycylcyclin	Reserve-Antibiotikum
2007	Altargo	GlaxoSmithKline	Retapamulin	Pleuromutilin	lokal
2008	Doribax	Johnson & Johnson	Doripenem	Carbapenem	Reserve-Antibiotikum
2009	Cayston	Gilead	Aztreonam	Monobactam	inhalativ

Tabelle 1: Fünf der seit 2001 zugelassenen Antibiotika gehören neuartigen bzw. völlig neuen Klassen an.

Neuentwicklungen (Abb. 1) auf dem Markt sind, die selbst Mehrfachresistenzen brechen, und weitere sollen kurz vor ihrer Zulassung stehen.

Suche nach neuen Wirkstoffen

Die Mehrzahl der Antibiotika sind nur Varianten bereits eingeführter Medikamentenklassen wie β -Lactamen, Fluorochinonen oder Makroliden. Vor allem die besonders mutationsfreudigen multiresistenten Bakterien kennen sie also schon und bleiben oft unbeeindruckt. Daher gilt es, nach Wirkstoffen zu fahnden, die sich in ihrer Struktur und ihren Angriffszielen grundlegend von bereits eingeführten Antibiotika unterscheiden. Fünf solcher neuer Antibiotika-Klassen sind im letzten Jahrzehnt zur Behandlung eingeführt worden: Ketolide, Oxazolidinone, zyklische Lipopeptide, Glycylcycline und Pleuromutiline. (Tab. 1)

Quellen

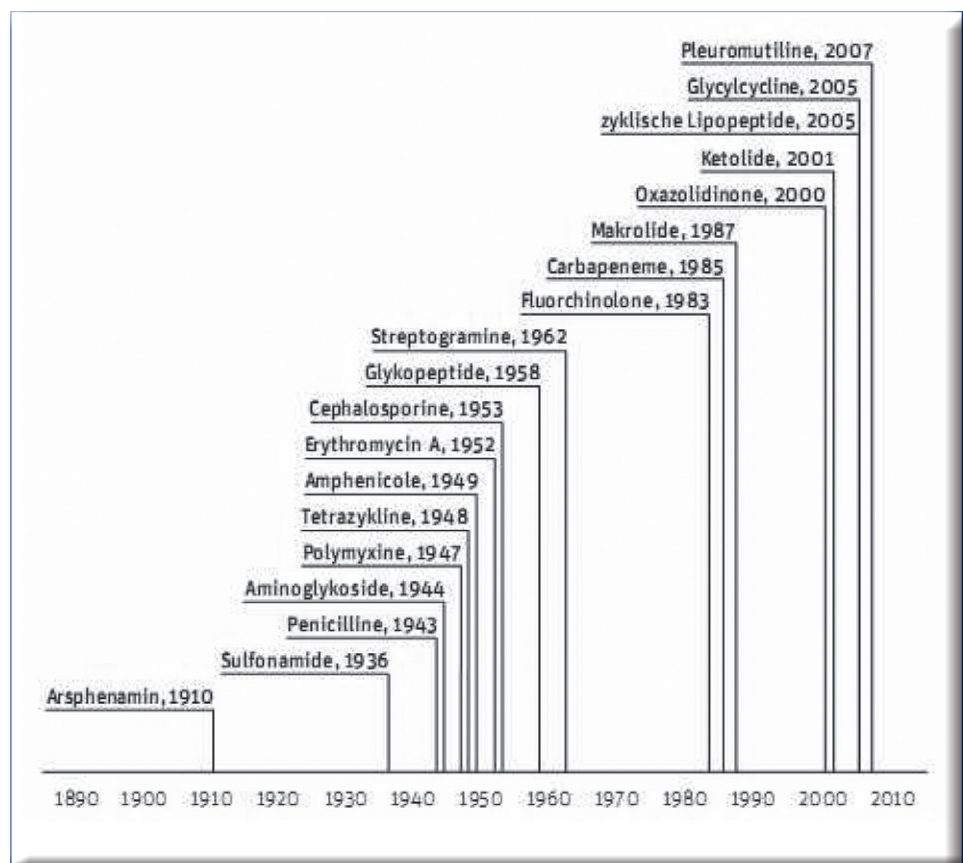
Antibiotisch wirkende Substanzen finden wir in allen Arten von Lebewesen. Besonders einfallsreiche Produzenten sind Bakterien selbst, schließlich müssen sie sich ständig gegen konkurrierende Artgenossen behaupten. Auch Pilze und Insekten, Frösche und höhere Tiere bis hin zum Menschen schützen sich durch spezielle antibakterielle Kampfstoffe, die Teil des angeborenen Immunsystems sind. Solche körpereigenen Defensine bestehen aus Peptiden und werden besonders von Haut und Oberflächen der Atemund Harnwege, des Darms und von Schweiß- und Tränenröhren abgesondert.

Um unter Naturstoffen neue Antibiotika aufzuspüren, durchmustern besondere Labore täglich Tausende von bekannten und neu entdeckten Substanzen auf Aktivität. Die Proben stammen selbst aus den entlegensten Teilen der Erde, aus der Tiefsee, aus Salzseen, Gletschern und Wüsten. Die Entdeckung einer ganz neuen Klasse von Antibiotika mit einem neuartigen Wirkmechanismus ist jedoch ein äußerst seltenes Ereignis.

Anforderungen an neue Antibiotika

Von allen neu entdeckten antibiotisch wirkenden Stoffen kommen für den Menschen nur solche in engere Wahl, die menschliche Zellen nicht schädigen. Zum Glück bieten die Unterschiede

Abbildung 1: Seit den 60er Jahren kamen verhältnismäßig wenige neue Antibiotika auf den Markt [5] (Quelle: vfa).



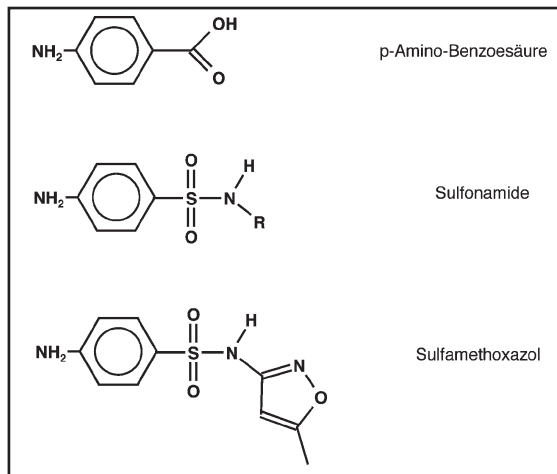


Abbildung 2: Sulfonamide verdrängen die ähnlich gebaute p-Amino-Benzoessäure und verhindern so, dass Bakterien die lebenswichtige Folsäure bilden können.

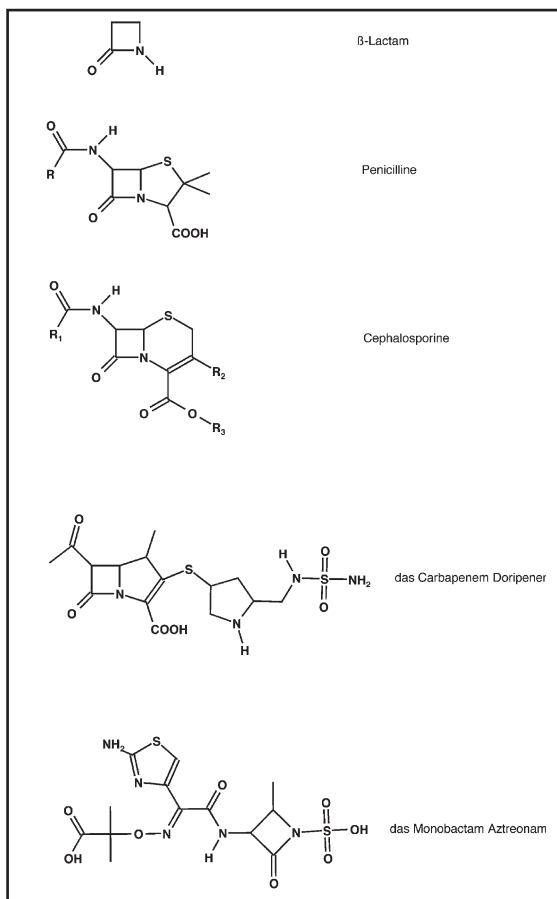


Abbildung 3: Von β -Lactam leitet sich eine große und wichtige Antibiotika-Klasse ab, die Penicilline, Cephalosporine, Carbapeneme und Monobactame umfasst.

zwischen den verhältnismäßig einfach organisierten Bakterien und den menschlichen Zellen mit einem echten Zellkern ausreichend Spielraum. Für Bakterien typische und lebenswichtige Strukturen als Angriffspunkte sind z. B. die Ribosomen der Proteinsynthese und die Enzyme der DNS-Verdopplung, die sich von den menschlichen unterscheiden, oder das Murein der Zellwand, das

unter allen Lebewesen nur Bakterien herstellen. Zu den dankbaren Zielen zählen auch die Enzyme der Folsäure- oder Vitamin B₁₂-Synthese; sie fehlen in menschlichen Zellen.

Leitstrukturen

Die Aufklärung der Struktur neugefundener antibiotischer Verbindungen liefert ab und zu neue **Leitstrukturen**. Das sind Grundgerüste, die für die antimikrobielle Eigenschaft entscheidend ist, wie β -Lactam-, Tetrazyklin- oder Oxazolidinon-Strukturen. Die gefundenen Wirkstoffe sind meist nicht als Medikament geeignet. Manche sind im menschlichen Körper nicht ausreichend stabil oder nicht wasserlöslich genug oder sie haben zu starke Nebenwirkungen. Daher werden sie chemisch verändert und für ihre Anwendung als Antibiotikum optimiert.

Antibiotika bilden eine sehr umfangreiche Medikamentengruppe. Um einen Überblick zu geben, sollen hier ihre wichtigsten Leitstrukturen vorgestellt werden.

Sulfonamid-Antibiotika

Sie sind die ersten Antibiotika, die entdeckt wurden. Ursprünglich wurden sie als orale Antidiabetika eingesetzt.

Sulfonamide hemmen die lebenswichtige **Synthese von Folsäure**. In den entsprechenden Enzymen besetzen sie die Bindungsstelle für p-Aminobenzoessäure und verdrängen diese wegen ihrer chemischen Ähnlichkeit (Abb. 2). Als Folge wird die Bildung von Tetrahydrofolsäure, die Bakterienzellen für die DNS-Synthese benötigen, blockiert.

Vertreter der Sulfonamide sind Sulfamethoxazol, Sulfadoxin, Sulfacarbamid und Sulfasalazin.

β -Lactam-Antibiotika

Gemeinsam ist dieser Klasse der β -Lactam-Ring (Abb. 3). Zu ihnen gehören: Penicilline, Cephalosporine, Carbapeneme sowie Monobactame.

β -Lactame zielen auf die bakterielle Zellwandsynthese. Indem sie eine Bindung mit den penicillinbindenden Proteinen (PBP) eingehen, die für die Quervernetzung der Peptidoglykanketten während der Zellwandsynthese verantwortlich sind, kommt es zu einem Mangel an PBP bei Wachstum und Zellteilung, es entstehen Löcher in der Zellwand, das Bakterium wird lebensunfähig.

Das erste aus der belebten Natur gewonnene Antibiotikum war das 1940 isolierte β -Lactam Penicillin. Sein Name gilt zum Teil heute noch als Synonym für Antibiotikum.

Die Wirksamkeit der β -Lactame ist z. T. eingeschränkt, denn einige Bakterien sind in der Lage, den entscheidenden β -Lactam-Ring mit einer

β -Lactamase zu spalten. Als Gegenmaßnahme wandelte man die Wirkstoffe ab, fügte voluminöse Seitenketten ein, die den Zutritt des Enzyms sterisch hindern. Oder man hemmt es mit Zusätzen wie Clavulansäure.

β -Lactam-Antibiotika werden heute überwiegend halbsynthetisch hergestellt.

Eine Weiterentwicklung sind die Carbapeneme und Monobactame. Die neuen Carbapeneme Doripenem (Doribax) und Ertapenem (Invanz) wirken breitbandig und werden als Reserveantibiotika nur eingeschränkt gegen Krankenhausinfektionen durch *Pseudomonas aeruginosa* verwendet.

Das Monobactam Aztreonam, 1986 eingeführt und selten benutzt, lebte 2009 unter dem Namen Cayston neu auf. Es ist als Antibiotikum zur Inhalation bei Mukoviszidose zugelassen, wenn andere Präparate wegen Resistenzen von *Pseudomonas aeruginosa* versagen.

Aminoglykosid-Antibiotika

Wie der Name schon sagt, bestehen sie aus mehreren, verschiedenen Aminozuckern, oft mit Cyclohexan-Bausteinen. (Abb. 4) Sie hemmen die Eiweiß-Synthese ruhender und sich teilender Keime, indem sie an die Ribosomen – genauer an die 30 S-Untereinheit – ankoppeln, so dass die Boten-RNS falsch abgelesen wird. Es entstehen fehlerhafte Eiweiße, das Bakterium wird lebensunfähig.

Das erste Aminoglykosid-Antibiotikum war Streptomycin. Es wurde 1944 von Selman Waksman entdeckt und erlangte Bedeutung als Tuberkulose-Medikament.

Später wurden weitere ähnliche Verbindungen aus Actinomyceten isoliert. Wegen ihrer Schädlichkeit für Nieren und Innenohr dürfen einige (Neomycin, Kanamycin) nur lokal in Tropfen oder Salben eingesetzt werden.

Polypeptid-Antibiotika

Die wichtigsten Vertreter dieser Klasse sind die aus verschiedenen Stämmen des Bodenbakteriums *Bacillus polymyxa* stammenden Polymyxine. 1947 entdeckt, gewannen von ihnen nur Polymyxin B und Colistin (Polymyxin E) (Abb. 5) therapeutische Bedeutung gegen einige gramnegative Bakterien, einschließlich multiresistenter Erreger wie Acinetobacter oder Pseudomonas-Arten. Wegen ihrer Giftigkeit für Nieren und Nerven werden sie nur lokal angewandt bzw. nur im äußersten Notfall auf Intensivstationen gegen multiresistente gramnegative Erreger eingesetzt.

Polymyxine sind aufgebaut aus einem Ring aus Aminosäuren mit mehrfacher positiver Nettoladung und einem Fettsäureschwanz und wirken wie Detergerzien. Sie binden an die äußere Zellmembran gramnegativer Bakterien und zerstören

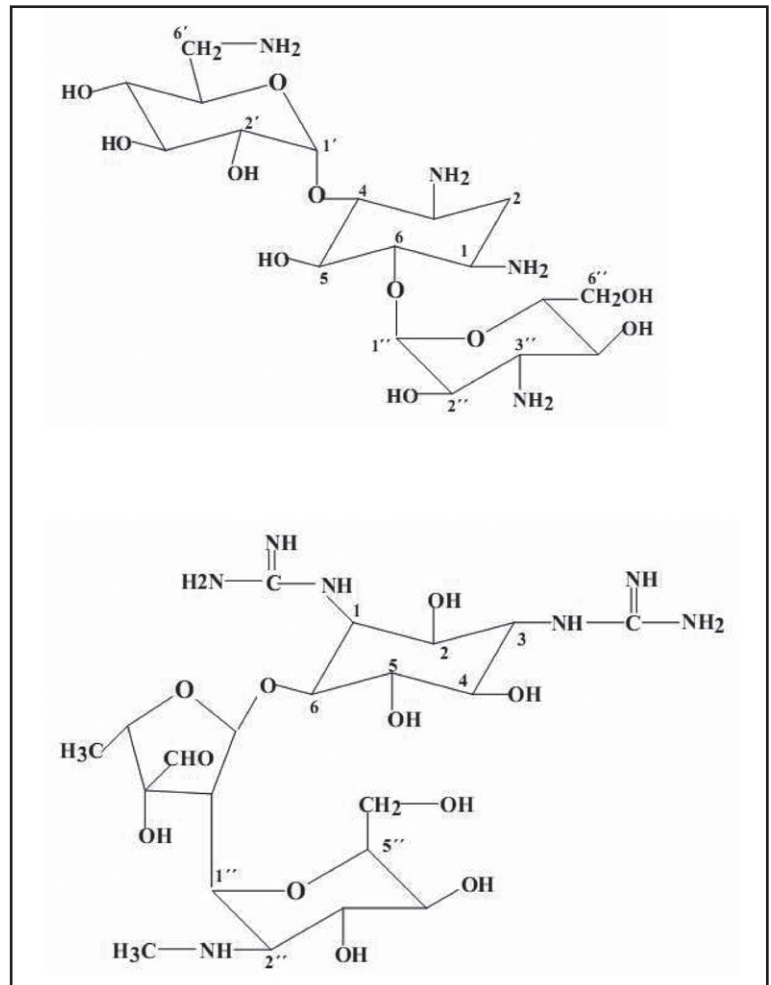


Abbildung 4: Die Aminoglykoside Kanamycin A (aus Desoxystreptamin, 6-Amino-6-desoxy-D-glucose und 3-Amino-3-desoxy-d-glucose) oben und Streptomycin A unten.

dort das Phospholipid-Gerüst, so dass Wasser ungehindert einströmt und die Zelle stirbt.

Polypeptid-Antibiotika sind auch Bacitracin und Tyrothricin. Sie werden ebenfalls nur lokal angewandt.

Polyketid-Antibiotika:

Zu dieser Klasse gehören Tetracykline (1948), Makrolide (Erythromycin A, 1952) und die neuen Abkömmlinge Ketolide (2001) und Glycylcycline (2006)

Abbildung 5: Das Polypeptid-Antibiotikum Colistin [6].

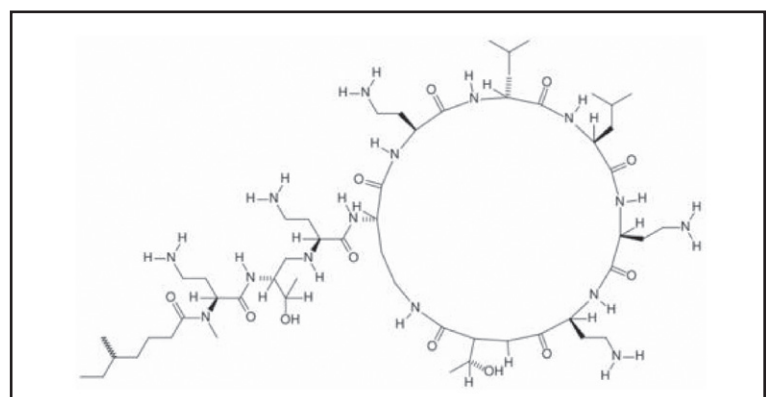
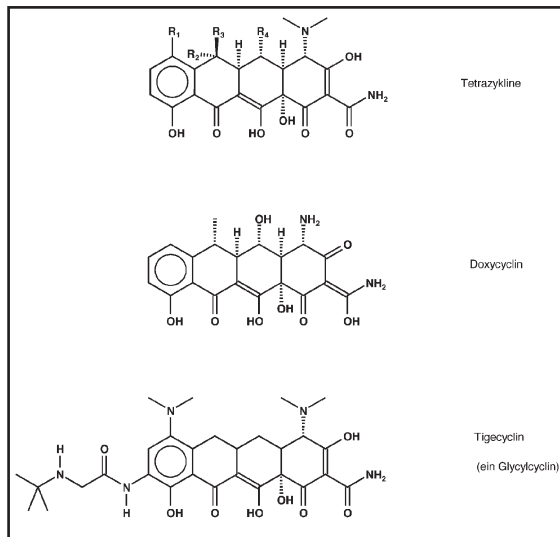


Abbildung 6: Zu den Tetrazyklinen kann man auch die Glycylcycline rechnen. Für sie ist die Glycylamido-Seitenkette am aromatischen Ring des Grundgerüsts charakteristisch.



Tetrazyklone (Abb. 6) waren die ersten Breitband-Antibiotika. Sie wurden ursprünglich aus *Streptomyces*-Arten isoliert; die heutigen Medikamente sind chemisch optimierte Derivate dieser Stoffe. Bekannt ist vor allem Doxycyclin. Tetrazyklone verhindern, dass sich in den bakteriellen Eiweißfabriken Aminoacyl-t-RNS an die 30 S-Untereinheit der Ribosomen anlagert. Dadurch kommt es zum **Abbruch der Peptidkette** und Mangel an lebenswichtigen Eiweißen. Da Tetrazyklone auch mit mehrwertigen Metallionen Komplexe bilden, sollten sie zeitlich getrennt von calciumhaltigen Lebensmitteln (Milchprodukte) und Eisen oder Magnesiumpräparaten eingenommen werden.

Auch die **Makrolid-Antibiotika** stören die Proteinsynthese. Sie greifen die 50 S-Ribosomen-Untereinheiten an und verhindern, dass neu gebildete Peptidketten das Ribosom verlassen. Dadurch bricht ebenfalls die Biosynthese ab.

Typisch für Makrolid-Moleküle ist ein Lactonring (Ring mit intramolekularer Estergruppe), der aus acht und mehr Gliedern bestehen kann. Ein Beispiel ist Erythromycin A (Abb. 7).

Abbildung 7: Erythromycin A, ein Vertreter der Makrolide [7].

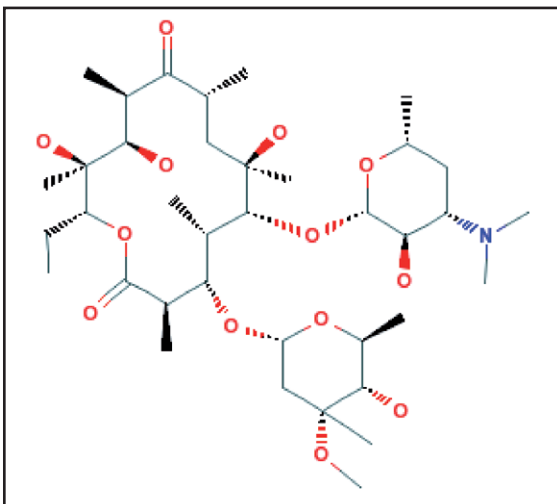


Abbildung 8: Chloramphenicol ist der bekannteste Vertreter der Amphenicole.

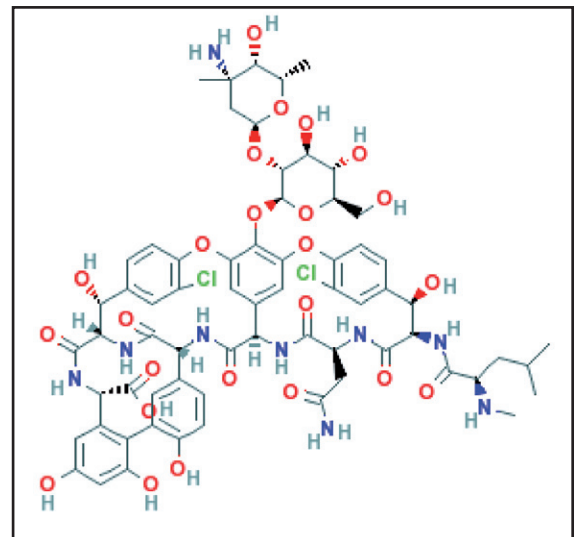
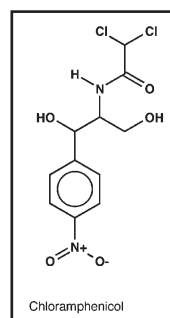


Abbildung 9: Das Glykopeptid Vancomycin [8].

Amphenicole

Ihnen ist die Phenylpropan-Struktur gemeinsam. Der bekannteste Vertreter ist Chloramphenicol (Abb. 8), der heute ausschließlich vollsynthetisch produziert und Augen- und Ohrentropfen zugelegt wird. Amphenicole haben ihre spezielle Art, die **Eiweißherstellung** zu blockieren: Sie drosseln die Aktivität der Peptidyltransferase auf der 50 S-Einheit des Bakterien-Ribosoms.

Glykopeptid-Antibiotika

Glykopeptide bestehen aus einer kurzen Aminosäurekette mit Zuckermolekülen. Wichtigstes Beispiel ist Vancomycin (Abb. 9), das bereits in den 1950er Jahren aus Kulturen von *Streptomyces orientalis* isoliert, aber erst um 1980 eingesetzt wurde. Es galt lange als Reserve-Antibiotikum bei Krankenhausinfektionen durch mehrfachresistente Erreger, ist aber weniger wirksam als das β -Lactam Methicillin und mit schwerwiegenden Nebenwirkungen für Leber und Innenohr verbunden.

Glykopeptid-Antibiotika verhindern den stabilen Aufbau der bakteriellen Zellwand, indem sie mit den Bausteinen Komplexe bilden und so die **Quervernetzung der Zellwand** einschränken mit der Folge, dass die Zelle platzt bzw. die Vermehrung erschwert wird.

Der Wachstumsbeschleuniger Avoparcin, der strukturelle Ähnlichkeit mit Vancomycin hat, wurde in Deutschland bis 1997 in der Tierzucht verwendet und gilt als Auslöser für die Verbreitung Vancomycin-resistenter Enterokokken durch Nahrungsmittel.

Streptogramin-Antibiotika

Diese weniger bekannten Wirkstoffe aus *Streptomyces pristinae spiralis* und ihre Abkömmlinge,

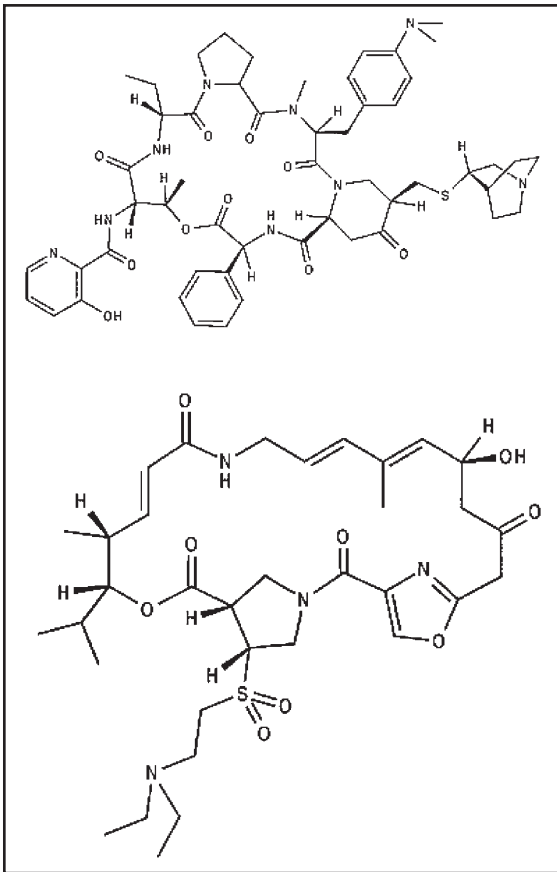


Abbildung 10: Die Streptogramin-Antibiotika Quinupristin oben und Dalfopristin unten werden als Kombipräparat als Synercid® Injektion (Aventis) angeboten.

insbesondere die Kombination Quinupristin / Dalfopristin (1993) (Abb. 10), gewannen Bedeutung, als Penicilline und Makrolide unwirksam wurden. Nachteile sind Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten und Nebenwirkungen wie Muskel- und Gelenkschmerzen. Auch Streptogramine greifen hemmend in die **Eiweißsynthese** ein, indem sie an spezielle Proteine der 50 S-Untereinheit des bakteriellen Ribosoms binden. Empfindlich gegen Quinupristin / Dalfopristin sind vor allem grampositive Kokken, darunter der Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* und der Vancomycin-resistente *Enterococcus faecium*. Das Medikament darf nur von Krankenhäusern bezogen werden und gilt als Notfall-Antibiotikum.

Fluorchinolon-Antibiotika

Die Gruppe der Fluorchinolone (z.B. Ciprofloxacin, Norfloxacin) (Abb. 11) kam ab 1983 auf den Markt. Gemeinsam ist ihr ein 4-Chinolone-Gerüst, oft mit Fluor an Position 6, das die antibakterielle Aktivität stark verbessert. Die breitbandig wirkenden Chinolone verhindern durch Hemmung des **Enzyms Gyrase** die Spiralisierung der Bakterien-DNS, so dass diese nicht mehr korrekt abgelesen werden kann. Die

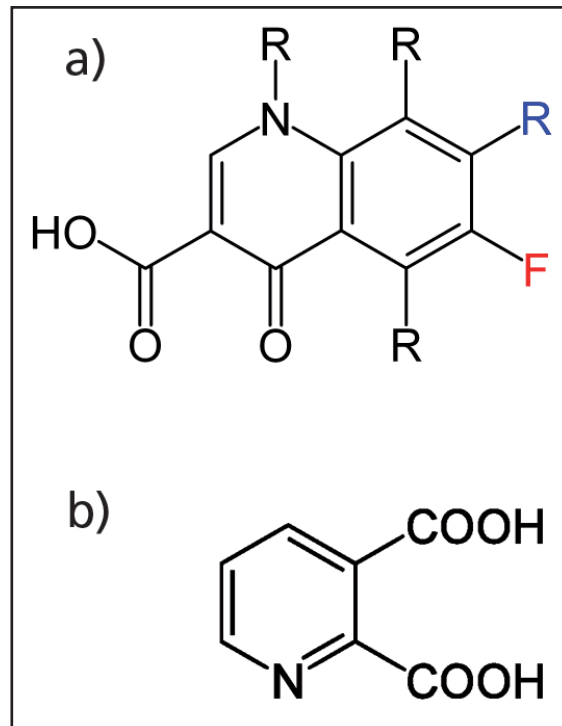


Abbildung 11: Fluorchinolone a) leiten sich von der 4-Chinolonsäure b) ab. Bei Antibiotika vom Typ a) ist der blau gezeichnete Rest R fast immer Piperazin.

Syntheseleistung der Zelle sinkt, das Bakterium stirbt ab.

Sehr bald tauchten (in Deutschland) massiv Resistenzen auf. Hier vermuteten Experten einen Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Fluorchinolonen in der Geflügelmast und der Resistenzentwicklung beim Menschen [5].

In den letzten Jahrzehnten wurden einige neue Leitstrukturen gefunden und daraus neue antibiotische Medikamente entwickelt, von denen viele selbst multiresistente Keime niederbringen. Es sind die Ketolide, Oxazolidinone, die zyklischen Lipopeptide, Glycylcycline und Pleuromutiline.

Ketolid-Antibiotika

Ketolide werden zwar als neue Antibiotika-Klasse ausgerufen, sie leiten sich jedoch von dem Makrolid Erythromycin ab und blockieren wie dieses die **Eiweißfabriken** der Bakterienzelle. Mehrere Ketolide wurden halbsynthetisch hergestellt und stehen in der klinischen Prüfung. Als erstes hat Telithromycin alle Hürden der Zulassung überwunden. Wesentliche Änderung und Verbesserung gegenüber Erythromycin ist die Ketogruppe an Position C₃ (Abb. 12), die der ganzen Klasse den Namen gegeben hat und die ihr eine außerordentlich hohe Säurestabilität im Magen verleiht. Die Carbamatgruppe, die C₁₁ und C₁₂ verbindet und mit ihnen einen Fünfring bildet, wurde eingeführt, um Resistenzen gegen Makro-

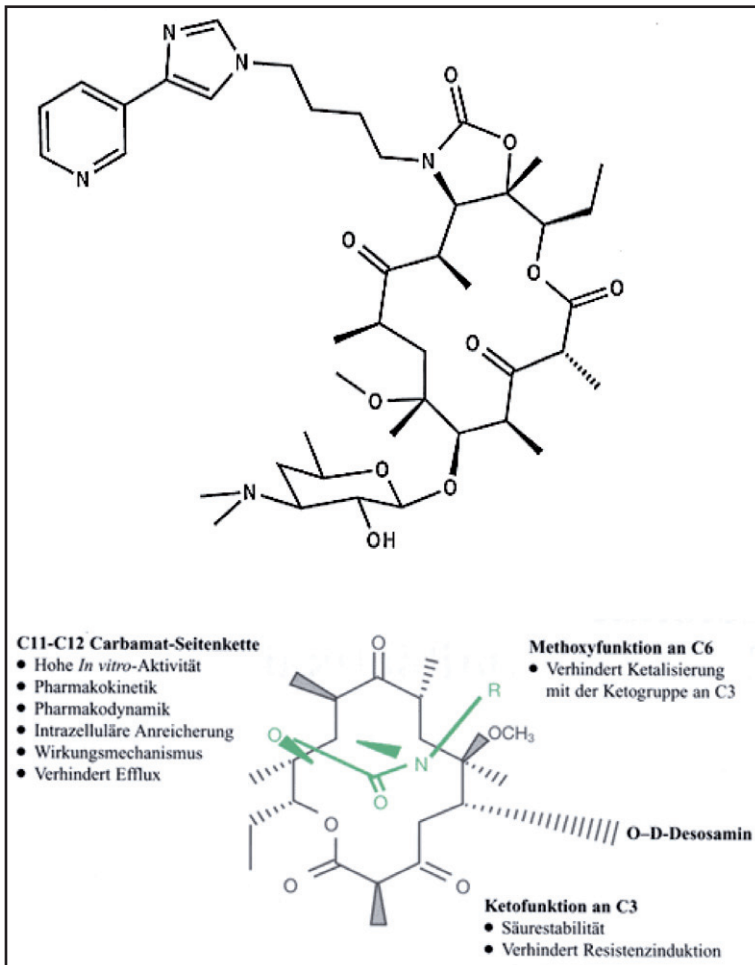


Abbildung 12: oben: Struktur des Ketolids Telitromycin [9]
 unten: Einfluss der verschiedenen chemischen Gruppen auf seine Wirksamkeit [10].

lide auszuschalten. Sie bedingt auch gemeinsam mit der Ketofunktion eine mehr als zehnfach festere Bindung an die ribosomale RNS, als sie bei Makroliden beobachtet wird, und damit eine deutlich größere Wirksamkeit. Eingesetzt wird Telithromycin zur Behandlung von schwacher bis mäßiger, durch resistente *Streptococcus pneumoniae* verursachter Lungenentzündung [10]. Empfindlich reagieren auch grampositive Keime wie Streptokokken und Staphylokokken, Legionellen,

Abbildung 13: Linezolid, das einzige zurzeit zugelassene Oxazolidinon-Antibiotikum.

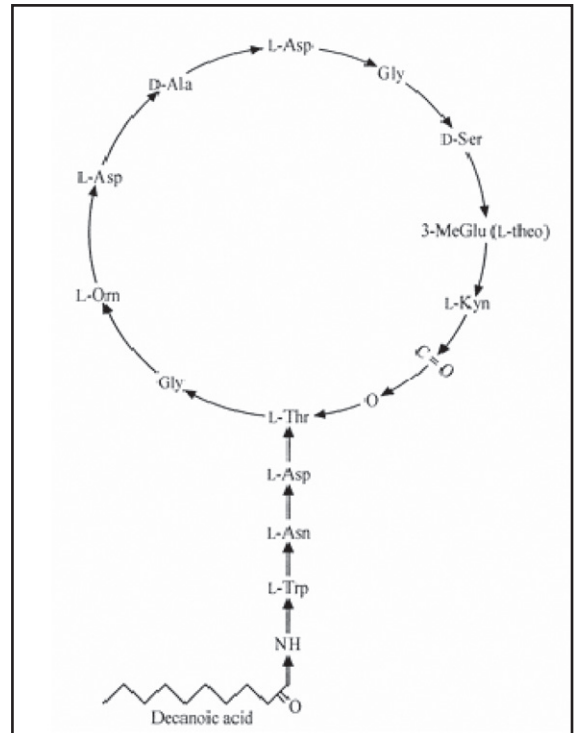
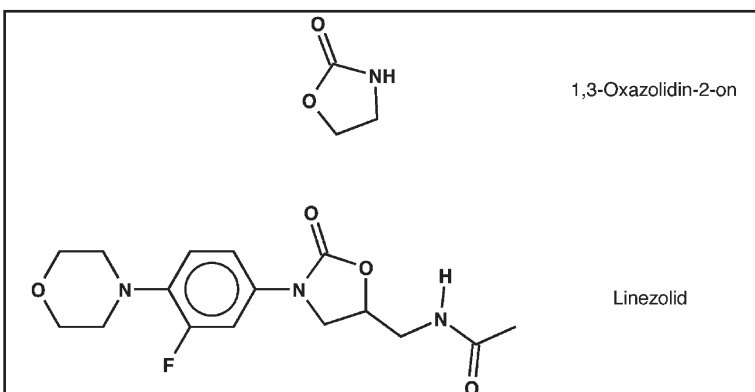


Abbildung 14: Daptomycin, ein zyklisches Peptid aus 13 D und L-Aminosäuren. Die fettliebende Seitenkette endet in einer Decansäure [12].

Chlamydien, Mycoplasmen, Moraxella und Haemophilus.

Oxazolidinon-Antibiotika

Das einzige zurzeit erhältliche Oxazolidinon-Antibiotikum ist Linezolid (Zyvoxid) (Abb. 13), weitere sind in der Entwicklung. Sie stoppen die Eiweißsynthese in einem frühen Stadium, schon vor der Elongationsphase, in der zum Beispiel Makrolide, Tetrazykline, Chloramphenicol oder Aminoglykoside angreifen. Kreuzresistenzen sind daher nicht zu erwarten. Linezolid hat sich als Mittel gegen grampositive Erreger einschließlich der gefürchteten Methicillin- und Vancomycin-resistenten Mutanten bewährt, die unheilbare Lungenentzündungen und Haut- und Weichteilinfektionen auslösen, und gegen multiresistente Tuberkulose-Erreger. Es wird aber als modernes Reserveantibiotikum nur im Krankenhaus und für besonders schwierige Erkrankungen eingesetzt.

Zyklische D,L-Lipopeptide

Das erste Antibiotikum aus der Gruppe der zyklischen Peptide ist Daptomycin (Cubicin), der zurzeit stärkste bakterizide Wirkstoff auf dem Markt (Abb. 14). Er wurde aus *Streptomyces roseosporus* isoliert und wird heute halbsynthetisch hergestellt. Daptomycin hilft bei Infektionen von Haut und Weichteilen, wenn andere Reserveantibiotika versagen, und zwar schneller als Van-

comycin oder Linezolid. Sein Einsatz wird auf Infektionen beschränkt, die nachweislich durch multiresistente grampositive Problemkeime wie MRSA oder VRE verursacht wurden. Kreuzresistenzen mit anderen Klassen sind bisher nicht bekannt.

Von allen natürlichen Peptid-Antibiotika besitzen zyklische D,L- α -Peptide ganz einzigartige Struktureigenschaften. Sie sind aufgebaut aus einem Peptidring und einer Seitenkette, die in einem Lipid endet. Dadurch besitzen sie sowohl wasserliebende als auch wasserabstoßende Bereiche. Der Peptidring wird von einer geraden Anzahl einer Mischung aus Lund D-Aminosäuren gebildet und ordnet sich flach in einer Ebene an. Mehrere dieser flachen Ringe stapeln sich spontan übereinander, so dass dann Nanoröhrchen entstehen [13].

Dank ihrer Lipidseitenketten dringen diese in Bakterienmembranen ein und lassen als Poren Kaliumionen ausströmen (Abb. 15). Das Membranpotential bricht zusammen, wichtige Synthesen von DNS, RNS, und Eiweißen laufen nicht mehr ab. Die Zelle stirbt in kurzer Zeit, jedoch ohne sich aufzulösen. (Abb. 16) Dadurch entstehen auch keine Zellwandbruchstücke, die zu Entzündungen reizen wie etwa unter Einfluss von Vancomycin. Daptomycin senkt sogar die Ausschüttung entzündungsauslösender Zytokine.

Glycylcyclin-Antibiotika

Auch die Glycylcycline wurden als neue Antibiotika-Klasse eingeführt. Sie sind aber nicht gänzlich neu, leiten sie sich doch von den Tetracyklinen ab. (Abb. 6) Wie alle Tetracykline greifen auch Glycylcycline hemmend in die **Eiweißsynthese** der Bakterien ein.

Bei ihrer Entwicklung gelang es, durch Einführung einer Glycylamidogruppe in Position 9 am aromatischen D-Ring wichtige Resistenzen gegen Tetracykline zu überwinden, nämlich die Pumpen, die den Wirkstoff aus der Zelle hinausbefördert, auszuschalten. Nur bei Keimen der Gattung Proteae sowie bei *Pseudomonas aeruginosa* mit ihren besonders effektiven Pumpen funktioniert der Schutz nicht.

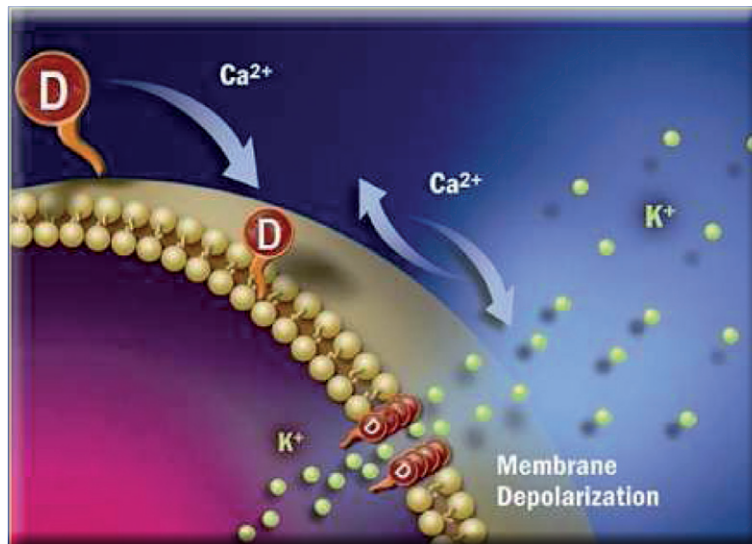
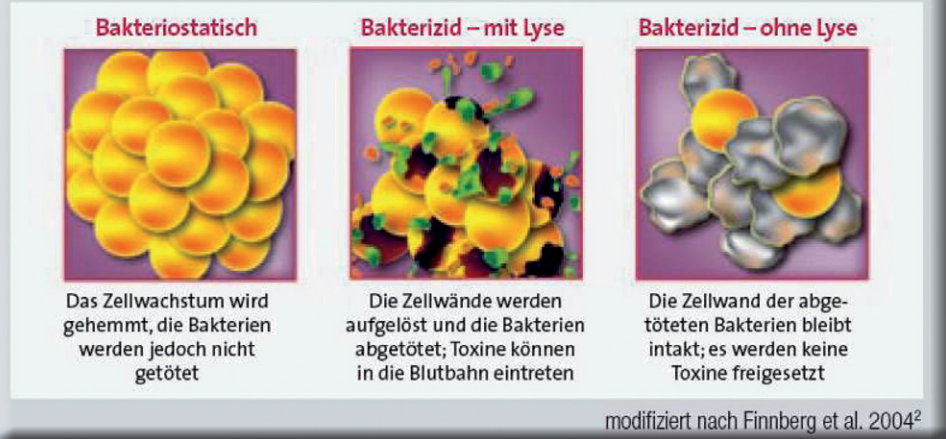


Abbildung 15 (links): Wirkung zyklischer Peptide auf die bakterielle Zellmembran [12].

Abbildung 16 (unten): siehe ebenfalls [12].

Bakterizide Aktivität und Zelllyse im Vergleich



Der erste Vertreter der Glycylcycline ist Tigecyclin (Tygacil). Das intravenös zu verabreichende Präparat verfügt über ein besonders breites Wirkspektrum und hat sich z. B. bei Sepsis bewährt. Es bekämpft erfolgreich multiresistente grampositive und gramnegative Keime (Reserveantibiotikum). Dazu gehören Methicillin- und Glykopeptid-resistente Staphylokokken, Penicillin-resistente Pneumokokken, Glykopeptid-resistente Enterokokken, ESBL*-bildende Enterobacteriaceae, Fluorchinolon-resistente E. coli und multiresistente Acinetobacter. (*extended spectrum β -lactamases)

Pleuromutilin-Antibiotika

Das Diterpen Pleuromutilin wurde Anfang der 50er Jahre aus dem Pilz *Pleurotus mutilus* (heute *Clitopilus scyphoides* oder Trichterförmiger Rösling) isoliert. Es legt bei einer Reihe von grampositiven Bakterien die **Eiweißherstellung** lahm, indem es an einer anderen Stelle an der 50 S-Untereinheit des Ribosoms ansetzt als alle bisher bekannten Antibiotika. Nachdem sich Tiamulin und Valnemulin in der Tiermedizin bewährt ha-

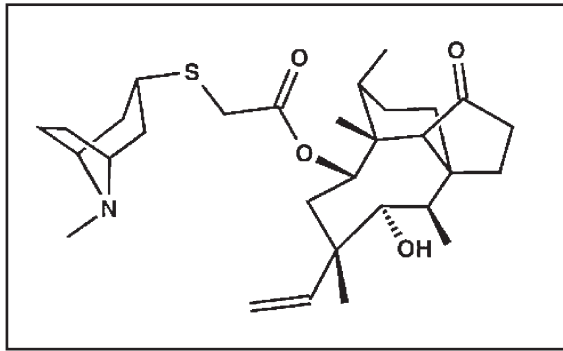


Abbildung 17: Das Pleuromutilin Retapamulin (Altargo®) ist eine trizyklische Diterpen-Verbindung.

ben, steht mit Retapamulin (Altargo) erstmals ein Derivat dieser neuen Antibiotika-Klasse der Humanmedizin zur Verfügung (Abb. 17). Da es im menschlichen Körper sehr schnell abgebaut wird, ist es nur als Wirkstoff in Salben zur Behandlung oberflächlicher Hautinfektionen zugelassen.

Weitere Pleuromutiline könnten folgen: Seit 2005 entwickeln GlaxoSmithKline (GSK) und die TB Alliance gemeinsam ein halbsynthetisches Derivat speziell gegen Tuberkulose-Erreger, das in Zukunft in Kombination mit andern Medikamenten die Behandlungsdauer deutlich verkürzen soll.

Ausblick

In den vergangenen Jahren wurden eine ganze Reihe antibiotisch wirksamer Naturstoffe entdeckt, darunter Eiweiße und Peptide von Pilzen oder Insekten, aber auch völlig ungewöhnlich gebaute Moleküle, wie das schwefelreiche Closthiamid [14] oder Platensimycin, ein Abwehrstoff des Pilzes *Streptomyces platensis* und Hemmer der bakteriellen Fettsynthese [15]. Sie zu Medikamenten zu entwickeln, wird noch etliche Jahre in Anspruch nehmen.

Aber es gibt auch Neuheiten für die nahe Zukunft. Kurz vor der Zulassung stehen einige Antibiotika aus der Gruppe der Lipoglykopeptide: Dalbavancin, Oritavancin and Telavancin.

Sie bestehen aus einem Kern aus sieben Aminosäuren und einer fettliebenden Seitenkette und hemmen den Zellwandaufbau.

Mit Cethromycin steht ein zweites Ketolid in der letzten klinischen Phase, ebenso zwei Cephalosporine der 5. Generation (Ceftobiprol und Ceftaroline) und das Oxazolidinon Torezolid. Bis zur klinischen Prüfung hat es auch Iclaprim geschafft, ein neues Diaminopyridin, das die bakterielle Dihydrofolatreduktase und damit die DNS-Synthese blockiert.

Fast alle genannten Antibiotika wurden als Waffe gegen lebensbedrohende Krankenhaus-

Infektionen durch resistente Keime entwickelt und werden wohl für sie reserviert werden.

Das Auftauchen von Bakterien mit dem „Neu Dehli Metallo- β -Laktamase-1“ (NDM-1)-Gen dieses Jahr zeigt, wie schnell der Vorsprung der Medizin weiter schrumpfen kann: Dieses Gen macht gegen die neuen Carbapeneme unempfindlich. Zudem sitzt es laut Robert-Koch-Institut auf einem mobilen genetischen Element und breitet sich daher besonders leicht aus. Der Ruf nach zusätzlichen neuen Antibiotika wird so bald also nicht verhallen.

CLB

Literatur

- [1] G. R. Donowitz, G. L. Mandell: Beta-Lactam Antibiotics, *N Engl J Med* 318 (1988) S. 419-426
- [2] *Journal of the American Medical Association* 298, 1763–1771, 1803/1804 (2007)
- [3] Erster Antibiotika-Resistenzatlas „Germap 2008“, www.bvl.bund.de/germap2008
- [4] F. Wagenlehner auf dem 62. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Urologie 2010 in Düsseldorf
- [5] <http://www.vfa.de/download/SHOW/de/presse/pressemitteilungen/att-pm-081114/grafik-antibiotikaklassen.pdf>
- [6] <http://wapedia.mobi/de/Polymyxine>
- [7] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?db=pccompound&term=erythromycin+a>
- [8] http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=44263901&loc=ec_rcs
- [9] <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=5462516>,
- [10] W. Graninger: Ketolide eine neue Antibiotikaklasse, *Antibiotika Monitor*, Heft 1/2 (2003)
- [11] BgVV Pressedienst 20.02.2002 <http://www.bfr.bund.de/cd/985>
- [12] mit freundlicher Genehmigung von Novartis
- [13] V. Dartois, J. Sanchez-Quesada, E. Cabezas, E. Chi, Ch. Dubbelde, C. Dunn, J. Granja, C. Gritzen, D. Weinberger, M. Reza Ghadiri, Th. R. Parr Jr.: Systemic Antibacterial Activity of Novel Synthetic Cyclic Peptides, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 49 (2005) S. 3302-3310
- [14] T. Lincke, et. al.: Closthiamide: An Unprecedented Polythioamide Antibiotic from the Strictly Anaerobic Bacterium *Clostridium cellulolyticum*, *Cell Metabolism* (2010)
- [15] J. Wang: Platensimycin is a selective FabF inhibitor with potent antibiotic properties *Nature* 441 (2006) S. 358-361, doi:10.1038/nature04784

SI-Einheiten				
Physikalische Größe	Einheit Name	Symbol	SI-Einheiten	andere bzw. USA-Einheiten
Länge l	Meter Millimeter Mikrometer	m	Basiseinheit mm μm	100 cm; 1,09361 yd; 3,2808 ft 0,1 cm; 0,03937 in 10,000 Å
Fläche A	Quadratmeter Quadratmillimeter		m^2 mm^2	0,01 ar; 10,764 sq ft 0,01 cm^2 ; 0,00155 sq in
Volumen V	Kubikmeter Liter	l	m^3 dm^3	35,3145 cu ft 0,2642 gal
Zeit t	Sekunde	s	Basiseinheit	day = $8,64 \cdot 10^4$ sec.
Masse m	Kilogramm	kg	Basiseinheit	2,2046 lb
Kraft F	Newton	N	kg m s^{-2}	0,102 kp; 10 dyn; 0,2247
Druck p	Pascal Megapascal	Pa Mpa	N/m^2 $\text{N/mm}^2 = 10$ Bar	0,0075 Torr; 2,05 lb/sq ft 10,2 at; 142,23 lb/sq in (Psi)
Energie E	Joule	J	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ (=Nm ²)	0,2388 cal; 0,9476 BTU
Leistung P	Watt	W	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$ (=J s ⁻¹)	$1,3610^{-3}$ PS
Stoffmenge n	Mol	mol	Basiseinheit	val; äq; eq
Massenkonzentration β			kg m^{-3} ; g/l^{-1} ; mg/l	%w/v
Massenverhältnis ζ			kg/kg; g/kg; mg/kg	%w/w; ppm
Volumenverhältnis ψ			$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; 1; ml/l; $\mu\text{l/l}$	vol%; %v/v; ppm
Stoffmengenkonzentration (Molarität) C			mol m^{-3} ; mol/l; mmol/l	M; N; m; n; äq/l
Molalität b			mol kg^{-1} ; mmol/kg	
Katalytische Aktivität	Katal Microkatal Nanokatal	kat μkat nkat	mol s^{-1} $\mu\text{mol s}^{-1}$ nmol s^{-1}	$6 \cdot 10^7 \mu\text{mol/min} = 6 \cdot 10^7 \text{U}$ 1 $\mu\text{kat} = 60 \text{U}$; 1 U = 0,0167 μkat 16,67 nkat = 1 U = 1 $\mu\text{mol/min}$
Viskosität		η	$\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{N m}^{-2} \text{s}$	1000 cP
Lichtabsorption		A	$-\log I/I_0$	E; OD; %A = $100 (1-10^{-A}) = 100\text{-}\%T$

Atomgewichte						Atommassen bezogen auf $^{12}\text{C} = 12,0000$			
Ag	107,868	Cs	132,9054	K	39,098	Pb	207,19	Sr	87,62
Al	26,981	Cu	63,546	Kr	83,80	Pd	106,4	Ta	180,9479
Ar	39,948	Dy	162,50	La	138,9155	Pr	140,9077	Tb	158,9254
As	74,9216	Er	167,26	Li	6,941	Pt	195,09	Tc	98,9062
Au	196,9665	Eu	151,96	Lu	174,97	Pu	244	Te	127,60
B	10,81	F	18,9984	Mg	24,305	Ra	226,02	Th	232,038
Ba	137,34	Fe	55,847	Mn	54,9380	Rb	85,467	Ti	47,90
Be	9,01218	Ga	69,72	Mo	95,94	Re	186,2	Tl	204,37
Bi	208,9804	Ge	72,59	N	14,0067	Rh	102,9055	Tm	168,9342
Br	79,904	H	1,0079	Na	22,9898	Ru	101,07	U	238,029
C	12,011	He	4,0026	Nb	92,9064	S	32,064	V	50,944
Ca	40,08	Hf	178,49	Nd	144,24	Sb	121,75	W	183,85
Cd	112,40	Hg	200,59	Ne	20,179	Sc	44,9559	Xe	131,30
Ce	140,12	Ho	164,9304	Ni	58,71	Se	78,96	Y	88,909
Cl	35,453	I	126,9045	O	15,9994	Si	28,086	Yb	173,04
Co	58,9332	In	114,82	Os	190,2	Sm	150,35	Zn	65,38
Cr	51,996	Ir	192,22	P	30,9738	Sn	118,69	Zr	91,22

Auf den Spuren des Porzellanmachers Böttger

300 Jahre Porzellanmanufaktur Meißen

Georg Schwedt, Bonn



Abbildung 1: Böttgers Denkmal auf der Brühlschen Terrasse in Dresden (alle Fotos: Schwedt).

Dem Apotheker und Alchemisten Johann Friedrich Böttger gelang es zusammen mit dem Naturwissenschaftler Ehrenfried Walther von Tschirnhaus 1707 in den Gewölben des Dresdener Festungswerkes unter den Brühlschen Terrassen erstmals Hartporzellan in Europa herzustellen. 1710 wurde in Meißen die älteste deutsche Porzellanmanufaktur gegründet. Spuren Böttgers können wir noch heute sowohl in Dresden und Meißen als auch auf der Festung Königstein im Elbsandsteingebirge finden.



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.

Vom Alchemisten zum Porzellanerfinder

Johann Friedrich Böttger (1682-1719) wurde als Sohn eines Münzmeisters in Schleiz geboren. 1696 begann er beim Apotheker Friedrich Zorn (1643-1716) in der Apotheke am Molkenmarkt in Berlin seine Lehre. Friedrich Zorn hatte nach Tätigkeiten in der Ratsapotheke in Hamburg und in Straßburg sowie Nürnberg an der Universität Padua medizinische und botanische Vorlesungen gehört. In Berlin war er nicht nur als Apotheker sondern auch als Unternehmer und Bankier tätig. In Zorns Apotheke soll Böttger alchemistische Experimente, u.a. zur Transmutation der Metalle, unternommen haben. In einem spektakulären Versuch verwandelte er angeblich Silber in Gold, wovon auch der preußische König Friedrich I. (König von 1701-1713) erfahren habe. Nachdem Böttger ein Anwerbungsangebot des Königs ausgeschlagen habe, setzte Friedrich I. ein Kopfgeld auf ihn aus. 1701 floh Böttger zu einem Onkel in Wittenberg, der an der dortigen Universität lehrte. Der sächsische Kurfürst Friedrich August I. der Starke (lebte 1670-1733), erfuhr vom Expe-

Abbildung 2: Hinweis zur „Festung Dresden“ unter der Brühlschen Terrasse mit Blick auf die Kuppel der Frauenkirche.





Abbildung 3: Blick auf die Moritzburg in Meißen.



Abbildung 4: Eingang zur Moritzburg.

riment des Apothekenlehrlings und Alchemisten, ließ ihn festnehmen und nach Dresden bringen.

Im Keller des *Fürstenbergschen Hauses* erhielt Böttger ein Laboratorium zum Goldmachen in größerem Umfang. Das Palais Fürstenberg, im 16. Jahrhundert erbaut, stand an der Ecke Schlossplatz 1. Es bestand bis 1894, als es für den Neubau des Sächsischen Ständehauses an der Brühlschen Terrasse abgebrochen wurde. Zur Zeit Böttgers war es im Besitz des Statthalters des Kurfürsten – von Anton Egon Fürstenberg (1656-1716). 1704 wurden der Naturforscher Ehrenfried Walther von *Tschirnhaus* (1651-1708), der sich 1679 bis 1687 mit der Entwicklung von Brennsiegeln beschäftigte hatte, und Gottfried Pabst von *Ohain* (1656-1729), kursächsischer Wardein (Münzmeister) herangezogen, um die Versuche Böttgers zu bewerten. Mit den beiden Wissenschaftlern und Böttger begann nun die Phase der Porzellanforschung, denn Tschirnhaus hatte im Bereich von Glasschmelzen und Porzellandekoration bereits Erfahrungen sammeln können und war der wissenschaftliche Kopf der Gruppe. Infolge des für Sachsen ungünstig verlaufenden Großen Nordischen Krieges (1700-1721, um die Vorherrschaft im Ostseeraum) musste Böttger sein Quartier mehrmals wechseln. Nach einem kurzen Aufenthalt auf der Albrechtsburg in Meißen wurde er am 5. September 1706 auf die Festung Königstein gebracht (s. weiter unten).

1707 gelang Böttger und von Tschirnhaus in Zusammenarbeit mit Pabst von Ohain zunächst die Herstellung des braunen, so genannten *Böttgersteinzeugs*. An den folgenden Arbeiten wirkte auch der Oberberghauptmann Abraham von *Schönberg* (1640-1711) aus Freiberg mit. Die entscheidenden Versuche fanden ab September 1707 in dem neu errichteten Labor in der Jungfernbastei in Dresden statt. Hier wurde das aus Schneeberg stammende weiße Kaolin anstelle des bisherigen eisenhaltigen Tones verwendet. Am 15. Januar 1708 erhielten sie erstmals weißes Porzellan.

Die Jungfernbastei oder Venusbastei (Bastion Venus) befindet sich am östlichen Ende der Brühlschen Terrassen, wo auch das Denkmal für Johann Friedrich Böttger (Abbildung 1) steht. Sie wurde zwischen 1589 und 1592 errichtet. In den Kasematten befand sich das Labor. Seit 1992 können die Gewölbe unter den Brühlschen Terrassen besichtigt werden. Dort befindet sich das *Museum Festung Dresden* (Abbildung 2), in dem anhand von Tafeln auch auf das Wirken von Böttger hingewiesen wird. Hier ist somit der Geburtsstunde des europäischen Porzellans verzeichnet.

300 Jahre Porzellanmanufaktur Meißen

In Meißen nördlich von Dresden war Böttger 1705 untergebracht, als in dem genannten Großen Nordischen Krieg eine Ausweitung nach Dresden zu befürchten war. Hier gelang Böttger auch die Herstellung des ziegelroten Steinzeugs, Jaspisporzellan genannt. In der Albrechtsburg (Abbildung 3) wird ebenfalls an Böttger erinnert und im Vorhof (Abbildung 4) ist eine Ausgrabung mit folgendem Hinweis zu besichtigen (Abbildung 5):

Abbildung 5: Blick auf die archäologische Ausgrabung eines Brennofens.





Abbildung 6: Im Eingangsbereich zur Ausstellung der Meißener Porzellanmanufaktur.

„Fundament eines Brennofens. Das freigelegte Fundament gehörte zu einem von insgesamt vier Brennöfen, in denen das berühmte Meissener Porzellan bis 1863 gebrannt wurde. 1710 bestimmte August der Starke die Albrechtsburg zum Standort der ersten Porzellanmanufaktur Europas. Über 150 Jahre stellte die Manufaktur hier ihr weltberühmtes Porzellan her... Das Fundament stammt aus dem letzten dreigeschossigen Brennhaus der Manufaktur... Archäologisch betrachtet sind die Fundamente einzigartig in Europa.“

In der Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die Manufaktur an den Rand von Meißen in neu erbaute Fabrikgebäude umgesiedelt. Das Schloss stand zunächst leer, zwischen 1864 und 1870 wurden die Manufaktureinbauten entfernt und nach Renovierungsarbeiten konnte am Ende des 19. Jahrhunderts das Schloss wieder besichtigt

Abbildung 7: Tisch mit Meißener Porzellan in der Dauerausstellung.



werden. 2010 feierte die Porzellanmanufaktur Meißen ihr 300-jähriges Jubiläum (Abbildung 6) und zeigt in einer Dauerausstellung einen Querschnitt aus der Produktion (Abbildung 7). In speziellen Räumen wird dem Besucher vor dem Rundgang auch in Live-Vorführungen ein Einblick in die Herstellung und Bemalung des Porzellans vermittelt.

Böttger in der Festung Königstein

Der „Brockhaus“ von 1838 beschreibt Königstein, südlich von Dresden in der Nähe von Pirna (Elbsandsteingebirge), als ein Städtchen mit 1500 Einwohnern, das am Fuße des gleichnamigen Felsens liege, „der sich senkrecht bis zu mehr als 1600 Fuß Höhe über den Spiegel der Elbe erhebt, und zu dessen Oberfläche nur ein einziger so steiler Pfad führt, daß Wagen hinaufgezogen werden müssen. Der K. bildet eine natürliche Festung, die kein Feind mit Gewalt einnehmen kann; die Oberfläche des Felsens hat etwa eine halbe Stunde Umfang,... Der Bau der oben befindlichen Festungswerke wurde 1589 begonnen und 1731 vollendet; sie bestehen aus bombenfesten Casematten; das Zeughaus ist stets mit Waffen und Schießbedarf reichlich versehen. Dem K. gegenüber am linken Elbufer erhebt sich der rundum freie und steile Lilienstein...“ (Abbildung 8)

Heute kann der Besucher in einem gläsernen (Panorama-)Aufzug auf die Festung gelangen. (Abbildung 9) Seit 1955 ist sie ein militärhistorisches Freilichtmuseum. In der Georgenburg wird auch an den Aufenthalt Böttgers erinnert. (Abbildung 10)

„Um seinen Aufenthalt auf der Festung möglichst geheim zu halten, erfolgte die Einlieferung Böttgers unter der Bezeichnung >Herr mit drey Dienern<. Aus dem erhalten gebliebenen Bericht eines seiner Gehilfen geht hervor, daß der potentielle Goldmacher zwei Räume in der Georgenburg bewohnte, deren Lage zur Zeit nicht genau bestimmt werden kann. Böttger muß sich während seiner Haft nicht sehr wohl gefühlt haben. Das belegen z. B. einige Beschwerdebriefe, die er an August den Starken schickte. Nach langem harten Kampf hatte er dem damaligen Festungskommandanten, Generalmajor von Ziegler, das Recht abgetrotzt, im Inneren

der Arkadengänge eine halbe Stunde täglich umhergehen zu dürfen. Der Kontakt zu Walther von Tschirnhaus riß in dieser Zeit nicht ab, wie ein umfangreicher Briefwechsel und zahlreiche Besuche des bedeutenden Naturwissenschaftlers belegen. Gemeinsam mit Wolf Dietrich von Beichlingen und Franz Conrad Romanus, zwei berühmten Mitgefangenen, war Böttger in einen Fluchtplan verstrickt, der allerdings aufgedeckt wurde, Es ist unwahrscheinlich und bis jetzt auch nicht nachweisbar, daß er während seiner Festungshaft Experimente in einem dafür eingerichteten Labor auf dem Königstein durchführte. Am 22.9.1707 wurden Böttger und seine Gehilfen auf Befehl August des Starken entlassen und nach Dresden gebracht.“

Zu dieser Zeit wurden die Versuche zur Porzellanherstellung in der Jungfernbastei wieder aufgenommen. Die Anregung, weiße Erde vom Heidelberg bei Aue zu verwenden, stammte von Gottfried Pabst von Ohain. Im Dezember 1707 entstand das erste einfache Gefäß aus weißem Hartporzellan. Tschirnhaus starb bereits während der Arbeiten, um das Herstellungsverfahren zu vervollkommen und danach mit einer fabrikmäßigen Produktion beginnen zu können. Aus der Haft wurde Böttger, der ab 1710 zunächst die Leitung der Manufaktur hatte, erst am 19. April 1714 entlassen. Er starb am 13. März 1719 offensichtlich an den Folgen einer chronischen Vergiftung durch seine alchemischen Versuche. Gottfried Pabst von Ohain starb 1729 in Gottfriedsburg, einer von ihm auf dem Pragerschen Vorwerk vor dem Freiburger Kreuztor angelegten Siedlung. Er war zuletzt (ab 1702) Bergrat beim Oberbergamt.

Die Geschichte zeigt, das Meißner Porzellan hatte mehrere Väter: *Böttger*, der sich vor allem mit der Herstellung des optimalen Gemisches aus Kaolin, Feldspat und Quarz beschäftigte, den Naturforscher *von Tschirnhaus*, der mit



Abbildung 8: Blick von der Festung Königstein auf den Lilienstein.

seinen physikalischen Kenntnissen die erforderlichen labortechnischen und technologischen Voraussetzungen schuf, und auch mitwirkende Bergund Hüttenleute wie *von Ohain* und *von Schönberg* (Oberberghauptmann und Reformator von Bergbau und Hüttenwesen in Sachsen), nach dessen Plänen die Generalschmelzadministration zu Freiberg entstand. **CLB**

Abbildung 9: Eingang zur Festung Königstein.



Abbildung 10: Blick auf die Fassade der Georgenburg mit Gedenktafel an den Aufenthalt Böttgers.



Vor 200 Jahren postulierte Döbereiner das „chemische System“

Das Periodensystem und konstruierte Zusammenhänge mit Farben und Tönen

Peter Brodersen, Maasbüll

Vor gut 200 Jahren, am 25. August 1810, berief der Herzog Carl August von Sachsen-Weimar den Apotheker Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) an die Universität Jena [1]. Zwischen Johann Wolfgang von Goethe, der die Oberaufsicht über die Anstalten für Wissenschaft und Kunst im Großherzogtum führte, und Döbereiner begannen am 8. und 9. November 1810 erstmals Gespräche [2a]. Es entwickelten sich danach rege Beziehungen im Rahmen naturwissenschaftlicher Interessen. Fortlaufend ließ Goethe sich über die Forschungen zur Chemie berichten. Dadurch machte er sich bekannt mit der Sprache, den Ausdrücken und der Symbolik [2b]. Zur Farbenlehre, welche Goethe 1810 herausgab, ließ er sich Gläser bereiten, für die morphologischen Arbeiten unternahm Döbereiner Untersuchungen verschiedener Gesteine und Heilquellen. Döbereiner stellte sich die Aufgabe, im Sinne Goethes nach einer Einheit in der Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen zu suchen. Dazu bedurfte es einer Ordnung eines natürlichen Systems der Elemente. Er ordnete die damals bekannten Grundstoffe nach ihren Eigenschaften und stellte Dreiergruppen auf, welche er Triaden nannte. Diese bildeten einen „Schlüssel“, ähnlich demjenigen, den Goethe in der Botanik mit der Urpflanze, in der Farbenlehre mit den komplementären Farben zwischen Licht und Finsternis gefunden hatte. Damit beginnt die Geschichte des Periodensystems der chemischen Elemente [3]. Dieser Artikel versucht, mit eigenen Ausarbeitungen des Autors das Periodensystem im Sinne Goethes und Döbereiners in seinem Zusammenhang mit Farben und Tönen darzustellen.

Der Autor

Peter Brodersen ist seit gut 25 Jahren Lehrer für goetheanistische Naturwissenschaft; die erste Begegnung mit diesem ganzheitlich orientierten Fachbereich ergab sich ihm als Schüler an der Freien Waldorfschule in Rendsburg. Hier lernte er bei dem inzwischen verstorbenen Mathematiker Walter Blume die Lehre von den Transformationen kennen. Am Institut für Waldorfpädagogik in Witten-Annen studierte er fünf Jahre bei dem Mathematiker und Physiker Georg Glöckler und dem Astrophysiker Dr. Werner Rauer. Zusammen mit seiner Frau und seiner Tochter baut er seit 1995 neben der Lehrtätigkeit die gemeinnützig tätige Markus-Stiftung mit Sitz in Maasbüll auf. Diese befasst sich mit der Entwicklung, der Produktion und der Zuwendung goetheanistischer Illustrationen an interessierte Bildungseinrichtungen.



Döbereiners Lehrbuch zur Chemie aus dem Jahre 1811 enthält einen Absatz, der die Suche nach einem System zum Ausdruck bringt: *„Die Grundlage der Chemie ist Erfahrung, wozu wir durch Beobachtungen und Versuche gelangen. Aus der Erfahrung leitet der Chemiker durch richtige Vernunftschlüsse eine Theorie her, welche alle einzelnen Tatsachen zu einem wissenschaftlichen Ganzen, oder zu einem Systeme verknüpft. Ein chemisches System ist daher der Inbegriff aller chemischen Erfahrungen.“* [4]

Döbereiners Triaden

Im Jahre 1817 entdeckte Döbereiner seine erste Triade [5], gebildet aus drei ähnlichen Stoffen, nämlich Strontiumoxid, Calciumoxid und Bariumoxid, welche mit ihren Gewichten dem Prinzip des arithmetischen Mittels untergeordnet sind. Die zweite Triade ergab sich ihm im Jahr 1829 aus Brom, Chlor und Jod (Tabelle 1a).

Die Serien nach Gmelin

Leopold Gmelin (1788-1853), Professor für Chemie und Medizin in Heidelberg) unterschied drei Möglichkeiten der Gruppierung von Elementen [6]:

1. Elemente mit ähnlichen Eigenschaften, dessen Atomgewichte nahezu gleich groß sind.
Ein Beispiel: Cr 28,1 Mn 27,6 Fe 27,2
2. Elemente, deren Atomgewichte ein Vielfaches desjenigen eines anderen Elementes sind.
Ein Beispiel: O 8 S 16 Se 40 Te 64 Sb 129
= 1 : 2 : 5 : 8 : 16
3. Elemente mit ähnlichen Eigenschaften, welche zu Triaden zusammenfassbar sind.
Beispiele: Chlor, Jod, Brom; Lithium, Kalium, Natrium; Calcium, Barium, Strontium.

Zu den Triaden Döbereiners äußerte Gmelin sich 1843 in seinem Handbuch der theoretischen Chemie [7]: *„Es gibt Gruppen von Elementen, welche ähnliche physikalische und chemische Verhältnisse zeigen. Ob eine solche Gruppe gerade aus drei Elementen bestehe, wie Döbereiner will, welcher die Elemente nach der Trias gruppiert, bleibe dahingestellt.“*

$$\text{SrO} = \frac{\text{CaO} + \text{BaO}}{2} = \frac{27,5 + 72,5}{2} = 50 \quad \text{1. Triade}$$

$$\text{Br} = \frac{\text{Cl} + \text{J}}{2} = \frac{35,470 + 126,470}{2} = 80,470 \quad \text{2. Triade}$$

Tabelle 1a (oben): Zu den Triaden von Döbereiner.

Tabelle 1b (rechts): Zu den Progressionen von Cooke.

	O	FL	CN	CL	Br	J	Atomgewicht ist $8 + n \times 9$
det.	8	19		36	80	127	
the.	8	17	26	35	80	125	
n	0	1	2	3	8	13	
	O	N	P	As	Sb	Bi	Atomgewicht ist $8 + n \times 6$
det.	8	14	31	75	129	208	
the.	8	14	32	74	128	206	
n	0	1	4	11	20	33	

Progressionen nach Cooke (1827-1894)

Cooke, Professor für Chemie und Mineralogie an der Harvard Universität, stellte 1850 die Elemente in mehrere Gruppen dar gemäß einer arithmetischen Progression [8]. Die von ihm ermittelten Serien betrachtete er als Ausdruck göttlicher Gesetze. Diese verwendete er, um Eigenschaften unbekannter Elemente vorauszusagen. Ja, er glaubte sogar, dass etwas Entsprechendes den Gesetzen der Astronomie gefunden werden würde. Zwei seiner Progressionen sind in Tab. 1b dargestellt.

Die Familien nach Dumas (1800-1884)

Jean Baptiste Andre Dumas faßte die chemischen Elemente zu natürlichen Familien zusammen (1857) [9]. Allein durch Gebrauch der Buchstaben a (1. Glied) und d (Differenz zwischen dem ersten und zweiten Glied) wird der Bezug zu arithmetischen Folgen deutlich; jedes Glied einer arithmetischen Folge ergibt sich aus dem ersten Glied durch Addition des Vielfachen der Differenz d zwischen dem ersten und zweiten Glied (10). Anzumerken ist, dass einzelne Glieder der Folge in den Familien fehlen. Eine natürliche Familie ist in Tab. 2 dargestellt.

Die Oktaven nach Newlands (1837-1898)

Die Tatsache, dass die ersten beiden Elemente einiger Gruppen sich um 8 in ihren Gewichten unterschieden, ließ Newlands das Gesetz der Oktaven finden [10]. Er fügte neben den Elementen Zahlen ein, welche ihre Ordnung im System betrafen. Diese nannte er Ordnungszahlen. In der Darstellung des Gesetzes der Oktaven aus dem Jahre 1865 schrieb er die Elemente

nach steigendem Atomgewicht untereinander, brach jedoch ab, sobald ein Element folgte, welches ähnliche Eigenschaften wie das erste hatte. Dieses Element schrieb er neben das erste und fuhr fort, bis wieder ein im Verhalten ähnliches Element kam. Damit offenbarte sich ihm das Gesetz der Oktaven, wonach sich nach jeder Serie von sieben Elementen ähnliche Eigenschaften wiederholen. Von jedem beliebigen Element aus ist das siebente folgende oder vorhergehende im Verhalten ähnlich wie das Ausgangselement. Newlands brachte dieses Gesetz in Verbindung mit dem Gesetz der Tonleiter, wonach ein Ton nach sieben Tönen eine Oktave höher wiederkehrt. In der Tab. 3 kommen die Oktaven zur Darstellung.

Hinrichs Spiralsystem aus dem Jahre 1867

Gustav Detlef Hinrichs (1836-1923), geboren in Lunden nahe Husum, befasste sich als Schüler intensiv mit Fragen der Mathematik, Trigonometrie und Astronomie. An der Polytechnischen Lehranstalt in Kopenhagen, einem von Hans Christian Ørstedt im Jahr 1829 eröffneten naturwissenschaftlichen Institut, ließ er sich ausbilden. Nach dem Studium der Fächer Mathematik, Physik und Chemie an der Universität in Kopenhagen wanderte er in die USA aus und übernahm 1864 den Lehrstuhl für Physik und Chemie an der State University of Iowa.

Sein Interesse an der Astronomie gewährte ihm einen Einblick in die Arbeiten von Titius Bode (1791-1867), einem Professor für Physik an der Universität Wittenberg, welcher eine Gleichung zur annähernden Berechnung der Verhältniszahlen unterschiedlicher

Tabelle 3 (rechts): Die Oktaven nach Newlands.

Tabelle 2: Natürliche Familie von Dumas.

O	S	Se	Te
8	16	40	64
	8 + 8	8 + 32	8 + 56
a	a + d	a + 4d	a + 7d

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co, Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt, Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 25	Sr 31	Cd 38	Ba, V 45	Pb 54
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 24	Ce, La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di, Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro, Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

mit	n = -∞	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 4	Merkur - Sonne
mit	n = 0	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 7	Venus - Sonne
mit	n = 1	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 10	Erde - Sonne
mit	n = 2	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 16	Mars - Sonne
mit	n = 3	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 28	Planetoiden - Sonne
mit	n = 4	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 52	Jupiter - Sonne
mit	n = 5	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 100	Saturn - Sonne
mit	n = 6	in	r = 4 + 3 × 2 ⁿ	ergab sich	r = 196	Uranus - Sonne

alkali metals group	n	A = 7 + n × 4 ²	A calc.	det.	difference
Lithium	0	7	7	7	0
sodium	1	7 + 1 × 4 ²	23	23	0
pottasium	2	7 + 2 × 4 ²	39	39	0
rubidium	5	7 + 5 × 4 ²	87	85,4	- 1,6
caesium	8	7 + 8 × 4 ²	135	133	- 2

Tabelle 4a (links): Berechnung der Verhältniszahlen von Planetenentfernungen nach Titus Bode.

Tabelle 4b (oben): Gruppe der Alkalimetalle nach Hinrichs.

Planetenentfernungen zur Sonne aufstellte (siehe Tab. 4a). Ähnliche Gesetze suchte Hinrichs mit der Bildung von Gruppen auf, diejenige der Alkalimetalle ist in der Tab. 4b aufgeführt. Außerdem ordnete er die chemischen Elemente um ein Zentrum an, wobei er die Atomgewichte mit 2 multipliziert als Radien abtrug. Die Elemente liegen dem Atomgewicht nach auf Spiralen um ein Zentrum, Nichtmetalle oben links, Metalle unten rechts [11].

Gekürztes Periodensystem nach Mendelejeff und Meyer (1869)

Julius Lothar Meyer (1830-1895), Professor für Chemie am Institut für Physiologie an der Universität zu Breslau und Dimitri Ivanovitch Mendelejeff (1834-1907), Professor für Chemie an der Universität zu Leningrad, besuchten 1860 den Kongress in Karlsruhe, auf dem die Erfahrungen zu den chemischen Elementen zusammengetragen wurden [12]. Die Teilnahme ermöglichte ihnen unabhängig voneinander das Aufstellen eigener Systeme, welche jedoch ähnlich waren.

Wesentliche Merkmale dieser Systeme fasst das in der Tabelle 5 dargestellte Periodensystem in gekürzter Form zusammen [13].

Die bekannten Elemente wurden nach steigendem Atomgewicht in eine Zeile geordnet, welche aber abgebrochen wurde, sobald ein Element folgte, das dem am Anfang aufgeführten ähnlich war. Dieses kam an den Anfang der nächsten Zeile. Dem Gesetz der Oktaven entsprechend war das siebente bzw. unter Hereinnahme der Edelgase das achte dem Ausgangselement ähnlich. Dadurch kamen ähnliche Elemente untereinander zu liegen. In manchen Darstellungen von Mendelejeff und Meyer ist das System um 90° gedreht.

Aufbau und Gliederung des gekürzten Periodensystems zeigen: Die Elemente einer Zeile bilden eine Periode, die Elemente untereinander eine Hauptgruppe. Das gekürzte Periodensystem umfasst eine obere Periode, fünf mittlere Perioden und eine untere. Die acht nebeneinander liegenden Hauptgruppen sind: Alkalimetalle, Erdalkalimetalle, Erdmetalle, Kohlenstoffgruppe, Stickstoffgruppe, Sauerstoffgruppe, Halogene und Edelgase. Jede vollständige Periode beginnt mit einem Halogen bzw. einem Edelgas (siehe Tab. 5).

Der metallische Charakter der Elemente nimmt in den Perioden von links nach rechts ab, in den Hauptgruppen nimmt dieser von oben nach unten zu. Eine gezogene Diagonale im System von Bor nach Astat gliedert das System in zwei Bereiche, links unten stehen die typischen Metalle oder Laugenbildner und rechts oben die typischen Nichtmetalle oder Säurenbildner. In der Nähe der Diagonalen finden wir Elemente, welche metallische und nichtmetallische Wesenszüge vereint aufweisen. Die Elemente der IV. Hauptgruppe zeigen einen Übergang vom Nichtmetall (Kohlenstoff) zum Metall (Blei). In den Perioden nimmt die Höchstwertigkeit zu Sauerstoff von links nach rechts regelmäßig von I VII zu. Die Wertigkeit zu Wasserstoff hingegen steigt in den Gruppen I IV von eins bis vier und fällt dann wieder auf eins in der VII. Gruppe. Die Edelgase werden als „nullwertig“ bezeichnet, weil sie sehr schwer Verbindungen eingehen. Links neben den Symbolen der

Tabelle 5: Gekürztes Periodensystem der Elemente nach Meyer bzw. Mendelejeff (1871).

1	1 H 1,0 Wasserstoff							2 He 4,0 Helium
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
2	3 Li 6,9 Lithium	4 Be 9,0 Beryllium	5 B 10,8 Bor	6 C 12 Kohlenstoff	7 N 14 Stickstoff	8 O 16 Sauerstoff	9 F 19 Fluor	10 Ne 20,2 Neon
3	11 Na 23 Natrium	12 Ma 24,3 Magnesium	13 Al 27,0 Aluminium	14 Si 28,1 Silizium	15 P 31,0 Phosphor	16 S 32,1 Schwefel	17 Cl 35,5 Chlor	18 Ar 39,9 Argon
4	19 K 39,1 Kalium	20 Ca 40,1 Calcium	31 Ga 69,7 Gallium	32 Ge 72,6 Germanium	33 As 74,9 Arsen	34 Se 79,0 Selen	35 Br 79,9 Brom	36 Kr 83,8 Krypton
5	37 Rb 85,5 Rubidium	38 Sr 87,6 Strontium	49 In 114,8 Indium	50 Sn 118,7 Zinn	51 Sb 121,8 Antimon	52 Te 127,6 Tellur	53 J 126,9 Jod	54 Xe 131,3 Xenon
6	55 Cs 132,9 Cäsium	56 Ba 137,3 Barium	81 Tl 204,4 Thallium	82 Pb 207,2 Blei	83 Bi 209,8 Wismut	84 Po 210 Polonium	85 At 210 Astat	86 Rn 222 Radon
7	87 Fr 223 Francium	88 Ra 226,1 Radium						

Elemente stehen die Ordnungszahlen. Rechts finden sich die Atomgewichte. Damit wurde eine Ordnung und Übersichtlichkeit in die Vielzahl der Elemente gebracht, deren Eigenschaften weitgehend aus der Stellung in dem System abgelesen werden konnten.

Beziehungen nach Henry Wilde

Henry Wilde (1833-1919), ein Physiker und Astronom, suchte auch wie Hinrichs nach Beziehungen zwischen Elementen in Anlehnung an die Verhältniszahlen von Titius Bode (siehe Tab. 6) [14]. Durch Multiplikation der Zahl 23 mit den Gliedern der natürlichen Zahlenfolge 0,1, 2, 3,...,9 und Abzug bzw. Addition der Zahl 7 bildete Wilde Atomgewichte von Elementen.

Die Gleichung von Titius Bode ist vom Zahlenaufbau her ähnlich derjenigen von Wilde. Allerdings besteht ein wesentlicher Unterschied: Titius Bode verwendet mit der Zahlenfolge 0, 1, 2,..., 64 eine geometrische Folge mit dem konstanten Quotienten 2, der sich durch Teilung eines Gliedes durch das vorhergehende ergibt. Henry Wilde rechnet mit einer arithmetischen Folge, deren Differenz aufeinanderfolgender Zahlen konstant 1 ist. Daher ist eine Übertragung von Verhältnissen kleiner ganzer Zahlen der Astronomie auf die Chemie noch nicht ersichtlich, aber man spürt den starken Willen, das Makrokosmische mit dem Mikrokosmischen zu verknüpfen. Es bedurfte nur eines geistigen Funken, um den Blick für den Zusammenhang zu entfachen.

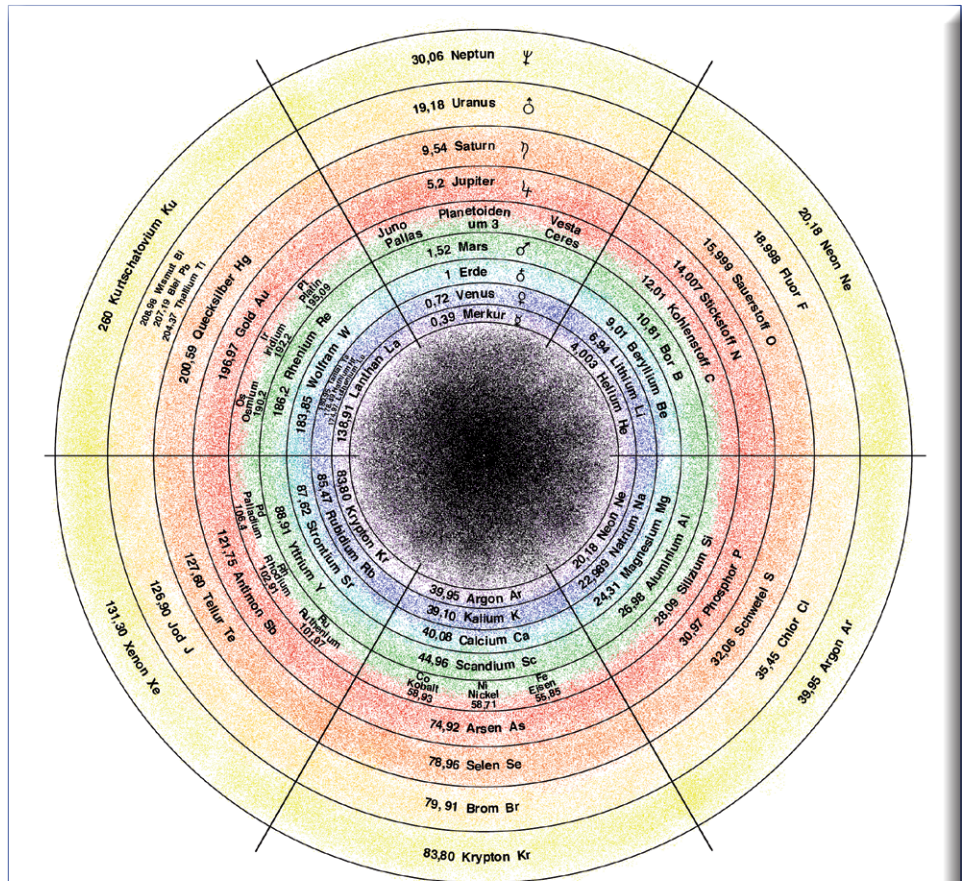
Das Periodensystem der chemischen Elemente nach Peter Brodersen (1999)

Eine besondere Form des Periodensystems der chemischen Elemente hat der Verfasser dieser Schrift in den 90er Jahren ausgearbeitet und 1999 erstmals zur Darstellung gebracht (siehe Abb. 1). Im Rahmen

0 x 0 + 4 = 4	Merkur	0 x 0 + 7 = Li = 7
1 x 3 + 4 = 7	Venus	1 x 23 + 0 = Na = 23
2 x 3 + 4 = 10	Erde	2 x 23 - 7 = K = 39
4 x 3 + 4 = 16	Mars	3 x 23 - 7 = Cu = 62
8 x 3 + 4 = 28	Ceres, Pallas	4 x 23 - 7 = Rb = 85
16 x 3 + 4 = 52	Jupiter	5 x 23 - 7 = Ag = 108
32 x 3 + 4 = 100	Saturn	6 x 23 - 7 = Cs = 131
64 x 3 + 4 = 196	Uranus	7 x 23 - 7 = - = 154
		8 x 23 - 7 = - = 177
		9 x 23 - 7 = Hg = 200

Tabelle 6: Berechnungen von Wilde.

Abbildung 1: Das Periodensystem der chemischen Elemente nach Peter Brodersen.



Übersicht der Rechnungen zur Inversion im Periodensystem

$0,39 \times 30,06 = 3,42^2$	
$0,72 \times 19,18 = 3,72^2$	
$1,00 \times 9,54 = 3,09^2$	$(7,15) \times 20,18 = 12,01^2$
$1,52 \times 5,2 = 2,81^2$	$6,94 \times 18,99 = 11,48^2$
$138,91 \times 260,00 = 190,04^2$	$9,01 \times 15,99 = 12,01^2$
$178,49 \times 207,19 = 192,31^2$	$10,81 \times 14,01 = 12,31^2$
$183,85 \times 200,59 = 192,04^2$	
$186,20 \times 196,97 = 191,51^2$	
$83,80 \times 131,30 = 104,89^2$	$20,18 \times 39,95 = 28,39^2$
$85,47 \times 126,90 = 104,14^2$	$22,99 \times 35,45 = 28,55^2$
$87,62 \times 127,60 = 105,74^2$	$24,31 \times 32,06 = 27,92^2$
$88,91 \times 121,75 = 104,04^2$	$26,98 \times 30,97 = 28,91^2$
$39,95 \times 83,80 = 57,86^2$	
$39,10 \times 79,91 = 55,90^2$	
$40,08 \times 78,96 = 56,26^2$	
$44,96 \times 74,92 = 58,04^2$	

* Helium bildet die einzige Ausnahme im System. Statt 4,003 steht 7,15; daher die Klammer.

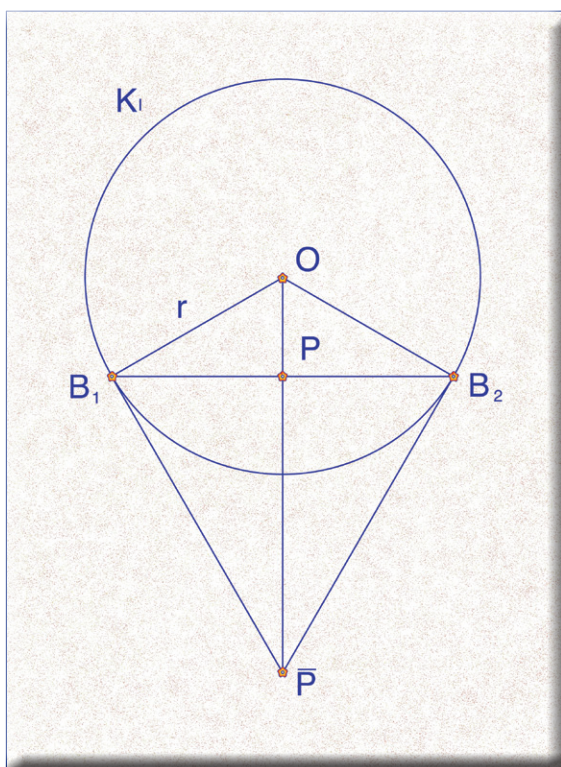


Abbildung 2: Zur Inversion am Kreis.

von Ausstellungen zu Fortbildungstagen der Naturwissenschaften in Berlin 2000, Marburg 2003, Niederkleez 2005, Flensburg 2006, Greifswald 2007 und Bremerhaven 2009 wurde es bekannt gemacht. Durch Anordnung der chemischen Elemente in vier innere und vier äußere Ringe lässt das Periodensystem die Inversionen von Atomgewichten klar in Erscheinung treten. Der Inversion ist das geometrische Mittel unterworfen. Das Atomgewicht des Sauerstoffs multipliziert mit dem Atomgewicht des Berylliums ergibt das ins Quadrat erhobene Atomgewicht des Kohlenstoffs.

$$15,999 \times 9,01 = 12,01 \times 12,01$$

Entsprechend sind die Atomgewichte von Stickstoff und Bor zueinander invers bezüglich des Atomgewichts von Kohlenstoff.

$$14,007 \times 10,81 = 12,01 \times 12,01$$

Der mittlere Ring ist Träger des Kohlenstoffs, eines Elementes der organischen Welt, sowie des Siliziums als vorherrschendes Element der Erdrinde. Außerdem finden sich hier Eisen und Nickel, die Bestandteile des Erdinneren. Eine Ausnahme bilden die reaktionsarmen Edelgase; sie befinden sich sowohl auf dem innersten wie auf dem äußersten Ring. Abgesehen von den Edelgasen liegen die Metalle innen und die Nichtmetalle außen.

Die Wertigkeit zu Wasserstoff nimmt vom inneren Ring bis zum mittleren Ring zu, dann nach außen

wieder ab. Die Höchstwertigkeit zu Sauerstoff nimmt von innen nach außen zu. Die Dichte der Elemente nimmt von innen und außen zum mittleren Ring zu. Die Elektronegativitäten der Elemente in den einzelnen Segmenten sind zum Zentrum hin klein, zur Peripherie hin groß. Auch sie offenbaren das Gesetz der Inversion,

$$\text{z.B. Al } 1,47 \times \text{P } 2,06 = \text{Si } 1,74 \times \text{Si } 1,74 \quad [15]$$

Eine Krönung erfährt das System durch die Eingliederung der Planeten in die Ringe eines Segmentes. Hier sind die mittleren Entfernungen der inneren Planeten invers zu den mittleren Entfernungen der äußeren Planeten, und zwar in bezug auf den Mittelwert der Entfernungen zahlreicher Planetoiden zur Sonne, z.B. Saturn $9,54 \times$ Erde $1 =$ Planetoid $3,09 \times$ Planetoid $3,09$

Damit erweist sich die Inversion als Gesetz, welches einerseits Beziehungen zwischen den Atomgewichten der chemischen Elemente zur Darstellung bringt und andererseits die mittleren Entfernungen der Planeten zur Sonne aufeinander bezieht. Im Universum verhalten sich Kosmisches und Irdisches invers zueinander. Rudolf Steiner, Herausgeber der Naturwissenschaftlichen Schriften Goethes, weist in einem Vortrag zur Physik auf die Einwirkung des Kosmos auf das Irdische hin [16]: „Wir werden also hinausgetrieben über das Gebiet der Erde in das Gebiet des Kosmos und wir müssen den Übergang finden von der einen Seite des Raumes zu der anderen Seite des Raumes, wir müssen den Übergang finden von Raumerfüllung zu Raumentleerung. Und diese Raumentleerung müssen wir uns für unsere Erdenwirkung lokalisiert denken in den Planeten, die die Erde umgeben. ... Diese Wechselwirkungen treten uns entgegen in denjenigen Konfigurationen des Erdengeschehens, die man gewöhnlich in Molekularkräften, Molekularanziehungen sucht, während wir es wirklich so machen müssten, wie man aus anderen Erkenntnisvoraussetzungen es in früheren Zeiten gemacht hat.“

Zur Geometrie der Inversion

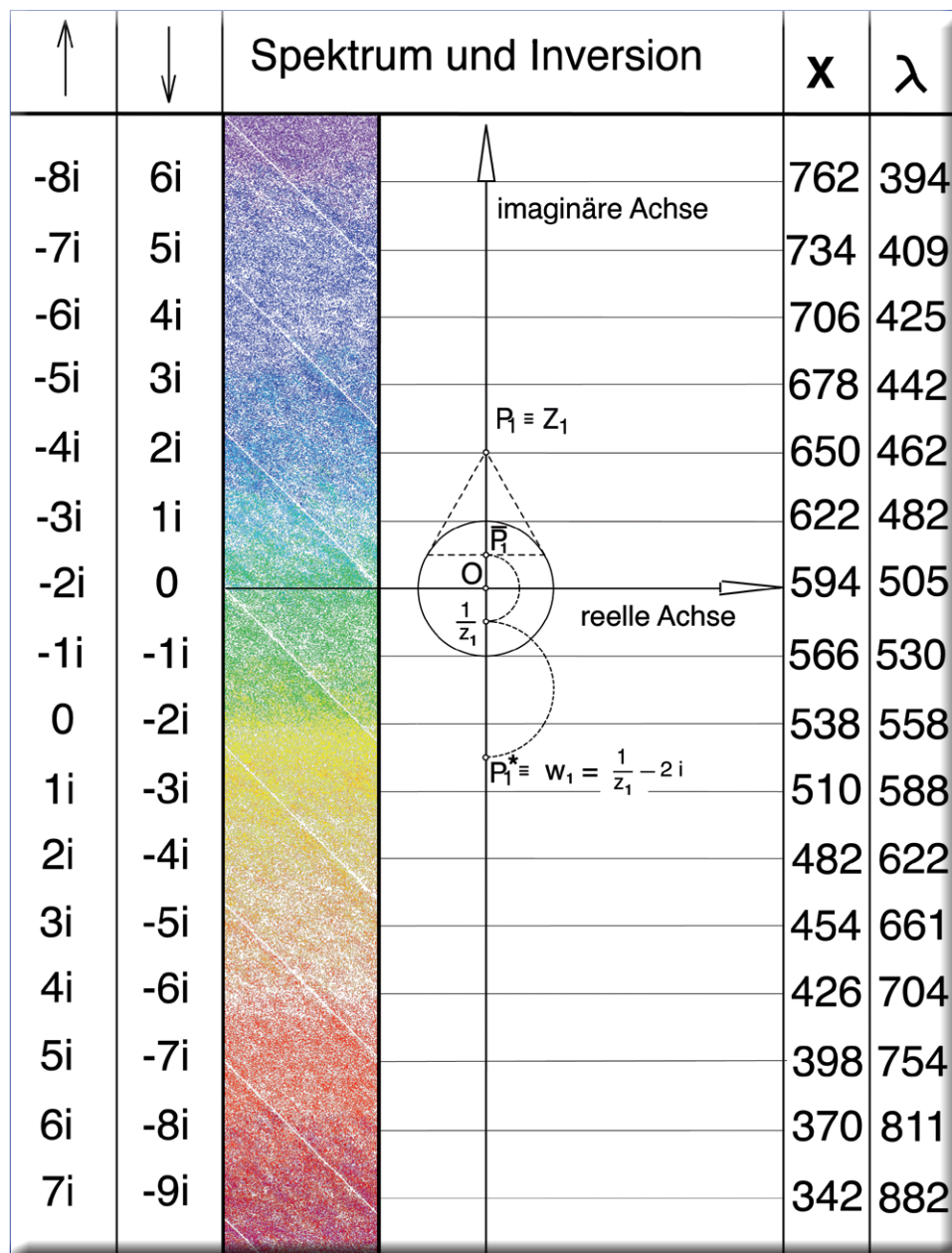
Wird das Innere eines Kreises nach außen und das Äußere nach innen gekehrt, so nennen wir diese Abbildung eine Inversion (siehe Abb. 2). Den Kreis nennen wir Inversionskreis, den Mittelpunkt dieses Kreises das Zentrum der Inversion und die Ebene, die durch den Kreis bestimmt wird, die Inversionsebene.

Der Ort eines Bildpunktes, der zu einem festgelegten Punkt invers sein soll, lässt sich folgendermaßen konstruieren: Ein Kreis KI mit dem Mittelpunkt O und dem Radius r sei gegeben. Liegt der abzubildende Punkt P innerhalb des Kreises, so verbinden wir die Punkte O und P miteinander und errichten die Senkrechte in P auf OP. Sie schneidet den Inversionskreis KI in den Punkten B1 und B2. Wir nennen die Senkrechte eine Sekante des Kreises KI und bezeichnen

sie mit p . In B1 errichten wir die Senkrechte auf dem Berührungsradius OB_1 und nennen sie die Tangente tB_1 im Punkt B_1 an den Kreis KI . Entsprechend konstruieren wir die Tangente tB_2 im Punkt B_2 an den Inversionskreis KI . Die Tangenten tB_1 und tB_2 schneiden einander in einem Punkt, den wir den zu P inversen Punkt \bar{P} in bezug auf den Inversionskreis KI nennen. Die geometrische Bedingung für die Inversion ergibt sich aus der Anwendung des Kathetensatzes, wonach die Fläche des Quadrates über einer Kathete im rechtwinkligen Dreieck gleich der Fläche des Rechtecks ist, welches gebildet wird aus der Hypotenuse und der senkrechten Projektion der Kathete auf die Hypotenuse:

$$r \times r = \overline{OP} \times \overline{O\bar{P}}$$

Bewegt sich der Punkt P vom Kreis nach innen auf das Zentrum in der Mitte zu, so eilt der inverse Punkt \bar{P} vom Kreis nach außen einem Zentrum im Unendlichen zu. Wandert der Punkt P von innen nach außen, so wandert \bar{P} von außen nach innen. Wird vom einen im Innern eine kleine Form durchlaufen, so beschreibt der inverse eine große Form im Äußeren. Demnach verhalten sich die invers zugeordneten Punkte entgegengesetzt zueinander. Statt entgegengesetzt könnte man auch das Wort polar verwenden.



Zum Farbspektrum des Periodensystems und zur Polarität komplementärer Farben

Der Verfasser hat sein Periodensystem mit einem ungewöhnlichen Farbspektrum versehen, und zwar so, dass zueinander inverse Ringe in komplementären Farben erscheinen, z. B. befindet sich Lithium im blauen Ring, das inverse Element Fluor im orangenen. Das Innere ist schwarz, das Äußere ist weiß. Damit liegen die Laugenbildner oder Metalle innen im Blau-Violetten und die Säurenbildner oder Nichtmetalle außen im Orange-Gelben. Im Inversionsring mit Kohlenstoff und Silizium begegnen sich das Rot und Grün als komplementäre Farben. Damit ist aufgezeigt, dass das Prinzip der Inversion (Polarität) sowohl im Farbspektrum als auch im Periodensystem vorherrscht. Die Abbildung 3 zeigt uns ein vertrautes Spektrum mit

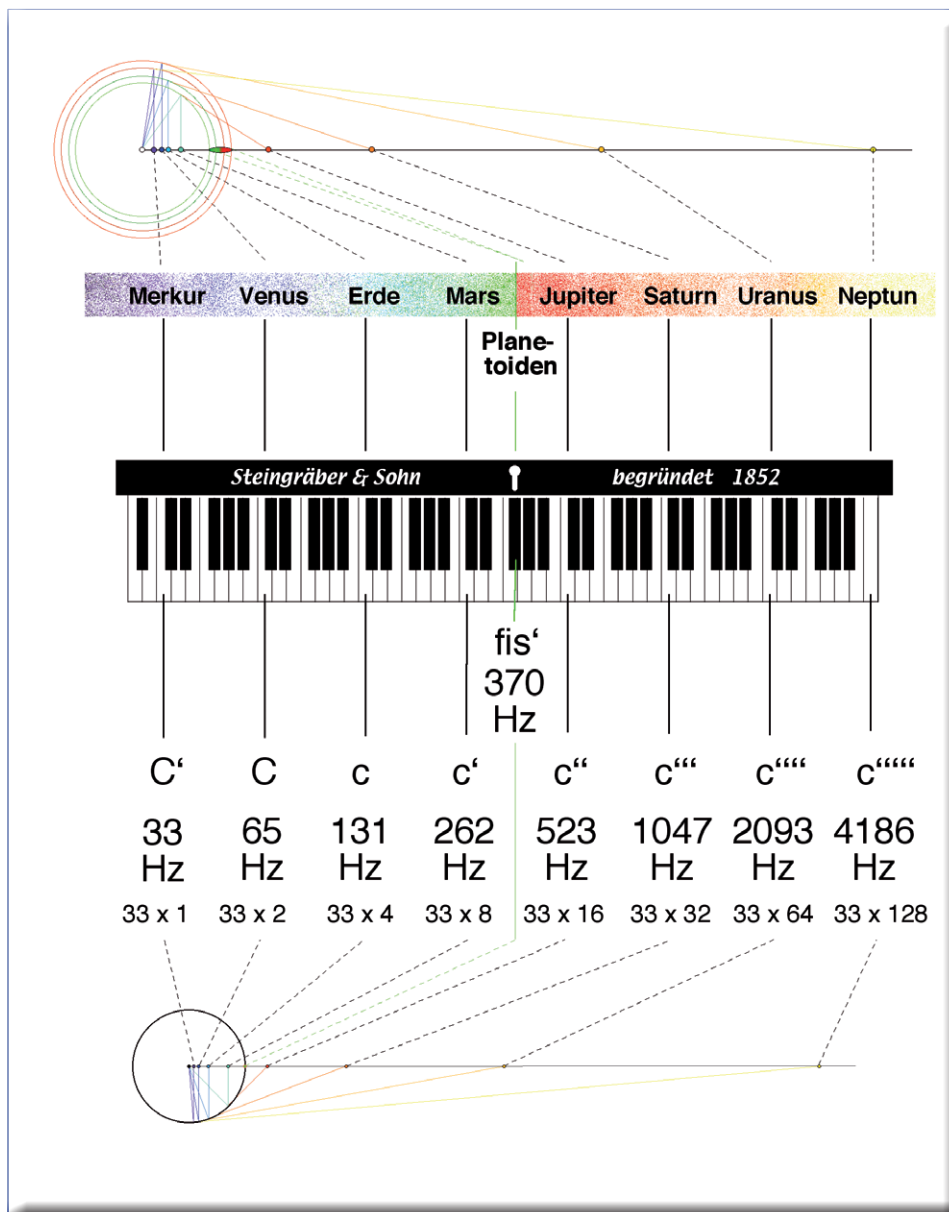
dem Grün in der Mitte, dem Blau oben und dem Rot unten. Rechts befinden sich die Wellenlängen mit den Schwingungszahlen, links imaginäre Zahlen. Diese sind den Farben zugeordnet. Im Jahr 2002 gelang dem Verfasser die Zuordnung komplementärer Farben gemäß einer konformen Abbildung, welche durch die komplexe Funktion $w = 1/z + 2i$ mathematisch beschrieben wird. Zuvor hatte er sich einige Jahre mit den Spektren und den konformen Abbildungen beschäftigt [17] [18] [19]. Wählt man im Blau einen Punkt P_1 , so erhält man das Komplementäre im Orange dadurch, dass der Punkt P_1 an dem Inversionskreis K und an der reellen Achse gespiegelt und anschließend um $2i$ nach unten verschoben wird. Der Inversionskreis befindet sich in diesem Fall mit seinem Zentrum auf der oberen Grenze des Grün, sein Radius entspricht der Hälfte der Höhe des Grün.

Abbildung 3: Das Spektrum mit der Zuordnung komplementärer Farben.

Abschluss

Anfang und Ende reichen sich die Hände, berücksichtigt man, dass zu Beginn dieser Ausführungen die Rede war von Goethe, der 1810 die ersten Impulse zur Entwicklung eines Periodensystems gab. Seine Farbenlehre kam auch 1810 heraus und wies hin auf die Verbindung optischer, akustischer und chemischer Erfahrungen durch das Prinzip der Polarität als Brücke: „So haben auch wir seit langer Zeit den Ausdruck der Polarität in die Farbenlehre einzuführen gewünscht; mit welchem Rechte und in welchem Sinne, mag die gegenwärtige Arbeit ausweisen. Vielleicht finden wir künftig Raum, durch eine solche Behandlung und Symbolik, welche ihr Anschauen jederzeit mit sich führen müßte, die elementaren Naturphänomene nach unsrer Weise an einander zu knüpfen und dadurch dasjenige deutlicher zu machen, was hier nur im allgemeinen und vielleicht nicht bestimmt genug ausgesprochen worden.“ [20]

Abbildung 4:
Planeten und
Oktaven gemäß
der Inversion.



„Mir scheint wenigstens für den Augenblick, daß sich alles gut verbindet, wenn man auch in dieser Lehre zum Versuch den Begriff der Polarität zum Leitfaden nimmt und die Formel von aktiv und passiv einstweilen hypothetisch ausspricht. Wie unmöglich war es bisher die chemischen Erfahrungen mit den optischen zu verbinden, man sehe nur die ersten Kapitel einer jeden Färbekunst, selbst der neuesten von Berthollet, in welcher wir die Fortschritte der Chemie übrigens so sehr bewundern müssen. Wird der Optiker sich überzeugen, daß Refraktion und Reflexion nur Fälle sind, in denen die apparenten Farben im Organ des Auges erscheinen, wird man nicht mehr behaupten, daß überall, wo wir Farben sehen, Reflexion oder Refraktion gleichsam als oberste Bedingungen wirken müssen, sondern daß sie als Fälle selbst höhern Bedingungen und Prinzipien unterworfen sind, so wird alles leicht und bequem übersehen werden können. Denn im Grunde muß die Sache an sich sehr einfach sein, wie alle höhere, ins Allgemeine wirkende Prinzipien.“

Wie sie ganz richtig bemerken, wird die Wirkung der Säuren zu dem Gelben und Gelbroten, der Alkalien zum Blauen und Blauroten in einen schönen Zusammenhang gebracht, wozu uns die Chemie unzählige Versuche anbietet.“ [21]

Eigentlich wäre jetzt Schluss, hätte der Verfasser nicht schließlich noch eine Beziehung zwischen den Tönen, den Farben, den Planeten und den Elementen gesehen. Dies führte ihn zu einer neuen Entdeckung, die sich kurz mit folgenden Worten beschreiben lässt:

Wir setzen uns vor ein Steingraber-Klavier (1852) und schließen es auf (Abb.4). Direkt über dem Schlüsselloch befindet sich das fis' (370 Hz) nahezu in der Mitte der sieben Oktaven. Es repräsentiert die Planetoiden, links davon können wir das c' (262 Hz) als Symbol für den Mars, dann das c (131 Hz) für Erde, das C (65 Hz) für Venus und das C' (33 Hz) für Merkur zum Erklingen bringen. Rechts vom fis' haben wir das c'' (523 Hz) für Jupiter, das c''' (1047 Hz) für Saturn, das c'''' (2093 Hz) für Uranus und das c''''' (4186 Hz) für Neptun liegend. Staunend sitzen wir davor und stellen fest, dass hier die Inversion als Polarität erscheint zwischen den tiefen und hohen Tönen, den inversen Zuordnungen der Planeten entsprechend. Genaue Werte führen zu:

$$32,70 \times 4186,08 = 370,00 \times 370,00$$

$$65,4075 \times 2093,04 = 370,00 \times 370,00$$

$$130,815 \times 1046,52 = 370,00 \times 370,00$$

$$261,63 \times 523,25 = 370,00 \times 370,00$$

Außerdem bilden jeweils drei aufeinanderfolgende Töne in einer Oktave eine musikalische Triade. Die Werte für die Berechnungen wurden dem „Höfling“ entnommen [22].

CLB

Literatur

- [1] Universitätsarchiv der Friedrich Schiller Universität Jena, UAJ A 644, Bl. 1 16
- [2a] Arnold, H., „Der Chemiker Döbereiner und sein Minister Goethe. Eine Rezeptionsstudie. Vitalprinzip Akademie, Erfurt 2008, S. 211
- [2b] Schwedt, G., „Goethe als Chemiker“, Springer, Berlin etc, 1998, 4. Kapitel
- [3] Spronsen, J.W.van „The periodic System of chemical Elements“, Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1969, S. 1
- [4] siehe [3], S. 64
- [5] siehe [3], S. 63-66
- [6] siehe [3], S. 69
- [7] siehe [3], S. 69
- [8] siehe [3], S. 78 f
- [9] siehe [3], S. 85
- [10] siehe [3], S. 102-112
- [11] siehe [3], S. 116-124
- [11] Stolz, „Gustav Dethlef Hinrichs Ein Naturforscher von Welt-ruf“, V. f. H, Lunden 1998
- [12] siehe [3], S. 124-140
- [13] Holleman-Wiberg, „Lehrbuch der Anorganischen Chemie“, Walter de Gruyter, Berlin, 1976, S. 88 f
- [14] siehe [3], S. 193 f
- [15] siehe [13], Werte zu den Elektronegativitäten: S. 671 [Al], S.490 [P], S. 598 [Si]
- [16] Steiner, Rudolf, „Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik, Rudolf Steiner Verlag, Dornach 1982, GA 321, S. 208
- [17] Heintz, E., „Goethe in unserer Zeit“, Hybernia-Verlag, Basel 1949
- [18] Richter, M., „Farbmetrik“, in Bergmann, Schaefer, „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Walter de Gruyter, Berlin 1987
- [19] Betz, Albert, „konforme Abbildung“, Springer, Berlin 1964
- [20] Goethe, „Zur Farbenlehre“, in: „Goethes naturwissenschaftliche Schriften“, herausgegeben von Rudolf Steiner, Rudolf Steiner Verlag, Dornach 1975, S. 288
- [21] Goethe, Briefe, Band II 1786-1805, Verlag C.H.Beck, München 1988, S. 146
- [22] Höfling, O., „Lehrbuch der Physik“, Fer. Dümmlers Verlag, Bonn 1957
- [23] Heyke, H-E, „Geschichtliche Notizen zum Massenwirkungsgesetz“ Eßlingen 1966
- [24] siehe [13], 2. Unterkapitel im 7. Kapitel. Zur Mathematik und Astronomie wurde folgende Literatur hinzugezogen: Glöckler, G., „Rekursives Rechnen“, Sonderdruck der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Sektion, Dornach 1993. Bewert, F., „Lehr- und Übungsbuch Mathematik, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979. Gondolatsch, F., „Astronomie I“, Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1978

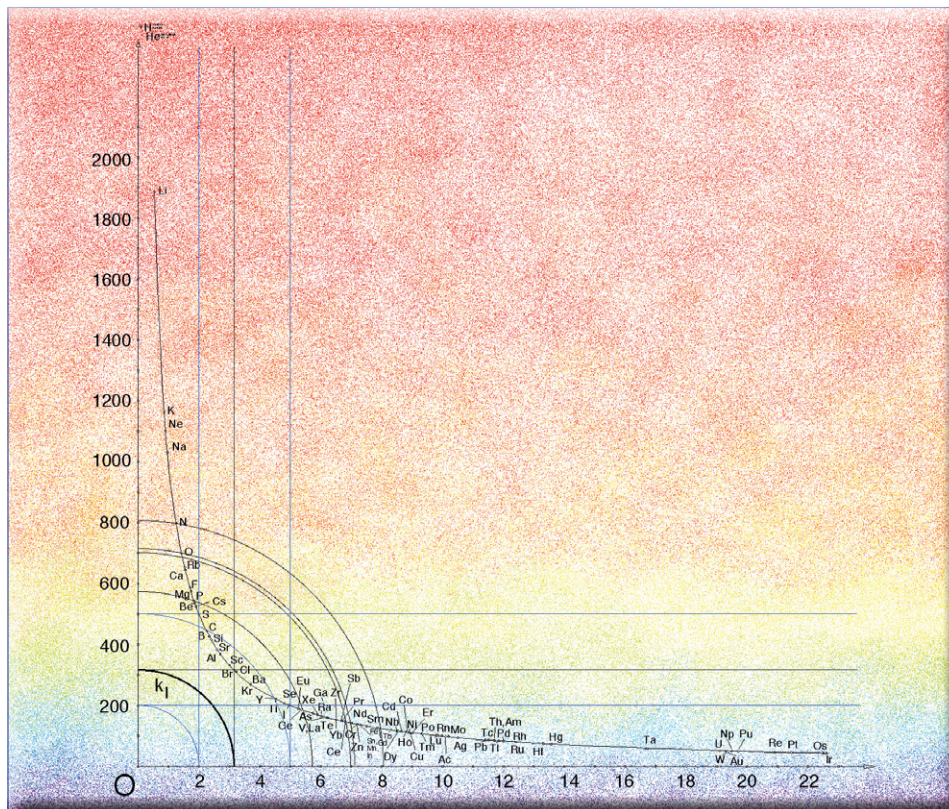


Abbildung Anhang 1
(siehe nächste Seite).

Anhang 1: Die Zuordnung chemischer Elemente gemäß der Inversion ihrer Dichten (Abb. Anhang 1, siehe vorige Seite)

Vom Ursprung O ist eine Y-Achse nach oben gezogen. Auf ihr sind im Abstand von 1 cm die Volumina 100 ml, 200 ml, ... , 2000 ml abgetragen. Auf der nach rechts gezogenen X-Achse befinden sich im Abstand von 1 cm die Dichten mit 1, 2, ... , 23 g/cm³. In diesem System werden die chemischen Elemente durch Punkte dargestellt. Die Lage des Punktes eines chemischen Elementes ist bestimmt durch seine Dichte auf der horizontalen Achse und sein Volumen in bezug auf 1000 g auf der vertikalen Achse.

Als Beispiel wählen wir den Punkt S für Schwefel. Seine Abszisse $x = 2$ ergibt sich aus der Dichte des Schwefels mit 2g/cm³. Die Ordinate $y = 500$ erscheint bei Erweiterung der Dichte mit 500 auf 1000 g/500 cm³. Der Punkt des Schwefels hat also die Koordinaten S (2/500). Auf diese Art und Weise werden die Punkte der bekannten chemischen Elemente eingezeichnet.

Sie liegen auf dem einen Ast einer Hyperbel, welcher sich nach oben von rechts an die Y-Achse anschmiegt und sich nach links von oben der X-Achse nähert. Kreisbögen um den Ursprung O schneiden die Hyperbel in Punkten chemischer Elemente, deren Dichten invers sind. Greifen wir Kalium und Blei als zugeordnetes Paar heraus: Kalium, ins Wasser geworfen, steigt brennend als weiße Kugel an die Wasseroberfläche und explodiert. Das schwere dunkle Blei dagegen fällt und sinkt tief in das Wasser auf den Boden. Blei geht also nahezu keine Verbindung ein mit dem Wasser, während Kalium und Wasser heftig miteinander reagieren. Ihr polares Verhalten entspricht dem Verhalten komplementärer Farben wie etwa das helle warme Gelb und das dunkle kalte Violett. Stickstoff ist ein wesentlicher Bestandteil der Luft, ist farblos und geruchlos, Eisen dagegen kommt im Innern der Erde vor, bildet die braunen und gelben Farbtöne des Bodens.

So offenbaren uns die chemischen Elemente der Dichte entsprechend ein Spektrum mit Chlor und Brom als Vermittler zwischen den leichten und schweren Elementen, ähnlich wie das Grün zwischen den hellen und dunklen Farben vermittelt. Im chemischen Dichtespektrum kommen wir vom Leichten in die Schwere, im Farbspektrum vom Hellen ins Dunkle. Beide Spektren wiederum sind ein Abbild des großen Spektrums im Universum mit den Planetoiden und ihren inneren und äußeren Planeten, welche ja geometrisch betrachtet ebenfalls eine Hyperbel mit inversen Zuordnungen bilden. Aus der Abb. Anhang 1 ergeben sich folgende inverse Zuordnungen:

Kalium und Blei	Lithium und Uran oder etwas entfernter Gold
Natrium und Silber	Stickstoff und Eisen
Sauerstoff und Chrom oder Zink	Calcium und Antimon
Fluor und Xenon	Magnesium und Arsen
Beryllium und Germanium	Cäsium und Europium
Schwefel und Iod	Kohlenstoff und Titan oder Yttrium
Aluminium und Barium oder Krypton	

Anhang 2: Das Massenwirkungsgesetz und die Inversion (Abb. Anhang 2)

In den Ausführungen zum Periodensystem der Elemente zeigt sich uns die Inversion als Ordnungsprinzip des Ganzen. Die Betrachtungen zur Dichte im 1. Anhang lässt erkennen, dass diese Ordnung offenbar auch in einem Teilbereich, zu dem die Dichte zählt, von Bedeutung ist. Dass diese Ordnung sich in einer chemischen Reaktion von nur wenigen Stoffen offenbart, wird aus der näheren Betrachtung des Massenwirkungsgesetzes ersichtlich.

Das „Gesetz der chemischen Massenwirkung“, so schon von Guldberg und Waage bezeichnet, erläuterten sie in der folgenden Weise: „Wenn zwei Stoffe A und B sich in zwei neue Stoffe A' und B' umsetzen, so wird die chemische Kraft, mit welcher A und B gegenseitig aufeinander einwirken, gemessen durch die in der Zeitenheit gebildete Menge der neuen Stoffe A' und B'... Wenn in einem chemischen Prozesse A und B in A' und B' umgesetzt werden, und umgekehrt A' und B' in A und B sich umsetzen lassen, so tritt Gleichgewicht ein, wenn die zwischen A und B wirkende chemische Kraft der zwischen A' und B' wirkenden chemischen Kraft gleich ist.“ [23]

Um die Inversion im Massenwirkungsgesetz zu erkennen, lassen wir Wasserstoff und Jod miteinander reagieren. Im Ausgangszustand sei die Konzentration von Wasserstoff $c_{H_2} = 4,34$, diejenige von Jod $c_{I_2} = 2,42$ und die von Jodwasserstoff $c_{HI} = 2,66$. Bei einer Temperatur von 425 °C stellt sich ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein mit folgender Konstellation, bezogen auf die Konzentrationen: Wasserstoff $c_{H_2} = 2,28$, Jod $c_{I_2} = 0,37$ und Jodwasserstoff $c_{HI} = 6,77$. Die Gleichgewichtskonstante ist 54,33. [24]

Wir übertragen nun die Werte ins Geometrische. Eine Ellipse mit vertikaler Hauptachse und horizontaler Nebenachse hat den Nebenseitelkreis k mit dem Radius $r = 0,92$ und dem Zentrum O. Der Punkt P mit $\overline{OP} = 0,37$ hat im Punkt \overline{P} sein Inverses mit $\overline{OP} = 2,28$. Der Radius des Inversionskreises ergibt sich aus der Wurzel des Produktes von \overline{OP} und \overline{OP} , also aus $\sqrt{0,37 \times 2,28}$. Wir erhalten den Radius ebenfalls durch die Wurzel des Quotienten, welcher im Zähler die ins Quadrat erhobene Zahl 6,77 und im Nenner die Zahl 54,33 hat.

Die Zahlen 0,37 2,28 6,77 und 54,33 folgen dem Massenwirkungsgesetz für die Gleichgewichtsreaktion $H + I = 2 HI$ bei 425 °C.

Danach ist: $\frac{6,77^2}{2,28 \times 0,37} = 54,33$

Allgemein ist: $\frac{\alpha(HI)^2}{\alpha(H_2) \times \alpha(I_2)} = K$

Damit kommen wir zu der Aussage, dass das Massenwirkungsgesetz für die oben dargelegte Gleichgewichtsreaktion durch die Inversion an einer Ellipse mit Neben- und Hauptscheitelkreis abgebildet werden kann. Es gilt nämlich die Inversion am Nebenscheitelkreis k_I mit:

$$2,28 \times 0,37 = 0,9185^2 = \frac{6,77^2}{54,33}$$

Die inversen Punkte P und \bar{P} gehen übrigens auch durch eine Spiegelung an der Ellipse mit

der Gleichung $\frac{x^2}{0,9185^2} + \frac{y^2}{6,77^2} = 1$ hervor, denn die Inversion an der Ellipse

lässt sich darstellen durch: $\frac{x_{\bar{P}} \cdot x_P}{0,9185^2} + \frac{y_{\bar{P}} \cdot y_P}{6,77^2} = 1$

Mit $x_{\bar{P}} = 2,28$ und $y_{\bar{P}} = 0$ folgt durch Einsetzen:

$$\frac{2,28 \cdot x_P}{0,9185^2} + \frac{0 \cdot y_P}{6,77^2} = 1$$

$$\frac{2,28 \cdot x_P}{0,9185^2} = 1 \quad | \cdot \frac{0,9185^2}{2,28}$$

$$\underline{\underline{x_P = 0,37}}$$

Das entspricht tatsächlich der Iodkonzentration mit $c(I_2) = 0,37$, welche invers ist zur Wasserstoffkonzentration $c(H_2) = 2,28$, und zwar im Gleichgewichtszustand bei 425 °C. Hierbei handelt es sich um ein dynamisches Gleichgewicht, das heißt: bei 425 °C stellt sich in einem geschlossenen Reaktionsraum ein Reaktionszustand ein, bei dem ebensoviele Stoff von links nach rechts wie von rechts nach links umgesetzt wird. Gleichgewichtsreaktionen sind von herausragender Bedeutung in der Natur von Stein, Pflanze, Tier und Mensch.

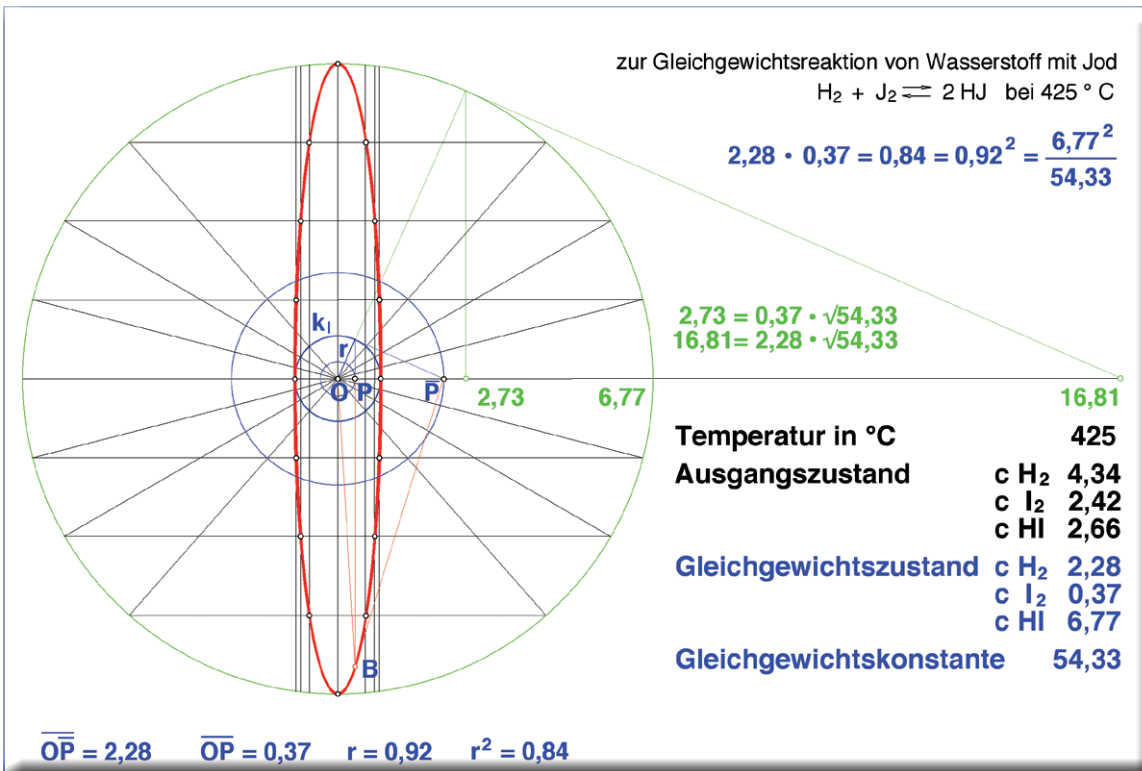


Abbildung Anhang 2: Das Massenwirkungsgesetz und die Inversion.

Anhang 3: Das Ionenprodukt des Wassers und die Inversion [24]

Die Inversion als Ordnungsprinzip der inneren und äußeren Planeten offenbart sich auch in der Säurebzw. Laugengradskala des Wassers, im Ionenprodukt. Das Ionenprodukt des Wassers beschreibt die Abhängigkeit der Wasserstoffionen-konzentration von der Hydroxidionen-Konzentration in wässrigen Lösungen von Säuren und Laugen. In einer sauren Lösung ist die Wasserstoffionen-konzentration größer als die Hydroxidionen-konzentration. Geht die saure Lösung über in eine basische Lösung, so nimmt die Wasserstoffionen-konzentration ab und die Hydroxidionen-konzentration zu, und zwar gemäß der Inversion am Kreis (siehe Abb. Anhang 3).

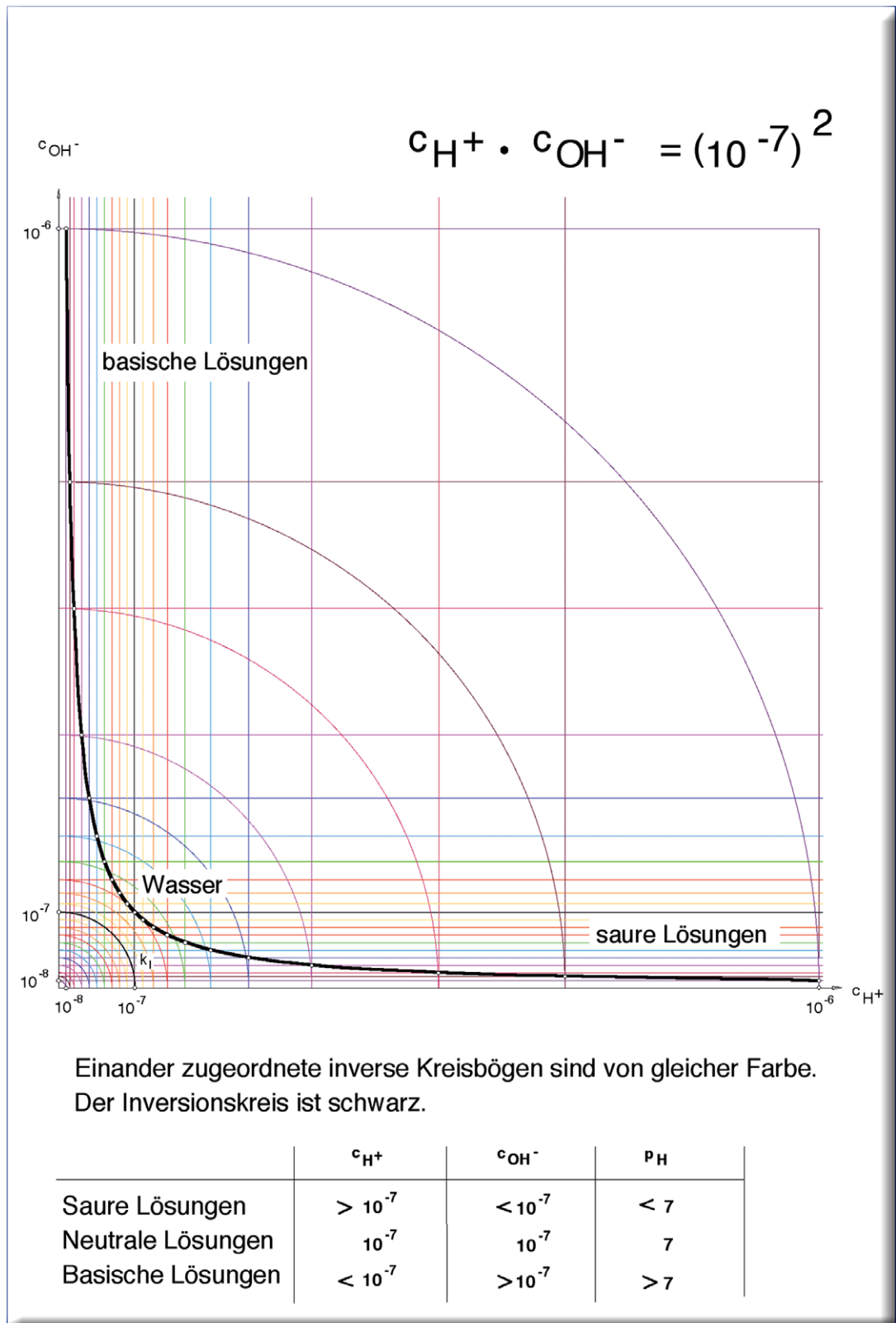


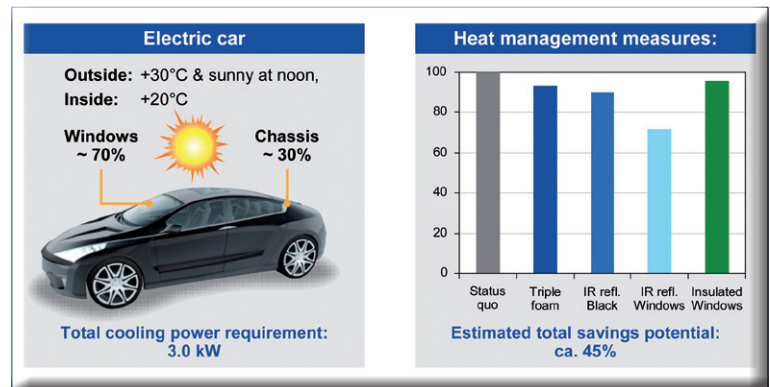
Abbildung Anhang 3: Das Ionenprodukt des Wassers.



(Elektro-)Mobilität: Chemie macht's möglich

Energieeffizienz, -speicherung und -erzeugung durch trickreich gestaltete Moleküle

Energie und Chemie hängen in unserer stofflichen Welt eng miteinander zusammen. Besonders deutlich wird dies bei elektrochemischen Prozessen, sei es zur Speicherung von elektrischer Energie, zur Lichtemission oder zur Lichtabsorption. Aber auch Energieeinsparungen durch Leichtbau oder Isolation sind ohne Rückgriff auf die Chemie nicht machbar. Wen wundert's, dass im internationalen Jahr der Chemie sich mehrere Veranstaltungen mit dem Thema befassen. Am 4. Februar lud die BASF zu einer Forschungspresskonferenz zum Thema Mobilität mit Schwerpunkt Elektromobilität ein, und zuvor referierte am Institut Dr. Flad im Rahmen der 15. Stuttgarter Chemietage am 26. Januar Prof. Dr. Klaus Müllen über die Beiträge der Polymerchemie zur Energieeffizienz.

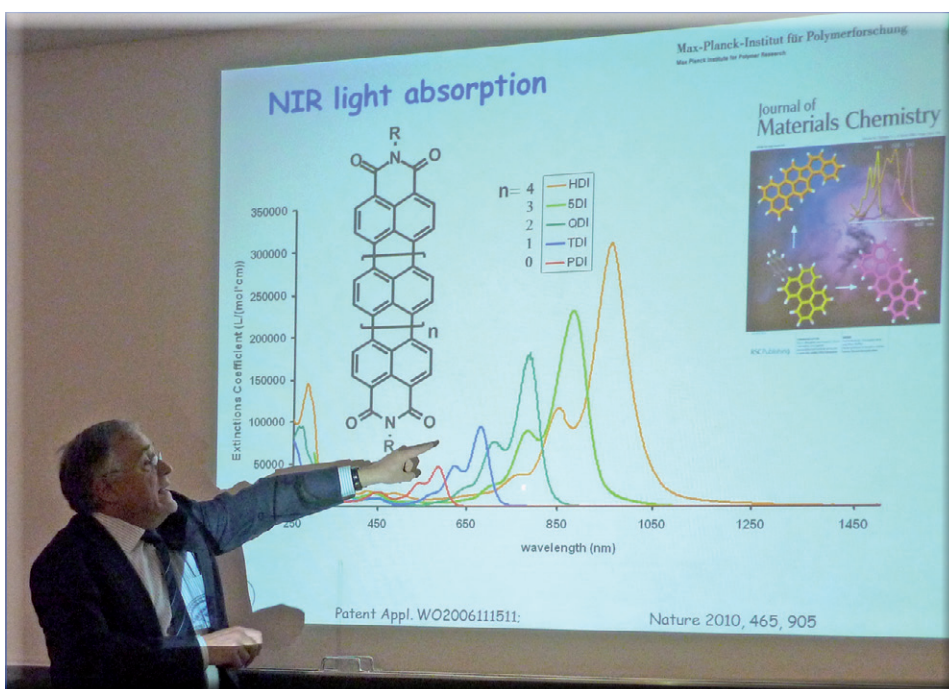


Die Klimatisierung von Fahrzeugen verbraucht jede Menge Energie – auch im Sommer, wie die Grafik mit 3 Kilowatt für die Klimaanlage ausweist. Kann man das Eindringen von Wärmestrahlung in den Innenraum vermindern ist viel erreicht; das schaffen neuartige NIR-Absorber. Zum Vergleich zu den 3 kW für die Kühlung: Nur ungefähr 16 kW benötigt das Auto für eine 100 km/h-Reisegeschwindigkeit (Abb.: BASF).

Eine Vortragsveranstaltung ergänzte dabei die andere. So hob der BASF-Experte Prof. Dr. Volker Warzelhan hervor, chemische Anforderungen bei der Elektromobilität betreffen nicht nur die Speicherung elektrischer Energie.

Vielmehr könnten neuartige Materialien und Werkstoffe durch bessere Isolierung und Leichtbau die Gesamtaufgabe lösen helfen. Konkretes Beispiel: Die Klimatisierung eines Fahrzeugs. Nicht nur, dass im Winter geheizt werden muss – was bei Elektrofahrzeugen deutlich die Reichweite vermindert. Abhilfe schafft da eine effektive Isolierung der Karosserie. Aber auch die Kühlung im Sommer macht Probleme – und auch dafür gibt es Lösungen durch die moderne Chemie. So benötigt man gut drei Kilowatt, um bei einem 30 Grad Celsius-Sommertag die Innentemperatur eines Autos auf 20 Grad zu bringen. Bedenkt man, dass nur rund 16 Kilowatt nötig sind, um mit dem Auto eine Geschwindigkeit von 100 Stundenkilometern zu halten, erkennt man die Bedeutung dieses Anteils. Und die Aufheizung des Innenraums erfolgt zu 70 Prozent durch die Fenster. Eine Lösung, die sich bereits in Pilotversuchen befindet, sind Infrarot-reflektierende Scheibenbeschichtungen. Welche Chemie dahinter steckt erläuterte Klaus Müllen, einer der Direktoren des Max Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz, 2008 2009

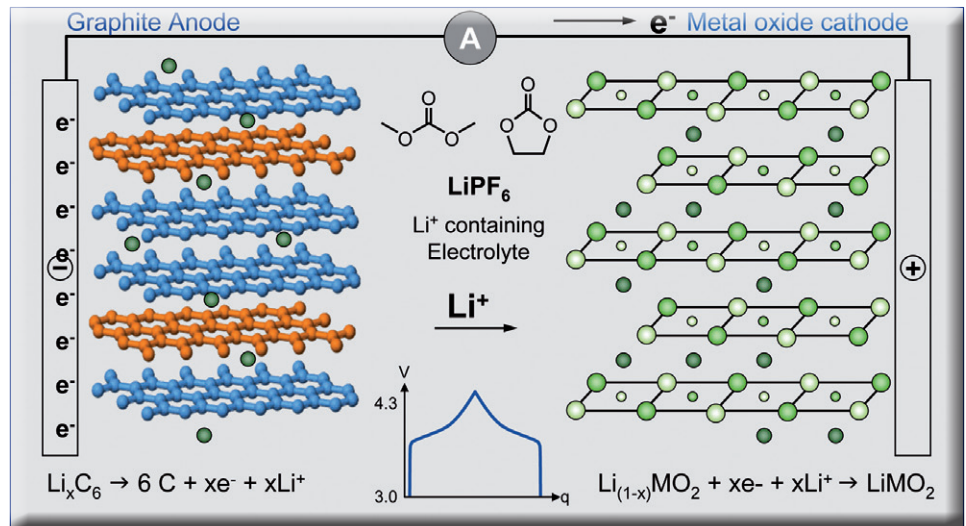
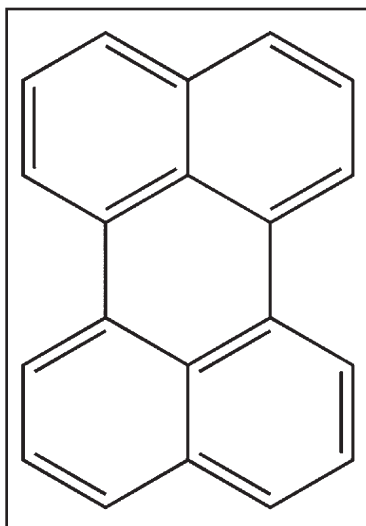
Prof. Dr. Klaus Müllen demonstrierte in Stuttgart als Teil seines „Chemie und Energie“-Vortrags das Konzept und die Eigenschaften für Infrarot-absorbierende aromatische Polyzyklen. Die Abkürzungen in dem Dia bedeuten: Perylendiimid (PDI), Terrylendiimid (TDI), Quaternyleriendiimid (QDI), Pentaryleriendiimid (5DI) sowie Hexaryleriendiimid (HDI; Foto: RK).



auch Präsident der GDCh – und mit seinem Institut auch Kooperationspartner der BASF. Demnach sind Grundlage dieser Beschichtungen organische Moleküle, die auf Perylen aufbauen, einem polyzyklischen Aromaten. Benzol zeichnet sich ja durch sein aromatisches Pi-Elektronensystem aus. Solch ein System ist gut geeignet, elektromagnetische Strahlung zu absorbieren. Man muss nur darauf achten, dass die Wellenlänge der zu absorbierenden Strahlung mit der Absorptionsfrequenz des Pi-Elektronensystems in Resonanz kommen kann.

Schließen sich vier Benzolringe zusammen, kommt man zum Perylensystem. Dessen großes, konjugiertes Pi-System über alle Ringe hinweg hat bereits eine Resonanzfrequenz im sichtbaren Licht, im tiefen Blau; daher sehen wir die Chemikalie in der Komplementärfarbe Gelb. Moleküle, die sich aus mehreren Grundeinheiten des Perylen-Moleküls zusammensetzen, absorbieren immer tiefere Wellenlängen. Fündig für die anstehende Aufgabe, den Infrarot-Strahlungsanteil der Sonnenstrahlung möglichst nicht ins Auto zu lassen, wurde man beim Quaterrylen; dessen Derivat Quaterrylendiimid bringt auch mit Hilfe der durch die Stickstoffatome geänderten elektronischen Eigenschaften die Absorptionsbande in den richtigen Bereich. Außerdem erwies sich die Verbindung als außerordentlich stabil, hält jahrelanger intensiver Sonnenbestrahlung stand und kann als NIR-Absorber (NIR = near infrared) an Scheiben eingesetzt werden. Nur Sonnenlicht kürzerer Strahlung wird in den Innenraum durchgelassen. Die in dem IR-Farbstoffmolekül als Bewegungsenergie umgesetzte NIR-Strahlung wird an die Luftmoleküle außen an der Scheibe abgegeben und mit ihnen abtransportiert.

Strukturformel von Perylen.



Im Lithium-Ionen-Akku wandert Lithium in ionisierter Form durch den Elektrolyten zwischen den beiden Elektroden hin und her. Dieser Lithium-Ionen-Fluss ist zum Ausgleich des externen Stromfluss beim Laden und Entladen nötig. Beim Laden werden den positiven Lithiumionen in der Anode Elektronen zugeführt. Dort lagern dann neutrale Lithiumatome ein. Beim Entladen geben diese je ein Elektron ab, welches über den externen Stromkreis zur anderen Elektrode fließt. Gleichzeitig wandern gleich viele Lithium-Ionen durch den Elektrolyten zu dieser Kathode (eine Kathode ist eine Elektrode, an der Elektronen einem System zugeführt werden, etwa einem Elektrolyten). An dieser Elektrode können positive Ionen (Kationen) entladen werden und Reduktionsreaktionen ablaufen). In einem Lithium-Ionen-Akku nehmen dort aber nicht die Lithium-Ionen das Elektron wieder auf, sondern die dort vorhandenen und im geladenen Zustand stark ionisierten und daher recht „elektronenhungrigen“ Übergangsmetallionen. Je nach Akkutyp können das Kobalt-, Nickel-, Mangan-, Eisen und andere Ionen sein. Das Lithium liegt im entladenen Zustand an der Kathode somit weiterhin in Ionen-Form vor. Als Anode lässt sich leider aufgrund der Deckschichtbildung beim Lithium kein reines Metall verwenden. Es würde dendritisch abgeschieden. Dieser fein verteilte Lithium-Schwamm ist hoch reaktiv. Zudem können Dendriten den Separator perforieren, zur positiven Elektrode durchwachsen, und somit die Zelle kurzschließen. Daher werden die relativ kleinen Lithium-Atome in einem anderen Stoff eingelagert (Interkalationsverbindung), meist Graphit. Die Abbildung zeigt einen Entladevorgang (Abb.: BASF).

Für Quaterrylendiimid ist noch eine weitere Anwendung absehbar. Beigemischt zu transparenten Kunststoffbauteilen lassen sich diese durch die Wärmeabsorption des IR-Farbstoffs mit einem Infrarotlaser verschweißen. Anwendungsgebiet kann die Medizintechnik sein, da mit Körperflüssigkeit in Kontakt kommende

Kunststoffe von Schläuchen oder Beuteln transparent sein müssen. Bisher wurden sie mit Cyanoacrylatkleber verbunden, der sich jedoch nach einiger Zeit zersetzen kann.

Akkus als Herausforderung

Zurück zu Chemie und Energie und insbesondere zur Elektromobilität: Die Hauptherausforderung bei Elektroautos ist zweifellos die Energiespeicherung. Als beste Lösung dafür stehen nach allen Überlegungen Akkumulatoren auf Lithiumbasis im Raum, nur: Li-Akku ist nicht gleich Li-Akku. Wörtlich im kleinsten Detail liegen hier die Herausforderungen und Potenziale – nämlich in molekularen und nanoskaligen Ausformungen notwendiger Akku-Elemente wie Kathoden oder Separatoren. Die Gründe dafür liegen in der Komplexität der in einer Li-Ion-Zelle ablaufenden

Vorgänge (siehe Bildunterschrift zur Prinzipdarstellung).

Als eine Optimierungsmöglichkeit, die ohne Änderung der grundlegenden Mechanismen auskommt, gibt es Verbesserungen beim Kathodenmaterial. Tatsächlich lassen sich dadurch Akkuzellen je nach Kundenanforderung auslegen, sei es etwa auf hohen Energieinhalt, schnelle Energieabgabe oder schnelle Ladefähigkeit hin.

Kein Wunder, dass in diesen Bereich Investitionen fließen. Dr. Andreas Kreimeyer, Forschungsvorstand der BASF, sprach auf der Pressekonferenz in Ludwigs-

hafen von einem dreistelligen Millionenbetrag, den man in das Thema Batterien investieren wolle. Schwerpunkt dabei seien die Lithium-Ionen-Technologien. Teil der Aufwendungen sei auch die im Bau befindliche Produktionsanlage für Kathodenmaterial dieser Akkutypen in Elyria, US-Staat Ohio. Mehr als 50 Millionen US-Dollar soll diese Anlage kosten, die voraussichtlich Mitte 2012 in Betrieb geht – und mit 24,6 Millionen Dollar vom amerikanischen Department of Energy gefördert wird.

Die BASF wird dort Kathodenmaterial produzieren, das vom

US-Aragonne National Laboratory patentiert wurde. In den USA ist man damit einer von nur zwei lizenzierten Anbietern der Lithium-stabilisierten Nickel-Cobalt-Mangan-Kathodenmaterialien, die einen breiten Anwendungsbereich abdecken sollen. Kreimeyer bemerkte, man schätze das Marktvolumen für derartige Kathodenmaterialien und Separatoren, die Kurzschlüsse in Li-Ionenakkus verhindern, auf eine Milliarde Euro im Jahr 2020, alleine durch das Wachstum der Elektromobilität.

Die soll eben auch dadurch wachsen, dass die Akkus besser werden. Zur Zeit liegt die Energiedichte von Li-Ionen-Akkus in der für Autos nutzbaren Spezifikation bei 170 Wattstunden pro Kilogramm. Anders ausgedrückt: Mit 100 Kilogramm an Batterien, die ein Volumen von rund 40 Litern einnehmen, kommt man bei sparsamster Fahrweise etwa 130 Kilometer weit. Die BASF-Experten schätzen, dass sich die Energiedichte evolutionär, d.h. durch viele Detailverbesserungen an Elektrodenmaterialien, Separatoren etc. bis auf 250 Wattstunden pro Kilogramm erhöhen lässt. Dann läge man bei einer Reichweite von rund 190 Kilometern – unter optimalen Bedingungen.

Lithium-Schwefel-Akkus

Eine ernsthafte Konkurrenz zu Benzin- und Dieselfahrzeugen stellt dies nicht dar, aber es gibt noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Die hier skizzierte Lithium-Ionen-Technologie dürfte beispielsweise ab etwa 2020 übertrumpft werden durch Lithium-Schwefel-Akkumulatoren. Dessen theoretische Energiedichte ist mit 3350 Wattstunden pro Kilo eine der höchsten aller Akkumulatoren. Praktisch erreicht wurden 350 Wattstunden pro Kilo, und zwar von der Sion Power Corporation in Tuscon, Arizona. Mit solch einem Akku gelang im Juli letzten Jahres ein Rekordflug: Ein unbemanntes, solarbetriebenes Flugzeug blieb 14

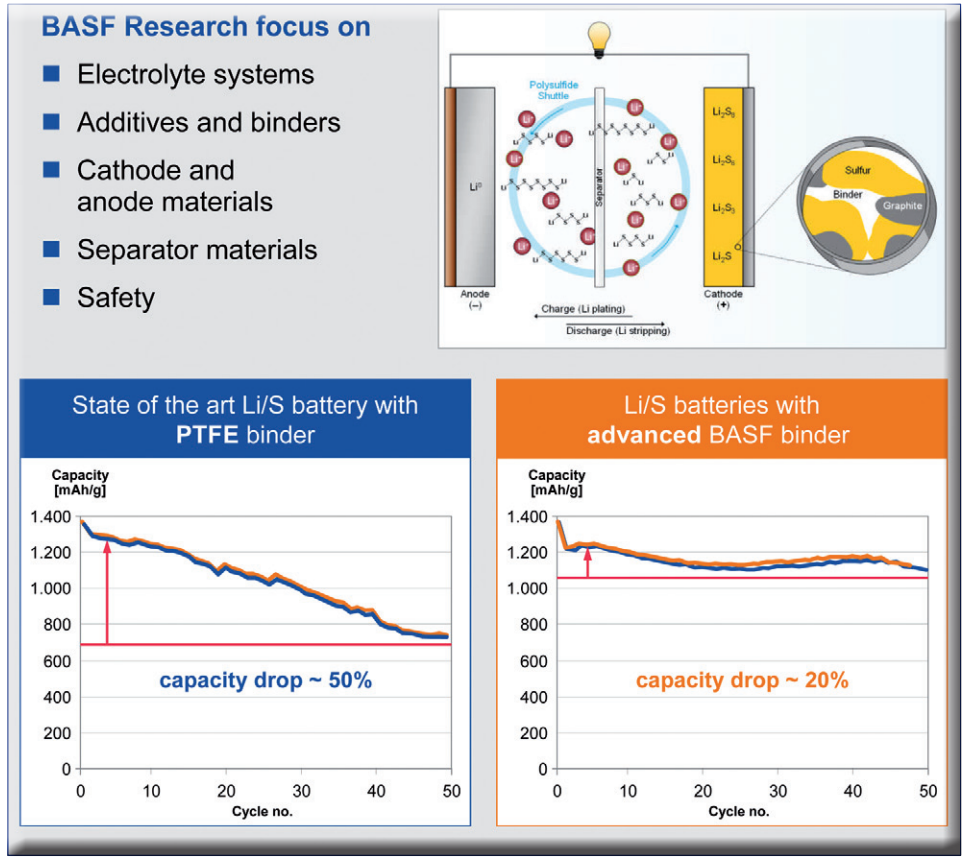
Christian Saffert, Chemielaborant bei der BASF, überprüft am „Multi-Kanal Testsystem“ die Speicherkapazitäten verschiedener Lithium-Ionen-Testbatterien (siehe dazu auch das Titelbild dieser CLB; Abb.: BASF)..



Tage (336 Stunden) ununterbrochen in der Luft. Seit 2009 hat die BASF eine Entwicklungskooperation mit Sion, die laut Angaben auf ihrer Webseite „in naher Zukunft“ eine Energiedichte von 600 Wattstunden pro Kilogramm erreichen wollen. Damit käme dann ein Auto bestenfalls 450 Kilometer weit.

Der Weg zum Erfolg des Lithium-Schwefel-Akkus ist aber noch lang. Zwar kann jedes Schwefelatom zwei Lithiumatome binden; in heutigen Li-Ionen-Zellen halten die Elektroden nur 0,5 bis 0,7 Atome Lithium pro Atom des Elektrodenmaterials. Da Schwefel ein Isolator ist dringen die Ionen jedoch nicht tief in das Material ein, was die Anlagerungsquote entsprechend verringert. Eine geeignete Separatortechnologie muss zudem verhindern, dass ein mögliches dendritisches Lithium-Wachstum zu Kurzschlüssen führt. Außerdem bilden sich bei den Elektrodenreaktionen neben Dilithiumsulfid auch Polysulfide, die sich in dem flüssigen Elektrolyten des Akkus lösen können, sich an ungeeigneten Stellen ablagern und so die Anzahl der Ladezyklen minimieren. Bisher will man laut Sion 50 Zyklen erreicht haben. Auf 1000 will man kommen. Das entspräche dann immerhin einer Fahrzeug-Leistung von 450 000 Kilometern – optimal.

Noch in einem frühen Forschungsstadium befindet sich dann eine mögliche weitere Akku-Technologie: Li-Luft bzw. Li-Sauerstoff-Akkumulatoren. In ihnen wird die Kathode durch Sauerstoff ersetzt. Als Anode dient metallisches Lithium. Da der Sauerstoff aus der Umgebungsluft entnommen werden kann, wird die Kapazität einer Lithium-Luft-Zelle alleine durch die Größe der Lithium-Anode bestimmt. Die theoretisch erreichbare Energiedichte liegt, wenn man die Masse des Sauerstoffs nicht berücksichtigt, bei rund 11 000 Wattstunden pro Kilogramm. IBM-Forscher gehen von



Den kommerziellen Einsatz von Lithium-Schwefel-Akkumulatoren für Elektroautos hält man in ungefähr zehn Jahren für möglich. Für Teilprobleme erzielte man schon Verbesserung wie die Grafiken oben (ganz oben: Prinzip) zeigen: Durch spezielle Bindemittel in der Schwefel-Kathode lässt sich die Anzahl der Ladezyklen erhöhen (Abb.: BASF).

einer kommerziell erreichbaren Energiedichte von etwa 1000 Wattstunden pro Kilogramm aus; damit wäre das Reichweitenproblem von Elektroautos wohl erledigt. Nach BASF-Angaben liegt das Hauptproblem bei Lithium-Sauerstoff-Akkus darin, geeignete Katalysatoren auf der Kathodenseite zu finden. Es koste sehr viel Energie, Lithiumperoxid und Lithiumoxid zu zersetzen. Die Effizienz einer solchen Zelle liege unter 70 Prozent. Bei Lithium-Luft-Zellen ergäben sich Probleme, weil Lithium sowohl mit der Feuchtigkeit der Luft wie mit dem Luftstickstoff reagiere.

Die Entwicklung neuer Akkumulatoren umfasst wie hier gezeigt eine Vielzahl von Stellschrauben, an denen Physiker, Chemiker und Ingenieure drehen können – was natürlich entsprechende Kosten verursacht. BASF-

Forschungsvorstand Kreimeyer bestätigte dann auch, dass man nicht alle Entwicklungsansätze angehen könne. Beispielsweise verfolge man die Entwicklung von Doppelschichtkondensatoren, auch Supercaps genannt, eher am Rande. Zwar zeichnen sich solche Speicher durch eine hohe Anzahl von Ladezyklen sowie durch schnelle Ladefähigkeit aus. Ihre Energiedichte ist jedoch noch gering. Inwieweit die Nanotechnologie hier weiterhelfen kann ist noch unklar. Im Grunde liefe ihr Einsatz durch eine Vergrößerung der Oberfläche der beteiligten Reaktionspartner auf eine Kombination vorhandener Akku-Technik und Kondensatoreigenschaften heraus.

Das E-Mobilitäts-System

Wie ja schon das Beispiel der Wärmeisolation durch NIR-absorbierende Beschichtung von Fahr-

zeugscheiben zeigte gilt es für die Elektromobilität, eine Vielzahl von Problemen zu lösen – auch über den Fahrzeugrand hinaus.

Professor Henning Kagermann erläuterte auf der BASF-Pressekonferenz entsprechende Lösungsanstrengungen. Er ist einer der zwei Präsidenten von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften sowie Vorsitzender der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Um mit einem kleinen Beispiel die Bedeutung solch einer Plattform deutlich zu machen: Es geht u.a. um Normierungen, internationale Abstimmungen. Und in diesem Rahmen freute sich Kagermann darüber, dass man über nur noch drei Steckersysteme zur Betankung von Elektroautos spreche; darunter sei ein deutscher.

Die Dimension der Anstrengungen wird jedoch deutlich, wenn man von realen Stückzahlen spricht. Zur Zeit – zum 125. Geburtstag des Autos; am 29. Januar 1886 meldete Carl Benz seinen Motorwagen zum Patent an – gibt es weltweit rund 950 Millionen Kraftfahrzeuge; 2030 sollen es 1,4 Milliarden sein. Verschwindend wenige davon fahren heute elektrisch; zehn Prozent, 140 Millionen, könnten es nach Aussagen Kreimeyers 2030 weltweit sein. Kagermann erläuterte, man lege es darauf an, schon in neun Jahren allein in Deutschland rund eine Million Elektroautos auf den Straßen zu finden, dazu je 200 000 in Ländern wie Österreich oder Holland, ebenso eine Million in Frankreich, in Japan und den USA je zwei Millionen und in China etwa zehn Millionen.

Die Strategie dazu sei, die richtigen Kunden zu suchen. Zunächst gehe es darum, im gewerblichen Bereich Kraftfahrzeugflotten auf E-Mobilität umzustellen, überall dort, wo der zu fahrende Aktionsradius überschaubar gering sei. Dann ginge es um die „early adopters“, um die Menschen, die sich ohne Kostenbetrachtungen aus Umweltgesichtspunkten oder



Deutschland liegt zwar bei der Entwicklung der Elektromobilität gegenüber asiatischen Ländern zurück, kann dies jedoch aufholen, sind sich acatech-Präsident Prof. Dr. Henning Kagermann und BASF-Forschungsvorstand Dr. Andreas Kreimeyer sicher. Letzterer hob hervor, die BASF hätte insgesamt für F&E im Jahre 2010 fast 1,5 Milliarden Euro ausgegeben, wolle den Betrag 2011 nochmals steigern (Foto: RK).

technischem Interesse heraus ein E-Auto zulegen wollen. Erst dann gehe es um den Massenmarkt. Dass auch bei den „early adopters“ schon jetzt von großem Interesse gesprochen werden könnte zeigte eine Initiative von Kagermanns früherem Arbeitgeber; bis 2009 war er Vorstandssprecher des Walldorfer Softwareunternehmens SAP. Dort bot man kürzlich 30 E-Autos Mitarbeitern zu den Standardbedingungen der SAP für Dienstwagen an. Die Interessenten mussten also zum Beispiel einen geringen Aktionsradius in Kauf nehmen. Auf diese 30 E-Mobil-Angebote hätten sich jedoch über tausend Interessenten gemeldet.

Kagermann wie Kreimeyer waren sich einig, Deutschland liege in der technologischen Entwick-

lung der E-Mobilität und Batterietechnik nach Vorsprüngen in den 70er und 80er Jahren jetzt drei bis vier Jahre hinter den Asiaten zurück. Dieser Rückstand ließe sich jedoch aufholen. Man sei in Deutschland in vielen der zu entwickelnden Feldern stark, und Elektromobilität sei eben eher mit Zehnkampf und Langstreckenlauf zu vergleichen als mit kurzfristigen Leistungserfolgen. Eher kritisch beurteilte Kagermann übrigens auf Nachfrage der CLB die Aussichten von Projekten wie „Better Place“, das sein ehemaliger SAP-Vorstandskollege Shai Agassi ins Leben rief. Kernidee des Projekts ist ein Netz automatischer Batteriewechselstationen für Elektroautos. Der Kunde kauft die Batterie, die 50 Prozent der Wertschöpfung eines E-Autos

ausmachen kann, auch nicht, sondern mietet den Strombezug. Immerhin hat Shai Agassi den Autohersteller Renault-Nissan sowie kleinere Ländern wie Dänemark oder Israel als Kooperationspartner gewonnen. Andere Projekte dieser Art verwenden tankbare Elektrolytlösungen, in denen die Energie steckt. Kagermann betonte die Offenheit der NPE für alle Lösungen. Man rechne jedoch damit, dass die Differenzierung des E-Auto-Absatzes über die Effizienz der Batterietechnik gehen werde.

E-Auto-Nutzer müssten sich jedoch mit zwei Paradigmenwechseln vertraut machen, so Kagermann. So gehe die Autokonstruktion von einem Fahrzeug mit großem Motor und kleinen Tank hin zu solchem mit großem Tank und kleinen Motor. Wichtiger noch: sei der Wechsel von verbrauchsorientierter Produktion hin zu produktionsorientiertem Verbrauch. Damit angesprochen seien Ladezeiten zu Zeiten sonstigen geringen Stromverbrauchs. Überlegungen gebe es auch, große E-Autoflotten als Zwischenspeicher für Solarstrom einzusetzen – womit der Systemcharakter der neuen Energietechnologien besonders deutlich wird.

Nicht nur Energiespeicherung

Nicht nur bei der Energiespeicherung ist die Chemie gefragt, auch nicht nur bei Isolation, die schon angeklungen ist. Wie heutzutage allgemein bekannt ist gibt es erstaunliche Möglichkeiten, Energie zu sparen – und zu gewinnen, beides gleichermaßen im Zusammenhang mit Licht zu erkennen. Nachdem heute fast jeder schon eine helle LED-Leuchte bei sich trägt hier noch ein paar Bemerkungen zur modernsten Entwicklung, den OLEDs, organischen lichtemittierenden Dioden.

Der Polymerforscher Klaus Müllen ging in seinem Vortrag in Stuttgart auf das enorme wirtschaftliche Potenzial ein, das in diesen Entwicklungen steckt. Demnach erwartet man mit die-

ser Technologie bis 2014 einen Umsatz von 15 Milliarden Dollar. Das ist jedoch nicht leicht zu erreichen, auch wenn die Vorteile verlocken: OLEDs sind hauchdünn, leuchten selbst und sind äußerst kontrastreich. Ein Problem jedoch: Während rote und grüne OLEDs mittlerweile eine ausreichende Haltbarkeit haben, verblasen blaue demgegenüber zu schnell. Das führt zu Farbverschiebungen bei den Displays. Ein weiteres wichtiges Problem: Je größer die Displays werden, desto höher ist der Ausschuss. Schließlich ist jedes nicht leuchtende Pixel leicht zu erkennen. Beides hat zur Folge, dass mittlerweile Smartphones mit OLED-Anzeigen angeboten werden, aber Fernsehbildschirme mit dieser Technik noch auf sich warten lassen.

Auch die Ansteuerung der Pixel durch Polysilicium-Transistoren ist noch in Entwicklung. Bei großen LCD-Schirmen nimmt man dafür leichter herzustellendes amorphes Silicium. Bei OLED-Schirmen benötigt man jedoch polykristallines Silicium, weil es eine höhere Elektronenbeweglichkeit hat und damit spannungsstabiler arbeitet – wichtig bei selbstleuchtenden Schichten.

Big screens - big problems! Max-Planck-Institut für Polymerforschung

Price/Costs:
 Passive OLED displays (cell mobile) - **20% more** than an equivalent LCD
 Active OLED displays (TV) - **up to twice as much as** an equivalent TFT LCD

From prototype to production „en masse“
 Difficult large scale manufacturing and high reject rates

Production of 2.2 inch display (cell mobile-Samsung)

Lifetime
 Suffices for a mobile phone, **but not for a television or monitor**

OLED displays vs. LCD display
 10,000-15,000 h vs. 50,000 h

Source: Korea Times, 2007

OLED market forecast Max-Planck-Institut für Polymerforschung

\$10.9 billion by 2012

\$15.5 billion by 2014
 lighting - \$1.0 billion
 displays for cell phones and other handhelds - \$7.2 billion

Only for displays

report from NanoMarkets

Auf Produktionsprobleme großer OLEDs, aber auch auf deren Marktpotenzial machte Klaus Müllen in seinem Vortrag aufmerksam (Bilder aus dem Vortrag: RK).

Der Herstellungsprozess für Polysilicium ist jedoch aufwändig, erfolgt relativ langsam durch Laserbestrahlung, die immer nur einen Teil der gesamten Displayfläche behandelt. Die Chemie kann hier auch helfen: Bei Samsung entwickelt man einen Prozess, bei dem aus amorphem Silicium mit Nickel beschichtet wird, das bei einer Erhitzung großer Glassubstrate, aus denen mehrere Displays hergestellt werden, katalytisch für die Entstehung von Polysilicium wirkt. In die kommerzielle Produktion soll das aber erst in einigen Jahren gehen.

Rolf Kickuth

Die Aussagen der Tinte aufgespürt

Analytik in der Kriminaltechnik – Altersbestimmung von Dokumenten



Abbildung 1: Die 63. Vollversammlung der UN hat 2011 zum internationalen Jahr der Chemie erklärt. In Stuttgart startete es mit dem ersten Vortrag der 15. Stuttgarter Chemietage am Institut Dr. Flad. Institutsleiter Wolfgang Flad bezeichnete zu Beginn der Veranstaltung dieses Schlaglicht auf die Chemie als absolut notwendig. In den Schulen würde immer noch zu wenig Naturwissenschaft gelehrt, obwohl gerade diese den Schlüssel zur Lösung etwa von Umwelt- und Energieproblemen liefern (Fotos: RK).

Chemische Analytik in der Kriminaltechnik war das erste Thema der 15. Stuttgarter Chemietage (Abb. 1). Einen packenden Vortrag darüber hielt im Institut Dr. Flad am 12. Januar Dr. Jürgen Bügler. Der Chemiker ist Leiter im Fachbereich Urkunden und Papier am kriminaltechnischen Institut der bayerischen Polizei in München. Und er enthüllte: Man kann nachweisen, ob ein Dokument Ende 2004 oder Ende 2005 erstellt wurde – mit etwas Glück.

einen großen Unterschied, ob eine Eins vor einer Reihe von Nullen steht oder nicht, und so etwas lässt sich leicht dazufügen – denkt man. In achtjähriger Arbeit hat Bügler jedoch eine Analytik entwickelt, die solchen Tricks auf die Spur kommt. Das alleine reicht allerdings nicht: Das Landeskriminalamt (LKA) in Bayern verfügt über riesige Sammlungen von Vergleichsobjekten. So sind rund 50 000 Dokumente verfügbar, durch die sich etwa die Echtheit von Führerscheindoku-

menten nachweisen lässt. Ebenso gibt es eine Sammlung von Maschienschriften. Auch hat jedes Druckermodell seine eigene Kennung. Und für die chemische Analytik hat tatsächlich im Rechtsalltag oft finanzielle Folgen. Bügler nannte als Beispiele Rentenansprüche, Ausbildungsnachweise, Führerscheine, steuerliche Unterlagen, Verträge oder auch Erbschaftsdokumente. Es macht ja auch

2004er Dokument mit 2005er Kugelschreiber

Damit kommt man auch dem Geheimnis etwas näher, wie es möglich ist nachzuweisen, wann etwas auf einem Dokument geschrieben wurde. Einerseits wurden die Stifte alle in einem bestimmten Zeitraum – der natürlich auch bekannt ist – produziert. Andererseits unterscheiden sie sich chemisch. Die Tinte eines Kugelschreibers kann durchaus einhundert Farbstoff-Verbindungen enthalten. Jedes Kugelschreibermodell verfügt damit über ein Kennzeichen, das in der Eindeutigkeit mit einem Fingerabdruck konkurrieren kann.

Im konkreten Fall fragten Steuerbehörden an, ob ein Dokument 2004 oder später erstellt wurde. Das Dokument wurde von einer

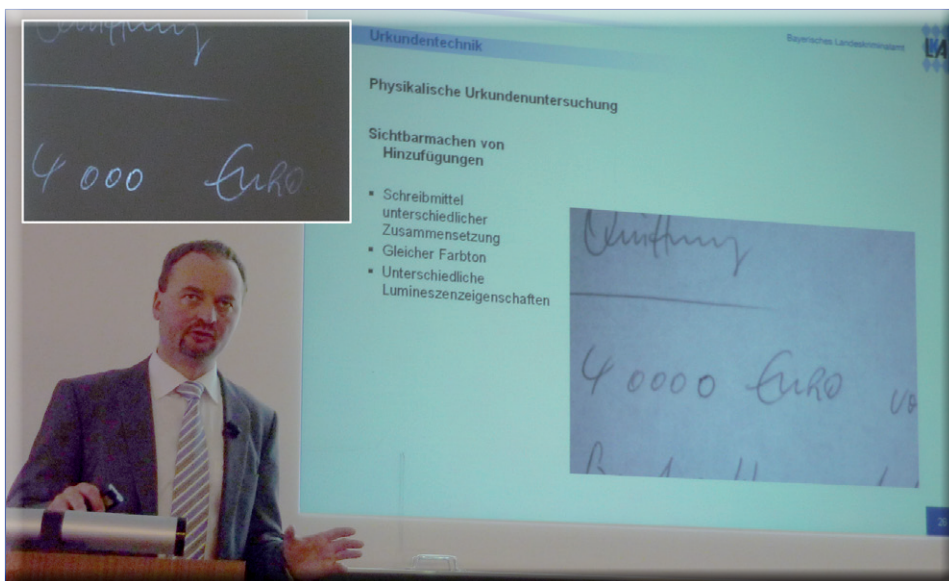


Abbildung 2: Eine Null macht hier den Unterschied von 36 000 Euro aus. Dass sie nachträglich zugefügt wurde zeigen in diesem Fall relativ einfach die unterschiedlichen Lumineszenzeigenschaften der verwendeten Tinten (kleines Bild), wie Dr. Jürgen Bügler vom bayerischen Landeskriminalamt erläuterte.

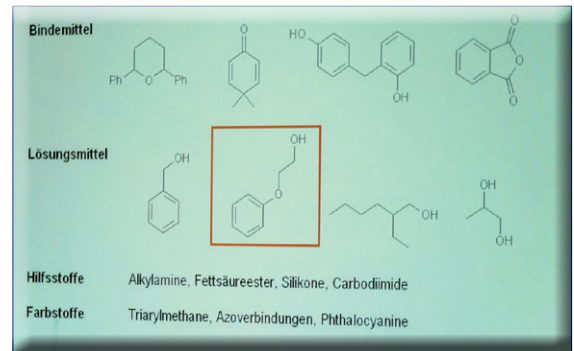
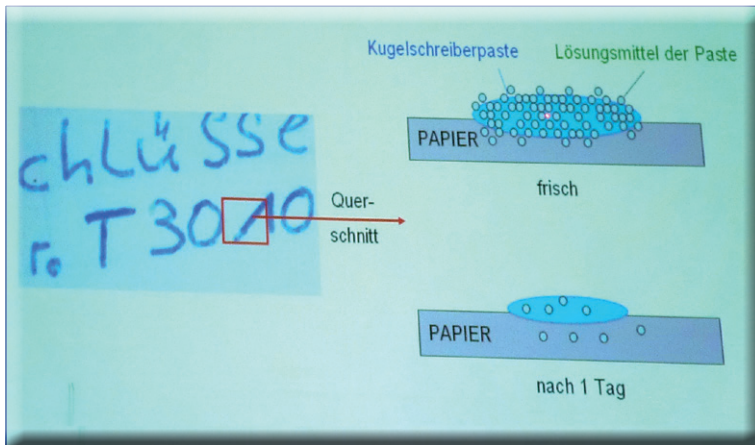


Abbildung 3 (links): Wechselwirkung von Lösungsmittel und Papier.

Abbildung 4 (oben): In dieser Folie zeigte Jürgen Bürger die Hauptkomponenten in Kugelschreiberpasten. Rot eingrahmt ist das Leit-Lösungsmittel Phenoxyethanol.

Firma bei einer Steuerprüfung im Jahre 2009 vorgelegt und bestätigte, dass ein Aktienbestand 2004 verringert wurde – und dementsprechend nicht der Besteuerung in den Folgejahren unterlag.

Die chemische Analyse einer auf dem Dokument verwendeten Kugelfüllertinte mittels HPTLC (Hochleistungs-Dünnschicht-Chromatographie) ergab jedoch: Die Tinte enthielt nur zwei Farbstoffe, die so nur von einem Hersteller verwendet wurden. In Kugelschreiberprodukten gelangte die Tinte erst in September 2005. Die Dokumentdatierung Mai 2004 war falsch! Das Glück des Analytikers war dabei, dass eben dieser neue Kugelschreiber verwendet wurde :)

Jürgen Bögler kann jedoch noch tiefer in die analytische Trickkiste greifen und so zum Beispiel feststellen, ob eine Eins, Null oder ein Komma irgendwo nachträglich eingefügt wurde.

Die etwas jüngere Null

Die grundlegende Idee dahinter ist: Je länger sich eine Tinte auf Papier befindet, desto fester ist sie mit ihm verbunden (Abbildung 3). Dies analytisch nachzuweisen ist jedoch eine Herausforderung, die laut Bögler weltweit nur eine Handvoll Labore meistern. Die für diese Aufgabe verwendete Methode ist die Thermodesorption, und man arbeitet im Nanogrammbe- reich.

In München läuft die Analytik teilweise automatisiert: Über Nacht laufen 20 Proben – dünne Papierstreifen – durch. Analysiert

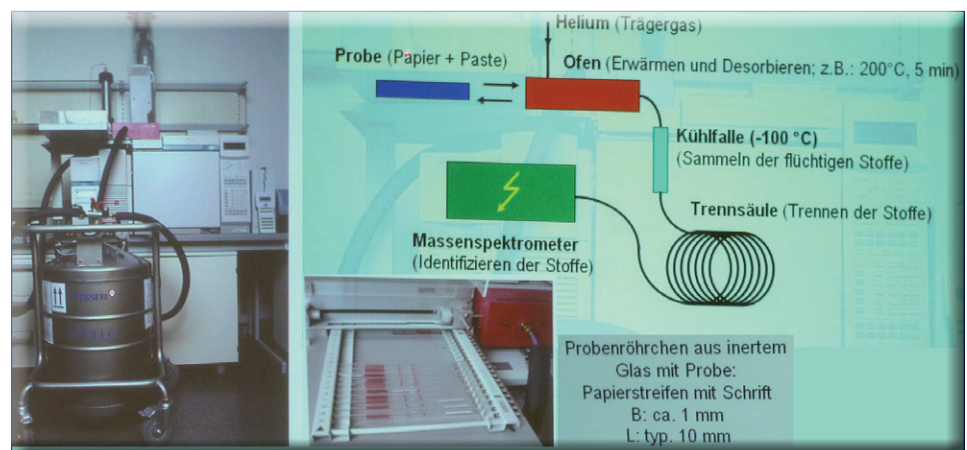
wird die Freisetzung des Tinten-Lösungsmittels Phenoxyethanol (Abbildung 4), das mit Papier eine sehr starke Wechselwirkung eingeht und einen Siedepunkt von 242 Grad Celsius hat. Man macht zwei Untersuchungen und führt dabei unterschiedliche Mengen an Energie zu, etwa durch Erhitzen einmal auf 90 Grad Celsius, ein zweites Mal auf 200 Grad Celsius (Abbildung 5). Aus dem Verhältnis der dann ermittelten Phenoxyethanolkonzentrationen kann man auf das Alter des geschriebenen Zeichens schließen. Eine kleine Einschränkung hat diese Methode jedoch: Man kann nur Schriftzeichen vergleichen, die auf demselben Blatt Papier geschrieben stehen, da die Lagerungsbedingungen – Wärme, Licht etc. – ebenfalls einen sehr starken Einfluss auf die Wechselwirkung des Lösungsmittels mit dem Papier haben.

Nicht in jedem Falle muss die Untersuchung auf hinzugefügte Schriftteilen jedoch so aufwändig sein. In geeigneten Fällen – in einer ersten Prüfung leicht festzustellen – genügt die Betrachtung mit ultraviolettem Licht, weil die verwendeten Tinten unterschiedliche Lumineszenzeigenschaften haben. Das zeigte Bögler an Fotos einer 4000 Euro-Quittung, die durch eine zusätzliche Null mal eben zur 40000 Euro-Quittung wurde (Abbildung 2).

Großes Aufgabengebiet

Über das Spezialgebiet von Jürgen Bürger hinaus – die Dokumentenanalyse – haben die Chemiker und Physiker des bayerischen Landeskriminalamts noch viele weitere Aufgaben, wie der Experte berich-

Abbildung 5: Apparatur zur Bestimmung altersveränderlicher Parameter von Dokumenten. Die Lösungsmittelanalyse erfolgt durch Thermodesorption mit GC/MS (links Apparatur, rechts Prinzipbild). Bis zu 20 Analysen laufen automatisiert durch (kleines Bild: Probenröhrchen; Abbildung aus Fotos vom Bürger-Vortrag).



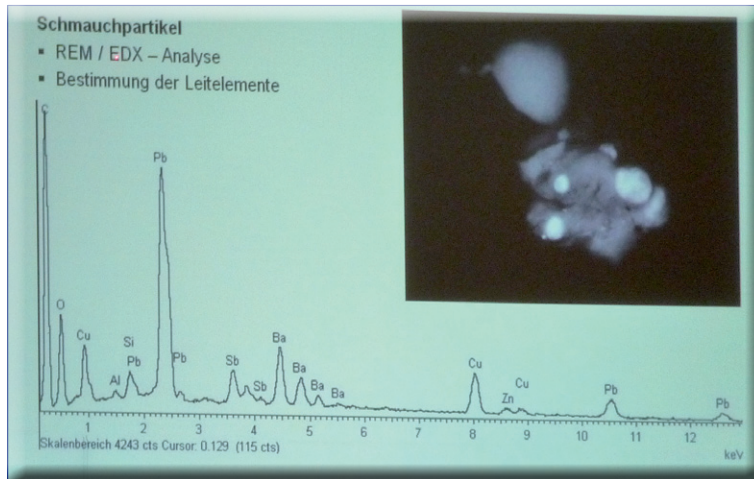


Abbildung 6: Beispiel einer Untersuchung durch die Rasterelektronenmikroskopie am LKA München: Analyse von Schmauchpartikeln. In Verbindung mit der energie-dispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) bestimmt man die wichtigsten Elemente der als Bild dargestellten Schmauchpartikel. Die Abwesenheit von Gadolinium belegt: Hier wurde keine Polizeimunition abgeschossen. Diese ist nämlich mit dem Seltenerdmetall zur sicheren Identifizierung dotiert (Foto aus dem Vortrag).

serspuren sowie Materialien (etwa Glas, Asbest, Schmauchspuren). In diesem Sachgebiet ist die zentrale Rasterelektronenmikroskopie angesiedelt (Abbildung 6) sowie die forensische Entomologie. Dieses insektenkundliche Fach hilft beispielsweise über die Besiedlung von Leichenteilen mit Maden festzustellen, wie lange ein Todeszeitpunkt zurückliegt. Das LKA in München führt dazu eigene Forschungen durch.

Jäger und Gejagter

Den Zuhörern am Institut Dr. Flad wurde beim Bügler-Vortrag deutlich: Chemiker, Physiker, Biologen und Ingenieure sind als Dienstleister der Polizei heutzutage mit unglaublichen technischen Mitteln und Untersuchungsmethoden ausgestattet. Sie lassen jedem Durchschnittstäter, der sich heutzutage über Straftaten einen Vorteil verschaffen will, im Normalfall keine Chance, die Straftat zu verschleiern. Rund 60 000 Spuren untersucht das LKA in München pro Jahr, etwa die Hälfte davon sind DNA-Analysen.

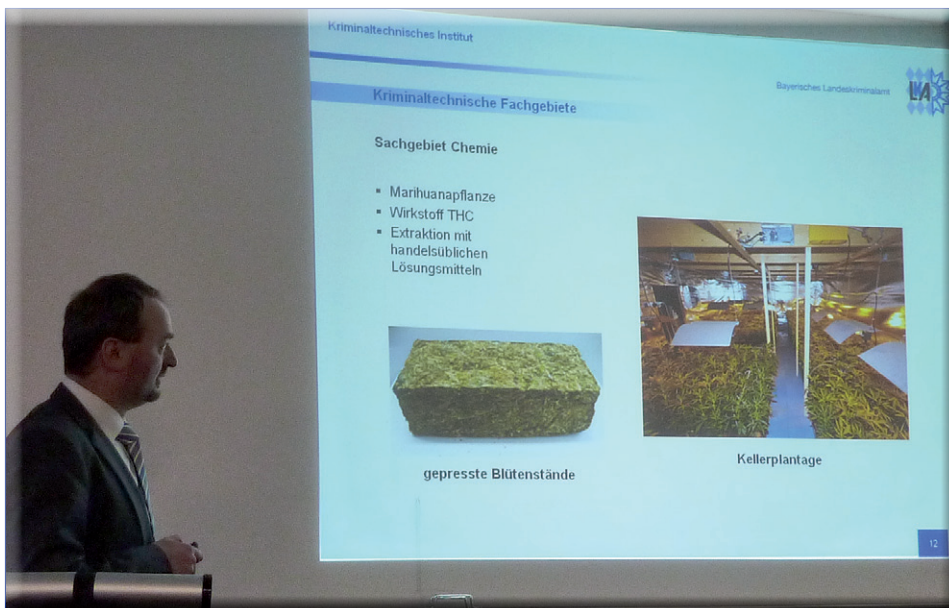
Gleichermaßen sind die Polizei-Experten aber auch Gejagte des technischen Fortschritts. Warum denn erst eine Straftat begehen, wenn man auch mit legalen Mitteln abkassieren kann? Hauptsache gewusst wie. Bürger berichtete, wie illegale Hanfplantagen heutzutage beispielsweise einfach über unnormal hohen Strombedarf für ein Gebäude auffliegen; häufig sind solche Plantagen in Kellern oder Lagerhallen untergebracht, benötigen viel Wärme und Licht (Abbildung 7). Nur: In der Wirkung oftmals mehrfach stärker als natürliches Cannabis sind daraus abgeleitete Designerdrogen. Da ihre molekulare Struktur jedoch noch nicht vom Betäubungsmittelgesetz erfasst ist, sind sie nicht verboten, werden beispielsweise als Gewürze, Duftstoffe oder auch als Badesalze angeboten. Hier hinken naturwissenschaftliche wie rechtliche Fachleute der Wirklichkeit in der Welt kriminell aktiver Menschen hinterher. *Rolf Kickuth*

Abbildung 7: Illegale Hanfplantagen fallen zum Beispiel durch überhöhten Strombedarf auf, so Dr. Jürgen Bügler. Unbewältigtes Problem jedoch: Designerdrogen als Cannabis-Abkömmlinge, rechtlich gar nicht spezifiziert.

tete. Immerhin gilt es, rund 38 000 Polizeiangehörige in jenem Bundesland mit seinen etwa 12,5 Millionen Einwohnern zu unterstützen. Dafür hat das kriminaltechnische Institut ca. 210 Mitarbeiter. In der Chemie arbeiten dort 12 Chemiker und 27 CTAs. Auch in der Physik arbeiten Chemiker, zwei an der Zahl, neben vier Physikern und zwei Chemieingenieuren sowie zwei Labormitarbeitern. Arbeitsschwerpunkte in der Chemie sind Untersuchungen zu Rauschgiften, chemisch-toxikologische Untersuchungen, Materialiden-

tifizierungen, Explosivstoffe und Explosionsspuren, Umweltdelikte sowie Arzneimittel bzw. deren Fälschungen.

Die Physiker kümmern sich detaillierter um Brände, Zündauslöser, Strom-, Verkehrsunfälle und Betriebsunfälle sowie der allgemeinen Tatortuntersuchung. Dann gibt es noch das Sachgebiet Mikrospuren / Biologie. Dort arbeiten neben zwei Biologen und zwei Textilingenieuren ein Chemiker, ein Physiker und ein Mineraloge, die sich auf 13 Labormitarbeiter stützen können. Sie untersuchen biologische und Fa-



Nickelion statt Nickelodeon

Eine molekulare Maschine in Plattenspielerform

Kiewer Wissenschaftler entwickelten eine molekulare Maschine, die ähnlich wie ein Plattenspieler aufgebaut ist. Das Molekül besteht aus einem Nickelion, das von einem Porphyrinring umgeben ist, und einem Stickstoffatom, das wie an einem Tonarm darüber schwebt.

„Wenn wir dieses Molekül mit blaugrünem Licht bestrahlen, wird das Stickstoffatom wie eine Nadel exakt senkrecht auf dem Nickelion platziert“, erklärt der Entwickler Rainer Herges. „Dadurch wird das Nickelion magnetisch, weil die Paarung zweier Elektronen aufgehoben ist“, so der Chemieprofessor. Den entgegengesetzten Effekt hat blau-violettes Licht: Das Stickstoffatom wird wieder angehoben, die Elektronen finden sich zu einem Paar zusammen und das Nickelion ist dadurch nicht mehr magnetisch. Dieses Schalten des Magnetzustandes lässt sich durch abwechselndes Bestrahlen mit den beiden unterschiedlich langen Lichtwellen mehr als 10 000-mal wiederholen, ohne dass die molekulare Maschine ermüdet oder Nebenreaktionen eintreten.

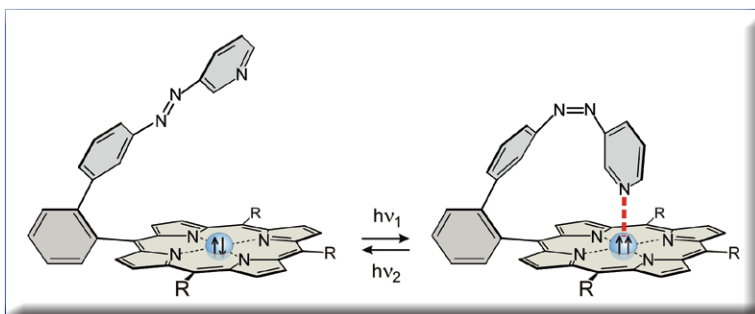
Der entdeckte Schalter mit einem Durchmesser von nur 1,2 Nanometern könnte als winziger magnetischer Speicher in der molekularen Elektronik verwendet

werden. Auch in der Medizin hält Herges den Einsatz des magnetischen Schalters für denkbar. Das Plattenspieler-Molekül ließe sich intravenös als Kontrastmittel in der Kernspintomografie verwenden. Erste Tests in der Neuroradiologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein waren erfolgreich.

Da durch das Schalten das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert wird, kommt man mit weniger Kontrastmittel aus als bei den bisher verwendeten magnetischen Salzen. Zudem könnte die molekulare Maschine als Basis für die Entwicklung neuartiger Kontrastmittel dienen, etwa um die Temperatur, den pH-Wert oder sogar bestimmte biochemische Marker im Körper dreidimensional darzustellen. Anwendungsgebiete lägen etwa in der Lokalisation von Entzündungsherden oder in der Visualisierung von Stoffwechselfvorgängen.

Porphyrine, die aus vier Pyrrol-Ringen – verbunden durch vier Methingruppen, bestehenden organischen Farbstoffe spielen übrigens im menschlichen Stoffwechsel eine herausragende Rolle. Neben dem Transport des Blutsauerstoffs durch die im roten Blutfarbstoff gebundene Häm-Gruppe kommen sie in vielen Enzymen vor, etwa der Katalase und den Enzymen der Atmungskette im Mitochondrium.

Das Plattenspieler-Molekül im Modell. Die Pfeile symbolisieren den magnetischen Zustand im Nickelion, der sich durch Kontakt mit dem Stickstoffatom am „Tonarm“ gezielt schalten lässt (Abb.:CAU / Rainer Herges).



Krankheiten:

Mechanismen und Möglichkeiten

- Die Ebstein-Anomalie ist eine seltene angeborene Herzklappenerkrankung. Forscher u.a. des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin konnten jetzt bei Patienten mit **Ebstein-Anomalie Mutationen in einem Gen** nachweisen, das eine wichtige Rolle für die Struktur des Herzens spielt. Man hofft, dass diese Erkenntnisse zu schnelleren Diagnoseverfahren sowie zu gezielteren neuen Behandlungsmethoden führen.

- Unter der Leitung der Professorinnen Robyn O’Hehir und Jennifer Roland hat ein Forschungsteam aus Immunologen der Monash University und des Alfred Health Zentrums in Australien die Hauptbestandteile eines sicheren und wirkungsvollen **Impfstoffs gegen Erdnussallergie** bestimmt. Die Erdnussallergie gilt als die schwerste Form der Nahrungsmittelallergien, da sie auch lebensbedrohliche anaphylaktische Reaktionen hervorruft.

- Ein Eiweiß reguliert offensichtlich den Auf- und Abbau der zellulären Fettspeicher. Forscher der Universität Bonn haben ein Eiweiß gefunden, das auf der Membran der Lipidspeichertröpfchen sitzt und mit wichtigen Akteuren des Zellstoffwechsels interagiert. Die Erkenntnisse könnten dabei helfen, demnächst Krankheiten wie die **Fettleber oder Störungen im Cholesterinstoffwechsel** besser zu verstehen und zu behandeln. Das Eiweiß namens AUP1 ist in die Membran der zellulären Fettspeicher verankert und bindet an ein wichtiges Enzym des Zellstoffwechsels.

- Bisher waren sechs Genvarianten (Loci) bekannt, die das Risiko erhöhen, eine **Parkinson-Krankheit** zu entwickeln. Jetzt identifizierte ein Konsortium internationaler Wissenschaftler unter Beteiligung des Hertie-Instituts für klinische Hirnforschung am Universitätsklinikum Tübingen weitere fünf. Mit insgesamt 12 386 untersuchten Parkinson-Patienten, 21 583 gesunden Kontroll-Personen und 7,7 Millionen untersuchten Genvarianten aus fünf genomweiten Assoziationsstudien handelt es sich um die bisher weltweit größte genetische Analyse zur Parkinson-Erkrankung. Für Parkinson gibt es also eine starke genetische Komponente.

- Wissenschaftler am Helmholtz Zentrum München und dem Klinikum rechts der Isar haben einen **Antikörper entwickelt, der Tumore spezifisch angreift** und die natürliche Immunreaktion aktiviert: cmHsp70.1. Der neue Antikörper erkennt nur die krankhaft veränderten Tumore; dies wird zu deutlich verminderten Nebenwirkungen führen. Die Zielstruktur des neuen Antikörpers, das Heat Shock Protein 70 (Hsp70), kommt auf der Zelloberfläche einer Vielzahl unterschiedlicher Tumorarten vor, nicht aber auf gesunden Zellen. Hsp70-positive Tumore zeichnen sich durch eine hohe Aggressivität und in der Folge durch eine schlechte Prognose für den Patienten aus.

Kurz vor der Zerstörung vermessen

Freie-Elektronen-Laser: Beugungsmuster von Proteinen ohne Kristallisation

Es ist ein Forschertraum seit mehr als einem Jahrzehnt: biologische Strukturen mit Hilfe von extrem intensiven Röntgenblitzen hochauflösend abbilden zu können. Mit bisherigen Verfahren werden die Proben zerstört, bevor ihre Struktur ermittelt ist. Die neu entwickelten Freie-Elektronen-Laser hingegen produzieren ultrakurze Lichtblitze, die milliardenfach heller sind als herkömmliche Lichtquellen. Mit diesen Blitzen lassen sich Bilder aufnehmen, noch bevor der Zerstörungseffekt eintritt. Die Ergebnisse sind ein erster Schritt, um molekulare Strukturen von

Proteinen sichtbar zu machen und die Struktur von Viren ohne aufwändige Kristallisation zu bestimmen.

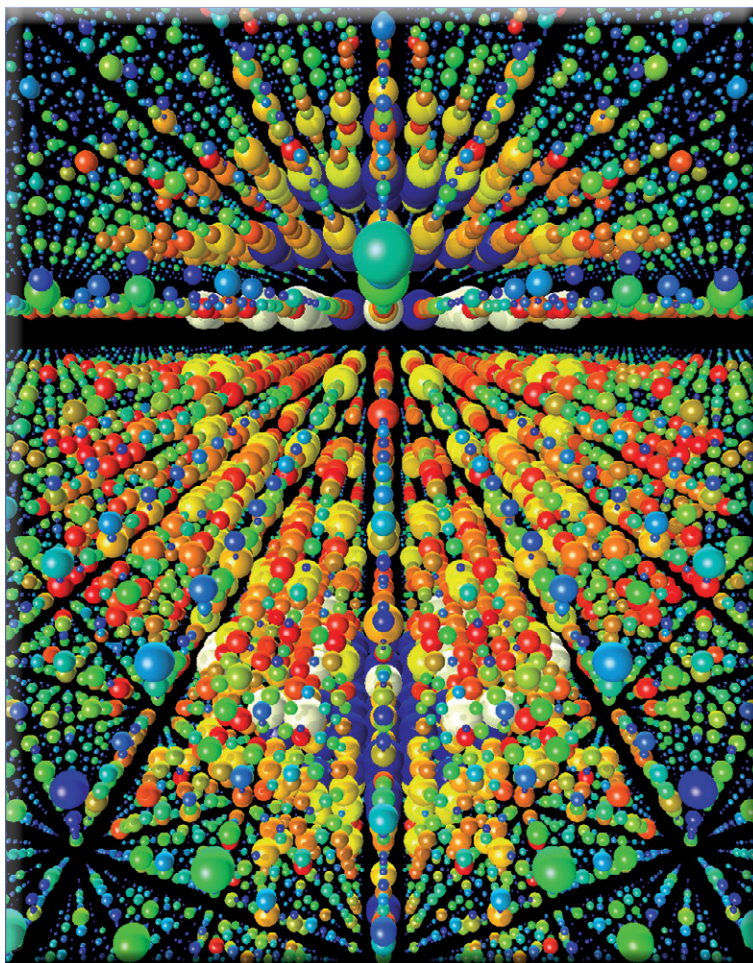
Eine Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Henry Chapman vom Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) bei DESY in Hamburg hat jetzt am Freie-Elektronen-Laser LCLS (Linac Coherent Light Source) in Stanford (USA) an Proteinen und Viren nachgewiesen, dass dieses Verfahren funktioniert.

Die 3D-Strukturen von Proteinen und Viren werden üblicherweise mit Hilfe der Röntgenkristallographie aufgezeichnet. Dabei trifft ein Röntgenstrahl auf den Kristall, und es entsteht ei-

ne Anordnung von Punkten, das Röntgenbeugungsmuster. Während der Kristall im Röntgenstrahl gedreht wird, gibt die gemessene Intensität dieser Punkte ein dreidimensionales Abbild der Probe. Allerdings werden die Testobjekte bei der Untersuchung von der intensiven ionisierenden Strahlung zerstört. Deshalb sind große und aufwändig herzustellende Kristalle notwendig, um deutliche Beugungsmuster zu erzielen, bevor die Zerstörung einsetzt. Dieses Verfahren scheitert oft daran, dass eine einwandfreie Kristallisation von vielen Biomolekülen nicht möglich ist. Der Freie-Elektronen-Laser LCLS produziert Röntgenblitze, die eine Milliarde Mal heller sind als die der zurzeit genutzten Synchrotronstrahlungsquellen. Ein einzelner Blitz ist so intensiv, dass jede Probe in dem Strahl zu einem Plasma verdampft, das heißer als die Sonne ist. Die Zerstörung erfolgt aber erst, nachdem der ultrakurze Röntgenblitz das Objekt durchquert hat. In nur 100 Femtosekunden (Billiardstel Sekunden) erzeugt der Röntgenblitz sein Bild, bevor die Moleküle zerplatzen. Das Röntgenbeugungsmuster vermittelt somit die Information über das unzerstörte Objekt. Die Blitze sind so intensiv, dass die Beugungsmuster winziger Nanokristalle oder sogar einzelner Viruspartikel intensiv genug für die Auswertung sind.

Jeder Röntgenblitz ergibt ein einzelnes Bild von dem Objekt. Zur Erzeugung einer 3D-Abbildung werden viele Schnappschüsse von zufällig ausgerichteten identischen Objekten genutzt. Die Zielobjekte werden in einem Aerosolstrahl oder in einem gasfokussierten Flüssigkeitsstrahl dem Röntgenstrahl ausgesetzt. Mit diesem Versuchsaufbau erzeugten die Wissenschaftler 1800 einzelne Beugungsmuster pro Minute. Vor jedem Röntgenblitz – 30 pro Se-

Dreidimensionale Darstellung der Beugungsbilder, die von über 15 000 Nanokristallen an der LCLS gemacht worden sind. Jeder der Nanokristalle wurde zwar durch den intensiven Röntgenpuls zerstört, seine Struktur konnte aber vorher vermessen werden.



kunde – wurde ein neues Teilchen eingefügt, um das vorher verdampfte zu ersetzen. Die Hochgeschwindigkeits-Röntgendetektoren erfassten und digitalisierten mehrere Tage lang Millionen von Beugungsmustern. Das ergab mehrere Terabyte an Daten – die Datenrate lag höher als die der Teilchenphysikexperimente am Large Hadron Collider (LHC). Die Daten wurden an Computer-Clustern bei DESY und SLAC analysiert. Hierzu wurden mit parallelen Programmen die 3D-Beugungsmuster bestimmt, die aus Zehntausenden der besten Beugungsmuster zusammengesetzt sind. Dieses Muster entsprach dann dem eines einzelnen perfekten Kristalls.

Photosystem-I und Mimivirus

In ihren Experimenten machten die Forscher Aufnahmen von dem Photosystem-I-Protein-Komplex und dem Mimivirus. Photosystem-I ist eine entscheidende Komponente zur Umwandlung des Sonnenlichts in Energie mittels Photosynthese. Die Photosystem-I-Nanokristalle waren eine ideale Probe für die Experimente, die die Machbarkeit der Methode zeigen sollten. Die Kristalle mit einer Größe von 100 Nanometern bis zwei Mikrometern gehören zu den membrangebundenen Proteinen, die extrem empfindlich und schwer in kristalline Form zu bringen sind. Trotz ihrer wichtigen biologischen Funktion konnte man bis heute weniger als 300 membrangebundene Proteinstrukturen ermitteln – im Vergleich zu mehr als Zehntausenden von löslichen Proteinen.

Die Struktur des Photosystem-I-Komplexes wurde zwar vor kurzem auch mit Hilfe von großen Kristallen ermittelt. Allerdings benötigte man 13 Jahre, um die Kristallisationsbedingungen zu erkennen. Dies ermöglichte jetzt einen quantitativen Vergleich, der die Genauigkeit der FEL-Methode unter Nutzung der wesentlich einfacher herzustellenden Nanokristalle unter Beweis stellte. Es zeigte sich, dass ein Beugungsbild

vor der Zerstörung mit solch extrem empfindlichen Objekten realisierbar ist.

Zusätzlich gelang dem Forscherteam ein weiteres Experiment zur Abbildung einzelner Exemplare des Mimivirus, dem größten bekannten Virus, der Amöben befällt. Das Experiment zeigt, dass Kristallisation komplett vermieden werden kann. Tausende Beugungsmuster von einzelnen Viren wurden aufgezeichnet und ihre einzelnen Bilder rekonstruiert. Diese neue Art der Bildgebung macht ein Einfrieren, Zerschneiden oder chemische Markierung der Struktur überflüssig, sie könnte sich sogar für ganze lebende Zellen eignen.

Letztendlich wird mit der neuen Technik angestrebt, Beugungsmuster von einzelnen Molekülen aufzuzeichnen, ohne dass eine Kristallisation notwendig ist. Für dieses Ziel bedarf es noch weiterer Entwicklungen, um die Röntgenblitze auf noch kleinere Punkte zu fokussieren, um ihre Intensität zu vergrößern.

Die von dieser Gruppe dargestellten Verfahren werden noch weiter entwickelt, um eine höhere Auflösung zu erzielen. Diese Forschung zeigt bereits jetzt das enorme Potenzial von Freie-Elektronen-Röntgenlasern, wie zum Beispiel auch dem European XFEL in Hamburg.

Ein Kubikkilometer Eis im Blick

Das weltgrößte Neutrino-Teleskop ist fertiggestellt

Nach knapp sechs Jahren Bauzeit und einem Jahrzehnt Vorbereitung wurde am 18. Dezember 2010 das Neutrino-Teleskop „IceCube“ fertiggestellt. Der größte Teilchendetektor der Welt besteht aus einem Kubikkilometer Eis am Südpol, der mit höchstempfindlichen Lichtsensoren durchsetzt ist.

Neutrinos werden oft als Geisterpartikel bezeichnet, da sie große Mengen Materie unbeobachtbar durchdringen können. Der Nachweis erfordert daher gigantische Detektoren.

IceCube ist im tiefen Eis unter der US-amerikanischen Amundsen-Scott-Station am geographischen Südpol installiert. IceCube besteht aus 86 Kabeltrossen, an denen in Tiefen zwischen 1,45 und 2,45 Kilometern jeweils 60 Glaskugeln angebracht sind. Die Kugeln umschließen hochempfindliche Lichtsensoren, die das schwache bläuliche Leuchten auffangen, das bei Neutrinoereaktionen entsteht. Ein Viertel dieser insgesamt über 5000 optischen Sensoren wurde durch deutsche Forschungsgrup-

pen bereitgestellt. Die Trossen sind in 125 Meter Abstand voneinander angeordnet, sodass insgesamt ein Volumen von einem Kubikkilometer mit Lichtsensoren bestückt ist. Das Projekt wird von einem internationalen Konsortium unter Führung der US-amerikanischen National Science Foundation (NSF) betrieben. Die NSF hat auch den größten Teil der Baukosten von 279 Millionen US-Dollar übernommen. Der deutsche Beitrag beträgt ca. 20 Millionen Euro.

Bisher nachgewiesene Neutrinos von einer 1987 registrierten Supernovaexplosion und von der Sonne haben unsere Theorien über Supernovae und über die Fusionsreaktionen im Sonneninnern bestätigt. Dafür wurde im Jahr 2002 der Physiknobelpreis verliehen. IceCube sucht nach Neutrinos aus Quellen, die viel weiter entfernt sind als unsere Sonne. Zu den Forschungsobjekten zählen schwarze Löcher, die im Zentrum von Galaxien sitzen, sowie die vermutete „Dunkle Materie“, die wohl unser Universum erfüllt, aber bisher nicht identifiziert werden konnte.

Modell des schnellen Phasenwechsels

Supercomputer entschlüsselt Strukturen in DVD-Materialien

Forscher aus Jülich, Finnland und Japan klärten detaillierte Prozesse beim Phasenwechsel während des Schreibprozesses einer DVD. Sie nutzten dabei Daten von Röntgenspektren und fütterten damit Gleichungen zur Simulation in einem Supercomputer.

Die informationstragende Schicht einer DVD besteht aus einer polykristallinen Legierung aus mehreren chemischen Elementen. Die digitale Information wird darin in Form von Bits gespeichert, die jedes kaum 100 Nanometer groß sind. Die Legierung kann hier eine ungeordnete, amorphe oder eine geordnete, kristalline Struktur annehmen. Der Übergang zwischen den beiden Phasen dauert nur einige Nanosekunden und lässt sich durch einen La-

serstrahl auslösen. Die gängigen Legierungen für Speichermedien wie DVD-RAM oder Blu-ray Disc enthalten Germanium (Ge), Antimon (Sb) und Tellur (Te). Sie werden nach den Anfangsbuchstaben der Elementsymbole GST genannt. Für das Speichermedium DVD-RW wird in der Regel die Legierung AIST verwendet, die in kleinen Mengen Silber (Ag) und Indium (In) sowie ebenfalls Antimon (Sb) und Tellur (Te) enthält.

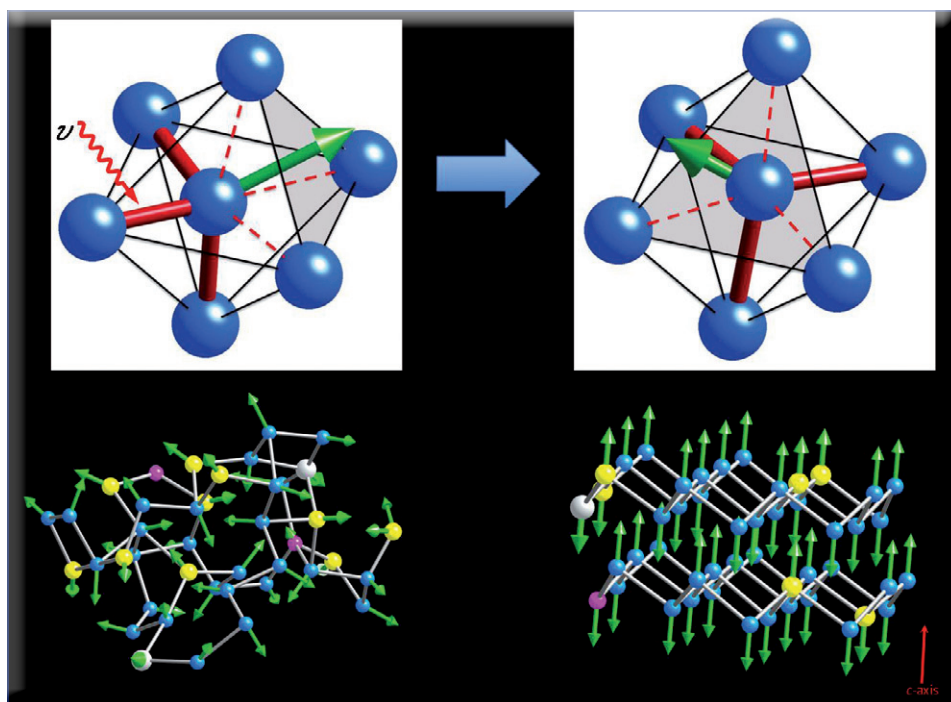
Obwohl beide Legierungsfamilien Antimon und Tellur enthalten und scheinbar ähnlich sind, hat der Übergang zwischen den Phasen wesentliche Unterschiede. Neben den experimentellen Daten und Röntgenspektren vom japanischen Synchrotron SPring-8 nutzten die Forscher intensiv Simulationen am Jülicher Supercomputer JUGENE. Mit der

Kombination der beiden Methoden ist es nun erstmals gelungen, die Strukturen der beiden Phasen von AIST zu bestimmen und ein Modell für den schnellen Phasenübergang zu entwickeln.

In AIST-Legierungen verläuft der Phasenübergang von außen nach innen. Das Bit wächst vom Rand, wo es an die kristalline Umgebung grenzt, nach innen zu. In der Zeitschrift *Nature Materials* erklären die Forscher dies nun über ihr „Bindungsaustauschmodell“. Dabei ist die lokale Umordnung des amorphen Bits durch eine kleine Bewegung des Antimon-Atoms ausschlaggebend. In einer Folge von vielen kleinen Schritten richtet sich Atom für Atom und damit das Gitter neu aus und kristallisiert, ohne dass Hohlräume und große Bewegungen notwendig sind. Letztlich haben die Antimon-Atome, angeregt durch den Laserstrahl, im Wesentlichen nur die Stärke der Bindung zu zwei benachbarten Atomen ausgetauscht, daher der Name „Bindungsaustauschmodell“.

Bereits in früheren Arbeiten hat das Forscherteam die Vorgänge in GST nachvollzogen. Beim Phasenübergang in GST kristallisiert das amorphe Bit durch Keimbildung, das heißt, dass sich im Innern spontan Kristalle bilden, die schnell wachsen, bis das Bit ausgefüllt ist. Der schnelle Übergang lässt sich dadurch erklären, dass amorphe und kristalline Phasen aus den gleichen Strukturen bestehen, nämlich den „ABAB“-Ringen. Diese vier-eckigen Ringe aus zwei Germanium- oder Antimon- und zwei Tellur-Atomen können sich in den vorhandenen Hohlräumen bewegen und umordnen, ohne dass viele atomare Bindungen brechen.

Modell der Kristallisierung der Legierung AIST in einer DVD: Oben links: Ein Laserstrahl (Pfeil $h\nu$) stößt die Bewegung des zentralen Antimon-Atoms (links) an, das daraufhin seine Bindung zu zwei Nachbarn austauscht. Oben rechts: Die grüne Vektorsumme der drei kurzen roten Bindungen ändert sich. Unten: Eine Reihe solcher Prozesse führt von der amorphen (links) zur kristallinen Form (rechts; Bild: Forschungszentrum Jülich).



Vier Monate rechnen für hundert Picosekunden

Die Berechnung des amorphen AIST ist die größte, die je in dem Forschungsbereich Speicherlegierungen gemacht wurde. Rund 640 Atome wurden über den vergleichsweise langen Zeitraum von mehreren hundert Pikosekunden simuliert, um die notwendige Genauigkeit zu er-

reichen. Etwa 4000 Prozessoren des Jülicher Supercomputers JUGENE waren über vier Monate ausgelastet, um die richtigen Modellbedingungen zu bestimmen. Neben der reinen Rechenleistung sind aber vor allem fundierte Kenntnisse sowohl im wissenschaftlichen Rechnen als auch in der Modellierung von Festkörpern notwendig.

Dr. Robert Jones vom Forschungszentrum Jülich, der in einem internationalen Team an dem Problem arbeitet, will mit den Erkenntnissen Verbesserungen der Speichermedien erreichen. Besonders wichtig ist sicherlich eine längere Datenhaltbarkeit, erwünscht auch größere Kapazität oder geringere Zugriffszeit.

Fermi-Konstante: Schwache Kraft stark bestimmt Lebensdauer eines Myons weltrekordhaft genau vermessen

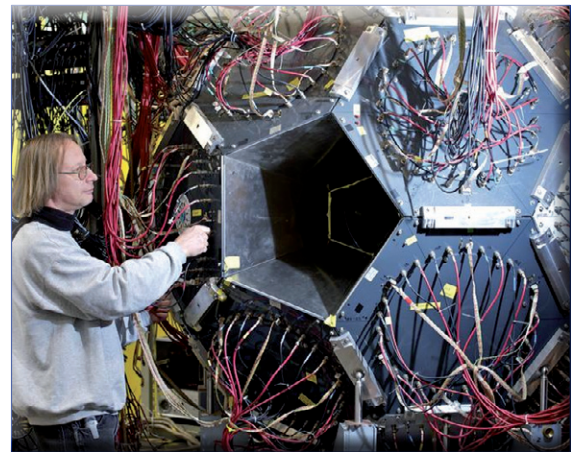
Eine neue Messung der Lebensdauer des Myons – die genaueste Bestimmung einer Lebensdauer in der Welt der kleinen Teilchen – liefert einen hochgenauen Wert für einen Parameter, der für die Bestimmung der Stärke der schwachen Kernkraft entscheidend ist: Die Fermi-Konstante.

Die schwache Kraft ist eine der vier Grundkräfte der Natur. un hat ein internationales Forschungsteam unter Leitung von Forschenden der University of Illinois, der Boston University und der University of Kentucky (alle USA) am Paul Scherrer Institut Experimente durchgeführt, dank denen ein Parameter, der für die Stärke der schwachen Wechselwirkung – wie die schwache Kraft auch genannt wird - von entscheidender Bedeutung ist, mit einzigartiger Genauigkeit bestimmt werden konnte. Dieser als Fermi-Konstante bekannte Parameter ist eine der fundamentalen Naturkonstanten.

Einer der wesentlichen Erfolge beim Verständnis der subatomaren Welt war in den Siebzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts bestand darin, dass Physiker gezeigt haben, dass die schwache und die elektromagnetische Wechselwirkung – eine weitere der vier Grundkräfte – eigentlich zwei Aspekte einer einzelnen Wechselwirkung sind. Diese wird als

elektroschwache Wechselwirkung bezeichnet und deren Stärke wird durch insgesamt drei Parameter festgelegt – einer davon ist die Fermi-Konstante. Der neue Wert der Fermi-Konstante wurde durch eine hochpräzise Bestimmung der Lebensdauer des Myons – die genaueste Messung einer Lebensdauer in der Welt der Atome und Elementarteilchen – ermöglicht. Das Myon ist ein instabiles Elementarteilchen, das mit einer Lebensdauer von rund 2 Mikrosekunden zerfällt. Dieser Zerfall wird alleine von der schwachen Kraft bestimmt und es gibt einen recht einfachen Zusammenhang zwischen der Lebensdauer des Myons und der Stärke der schwachen Kraft.

Das MuLan-Experiment (Muon Lifetime Analysis) nutzte Myonen, die an der Beschleunigeranlage des Paul Scherrer Instituts in Villigen (Schweiz) erzeugt wurden – der stärksten Myonenquelle weltweit und dem einzigen Ort, an dem so präzise Experimente durchgeführt werden können. In speziellen Materialien (Targets) wurden immer wieder Gruppen von ankommenden positiven Myonen gestoppt. Der Strahl wurde dann jeweils rasch abgeschaltet, wobei rund 20 Myonen im Target steckenblieben. Mit der Zeit zerfiel jedes dieser Myonen und sandte dabei als Zeichen seines Zerfalls ein schnelles Positron – ein positiv



geladenes Elektron – aus. Diese wurden von 170 Detektoren nachgewiesen, die das Target in Form eines riesigen Fußballs umgaben. Die Forscher haben den Vorgang für 100 Milliarden Myonenpakete wiederholt, dabei Billionen von einzelnen Zerfällen beobachtet und 100 Terabyte an Daten gesammelt, die für die spätere Auswertung im Supercomputer des amerikanischen Nationalen Hochleistungsrechenzentrums (NCSA) in Illinois gespeichert wurden. Aus diesen Daten wurde die Verteilung der Lebenszeiten der einzelnen Myonen erstellt und daraus die mittlere Lebensdauer bestimmt, für die sich der Wert $2,1969803 \pm 0,0000022$ Mikrosekunden ergab. Die Unsicherheit dieses Ergebnisses beträgt zwei Millionstel einer Millionstelsekunde – das ist Weltrekord.

PSI-Forscher Bernhard Lauss an der „Fußball“-Detektoranordnung, die zur Messung der Myonenlebensdauer verwendet wurde (Foto: PSI/F. Reiser).

Neue Funktion eines DNA-Reparatursystems entdeckt

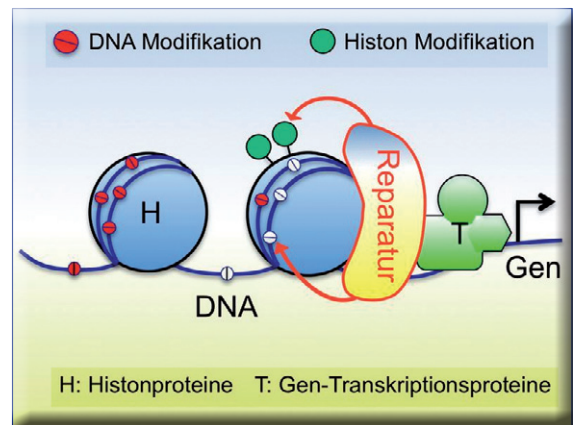
**Zu CLB 05/2010, 198-203:
RNA-Editing erhöht die
Proteinviefalt (Epigenetik)**

Ein zelluläres Reparatursystem, von dem man bisher annahm, dass es primär für die Korrektur von DNA-Schäden zuständig ist, spielt nun auch bei der Ablesbarkeit von

Genen und damit in der Embryonalentwicklung eine zentrale Rolle. Es sorgt dafür, dass in jedem Zelltyp konstant die richtigen Gene aktiv sind.

Jede Zelle besitzt Reparatursysteme, mit denen sie Schäden an der DNA, der Trägerin der Erbinformationen, repariert und somit die genetische Information in korrekter Form erhält. Die Forschergruppe um Primo Schär, Professor für Molekulare Genetik an der Universität Basel, hat nun bei einem zellulären Reparatursystem eine Entdeckung gemacht. Statt wie bisher angenommen primär Fehler in der Basenabfolge der DNA zu beseitigen, stabilisiert es zusätzlich eine übergeordnete genetische Ebene. Ein DNA-Reparatursystem stabilisiert Muster von chemischen Modifikationen an der DNA und an Histonproteinen und gewährleistet damit, dass in jeder Zelle konstant die richtigen Gene aktiv sind.

Die Vermutung kam den Forschenden bei der Beobachtung von Mäusen, denen eine spezifische Komponente dieser Reparaturmaschine fehlte. Sie starben noch vor der Geburt, obwohl die Zellen den Defekt erwartungsgemäß hätten kompensieren müssen. Untersuchungen zeigten, dass nicht die DNA-Stabilität beeinträchtigt war, sondern die Ablesemuster der Gene in der Embryonalentwicklung falsch programmiert wurden. Im Embryonalstadium wird für jeden Zelltyp ein spezifisches Programm von Genen aktiviert, während die Mehrzahl der Gene stillgelegt werden müssen. Zu diesem Zweck wird die DNA in eine kompakte Form gebracht, in der nur die benötigten Gene ablesbar sind. Dies geschieht



Ein DNA-Reparatursystem stabilisiert Muster von chemischen Modifikationen an der DNA und an Histonproteinen und gewährleistet damit, dass in jeder Zelle konstant die richtigen Gene aktiv sind.

über Veränderungen an der chemischen Grundstruktur der DNA selbst sowie an Histonproteinen, um die die DNA aufgewickelt ist.

Wie eine Art „Lesezeichen“ markieren solche Modifikationen die Gene, die gelesen werden sollen. Diese Lesezeichen verändern die Basenabfolge der DNA nicht, enthalten jedoch Informationen bezüglich Genaktivität, die bei der Zellteilung an die Tochterzellen weitervererbt werden; man spricht von Epigenetik.

Beim Setzen dieser Lesezeichen können Fehler auftreten, sodass ein benötigtes Gen fälschlicherweise nicht mehr abgelesen werden kann. Die Forschenden haben entdeckt, dass das DNA-Reparatursystem solche Fehler verhindert, indem es falsche Modifikationen an der DNA entfernt und Faktoren koordiniert, welche die korrekten chemischen Gruppen an den Histonen anbringen.

Avogadro-Konstante mit angereichertem Silicium-28 bestimmt

**Zu CLB 04/2008, 150-152:
Neudefinition des Kilogramms:
Kugel aus Reinstsilicium oder Watt-Waage?**

Mithilfe eines Einkristalls aus hochangereichertem ^{28}Si ist jetzt die Avogadro-Konstante mit einer relativen Gesamtmessunsicherheit von $3 \cdot 10^{-8}$ so genau wie nie zuvor gemessen

worden. Im Rahmen der Kilogramm-Neudefinition ermöglicht der Wert $N_A = 6,02214078(18) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ die zurzeit genaueste Realisierung dieser Einheit.

Das Ergebnis ist ein Meilenstein auf dem Weg zu einer erfolgreichen Darstellung der neuen Kilogrammdefinition auf der Basis einer in ihrem Wert festgelegten Fundamentalkonstanten. Zurzeit ist aber die Übereinstimmung dieses Wertes mit anderen Darstellungen des Kilogramm nicht gut genug, um die bestehende Definition der Masseinheit zu ändern. Der gegenwärtige Status des Avogadro-Projekts ist aber so vielversprechend, dass auf der Basis neuer Messungen mit verbesserten Kugelinterferometern an kontaminationsfreien Kugeln

in naher Zukunft die vom Beratenden Komitee für die Masse (CCM) verlangte Messunsicherheit von $2 \cdot 10^{-8}$ erreicht und voraussichtlich sogar unterschritten wird. Die beim Polierprozess entstandene unerwartet hohe metallische Kontamination der Kugeloberflächen mit Kupfer- und Nickelsiliciden wurde gemessen und ihr Einfluss auf die Ergebnisse von Kugelvolumen und -masse abgeschätzt, was zu einer höheren Messunsicherheit führte.



In der Silicium-Kugel des Avogadro-Experiments spiegelt sich eine Kopie des Kilogramm-Prototyps (Abb.: PTB).

Chromatographie zur Gewinnung von Proteinen aus biotechnologischer Herstellung

Giorgio Carta, Alois Jungbauer: *Protein Chromatography: Process Development and Scale-Up*, 362 Seiten; Wiley-VCH-Verlag, Weinheim 2010, ISBN 978-3-527-31819-3; 99,00 Euro.

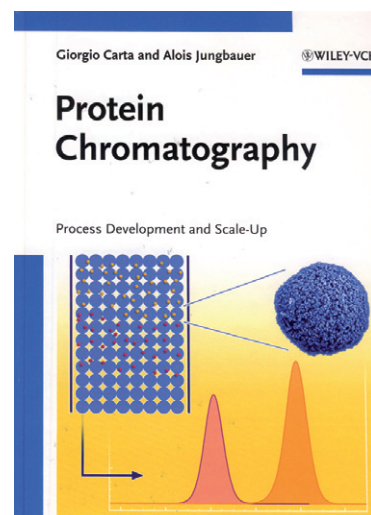
Im Zuge der Aufarbeitung (Downstream Processing) der komplex zusammengesetzten, bei der Herstellung von Proteinen durch biotechnologische Verfahren erhaltenen Reaktions-Gemische hat die chromatographische Aufreinigung als eine Verfahrensstufe (unit operation) zur Gewinnung von Proteinen in der für die Verwendung als Arzneimittel-Wirkstoffe (Pharmaproteine) geforderten Reinheit große Bedeutung erlangt. Das hier vorliegende Buch ist aus den langjährigen Erfahrungen der Autoren bei einer sowohl theoretisch ausgerichteten als auch stark praxisorientiert durchgeführten Lehrveranstaltung für Teilnehmer aus dem Hochschul- und dem Industriebereich hervorgegangen, um diesen Zielgruppen (Chemikern, Biochemikern, Biologen und insbesondere Ingenieuren für das Fachgebiet Bioverfahrenstechnik) die erforderliche Qualifikation für die Gestaltung und Optimierung von chromatographischen Trennverfahren in (groß) industriellem Maßstab zu vermitteln.

Das längste von insgesamt 10 Kapiteln „Downstream Processing of Biotechnology Products“ (Proteine, mit DNA und Endotoxinen als Hauptanteilen an Verunreinigungen) beschreibt die für chromatographische Verfahren wesentlichen physikochemischen Eigenschaften von Biomolekülen sowie die Herstellung von rekombinanten Proteinen durch Fermentations- und Zellkultur-Verfahren, gefolgt von

Ausführungen über die Anforderungen an die Reinheit der Verfahrensprodukte.

Die weiteren Kapitel umfassen die Einführung speziell in die Chromatographie mit Proteinen (2), Stationäre Phasen für die Chromatographie und zahlreiche Ausführungsformen chromatographischer Verfahren aufgrund typischer Protein-Eigenschaften (3). Gegenstand von Kapitel 4 sind im Labor sowie bei industriell durchgeführten Verfahren eingesetzte Säulen und Vorrichtungen. Auf umfangreichen mathematischen Grundlagen schließen sich die Kapitel an: Adsorptions-Gleichgewichte (5), Adsorptions-Kinetik (6), Dynamik von Chromatographie-Säulen (7) sowie Einflüsse der Dispersion und Adsorptions-Kinetik auf die Säulen-Performance (8). Den Abschluß bilden die Kapitel über Gradienten-Elutions-Chromatographie (9) und über die Verfahrens-Entwicklung zur chromatographischen Auftrennung in technischem Maßstab (10). Für die genannten Zielgruppen sind ferner die tabellarische Zusammenstellung von Symbolen und Größen, wie auch die in den Kapiteln 2 und 6 bis 10 enthaltenen, insgesamt 32 Aufgaben und Lösungen sowie 409 Literaturangaben von zusätzlichem Nutzen.

Dr. Dieter Holzner



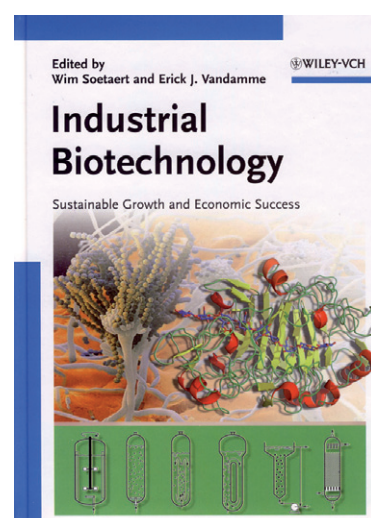
Industrielle Biotechnologie – bisherige Erfolge und zunehmende Bedeutung

Wim Soetaert, Erick J. Vandamme (Hrsg.): *Industrial Biotechnology: Sustainable Growth and Economic Success*; 519 Seiten; Wiley-VCH-Verlag, Weinheim 2010, ISBN 978-3-527-31442-3; 159,00 Euro.

Mit dieser Neuerscheinung dokumentieren die beiden Herausgeber, unter Mitwirkung von 34 Co-Autoren, umfassend und in überzeugender Weise die bisher erzielten Erfolge der Industriellen Biotechnologie, ebenso wie die auf viele Gebiete der Produktion und technischen Anwendung ausgedehnten Entwicklungen auf der Grundlage erneuerbarer Ausgangsstoffe (Nachwachsender Rohstoffe). Die Überlegenheit biotechnologischer Verfahren zeigt sich unter anderem in höherer Ausbeuten und in höherer Reinheit der Umsetzungsprodukte. Aufgrund der in diesem Buch aufgezeigten ökologischen und technologischen Vorteile gehen die Autoren davon aus, daß die Industrielle Biotechnologie schnell die Produktionsbereiche der chemischen Industrie, wie auch der Agro- und der Lebensmittelindustrie durchdringen wird.. Näher erläutert wird diese Auffassung durch

die vorangestellte Einführung zur Industriellen Biotechnologie als „Multidisziplinäre Technologie“ und durch die Tabellen betreffend die weltweite Herstellung von Fermentationsprodukten und den durch den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe zu erzielenden Nutzen.

Die beiden umfangreichsten der insgesamt 14 Kapitel haben die „Geschichte der Industriellen Biotechnologie“ (mit allen Höhepunkten, 13 Photographien und 206 Literaturangaben) und die „Industrielle Systembiologie“ (veranschaulicht durch einige sich jeweils über mehrere Seiten erstreckende Tabellen und ergänzt durch 230 Literaturangaben) zum Gegenstand. Es schließen sich Kapitel an über Fermentations-Technologie (3), die gezielte Evolution von industriell eingesetzten Biokatalysatoren (4; mit

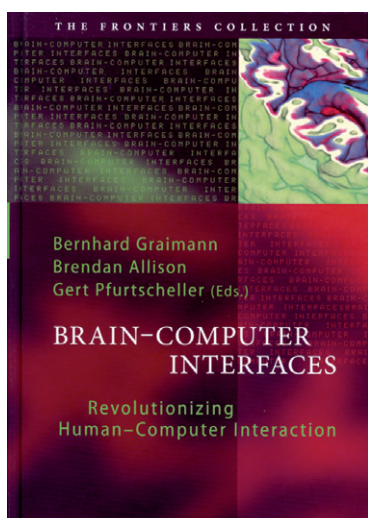


vielen Beispielen für die hierdurch erzielten Vorteile und 171 Literaturangaben), die industrielle Produktion von Enzymen (5) und über „Angewandte Biokatalyse: Ein Überblick“ (6). In eigenen Kapiteln werden die Nanobiotechnologie (7; mit 169 Literaturangaben) und die bei der Aufarbeitung (Downstream Processing) vielfältiger Reaktionsprodukte durchzuführenden Verfahrensstufen besprochen.

Eine Gruppe von Kapiteln beschreibt die „Industrielle Biotechnologie“ in der Chemischen und Pharmazeutischen Industrie (9), im Nahrungsmittel- und

Futtermittel-Sektor (10) und auf den Gebieten Papier und Zellstoff (11) sowie Biokraftstoffe (12; Produktion und Verwendungen). Die abschließenden Kapitel informieren über Aspekte, welche die Umwelt und die Wirtschaftlichkeit betreffen (13) und über die Akzeptanz der Industriellen Biotechnologie in der Gesellschaft (14). Mit dem vorbildlich gestalteten Text, den insgesamt 1532 Literaturhinweisen und den inhaltsreichen Tabellen ist dieses Werk jedem an den weit reichenden Perspektiven der Industriellen Biotechnologie Interessierten zu empfehlen. *Dr. Dieter Holzner*

Von Elektroenzephalogrammen zu allgegenwärtigen BCIs



Bernhard Graimann, Brendan Allison, Gert Pfurtscheller (Eds.): *Brain-Computer Interfaces*, 393 Seiten; Springer-Verlag, Heidelberg 2010, ISBN 978-3-642-02090-2; 85,55 Euro.

Wiederholt hat die CLB das Thema Hirnforschung aufgegriffen, zuletzt im Oktober 2010 mit dem Artikel „Neuromorphic engineering“. Bereits in der Ausgabe 11/12-2007 berichtete der Artikel „Vom Hebel zum Gedankenimpuls – Paradigmenwechsel in der Maschinenbedienung“ über die von der CLB organisierte Vortragsreihe über Brain-Computer-Interfaces (BCI) in Düsseldorf im März 2007. Einer der

damals Vortragenden – Graimann – fand dies als Anstoß, um mit zwei weiteren Herausgebern eine umfassende Übersicht als Buch zu veröffentlichen. Insgesamt 45 Autoren haben in 19 Kapiteln die aktuellen Entwicklungen dieses Bereichs darin zusammengetragen.

Das Buch geht sowohl auf Grundlagen für BCIs wie auch auf die Forschung, aktuelle Anwendungen und kommerzielle und gesellschaftliche Aussichten ein. Beispiel für ein Grundlagenkapitel ist ein im Tutorial-Stil geschriebener Artikel über adaptive Methoden in der BCI-Forschung. Dabei geht es um die möglichst genaue Auswertung von Hirnimpulsen, Merkmalsextraktionen etc. Anforderungen dabei bestehen in der Echtzeitverarbeitung beispielsweise durch Rückkopplungsanordnungen.

Forschungen werden insbesondere beschrieben aus den BCI-Zentren in Berlin, Graz und Wadsworth, Albany, USA. Die Anwendungen sind zur Zeit vorwiegend klinischer Natur. In dem Buch gibt es Kapitel zu BCIs in der Neurorehabilitation allgemein, zur Analyse und Diagnostik von Hirnfunktionen etwa in der Epilepsie-Behandlung, zur Steuerung von Prothesen und zur Kommunikation mit Locked-in Patienten.

Richtung Anwendung geht bereits ein Artikel von vier chinesischen Autoren. Sie sprechen den Einsatz in Kom-

munikation und Steuerung, in der Rehabilitation sowie bei Computerspielen an. Zwei österreichische Autoren gehen weiter in diese Richtung und berichten über kommerziell erhältliche BCIs.

Mit Science Fiction beginnt das Buch in seinem 26-seitigen einleitenden Überblick, mit Science Fiction endet es auch. In der Einleitung jedoch dient die SF jedoch nur als Rückblick auf erste Überlegungen zu BCIs, die zum Beispiel in einer Star Trek-Folge des Jahres 1966 von den Drehbuchautoren umgesetzt wurde. Es folgen geschichtliche Aspekte und solche der begrifflichen Einordnung. Ebenso wird die Elektroenzephalografie aufgegriffen, dann invasive BCI-Methoden, schließlich die Signalverarbeitung und die Leistung der BCIs sowie ein Überblick über Anwendungen.

Der Titel des Ausblick-Kapitels zeigt bereits seinen Science-Fiction-Charakter: „Towards Ubiquitous BCIs“. Er geht auf Kosten der Systeme ein, auf deren Datentransferraten sowie Alltagsnutzung. Die weitreichendsten und bislang unterschätzten Möglichkeiten sieht der Autor in der Softwareintegration. Für ihn steht das BCI da wo die Computermaus in den 60er Jahren war: ohne richtigen Hard- und Softwaresupport, ohne Programmintegration. Und was geht heute ohne Maus, gar ohne Gestenerkennung?... Der Autor erinnert an Anwendungen in virtueller Realität: Man denkt, wo man hinsehen will, und schon erscheint es. Ebenso spricht er ethische Aspekte an.

Abgesehen von dem einführenden und ausleitenden Kapitel lebt das Buch von den Arbeitsgebieten der Wissenschaftler. Eine klare Einordnung in einen Kontext fehlt, aber die Vielfalt der Artikel ermöglicht es den Lesern, dies selbst zu leisten. Ich hätte mir noch mehr Details über die Problematik der Grenzflächen von Elektroden im Zusammenhang mit Datentransferraten gewünscht. Insgesamt gibt das Buch – auch mit seinen 60 schwarz/weiß- und acht Farbbildungen jedoch einen guten und aktuellen Überblick über BCIs – und eine sehr gute zusammenfassende Abschätzung über zukünftige mögliche Einsatzbereiche. *Rolf Kickuth*

Eppendorf Centrifugen 5810 / 5810 R mit höherer Kapazität

Eppendorf stellt zusätzliche Rotoren und neues Zubehör für eine höhere Kapazität sowie aerosoldichte Zentrifugation von Platten und Gefäßen vor. Die Centrifugen 5810/5810 R profitieren von einer 25 % höheren maximalen Kapazität (4 x 500 mL) und einer 40 % höheren Kapazität bei 15/50 mL konischen Gefäßen.

Die neuen, zertifiziert aerosoldichten Rotoren für Gefäße und Platten bieten Sicherheit bei gefährlichen Proben und eröffnen den Zentrifugen somit noch weitere Anwendungsmöglichkeiten.

Im einzelnen handelt es sich um das folgende Zubehör:

- Aerosoldichter Festwinkelrotor für 15/50 mL konische Gefäße sowie diverse Oak Ridge Gefäßformate

- Aerosoldichter Plattenrotor
- Becher für 28 x 50 mL konische Gefäße für Rotor A-4-81
- Eppendorf 500 mL Flasche

Bekannt für hohe Qualität, Langlebigkeit und Verlässlichkeit bieten die Centrifugen 5804/5804 R und 5810/5810 R kostengünstige Lösungen für Applikationen mit mittlerem bis hohem Durchsatz.

www.eppendorf.de/zentrifugen



Schnelle und einfache Abwasser- und Klärschlammanalytik

Um Massenströme in Abwasserbehandlungsanlagen und in Kläranlagen sinnvoll verfolgen und technische Anlagen gezielt steuern zu können, sind regelmäßige Analysen wie z. B. Trockensubstanz-Bestimmungen, Absetzbare Stoffe und Lipophile Stoffe nötig.

Die neue Gerätekombination SmartTrac II von CEM beschleunigt die Trocknung von Abwasser und Klärschlamm und die Messung der Lipophilen Stoffe nun deutlich und ist zudem einfach in der Handhabung.

Die Wasser-, Abwasser- oder Schlammprobe wird auf einem saugfähigen Probenträger eingewogen und binnen 2 bis 3 min. im Mikrowellentrockner Smart getrocknet. Eine schnellere Methode zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes gibt es nicht. Für die Messung der abfiltrierbaren Stoffe wird ein definiertes Volumen von 1 l Abwasserprobe abgenutzt und anschließend wird das Filterblatt mit den Feststoffen im Smart ebenfalls binnen 2 min. getrocknet. Die Gerätesoftware gibt den Gehalt an absetzbaren Stoffen nun in g/l an. Für die Bestimmung der lipophilen Stoffe wird die getrocknete Probe für 8 s im NMR Modul des SmartTrac II gemessen. Anschließend wird der Gehalt an Lipophilen Stoffen in mg/l ausgegeben. Ein Anschluß des Analysegerätes an eine Datenbank ist kein Problem. Ebenso kann ein Bar Code Scanner angeschlossen werden.

Seminar "Feststoffanalytik – von der Laborprobe zum Analyseergebnis"

Das einzige Seminar, das die komplette Elementanalyse abdeckt – im April 2011 auch in Österreich!

Viele Hersteller von Labor- und Analysegeräten bieten Seminare an, bei denen sie sich darauf beschränken, Vorträge über einen ganz bestimmten Anwendungsbereich zu halten, in dem diese Geräte eingesetzt werden. Vor 7 Jahren kam den Firmen RETSCH GmbH und CEM GmbH die Idee, dass es für die Anwender doch viel interessanter wäre, das komplette Spektrum der Probenvor-



bereitung und Analytik in einem Seminar zu erfahren. Aus dieser Idee heraus entstand die sehr erfolgreiche Seminarreihe „Feststoffanalytik – von der Laborprobe bis zum Analyseergebnis.“ Da die Firma Retsch mit Labormøhlen und –brechern und die Firma CEM mit Mikrowellenaufschlussgeräten beide nur den Teil der Probenvorbereitung abdecken, holte man sich als Partner für den analytischen Teil die Agilent Technologies GmbH & Co KG ins Boot. Das besondere an dieser neuen Seminarreihe war aber nicht nur das breite Themenspektrum, sondern vor allem auch der Praxisteil, bei dem die Teilnehmer ihre eigenen Proben live vor Ort zerkleinern, aufschließen und analysieren lassen können. Die Seminarreihe wird bis heute an verschiedenen Standorten in Deutschland abgehalten und hatte 2010 seine Premiere in Österreich. Die Seminare waren von Anfang an ein voller Erfolg.

Im April 2011 wird das Seminar wieder in Österreich veranstaltet, an den Standorten

Wels (bei Linz) am Dienstag, den 5. April 2011,
in Wien, am Mittwoch, den 6. April 2011 und
in Graz am Donnerstag, den 7. April 2011.

Im Mai 2011 findet diese Seminarreihe in Deutschland statt:

10. Mai - Braunschweig
12. Mai - Kamp-Lintfort (bei Duisburg)
17. Mai - Potsdam
18. Mai - Leipzig
24. Mai - München

26. Mai - Frankfurt

31. Mai - Waldbronn (bei Karlsruhe)

In bewährter Manier wird es einen theoretischen Teil mit Vorträgen, sowie einen praktischen Teil geben, für den die Teilnehmer eigene Proben mitbringen können. Die Teilnahme am Seminar ist kostenlos, man kann sich über die Website www.cem.de oder www.retsch.de/termine online anmelden.

CEM GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9, 47475 Kamp-Lintfort

Tel. 02842 9644 0, Fax 02842 9644 11

www.cem.de, info@cem.de

Eppendorf Reference: Die Pipette



Wer in regulierten Bereichen oder mit hohem Sicherheitsanspruch arbeitet, vertraut am besten einem Instrument mit entsprechend hoher Reproduzierbarkeit und Verlässlichkeit. Seit 1994 beweist die Reference höchste Präzision und Richtigkeit mit geringer Ausfallquote und hoher Langlebigkeit. Die Pipette ist so konzipiert, dass sie dank der Kombination aus Bedienknopf und Abwerfer die Kontamination durch Aerosole aktiv vermindert. Dazu kommt auch noch der ergonomische Aspekt. Es gibt nur einen Bedienknopf und keine unnatürliche Handhaltung beim Ablesen des Volumens. Alles geht in einem Zug – selbst das Spitzenwechseln. Die Reference erfüllt dabei nicht nur die hohen Kriterien des Eppendorf Physiocare Concepts, sondern wurde auch vom renommierten TÜV Rheinland (Deutschland) für ihre Anwenderfreundlichkeit zertifiziert.

Das positive Feedback unzähliger Anwender bestätigt: Die Eppendorf Reference ist nach wie vor die Referenzklasse für moderne Liquid-Handling-Tools.

www.eppendorf.de

Neuartige Extraktionsmethode von Weichmachern (Phthalate) aus PVC, Gummi, u. ä. Kunststoffen

Die neuen ChemEx Behälter wurden von CEM speziell für die schnelle und einfache Extraktion von Weichmachern wie Phthalaten in Kunststoffen entwickelt. Phthalate sind häufig in Kinder Spielzeug aus Kunststoffen (z. B. PVC und synthetischem Gummi) zu finden und sind äußerst gesundheitsbedenklich. Sie stehen im Verdacht, wie Hormone im menschlichen Organismus zu wirken und führen z. B. zu Unfruchtbarkeit, Diabetes und Übergewicht. Im Zusammenspiel mit anderen Schadstoffen kann sich die Wirkung von Phthalaten potenzieren.

Die Extraktion dauert nur 15 min. und wird im Mikrowellen-Laborgerät Mars von CEM durchgeführt. Gemäß der CPSC Methode dürfen nur Glasbehälter und keine Extraktionsbehälter aus Teflonderivaten eingesetzt werden, also auch Glaseinsätze, die in Teflonbehälter gesteckt werden, sind unerwünscht. Die ChemEx Behälter bestehen rein aus Borosilikatglas, und es können 24 Proben gleichzeitig extrahiert werden. Die anschließende Bestimmung erfolgt dann mittels GC-MS.



CEM GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9, 47475 Kamp-Lintfort

Tel. 02842 9644 0, Fax 02842 9644 11

www.cem.de, info@cem.de

ERREICHEN HALTEN

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

Januar / Februar 2011

Bester Abschluss wird belohnt

Bewerben für den GDCh-Absolventenpreis 2011

Die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) verleiht 2011 zum fünften Mal Preise für die jahrgangsbesten Absolventen, die eine chemie-relevante Ausbildung durchlaufen haben. Dieses Jahr beinhaltet der Preis erstmals die Möglichkeit, ein Jahr kostenfrei Mitglied in der GDCh-Arbeitsgruppe „Berufliche Bildung“ zu werden. Vertreten werden hier die Interessen von nicht akademischen GDCh-Mitgliedern.

Der Preis für die besten Absolventen eines chemierelevanten Ausbildungsgangs besteht außerdem aus einem aktuellen Buch zur Chemie sowie einer Urkunde und der Option, für ein Jahr kostenlos Mitglied in der GDCh zu werden. Jede Ausbildungsstätte kann pro Jahr und Ausbildungsgang einen Absolventen mit diesem Preis auszeichnen. In der Regel wird der Preis bei der Übergabe des Abschlusszeugnisses verliehen.

Die Zusatzmitgliedschaft in der AG „Berufliche Bildung“, einer Untergruppierung der Gesellschaft Deutscher Chemiker, bietet die Möglichkeit, sich für die Belange Angehöriger von Chemieberufen wie den Chemisch-Technischen-Assistenten oder den Chemielaboranten zu engagieren. Ziel ist, alle Personen, die an der betrieblichen und schulischen Bildung im Sektor Chemie und ihrer angrenzender Felder interessiert sind, zusammenzuführen,

sowie eine Plattform zum Gedanken- und Erfahrungsaustausch zu schaffen. Auch fachliche Anregungen zum Thema „Berufliche Bildung“ sollen gegeben und inhaltlich weiterentwickelt werden (www.gdch.de/bb). Die kostenfreie, einjährige Mitgliedschaft in der AG Beruflichen Bildung kann nur im Zusammenhang mit der kostenfreien, einjährigen Mitgliedschaft in der GDCh wahrgenommen werden.

An der Vergabe des GDCh-Absolventenpreises beteiligten sich im vergangenen Jahr 38 Bildungseinrichtungen, die technische Assistentenlehrgänge wie Lehrgänge für CTA, PTA oder Ausbildungen zum Chemielaboranten anbieten. Insgesamt sind 60 Preisträger im Rahmen von Abschlussfeierlichkeiten ausgezeichnet worden.

Lehrerinnen und Lehrer sind nun auch für 2011 aufgerufen, erneut ihre jahrgangsbesten Absolventen auszuwählen und bis spätestens vier Wochen vor Übergabe des Abschlusszeugnisses für den Absolventenpreis vorzuschlagen. Die Anmeldung der Schule und des Preisträgers erfolgt ausschließlich über das Internet. Das elektronische Formular kann unter www.gdch.de/absolventenpreis abgerufen werden. Die GDCh hat die Schulen, die bereits in den Vorjahren GDCh-Absolventenpreise vergeben haben, Ende Januar angeschrieben und um Anmeldung der Preisträger für 2011 gebeten.

Duale Studiengänge immer beliebter

Die Beliebtheit dualer Studiengänge nimmt weiter zu: 2010 stieg das Angebot an dualen Studiengängen in Deutschland um 12,5 %. Die Steigerungsrate lag damit um mehr als das Dreifache höher als im Vorjahr. Auch die Zahl der beteiligten Unternehmen wuchs um rund 9 %, die der Studierenden nahm um mehr als 6 % zu. Dies sind Ergebnisse einer Auswertung der Datenbank „AusbildungPlus“ des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB). Duale Studiengänge sind eine besonders innovative, attraktive und praxisnahe Studienform, die sich seit Jahren bei Betrieben und Jugendlichen einer wachsenden Beliebtheit erfreut. Dabei wird eine praktische Ausbildung im Betrieb mit einer theoretischen Ausbildung an einer (Fach-)Hochschule oder Berufsakademie kombiniert. Studierende erhalten so die Möglichkeit, in zahlreichen Studiengängen gleichzeitig zwei Abschlüsse zu erwerben: einen Berufs- und einen akademischen Abschluss.

Besonders deutliche Zuwächse sind vor allem in den Studiengängen der MINT-Fächer zu verzeichnen. So erreichten zum Beispiel die allgemeinen Ingenieurwissenschaften mit einer Steigerung von 23,5 % der angebotenen dualen Studiengänge den höchsten Wert aller Fachbereiche. Ebenfalls deutlich über den durchschnittlichen Steigerungsraten liegen die Bereiche Elektrotechnik, Bauingenieurwesen und Maschinenbau/Verfahrenstechnik. Auch die Zahl der Studierenden in den MINT-Fächern erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um rund ein Viertel.

„AusbildungPlus“ ist ein Projekt des BIBB, das vom BMBF gefördert wird. Herzstück ist eine Datenbank, die bundesweit über duale Studiengänge und Zusatzqualifikationen in der dualen Berufsausbildung informiert. Zurzeit enthält die Datenbank mehr als 900 duale Studiengänge und über 2000 Zusatzqualifikationen. Interessierte Jugendliche können die Datenbank kostenlos nach passenden Angeboten durchsuchen. Anbieter – zum Beispiel Betriebe, (Fach-)Hochschulen oder Berufsakademien – können ihre Ausbildungs- und Studienangebote ebenfalls kostenlos veröffentlichen.

Trockeneis aus dem Supermarkt

Low-Cost-Experimente im Microscale-Maßstab

Viktor Obendrauf, Graz*

Experimente mit Trockeneis zählen zu den Highlights der experimentellen Schulchemie. Mit optisch ansprechenden und zum Teil auch verblüffenden Versuchen kann man eine Reihe von physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten im Zusammenhang mit Zustandsänderungen von Gasen illustrieren.

Vor etlichen Jahren hat der Autor dieses Beitrages bereits einige einfach durchführbare Experimente mit festem Kohlenstoffdioxid skizziert [1,2]. Neben kommerziellen Anbietern haben sich darüber hinaus neue und kostengünstigere Möglichkeiten eröffnet, Trockeneis für schulische Zwecke zu organisieren: Immer häufiger kann man in größeren Krankenhäusern fündig werden, weil Trockeneis als Kühlmedium für spezielle medizinische Transporte Verwendung findet. Nach getaner Kühlfunktion (bei vergleichbarem Volumen 3,5 mal effizienter und vor allem nicht so nass wie Wassereis) ist das Transportkühlmittel minus 78 °C kalter Abfall, der nicht selten durch Sublimation „entsorgt“ wird.

Für alle Lehrenden, denen diese Option zu umständlich bzw. eine Bestellung bei kommerziellen Anbietern zu teuer erscheint, sei im folgenden eine verblüffend einfache und zeitsparende Methode beschrieben, wie man quasi überall und jederzeit kostengünstig Kohlendioxid-Schnee gewinnen kann, wobei die Prozedur ganz

nebenbei bereits als Modellversuch zum alltäglichen „Kohlensäureschnee-Feuerlöscher“ zu werten ist.

Sodakapseln im Sahnespender

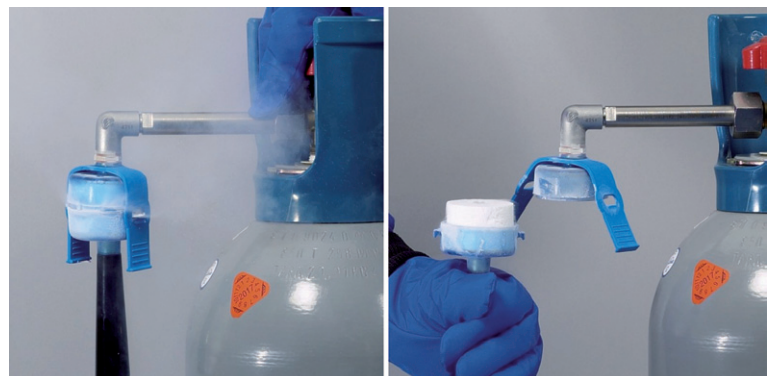
Trotz der geringen Menge an Kohlenstoffdioxid in einer Sodakapsel (Nettofüllung 8 g bzw. 0,18 Mol CO₂) sollte es aufgrund des ausgeprägten Joule-Thomson-Koeffizienten von Kohlenstoffdioxid möglich sein, bei geeigneter Expansion des verflüssigten Gases zumindest Microscale-Mengen an Kohlensäureschnee zu gewinnen. Der Autor dieses Beitrages hat sich selbst auf die Suche gemacht und ist nach etlichen Fehlversuchen auch fündig geworden. Alle Ansätze, in denen versucht wurde, mittels Nagel oder Schraube die Membran der Kapsel zu öffnen und das expandierende Gas mit der Kapselöffnung nach oben bzw. kopfüber nach unten zu sammeln, führten zu keinem befriedigenden Ergebnis. Auch die Verwendung des Soda-Siphon-Oberteils als „Ventil“ brachte nicht den gewünschten Erfolg, obwohl handelsübliche Kohlendioxidschnee-Generatoren

im normalen Labormaßstab mit dem Joule-Thomson-Effekt arbeiten.

Mit dem kleinen „SnowPack“ von Bürkle z. B. lässt sich in Kombination mit einer 10 l-Kohlendioxidflasche mit Steigrohr (eine SnowPack 50 kostet 173,40 Euro exkl. MWSt. [3], ohne Flasche wohlgermerkt) mit einer Effizienz von etwa 15 % pro Minute Ausströmzeit jeweils eine Tablette Trockeneis zu etwa 30 Gramm generieren (s. Abb. 1 „SnowPack“ für Tabletten zu 500 g). Diese Steigrohrmethode ist seit langem in der chemiedidaktischen Literatur bekannt [4].

Erst mit der Verwendung eines Sahnespender-Oberteils war es möglich, auch aus einer billigen Soda-Kapsel reproduzierbare Mengen von etwas mehr als 0,5 g Kohlendioxid-Schnee zu gewinnen, wobei die Effizienz durch den improvisatorischen Ansatz und aufgrund der geringen Menge Kohlenstoffdioxid und der damit verbundenen sehr kurzen Ausströmzeit im Vergleich zum handelsüblichen SnowPack noch einmal halbiert wird. Der Preis für eine Soda-Kapsel beträgt allerdings nur ca. 30 Cent, sodass die im fol-

Abbildung 1: Bürkle SnowPack zur Herstellung von Trockeneis aus Kohlendioxidflaschen mit Steigrohr (Abb.: Bürkle; andere Abb.: Obendrauf / Archiv).



*Prof. Dr. Viktor Obendrauf († 2010) hinterließ der CLB die Genehmigung zum Artikelabdruck.

genden beschriebenen Versuche vergleichsweise tatsächlich zu den Low-Cost-Experimenten zählen, auch wenn man sich einmalig einen ganz speziellen Sahnespender zu etwa 30 Euro (ISI Sahne Easy Whip 250 ml) anschaffen muss. Dadurch, dass der Sahnespender selbstverständlich bei Bedarf mit Lachgaskapseln (!) auch dem ursprünglichen Verwendungszweck zugeführt werden kann, relativiert sich der Preis für diese Anschaffung.

Trockeneis vor 100 Jahren

Bereits im Jahre 1897 wurden allein im Deutschen Reich durch industrielle Druckverflüssigung 11 000 Tonnen flüssiges Kohlenstoffdioxid hergestellt, das kg zu 0,65 M [5]. Die mit flüssigem Kohlenstoffdioxid gefüllten Stahlflaschen (siehe Abb. 2) wurden für schulische Zwecke vorerst ohne Steigrohr auch zur Trockeneisgewinnung verwendet: „Kehrt man die mit flüssigem Kohlendioxid gefüllte Bombe um, bindet um die Ausflußröhre einen Tuchbeutel und läßt bei allmählichem Öffnen des Ventils die Flüssigkeit ausströmen, so geht sehr rasch ein Teil davon in Dampf über, welcher durch die Maschen des Beutels entweichen kann, und der übrige Teil erstarrt infolge der durch jene Verdampfung bewirkten Abkühlung zu einer im Beutel zurückgehaltenen, weißen, schneeartigen Substanz. Diese läßt sich zu einer Masse von der Härte des Marmors und der Dichte $1,4 \text{ gcm}^{-3}$ zusammendrücken [5].

Das in großen Mengen hergestellte flüssige Kohlendioxid wurde ursprünglich vor allem für so genannte „Bierdruckapparate“ gebraucht. Ein Modell-Experiment dazu ist in [5] auch beschrieben.

Vom Feuerlöscher zum Trockeneisstrahler

Festes Kohlenstoffdioxid wird seit vielen Jahrzehnten als

sehr effizientes Kühlmittel in verschiedensten Sparten eingesetzt. Platz sparend und mobil, hygienisch und lebensmittelecht, ohne die Notwendigkeit eines netzgebundenen oder von einem Verbrennungsmotor versorgten Kühlaggregats wird festes Kohlenstoffdioxid z. B. von diversen Catering-Firmen verwendet. Biologisches Material wird in geeigneten Isolierboxen mit Trockeneis als Kühlmittel in Spezial-Laboren versendet; Trockeneis dient zum Frischhalten von Fisch und anderen kühlpflichtigen Lebensmitteln während des Transports zu den Kunden.

Trockeneis wird aber auch seit einiger Zeit zur schonenden Reinigung von (ölig-)verschmutzten Maschinen und Maschinenteilen verwendet: Trockeneispellets mit der Härte 2 (nach Mohs), aus flüssigem Kohlenstoffdioxid in speziellen mobilen Generatoren erzeugt, werden dabei analog dem Sandstrahl-Verfahren auf 300 m/s beschleunigt und auf die zu reinigenden Oberflächen gestrahlt. Selbst ölige Verschmutzungen können auf diese Weise ohne Lösemittel schonend abgetragen werden, weil die Schmutzschichten durch den Kälteschock verspröden und sich von den aufprallenden Pellets leichter ablösen lassen. Da dieser „Sandstrahl“ selbst keine Rückstände hinterlässt, müssen bei diesem Verfahren nur die abgetragenen Schmutzpartikel abgesaugt werden.

Kohlendioxid-Feuerlöscher (leicht zu unterscheiden von den Pulverlöschern durch das vorhandene Strahlrohr) werden insbesondere im Chemiebereich für den Fall der Fälle bereit gehalten. Man kann damit einem kleineren Brandherd zumindest kurzfristig zwei von drei Voraussetzungen für das weitere Entflammen entziehen: Entzündungstemperatur und Sauerstoff. Nach dem Öffnen des Löscher-Ventils wird das unter Druck flüssig gehaltene

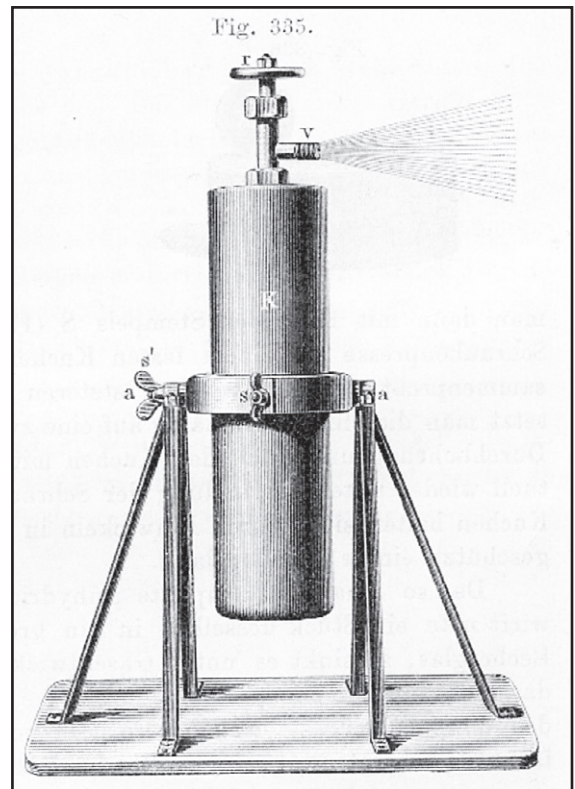


Abbildung 2: Kohlendioxid-„Bombe“ mit Wendevorrichtung zur Gewinnung von Trockeneis aus dem Jahr 1904 [6].

Kohlenstoffdioxid nach den von James Prescott Joule (1818-1889) und William Thomson sprich Lord Kelvin (1824-1907) erforschten Gesetzmäßigkeiten durch Expansion bis zum Erstarrungspunkt abgekühlt und als „Kohlensäure-Schnee“ möglichst direkt auf den Brandherd gesprüht.

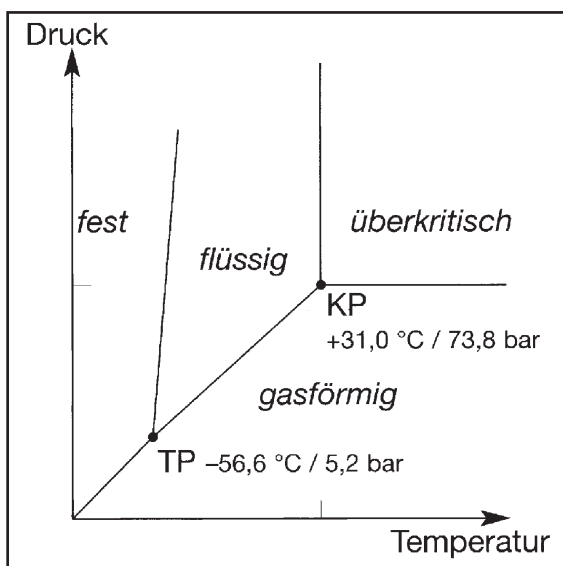
Fragen der Lernenden beim Anblick des meist auffällig positionierten Löschers, wie nun dieser funktioniert, kann man nur in Ausnahmefällen durch kurzes Betätigen des Ventils beantworten. Die Kosten für die dann notwendige neue Befüllung und Konditionierung des Löschers sind nicht unerheblich. Umso erfreulicher ist die Tatsache, dass mit der aus einer billigen Sodakapsel gewinnbaren Menge an Trockeneis nicht nur die Verflüssigung von Trockeneis gezeigt, sondern darüber hinaus auch noch das Prinzip eines CO_2 -Löschers demonstriert werden kann (siehe experimenteller Teil).



Abbildung 3: Position der fixierten Serviette an der Unterseite des Sahnespender-Schraubdeckels vor dem Einschrauben des Kapselbehälters.

Praktisch alle renommierten Lehrmittelfirmen bieten Experimentiersets zur Bestimmung des Joule-Thomson-Koeffizienten für verschiedene Gase an. Die (physikalischen) theoretischen Grundlagen dazu sind in erster Näherung nicht sehr komplex, würden aber den Rahmen dieses Beitrags aus chemischer Sicht doch sprengen. Die charakteristischen Eigenschaften von festem bzw. flüssigem Kohlenstoffdioxid lassen sich anhand

Abbildung 4: Phasendiagramm von Kohlenstoffdioxid (KP = kritischer Punkt, TP = Tripelpunkt).



des Phasendiagramms recht gut diskutieren (siehe Abb. 4).

Experimenteller Teil

1. Trockeneis aus der Sodakapsel (CO₂-Löscher im Modell)

Material: ISI-Sodasiphon-Kapsel, Ventiltteil eines ISI-Sahnespenders Easy-Whip 250 ml (Anschaffungskosten ca. 26 Euro), möglichst dunkelfarbige Serviette (mehrlagig), Wärmeschutzhandschuh, Schutzbrille

Durchführung: Der auf den Sahnebehälter aufschraubbare Ventiltteil des Sahne Easy Whip Behälters wird ausnahmsweise nicht mit einer Sahnegaskapsel sondern mit einer Sodakapsel (siehe Abb. 3) bestückt. Dabei darf der griff förmige Kapselbehälter samt Kapsel vorerst nur lose aufgeschraubt werden, damit die Membran der Kapsel nicht vorzeitig durchstoßen wird.

Mit einer mehrlagigen, möglichst dunkelfarbigem Serviette (als Kontrast zum generierten Trockeneis) muss nun der ganze Oberteil (Ventiltteil) des Sahnespenders vollständig bedeckt bzw. von unten verschlossen werden. Prinzipiell kann dabei die Serviette mit der bloßen Hand von unten gasdicht an den Schraubdeckel geklemmt werden, ohne dass es in weiterer Folge zu einem problematischen Hautkontakt mit dem generierten Trockeneis kommt (siehe Abb. 3). Um jedoch jede Gefährdung auszuschließen, führt man das Experiment aber am besten mit Isolierhandschuh und Schutzbrille durch.

Man hält den Ventiltteil des Sahnespenders mit der Serviette wie in Abb. 3 nach unten und schraubt den Kapsel-Behälter langsam zu, bis ein erster Widerstand spürbar ist. Nun dreht man langsam weiter bis das flüssige Kohlenstoffdioxid zischend aus der Kapsel austritt. Als Gas wird das Kohlenstoffdioxid nun

teilweise durch die mehrlagige Serviette hindurch geblasen, teilweise wird es aber auch als Trockeneis vom relativ gut isolierenden Cellulosegewebe zurück gehalten. Je nach dem, wie rasch man die Membran durch das Einschrauben des Kapselbehälters öffnet und weitet, lassen sich unterschiedliche Mengen an Trockeneis gewinnen.

Wenn man den Kapselbehälter zuerst nur langsam einschraubt, sofort nach dem ersten Zischen des Gases jedoch rasch durch weiteres Einschrauben für ein ausreichendes Weiten der Öffnung sorgt, kann man im Schnitt mit mehr als 0,5 g Trockeneis pro Kapsel rechnen (siehe Abb. 5).

Tipps und Tricks: Das bloße Durchstoßen einer fixierten Sodakapsel mittels Nagel und Hammer führt aus verschiedenen Gründen leider nicht zum gewünschten Ergebnis, egal ob die Kapsel beim Öffnen mit der Membran nach oben oder nach unten gehalten wird. Auch die Verwendung eines originalen Soda-Siphon-Oberteils hat sich nicht bewährt. Vorsicht: Hautkontakt mit dem generierten Trockeneis vermeiden! Kapsel nur nach einiger Zeit des „Auftauens“ mit bloßen Fingern anfassen! Schutzbrille nicht vergessen! Mit dem generierten Trockeneis lässt sich jeweils einer der im folgenden beschriebenen Versuche durchführen.

2. Sublimation von Trockeneis

Material: Versuchsergebnis von Versuch 1.

Durchführung: Man lässt den schneeartigen weißen Belag auf der Serviette einfach sublimieren. Der „Schnee“ verschwindet durch die nicht kompakte Form sehr rasch ohne zu schmelzen. **Tipps und Tricks:** Alternativ dazu kann man die Sublimation des gewonnenen „Schnees“ im Reagenzglas zeigen, dessen Öffnung mit einem Luftballon verschlossen wird.

3. Microscale-Wasserdampfnebel

Material: Versuchsergebnis aus Versuch 1.

Durchführung: Man befördert das aus Versuch 1 generierte, lockere Trockeneis möglichst rasch in ein kleines Gefäß mit warmem Wasser und beobachtet die Bildung von Nebel gegen einen dunklen Hintergrund (Abb. 6).

Tipps und Tricks: Die Dichte des generierten Trockeneises ist so gering, dass die Flocken auf dem Wasser schwimmen. Die geringe Menge an Trockeneis lässt sich auch in isolierenden Gefäßen nicht so verdichten, dass klassisches Trockeneis mit einer größeren Dichte als Wasser entsteht. Das charakteristische Blubbern von aufsteigenden Kohlenstoffdioxid-Blasen in Wasser wie beim klassischen Versuch mit handelsüblichen Trockeneisstücken kann somit mit dem „Selfmade“-Produkt nicht nachgestellt werden.

Der Nachweis von Kohlenstoffdioxid gelingt, wenn man anstelle von Wasser warmes kalkwasser verwendet. Es bildet sich an der Reagenzoberfläche eine „Haut“ aus Calciumcarbonat. Beim Schwenken wird die wässrige Phase ausgehend von der Flüssigkeitsoberfläche trüb.

4. Sublimation macht Druck

Material: Versuchsergebnis von Versuch 1, Fuji-Filmdose mit Schnappdeckelverschluss.

Durchführung: Man schabt das Trockeneis mit der geöffneten Filmdose möglichst rasch und vollständig in das Döschen hinein und verschließt dieses mit dem Schnappdeckel. Nach kurzer Zeit ist bereits so viel vom Kohlenstoffdioxid sublimiert, dass der Druck in der Dose zu groß wird und der Deckel mit einem passablen Knall abhebt.

Tipps und Tricks: Vorsicht! Das Döschen ist immer so zu

halten, dass der Deckel nicht ins Gesicht der Lernenden fliegen kann! Dieser Hinweis ist besonders dann wichtig, wenn man das verschlossene Döschen quasi als physikalisch-chemisches „Roulette“ unter den Lernenden weiter reichen lässt, bis es bei einer Person explodiert. Der gasdichte Schnappdeckel von Fuji-Filmdöschen ist für das 100%-ige Funktionieren des Experimentes essentiell (Abb. 7). Nur dieser Deckel gewährleistet einen gewissen Druckaufbau, bis der Druck zu groß wird und der Deckel mit einem Knall abhebt [1,2].

Tipps und Tricks: Geeignete leere Filmdosen erhält man auch in Zeiten der digitalen Fotografie nach wie vor in Fotofachgeschäften, weil Diafilme insbesondere beim Erstellen von projektionsfähigen Bildern in den Original-Döschen zur Entwicklung gebracht werden.

5. Verflüssigung unter Druck bis zum Tripelpunkt

Material: Versuchsergebnis aus Versuch 4.1., 2 ml-Einwegspritze, Feuerzeug, Lupe bzw. Digitalkamera mit Makrofunktion, Projektor

Durchführung: Der Luer-Ansatz der 2ml-Spritze wird nach (!) Entfernen des Spritzenstempels mittels Feuerzeugflamme vorsichtig erhitzt, bis er kompakt zuschmilzt (siehe Abb. 8). Wenn dabei der Kunststoff zu brennen beginnt, wird das Flämmchen einfach immer wieder ausgeblasen, damit der Spritzenkörper selbst stabil genug bleibt.

Nach dem Erkalten der Schmelze wird Trockeneis, generiert wie in Versuch 1 beschrieben, direkt von der Serviette möglichst rasch in die präparierte Spritze „geschabt“. Nach dem Einsetzen des Spritzenstempels wird dieser mit dem Daumen kräftig in Richtung Trockeneis gedrückt und fixiert. Nach kurzer Zeit und entsprechendem Druckaufbau (siehe



Abbildung 5: Pro Sodakapsel bleiben etwa 0,5 g Trockeneis in der Serviette hängen.

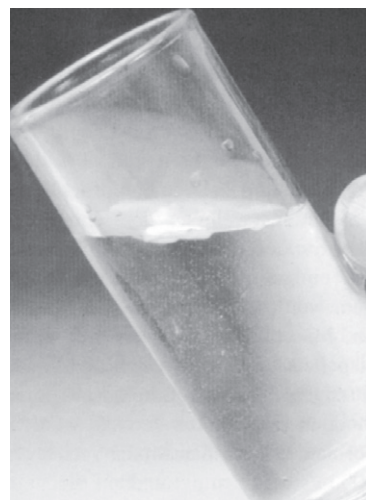


Abbildung 6: Das schneeähnliche Trockeneis schwimmt auf dem Wasser. Der kalte CO₂-„See“ über dem Wasser führt zur Nebelbildung.



Abbildung 7: Sublimation von Trockeneis in der Fuji-Filmdose; der Schnappdeckel ist essentiell.

Abb. 9 bzw. Phasendiagramm Abb. 4) beginnen die Kohlendioxid-Flocken in der Spritze zu schmelzen.

Um die Schmelze gut beobachten zu können, ist es immer wieder notwendig, das gebildete Kondensat bzw. den Rauhreif außen am Spritzenkörper abzuwischen. Bei entsprechender Fixierung des Stempels (letztlich mit beiden Händen!) können alle drei Aggregatzustände von Kohlenstoffdioxid in der Spritze beobachtet werden. Der Druck

Abbildung 8:
Trockeneis in
einer 2 mL-
Kunststoffspritze,
deren Luer-Ansatz
zugeschmolzen
wurde.

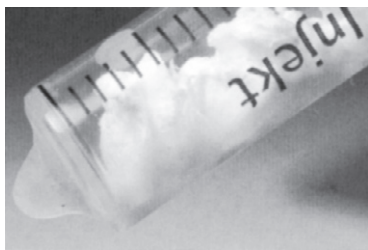


Abbildung 9:
Trockeneis am
Tripelpunkt: Gas-
phase, flüssige
und feste Phase
sind gleichzeitig
beobachtbar.

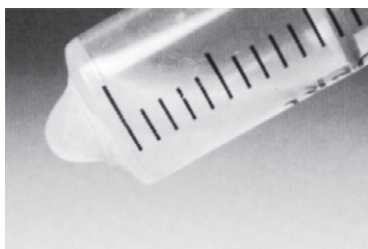


Abbildung 10: Nach Freigabe des
Spritzenstempels: Beim spontanen
Expandieren kühlt sich die flüssige
Phase in der Spritze infolge des Joule-
Thomson-Effektes so weit ab, dass am
Spritzenboden wieder etwas Trockeneis
beobachtet werden kann.

auf den Spritzenstempel wird schließlich so stark, dass man diesen freigeben muss, was automatisch zum Versuch 6 führt.

Tipps und Tricks: Achtung! Der freigegebene Spritzenstempel muss freie Flugbahn haben, damit er keinen Schaden (z.B. auch nicht bei Beleuchtungskörpern im Deckenbereich) anrichten kann! Der Spritzenstempel lässt sich auch eine Zeitlang ohne großen Kraftaufwand fixieren, wenn man die gefüllte Spritze samt gedrücktem Stempel in eine passende stabile Kartonrolle (eines breiten Klebebandes) schiebt.

Mittels Digitalkamera (mit gutem Autofocus und Makrobereich) lässt sich das verflüssigte Kohlenstoffdioxid auch für große Auditorien gut visualisieren.

6. Rückbildung von Trockeneis durch Expansion

Material: Verflüssigtes Kohlenstoffdioxid in 2 mL-Spritze aus Versuch 5.

Durchführung: Man hält den Spritzenstempel (wenn notwendig unter Verwendung des beschriebenen Hilfsmittels o.a.) solange fixiert, bis das ganze Kohlenstoffdioxid in der präparierten Spritze geschmolzen ist. Man löst nun die Arretierung, sorgt für eine freie Flugbahn und lässt die komprimierten Phasen in der Spritze expandieren. Beim spontanen Expandieren kühlt sich die flüssige Phase in der Spritze infolge des Joule-Thomson-Effektes so weit ab, dass am Spritzenboden wieder etwas Trockeneis beobachtet werden kann (siehe Abb. 10.)

Tipps und Tricks: Die Arretierung des Spritzenkolbens (s.o.) kann auch mittels geeigneter Klemmen nicht unbegrenzt aufrecht gehalten werden, weil der Dampfdruck von flüssigem Kohlenstoffdioxid bei Raumtemperatur doch deutlich mehr als 50 bar beträgt (siehe Phasendiagramm Abb. 4). Der Spritzenstempel wird in der Arretierung letztlich so verklemmt und verbogen, dass das kontrollierte Freigeben Schwierigkeiten macht.

Methodisch-didaktische Perspektiven

Festes Kohlenstoffdioxid kann den Lernenden in verschiedensten Bereichen des Lebens begegnen: in Nebelmaschinen, als kompaktes und mobiles Kühlmittel, im Zusammenhang mit so genannten „Kohlensäureschnee-Feuerlöschern“ usw. Dieser Alltagsbezug und die Tatsache, dass man mit Trockeneis attraktive bzw. motivational relevante Experimente durchführen kann, rechtfertigen die für ein durchschnittliches Budget nicht unerheblichen Kosten, wenn tatsächlich größere Mengen an Trockeneis zur Demons-

tration diverser Eigenschaften benötigt werden.

Wenn für die Lehrenden jedoch nicht jederzeit die Möglichkeit besteht, Kohlensäureschnee aus einer CO₂-Steigrohrflasche zu generieren, muss die Bestellung im Handel bzw. die Beschaffung bei Verwendern rechtzeitig organisiert werden. Mit der hier beschriebenen Methode zur Gewinnung von Kleinstmengen aus weit verbreiteten und billigen Sodasiphonkapseln fallen ev. finanzielle bzw. organisatorische Hürden weg.

Für eine ganze Reihe von Experimenten sind die jederzeit mit bekannten Mitteln des Alltags generierbaren kleinen Portionen jedoch völlig ausreichend, vor allem dann, wenn technische Hilfsmittel zur Visualisierung herangezogen werden.

Literatur

- [1] V. Obendrauf, Das Gas, das aus der Kälte kam... – Freihandversuche mit Trockeneis. Chem.Sch. (Salzbg.) 7 (1992) Nr. 4, S. 12-14
- [2] V. Obendrauf, Trockeneis da capo. Chem.Sch.(Salzbg.) 9 (1994) Nr. 1, S. 12-14
- [3] http://www.buerkle.de/de/shop/_snowpack-trockeneisgeraet.html
- [4] B. Land, A Simple Apparatus for Laboratory Dry Ice Production. J.Chem.Educ., 50, (1973), p. 78
- [5] F. Rüdorff, Grundriss der Chemie für den Unterricht an höheren Lehranstalten, 15. Aufl. Verlag Von H. W. Müller Berlin 1909
- [6] O. Kühling, Karl Heumanns Anleitung zum Experimentieren bei Vorlesungen über anorganische Chemie. 3. Aufl. Verlag F. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1904, S. 523

Elfte Runde in Dornbirn

Grand Prix Chimique 25. bis 30. September

Vom 25. bis zum 30. September findet im österreichischen Dornbirn die elfte Runde des Grand Prix Chimique statt. Ende Juli gibt es die nationale Auswahl in Deutschland.

Der Grand Prix Chimique, 1991 vom Institut Dr. Flad ins Leben gerufen und seither alle zwei Jahre ausgetragen, gilt als der renommierteste, internationale Wettbewerb für alle, die in einem chemischen Laborberuf ausgebildet werden - oder am Anfang ihrer Berufstätigkeit stehen und gibt die Möglichkeit praktisches Können unter Beweis zu stellen.

Der Wettbewerb ist in seiner Art einzigartig und umfasst experimentelle Aufgabenstellungen aus den Bereichen der analytischen und präparativen Chemie. Von den Teilnehmern wird nicht „trockene“ Theorie verlangt; sie können sich vielmehr mit ihren Mitstreitern in ihren praktischen Fähigkeiten im Chemielabor messen. Er fungiert außerdem als Leistungsvergleich der schulischen und betrieblichen

Ausbildung innerhalb Deutschlands und Europas.

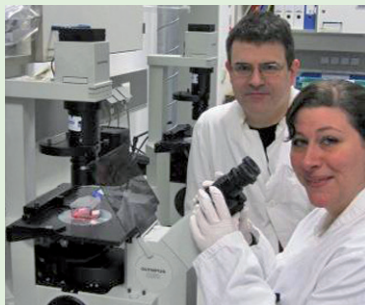
Der Wettbewerb findet alle zwei Jahre statt. Zunächst werden in der nationalen Runde die Besten ermittelt, die dann Deutschland beim internationalen Wettbewerb (dieses Jahr vom 25. bis 30. September an der HTL Dornbirn in Österreich) vertreten werden.

Die Bedeutung des Grand Prix Chimique für die Förderung des Nachwuchses in den Chemieberufen wird auch dadurch unterstrichen, dass die Gesellschaft Deutscher Chemiker die Schirmherrschaft für den Wettbewerb übernommen hat.

Ausrichter der diesjährigen nationalen Runde, die vom 26. bis 28. Juli stattfinden wird, ist die Ausbildungsabteilung der Firma Nycomed GmbH in Konstanz. Eine Anmeldung ist bis zum **31. Mai 2011** möglich. Nähere Informationen über den Wettbewerb und die Anmeldung unter <http://www.chf.de> oder über die Nationale Geschäftsstelle beim Institut Dr. Flad, Breitscheidstraße 127 in 70176 Stuttgart.

Durch Aufschulungsmaßnahme zur Anstellung

Die vierte Aufschulungsmaßnahme für ausgebildete biologisch-technische Assistentin (BTA) ging in den Laboren am Berufskolleg Hilden erneut erfolgreich zu Ende. Dieses Mal mündete diese für die Teilnehmerin in einer Anstellung in einem Forschungslabor an der Universität zu Köln. „Diese Weiterbildung finden immer in Absprache mit der Bundesagentur für Arbeit statt“, berichtet Dr. Markus Hartung (Foto, mit einer Teilnehmerin), Verantwortlicher dieser arbeitsfördernden Maßnahmen am Berufskolleg Hilden. Mit einer Aufschulungsmaßnahme bringen sich Arbeitssuchende und Wiedereinsteiger auf den aktuellen Stand der Technik. Während der dreimonatigen Qualifizierung bearbeiten die Teilnehmer eine klar umschriebene Fragestellung aus dem zell- und molekularbiologischen Bereich. Für alle Teilnehmer führte dies anschließend in ein adäquates Beschäftigungsverhältnis. In dieser Aufschulung war das Thema „Aufbau eines Versuchssystems zur Genexpressionskontrolle per RNAi (RNA-Interferenz)“. Ziel war, die Methode als Unterrichtsversuch für das Fach Zellbiologie zu etablieren.



Aus der Bildungslandschaft

- Unter dem Namen WING startet an der Universität Augsburg zum Wintersemester 2011/12 ein neuer Wirtschaftsingenieurstudiengang, der sich deutschlandweit als erster mit der **effizienten Nutzung von Rohstoffen** befassen wird.
- 2000 Studienprogramme hat die Agentur für Qualitätssicherung durch **Akkreditierung von Studiengängen (AQAS)** mit Sitz in Bonn seit ihrer Gründung im Jahr 2002 akkreditiert.
- Der Anteil an **Studierenden ohne Abitur** bzw. Fachhochschulreife liegt an der Wilhelm Büchner Hochschule in Darmstadt weit über dem Durchschnitt aller Hochschulen in Deutschland. Ein Drittel der Studierenden sind beruflich Qualifizierte bzw. Techniker und Meister.
- Die Hochschule Niederrhein verstärkt jetzt ihre Bemühungen, jungen Menschen bei ihrer **Studienwahl zu helfen**. Werkzeug dafür ist der HN-Navigator auf der Homepage. Ein Schwerpunkt der Internet-Navigation wird darauf gelegt, die eigenen Fähigkeiten richtig einschätzen zu können.
- Die Zeppelin Universität in Friedrichshafen stellt als erste deutsche Hochschule ab Herbstsemester 2011 die Regelstudienzeiten ihrer gesamten **Bachelor-Studiengänge um, von bisher drei auf vier Jahre**. Damit reagiert die Universität u.a. auf das verkürzte Abitur.
- Mehr als ein Viertel der zwei Millionen deutschen Studierenden absolviert sein **Studium faktisch in Teilzeit**. Das Studienangebot der Hochschulen trägt dem allerdings kaum Rechnung. Der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft fordert Politik und Hochschulen nun auf, die „heterogene Lebenswirklichkeit der Studierenden ernst zu nehmen und endlich entsprechende Angebote zu formulieren“.
- Die **Kognitionswissenschaft** ist ein „Emerging Focus“ an der Universität Wien. Jetzt wird eine neue Forschungsplattform eingerichtet, die natur- und lebenswissenschaftliche mit geistes- und sozialwissenschaftlicher Expertise an der Universität Wien verknüpft. Eine neue Professur für Cognitive Informatics wird gerade ausgeschrieben.
- Wie gestaltet man einen spannenden Unterricht? Wie bringt man Fachwissen an Schüler? Wie kann man außerschulische Lernorte nutzen? Für solche Fragen ist der neue **Lehr-Lern-Garten der Uni Würzburg** zuständig. Lehramtsstudierende können dort praxisnah mit Schülern arbeiten.
- Der Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin (VBIO) hat einen neuen **Online-Studienführer für bio-wissenschaftliche Master-Studiengänge** frei geschaltet. Unter www.master-bio.de finden Studieninteressierte redaktionell aufbereitete Informationen zu den über 500 biowissenschaftlichen Master-Studiengängen, die mittlerweile an deutschen Hochschulen angeboten werden.
- Erstmals bot das Berufskolleg Hilden Auszubildenden zum Biologisch-technischen Assistenten (BTA) einen **Vertiefungskurs in analytischer Chemie** an. Ein separates Zertifikat bestätigt die erworbenen Spezialkenntnisse.

IR-Spektroskopie

Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich.

- 1** Welches spektroskopische Verfahren arbeitet zwischen 1 mm und 500 μm ?
A UV-Vis-Spektroskopie.
B IR-Spektroskopie.
C Röntgenspektroskopie.
D Raman-Spektroskopie.
E NMR-Spektroskopie.
- 2** Welcher Spektralbereich kennzeichnet die IR-Spektroskopie, die im mittleren Infrarot-Bereich arbeitet?
A 400 – 4000 cm^{-1}
B 25 – 2,5 μm
C 12 – 120 THz
D 50 – 500 meV
E 363 300 – 405 500 km.
- 3** Ein Linienspektrum entsteht, wenn ...
A angeregte Elektronen wieder in den Grundzustand zurückgehen.
B Moleküle elektromagnetische Strahlung absorbieren.
C Elektronen ihren Spinzustand ändern.
D Nukleonen ihre Anordnung ändern.
E Moleküle ihren Schwingungszustand ändern.
- 4** Welches ist ein molekülspektroskopisches Verfahren?
A Atomemissionsspektroskopie.
B Fluoreszenzspektroskopie.
C Infrarotspektroskopie.
D Röntgenfluoreszenzanalyse.
E Kernresonanzspektroskopie.
- 5** Welches Molekül ist IR-aktiv?
A Aceton.
B Stickstoff.
C Wasser.
D Tetrachlorkohlenstoff.
E Benzol.
- 6** Welches Küvettenmaterial eignet sich für die IR-Spektroskopie?
A KBr.
B Kunststoff.
C Glas.
D LiF.
E Al_2O_3 .
- 7** Welches Lösungsmittel wird häufig in der IR-Spektroskopie verwendet?
A Wasser.
B Hexanol.
C Chloroform.
D Tetrachlorkohlenstoff.
E Tetrachlorethen.
- 8** Bei welcher Molekülschwingungsform handelt es sich um eine Valenzschwingung?
A Scherschwingung.
B Drehschwingung.
C Schaukelschwingung.
D Streckschwingung.
E Wippschwingung.
- 9** Wie viele Schwingungsfreiheitsgrade besitzt das Ammoniakmolekül?
A Zwei.
B Vier.
C Sechs.
D Acht.
E Zehn.
- 10** Was enthält der häufig als Lichtquelle in der IR-Spektroskopie eingesetzte Nernststift?
A Siliciumcarbid.
B Oxide der Seltenen Erden.
C Goldlegierung.
D Platin.
E Neon.
- 11** Welches sind die zwei wichtigsten Detektoren in der IR-Spektroskopie?
A Photozelle.
B Photomultiplier.
C Photodiode.
D Thermosäule.
E Aktinometer.
- 12** Was steht auf der Abzisse des Koordinatensystems eines IR-Spektrums?
A Wellenzahl.
B Wellenlänge.
C Extinktion.
D Transmission.
E Deduktion.
- 13** Womit sollte die Auswertung eines IR-Spektrums beginnen?
A Zählen aller Peaks.
B Ausmessen der Breite jedes Peaks.
C Auswertung von Besonderheiten wie Schultern.
D Identifizierung funktioneller Gruppen.
E Bestimmung des organischen Grundgerüsts.
- 14** Worauf deutet eine breite Bande bei 3200 cm^{-1} ? Das untersuchte Molekül ...
A enthält eine Alkyl-Gruppe.
B ist ein Alkohol.
C enthält eine OH-Gruppe.
D zeigt eine C-H-Valenzschwingung.
E zeigt eine C-O-Valenzschwingung.
- 15** Peaks beziehungsweise Banden bei welcher Wellenzahl deuten auf eine aromatische Verbindung?
A 3026,2 cm^{-1} .
B 2900 cm^{-1} .
C 1700 – 1900 cm^{-1} .
D 1458 – 1604 cm^{-1} .
E 1200 cm^{-1} .

Lösungen zu Seite 566 (CLB 12/2010):

1 C; 2 A, B, C, D, E; 3 A, C;
 4 A, B, C; 5 A, B, C, D, E;
 6 C; 7 B, C, D; 8 D; 9 B;
 10 A, D, E; 11 A, B, E; 12 D;
 13 D.

(Lösungen zu den Fragen hier finden Sie in CLB 03/2011 sowie auf www.clb.de)

Bezugsquellenverzeichnis

ANALYSEN

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

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

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

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

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

STERILISATOREN

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

TEMPERATUR-MESSGERÄTE

Amarell GmbH & Co KG
D-97889 Kreuzwertheim



Postfach 1280
Tel. 09342 9283-0
Fax 99342 39860

TEMPERATUR-MESSGERÄTE



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

THERMOMETER

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!**

Aufsätze

Banszerus, Luca; Schmitz, Michael

Jugend forscht 2010: Anwendungen von Graphen mit schulischen Mitteln erstellt 310

Brühwiler, Paul A.; Meyer, Veronika R.; Kickuth, Rolf

Warum haben Pflanzen kein Gehirn? Sessile Lebensweise mit typischerweise langsamen Reaktionen.....402

Burgdorf, Knut

Pflanzen als Proteinlieferanten: Weltenernährung auf Bevölkerungszuwachs einstellen.....36
Antibody-Drug Conjugates: Symbiose zwischen Antikörpern und neuen hochpotenten Wirkstoffen.....192

Bützer, Peter

Die „himmlische Eisenzeit“: Geschichte und Eigenschaften von Pallasit-Meteoriten102

Ellmer, Reinhold

Aus der Welt der Software – Evolution der Markup Languages, Teil 1: Ohne Sonderzeichen kein Internet216

Hasenpusch, Wolfgang

Misteln: Mythen – Inhaltsstoffe – Anwendungen28
Blei und seine Verbindungen – noch häufig im Alltag zu finden.....104
Spargel: Anregend für Nieren und Stoffwechsel.....144
Zink: Korrosionsschutz und Spurenelement für hunderte von Bioreaktionen206
Kork: Ein Isolations-Material der Natur..256
REACH und GHS/GLP-Verordnung: Zwei europäische Mammut-Regelwerke halten die Chemische Industrie in Atem338
Im Rausch der Drogen: Natürliche und künstliche Rauschmittel.....432
Gips als Natur-, Synthese- und Industrie-Produkt.....494

Abkehr vom Elfenbein: Ein nachwachsender Rohstoff unter Schutz536

Kaiser, Christina; Käuferstein, Silke, Reuss, Esther; Wunder, Cora

Blutiger Beweis: Was Rechtsmediziner aus Blutspuren schließen können549

Kässer, Mechthild

Entwicklung und Anwendungen antimikrobieller Oberflächen: Von selbst keimfrei und sauber96
„PiggyBac“, „Dornröschen“ und Co.: Von der Entdeckung springender Gene bis zu ihrer Nutzung in der Gentherapie ...150
Das Geheimnis der Lebensuhr: Telomere, die Schutzkappen der Chromosomen528

Kickuth, Rolf

Mikroalgen als Rohstoffproduzenten geeignet für Hochtechnologieprodukte48
Neuromorphic engineering: Ansätze zur Stimulation eines Gehirns – Memristoren als Hoffnungsträger440
Emergenz: Der Funke der Schöpfung480

von Kieckebusch-Gück, Annette

Chaperone zur Beschleunigung der Proteinfaltung.....58
RNA-Editing erhöht die Proteinviefalt: Hauptmechanismus eines komplex gesteuerten Regulationsnetzwerks.....198
Schweine- und andere Grippeviren: Aufbau, Wandelbarkeit und Übertragbarkeit.....544

Obendrauf, Viktor

Die homogen katalysierte Zersetzung von Wasserstoffperoxid: Mit H₂O₂ zur „Elephant's Toothpaste“12
Mit Köpfchen und Reibfläche: Microscale-Experimente mit Zundhölzern240
Historische und chemididaktische Aspekte zum Thema Feuerzeug, Teil 1:

Von der Zunderbüchse zum Kult-Zippo..288
Teil 2: Vom Einweg-BIC zum Jat Flame Lighter.....384

Schwedt, Georg

Glas aus der Region Ilmenau in Thüringen: Ausstellung als Keimzelle zu einem Museum.....64
Salzchemie im Supermarkt: Speise-, Bade-, und Fleckensalze158
Wesseling und die Petrochemie: Von der Gerberei zu den Kunststoffen – Rheinuferbahn als Verbindung.....305
Wasser, Schloss und Multimedia: Das Wassermuseum Aquarius in Mülheim-Styrum.....452

Sifft, Kevin

Jugend forscht 2010: Kunststoffeffe aus erneuerbaren Ressourcen: Biotechnologische Milchsäureerzeugung aus Biomasse.....322

Rubriken

Aktuelles Ereignis

346

Bezugsquellenverzeichnis

87, 135, 183, 231, 279, 375, 423, 471, 519, 567

Der neueste Stand – aktuelle Informationen zu früheren CLB-Artikeln

120, 172, 221, 258, 411, 459, 506

F & E im Bild

3, 91, 139, 187, 235, 283, 379, 427, 475, 523

Forschung und Technik

70, 117, 167, 222, 264, 353, 408, 458, 504, 558

Förderungen / Preise

95, 143, 191, 239, 287, 431, 479

Literatur

75, 121, 173, 220, 268, 356, 413, 460, 508, 562

Neue Produkte

76, 125, 359, 412

Personalia

10, 94, 142, 190, 238, 286, 382, 430, 478, 526

Umfeld Wissenschaft

72, 122, 171, 219, 266, 507, 559

Umschau

112, 164, 456, 555

Unternehmen

8, 92, 140, 188, 236, 284, 380, 428, 476, 524

Erreichen, Erhalten

Adam, Karl

Kritische Zusammenfassung der Katastrophe im Golf von Mexiko418

Kickuth, Rolf

Löslichkeit von Gasen – Grundlagen und Beispiele80

Wolfgang Flad erhält Carl-Duisberg-Plakette414

Phasenkontrastverfahren jetzt auch in der Röntgentechnik.....415

von Kieckebusch-Gück, Annette

Plexiglas: 1933 marktreif, weiter in Entwicklung.....226

Wiskamp, Volker

Chemie für Wissenschaftsjournalisten, Teil 1: Grundlagen der Chemie / Erster Anwendungsbereich: Automobile272

Teil 2: Verschiedene Anwendungsbereiche: Von Energie bis Nanotechnik.....364

Aus der Bildungslandschaft

85, 181, 229, 277, 515

Lebensmittelanalytik

BVL stellt Ergebnisse der amtlichen Lebensmittelüberwachung 2009 vor.....511

Elektrochemie

Teil 1 – in der Produktion86

Teil 2 – Galvanische Elemente.....134

Teil 3 – Analytik.....182

Fragen zur Wissensvertiefung

Aktuelles aus den Lebenswissenschaften 230

Prüfungsfragen für Chemielaboranten278

Halbleiter in Naturwissenschaft und Technik374

Probenahme und Qualität.....470

Probenvorbereitung und erste Analysen. 518

Elektrochemie und optische Analysen....566

Schule, Ausbildung, Studium

Neun von zehn Studierenden würden wieder ins Wohnheim ziehen179

Bildungswerk Nordostchemie bietet Studium an180

Studentenbudget: 812 Euro229

Math-Bridge ersetzt den persönlichen Tutor271

Bildungsangebot auf höchstem technischem Niveau bei der Sächsischen Bildungsgesellschaft für Umweltschutz und Chemieberufe Dresden mbH.....466

Dresden Johannstadt: Traditionsreicher Standort für naturwissenschaftliche berufliche Bildung.....468

Statistische Daten zu Chemiestudiengängen in Deutschland 2009469

Deutschland attraktiv für Spitzen-Studierende.....510

Projekt „Konstrukteur 2020“ gestartet – Berufsbild attraktiver darstellen.....516

Deutschland hinkt Österreich und Schweiz bei Bildungsausgaben hinterher 517

Ergebnisse einer Befragung unter Doktoranden der Max-Planck-Gesellschaft564

Sicherheit

2008 starben 19000 Personen bei Unfällen.....175

Umwelt

9,4 Prozent weniger CO₂-Emissionen im Jahr 2009177

Mehrverbrauch trotz kalten Wetters.....422

Weltweit erstes Recyclingverfahren für Fluorpolymere im Visier464

Ernüchternde Ergebnisse über Zahlungsbereitschaft für Klimaschutz565

Vorschriften, Richtlinien

BAuA-Tagung zu Arbeitsschutz vor optischer Strahlung.....463

Reinheitstauglichkeit von Werkstoffen...467

Vermischtes

Schwache Lohnentwicklung – Frauen besonders betroffen79

Vertrauen in Lebensmittelhandel gering 176

Chemiebeschäftigte: 550 Euro Einmalzahlung225

DPG und IdW veröffentlichen Studien zum Arbeitsmarkt für Physiker362

Vor 150 Jahren wurde Erfindergenie Richard Küch geboren462

FIZ Chemie übernimmt die Betreuung der Webseite www.InChI-Trust.org465

Studie über vernetzte Primärdaten-Infrastruktur in der Chemie512

Jahresregister

1,2-Dithiolan-4-Carbonsäure	146
1,3,7-Trimethyl-xanthin	433
3-(1-Methyl-2-Pyrrolidinyl)pyridin	433
3D-Modell	114
4-Methoxyamphetamin.....	438

A

acid sphingomyelinase.....	63
Ackerschmalwand	409
Acrylglas	228
ADCs, Herstellung von	196
ADCs	195
Additive, Oxo-abbaubare	352
Adjuvantien.....	120
Akademiker.....	510
Aktionspotenzial.....	405
Alabaster.....	495
Algenanlagen.....	55
Algorithmen, evolutionäre	483
Alkaloide.....	33
Alkohol	432
Allelopathie.....	482
Allergie	44
Altern	532
Ameise.....	489
Amflora.....	128
Aminosäuren.....	38
Aminosäuren.....	59
Ammoniak-Sensor	316
Amorcesbänder	295
Amplitudenkontrast.....	415
Amylopektin.....	128
Analyse, toxikologische.....	552
Anatas.....	98
Anhydrit.....	495
Anthocyane	147
Anthocyanidine	147
Anthrachinon-Autoxidations-Verfahren	14
Antibiotikaresistenz-Markergen	131
Antibiotikum.....	167
Antibody-Drug Conjugates.....	192
Antigenshift	546
Antigrippemittel.....	547
Antikörper, monoklonale	192
Antikörper, Struktur der.....	192
Antikörper, therapeutische.....	193
Antisense-Technik.....	130
Apo-Gen.....	200
Aquakultur	49
Aquarius	453
Arbeitsmarkt Physiker	362
Arbeitsmarkt	79
Arbeitsschutz	243
Arbeitsschutz	463
Arbeitsverhältnis	79
Artenschutzabkommen.....	536

Arthrospira.....	49
Asparaginsäure	147
Asparagus officinalis	144
Atemgase	80
Atmosphärenchemie.....	367
Atmungsprotein	354
ATP.....	60
Auer-Zündstein	295
Ausbildung Chemie.....	180
Auto-Klimaanlagen.....	422
Automobile	346
Auxin.....	409

B

Backpulver	160
Badesalz.....	158
Bakterien, anaerobe	167
Bakterien	96
Bambusgebäude	221
Bariumperoxid	14
Bariumsulfat	14
BASF	346
Benard-Zellen.....	486
Benzin-Schnüffeln.....	388
Benzin	306
Bergius-Pier-Verfahren.....	305
Bernstein, indischer	506
Berufsbild Chemie	516
Bevölkerungszuwachs	36
Bienenhonig.....	17
Bildungsausgaben.....	517
Bildungswerk Nordostchemie.....	180
Bindungsenergien	310
Biobatterie.....	52
Biochip	222
Biokraftstoff.....	48
Biokunststoffe.....	322
Biologie, synthetische.....	123
Biologie, synthetische.....	5
Biomasse	323
Biotechnologie, weiße	228
Biozide	96
Bittergurke	355
Black-box-Verfahren	441
Blattläuse	133
Blausäureproduktion	308
Blei-Analyse	109
Blei-Erze	105
Blei.....	104
Bleiglanz.....	104
Bleihalogenide	107
Bleimennige.....	107
Bleisalze	106
Blockcopolymere, antimikrobielle... ..	98
Blue Brain-Project	440
Blutgerinnung.....	168
Blutspurenmuster	550
Blutuntersuchung	550
Bodenorganismen	133

Bombardierkäfer	13
Böttgersche Zündmasse.....	243
Bottom-up-Prozess	489
BP.....	420
Brain-Computer-Interface	6
Brain-Computer-Schnittstelle.....	491
Braunalge.....	358
Braunkohle	305
Braunstein	250
Braunsteinpulver.....	21
Bullrich Salz.....	161
Butangas	388
BZ-Reaktion	488

C

Caissonkrankheit	83
Cakile	404
Calcium-Verbindungen.....	497
Calciumsulfat-Dihydrat	494
Calicheamicin	194
Calvin-Zyklus.....	50
Cannabinoide.....	435
Cannabis.....	434
capping.....	198
Carl-Duisberg-Plakette.....	414
Carosche Säure	14
Cellulasen.....	328
Cellulose	323
Cer	295
Cereisen-Zündstein	293
Cereisen-Zündstein	386
Chamäleon-Proteine	224
Chaostheorie	487
Chaperone	221
Chaperone	358
Chaperone	58
Chemie-Journalisten.....	273
Chemieberufe.....	466
Chemiebeschäftigte	225
Chemiedidaktik.....	247
Chemieprodukte, nachwachsende	369
Chemiestudiengänge.....	469
Chemikalien	338
Chemikalienbeschaffung	341
Chemolumineszenz.....	246
Chemotherapeutika.....	194
Chips.....	164
Chitosan	557
Chlor	251
Chlordioxid.....	253
Chlorella.....	49
Chlorid-Ionen.....	408
Chlorid	251
Cholin	33
Chromatin	201
Chromophore	349
Chromosom	151
Chromosomen	528
cis-Form.....	62

CKW, aromatische.....	260	Elementhalbleiter.....	164	Flint	291
CLB, 60 Jahre.....	5	Elephant's Toothpaste.....	25	Fluorpolymere	464
Clostioamid.....	167	Elfenbein-Schnitzerei.....	539	Flüssiggas	393
Clostridien.....	167	Elfenbein	536	Folsäure.....	146
CML.....	218	EMBL.....	121	Forschungsdaten.....	513
CMOS-Prozesstechnik.....	165	Embryonalentwicklung.....	504	Frauen.....	79
CO-Detektor	408	Emergenz	480	Frequenzkammergeneratoren.....	5
CO2-Emission	177	Emissionshandel, europäischer	177	Funkenbildung.....	297
Coffein	342	Energie	364	Fusarium venenatum.....	45
Coffein	432	Energiehaushalt	403	Futtermittel.....	56
Cro-Magnon-Kultur	291	Engineering, neuromorphic	440		
Cruciferin	42	Engineering, reverse	441	G	
Cytokinin.....	409	Entzündungstemperatur.....	253	G8-Abitur	127
D		Enzyme.....	325	Gärung	332
Datenmanagement	513	Epigenetik	199	Gas-Löslichkeit.....	80
DEA.....	306	Erdalkalisulfate	497	Gas-Missbrauch	390
Deepwater Horizon.....	418	Erdöl	418	Gas-Toxizität	389
Defensine	265	Ethanol.....	433	Gasfeuerzeug.....	294
Dekompressionskrankheit	83	EU-GHS/CLP-Verordnung	342	Gasfeuerzeuge	385
Dekubitus.....	38	EU-Verordnung.....	339	Gasphasenabscheidung, chemische.....	317
Desinfektionsmittel.....	17	Evolution, gerichtete.....	52	Gedächtnis, epigenetisches	202
DHPLC	554	Evolution	154	Gefahrenklassen	344
Dicarbonsäuren.....	259	Evonik Degussa.....	305	Gefahrstoff-Piktogramme.....	343
Dichtemessung	395	Evonik Industries	15	Gehirn.....	402
Diphenylmethandiisocyanate	346	Exoglucanase	326	Gehirn.....	440
DNA-Netzwerk	169	Explosionstests	345	Gelatine.....	245
DNA-Profil	551	Explosionsversuche	398	Gendoping.....	459
DNA, nicht-kodierende	169	Extraktion.....	39	Gene, springende.....	150
DNA, Nucleolus-assoziierte	169			Gene, springende.....	269
DNS-Replikation	529	F		Gene, therapeutische	155
Doktoranden.....	564	F&E	219	Genexpression	198
Doping.....	372	Faserverbund-Kunststoffe.....	476	Gentechnik.....	128
Dornröschen.....	154	Feldeffekt-Transistor	314	Gentherapie.....	150
Dow Chemical	308	Fermentation.....	332	Gentransfer	505
Drogen-Screening	439	Fettspeicherung.....	117	Gerberei	305
Drogen	372	Feuer.....	289	Gift.....	243
Drogen	432	Feuerhobeln	291	Gips-Verband	501
Drogenkonsum	434	Feuerlöscher.....	347	Gips, Geschichte des	494
Druckmessung.....	394	Feuerstahl.....	292	Gipskunst	502
DSHP-Technik.....	15	Feuersteine	290	Glas	64
Duftstoff.....	458	Feuerzeug-Experimente	297	Gläser, metallische.....	353
E		Feuerzeug, galvanisches	295	Glasforschung	67
e-learning Chemie.....	127	Feuerzeug, pneumatisches	294	Glasherstellung, Geschichte der	65
E-Learning	271	Feuerzeug, Treibacher	296	Glashütte.....	64
E-por	351	Feuerzeug, Döbereiner	294	Glasinstrumentenbau	65
ECHA	338	Feuerzeug.....	288	Globally Harmonised System	342
Ecstasy.....	438	Feuerzeugbenzin	303	Glucose-Messung.....	328
Editing.....	199	Feuerzeuggas-Springbrunnen	397	Gluten	43
Einweg-Bic	384	Feuerzeuggas.....	386	Golf von Mexiko	421
Einwegfeuerzeug	386	Fewlayer	311	Graduiertenkollegs.....	266
Einzeilerprotein	45	Finger-Flash	248	Graphen-Flakes	310
Elefanten.....	536	Fire Drill.....	298	Graphen	310
Elektroimpulsbehandlung.....	54	Fire Piston	298	Graphen	561
Elektrokardiogramm.....	554	Flagellin-Rezeptor	264	Graphene.....	7
Elektrolumineszenz.....	558	Flammschutz	349	Graphit	310
Elektronik, evolvierbare.....	484	Flammschutzmittel	350	Greiner, F.F.	65
Elektronik, molekulare	558	Flaschenkork	259	Grippeviren	223
		Fleckensalz.....	158	Grippeviren	544
		Fleischersatz.....	41	Grünalge.....	51

H

H-Sätze.....	344
H ₂ O ₂ , Eigenschaften.....	19
Haarbleichmittel.....	15
Haare, graue.....	27
Haber-Bosch-Verfahren.....	306
Haftkraft.....	113
Hagemann-Faktor.....	168
Halbleiter, organische.....	165
Halbleiterrasen.....	457
Halbleitertechnologie.....	456
Halbschmarotzerpflanze.....	29
Hämagglutinin.....	545
Hämocyanine.....	354
Harnstoff-Zyklus.....	147
Harz.....	33
Hefen.....	45
Heilkraut.....	31
Henry'sches Gesetz.....	80
Heroin.....	434
Herzinfarkt.....	168
Herztod, plötzlicher.....	554
Hirnsimulation.....	444
Hirschhornsalz.....	161
Histamin.....	33
Hitzeschockproteine.....	60
Hodgkin-Lymphom.....	202
Höhensonne.....	462
Homöopathie.....	372
HPPO-Verfahren.....	15
HTML.....	216
Human Genome Project.....	5
Hydrochinon.....	13
Hydrogenase.....	52
Hydrolyse, alkalische.....	324
Hydroxylapatit.....	119
Hygiene.....	96

I

I.G.Farbenindustrie.....	14
Ilmenau.....	64
Imilac.....	103
Immunkonjugate.....	192
Impfstoffe.....	120
Impfung.....	548
Imprinting.....	199
Indium.....	312
Industriegeschichte.....	454
Influenza.....	223
Influenza.....	544
Informationstechnik.....	164
Inosit.....	34
Insektizid, biogenes.....	118
Intelligenz, kollektive.....	491
Internet.....	490
Iodid.....	20
Iodprobe.....	129
iPS-Zellen.....	172
Isoflavone.....	42

Isolations-Material.....	256
Isomerase.....	62
Isotopenanalyse.....	541
IUCLID.....	340

J

JCAMP-DX-Format.....	515
Jet Flame Lighter.....	384
Johannistag.....	145
Juglon.....	482
Junk.....	202

K

Kaliumchlorat.....	241
Kalzium-Ionen.....	224
Kalziumphosphat.....	542
Kanamycin-Resistenz.....	131
Katalase, humane.....	12
Katalyse.....	12
Katalyse.....	326
Keime, multiresistente.....	167
Kelp-Industrie.....	49
Keramik, piezoelektrische.....	390
Keyhole Limpet Hämocyanin.....	354
Kiemenatmer.....	85
Kinetik.....	20
Klima.....	364
Klimaschutz.....	565
Knochenschrauben, abbaubare.....	119
Kohlendioxidreduktion.....	565
Kohlenstoff-Chemie.....	507
Kohlenstoff-Nanoröhren.....	7
Kohlenstoffnanoröhren.....	558
Kohleverflüssigung.....	306
Kokain.....	435
Konformation.....	59
Konstante, piezoelektrische.....	391
Konstrukteure.....	516
Kontaktierungsmethode.....	313
Kork-Lehmfüllmasse.....	261
Kork, expandierter.....	258
Kork, zusammensetzung.....	258
Kork.....	256
Korkeichen.....	256
Korkfußboden.....	262
Korkpilze.....	259
Körpereiwiss.....	38
Korrosionsschutz.....	206
Kraftdetektoren.....	410
Krankenhausküchen.....	511
Krebsentstehung.....	62
Krebsmedikamente.....	533
Krebstherapie.....	192
Krebstherapie.....	32
Kreuzbandriss.....	119
Kristalle, piezokeramische.....	392
Kulturgeschichte.....	288
Kunststoffadditive.....	348
Kunststoffe, bioabbaubare.....	351

Kunststoffe.....	305
Kunststoffe.....	322
Kunststoffgeschäft.....	346
Kwashiorkor.....	37

L

Lachgas.....	398
Lacke, abschuppende.....	96
Lactobacillen.....	333
Ladungswechselwirkung.....	52
Lager-Konzept.....	345
Laser.....	488
Laserschreiben, direktes.....	113
Laserschweißen.....	351
Laufkäfer, europäischer.....	228
Lebensmittel-Zusatzstoffe.....	56
Lebensmittelchemie.....	366
Lebensmittelhandel.....	176
Lebensmittelüberwachung.....	511
Lebensweise, sessile.....	402
LED.....	463
Leibniz-Preise 2010.....	72
Leibniz-Preise.....	559
Lernregel, Hebb'sche.....	445
Leukämie.....	194
Li-Ionen-Akkus.....	6
Lichtsammler-Proteine.....	53
Lichtschutzfaktor.....	53
Lichtwellenleiter.....	164
Lignin-Aufschluss.....	324
Lignocellulose.....	336
Linker.....	195
Lithographie.....	312
Lohnentwicklung.....	79
Lotuseffekt.....	96
Low-cost-Experimente.....	254
Low-Cost-Gasentwickler.....	21
Low-Density-Polyethylen.....	349
LTRs.....	203
Lucifers.....	242
Luntenerfeuerzeug.....	293
Lupinen.....	43
LyondellBasell.....	309
Lysersäure-diethylamid.....	437
Lysin.....	44

M

Magnetresonanztomographie.....	6
Mais-Genetik.....	151
MAK-Wert.....	389
Management, Frauen im.....	132
Manchot, W.....	14
Marasmus.....	37
Marihuana.....	435
Markasit.....	291
Markup-Languages.....	216
Masernvirus.....	505
Maytansine.....	194
McClintock, B.....	151

MDMA	439	Neuronen	442	Photodektoren	165
Medihoney	17	Neurosimulation	448	Photonik, Siliciumkompatible	164
Medikamente	371	Nierenstein.....	149	Photorhabdus luminescens	118
Medizin	370	Nierensteine.....	46	Photosmog.....	368
Melanin	27	Nikotin	432	Photosynthese.....	358
Memristoren.....	440	Nitrox.....	84	Photosynthese.....	365
Mendelsche Gesetze	150	NMR-Tomographie.....	459	Photosynthese.....	402
Messing.....	210	Nobelpreise 2010	507	Photosynthese.....	48
Metadaten	514	Nucleolus	169	Phyto-Östrogene	41
Metamaterialien.....	6	O		Phytoplankton.....	48
Meteoriten	102	Oberfläche, antimikrobielle	96	Piezoelektrischer Effekt, reziproker.....	399
Methadon.....	436	Oberflächen-Antigene	545	Piezoelektrizität	390
Methamphetamin	437	ÖCW-Degussa.....	13	Piezofeuerzeug	296
Methylierung.....	201	Ökoeffizienz-Analyse.....	352	Piezofeuerzeug	385
Methylmethacrylat	308	Ökologie.....	323	PiggyBac	154
Microscale-Methodik	254	Oleanolsäure.....	34	Plastizität, neuronale.....	445
Mikroalgen	48	Ölförderung.....	419	Plexiglas	226
Mikrobioreaktor.....	114	Online-Mathekurse	271	Polarelektrizität.....	390
Milchsäurebakterien	333	Opiate	436	Polyacrylsäurederivate	96
Milchsäureerzeugung.....	322	Optimierungsverfahren, evolutionäres.....	483	Polybutylenterephthalate.....	350
Milchsäuregewinnung	332	Optoelektronik	165	Polymerchemie	555
Minecraft.....	489	Ordnungsgrade, der Emergenz	489	Polymere, supramolekulare	556
Mischgas-Tauchen.....	84	Ozon	368	Polymethylmethacrylat	226
Mistel, Biologie der	28	P		Polymilchsäure.....	119
Mistel, Inhaltsstoffe der	33	P-Sätze.....	344	Polymilchsäure.....	322
Mistelextrakt	35	Paläolithikum.....	290	Polyolefin.....	349
Misteltee.....	31	Pallasit-Meteorit.....	102	Polypropylenanlage	308
Misteltherapie	32	Pandemie.....	545	Poolwasser-Desinfektion.....	17
MOFs.....	476	Papierindustrie.....	15	Pottasche	161
Molekül-Modell	13	Partialdruck	80	Pretreatment.....	327
Molekularstrahlepitaxie.....	456	Patch-Clamp-Technik.....	440	Primärdaten-Infrastruktur.....	512
Molmasse-Bestimmung.....	396	Paul-Falle	410	Produktion, nachhaltige.....	322
Monolayer	314	PCB	511	Prokaryoten	70
Motoren, molekulare	172	Penicillamin	211	Propylenoxid.....	15
MOVPE	457	Pentachlorphenol	261	Protein-Engineering.....	505
mRNA.....	198	Peressigsäure	18	Proteinaggregation	58
MRSA.....	167	Periodensystem.....	217	Proteinbiosynthese.....	60
Mucoviszidose	408	Persil	17	Proteine, rekombinante.....	63
Mukoviszidose.....	504	Petrochemie	305	Proteinfaltung	58
Mutation	130	Peukert-Hilberath-Verfahren.....	306	Proteinlieferant.....	36
Mythologie	30	Pflanzen-Abwehrmechanismen	265	Proteinmangelkrankheiten.....	37
N		Pflanzen-Immunsystem.....	265	Proteinviefalt	198
Nachhaltigkeit	176	Pflanzen, gentechnisch veränderte.....	133	PTFE.....	464
NaCl.....	159	Pflanzen.....	264	Puratein.....	43
Nahrungspyramide	39	Pflanzen.....	402	Pyrit	291
Nanokristalle	480	Pflanzen.....	402	Q	
Nanopartikel-Katalysator.....	15	Pflanzeneiweiss.....	39	Quorn.....	45
Nanotechnik	555	Pflanzeninfektionen	264	R	
Nanotechnologie.....	372	Pflanzenintelligenz.....	406	Radioisotope	120
Narkose	85	Pflanzenkommunikation	404	RAG.....	308
Natriumperborat	18	Pflanzenschutz	370	Rangfolge-Regelung	343
Natriumpercarbonat.....	161	Pflanzenzüchtung.....	172	Raps	42
Natriumpercarbonat.....	18	Phasenkontrastverfahren	415	Raucherstatistik	433
Natron.....	160	Phosphor, roter	243	Rauschmittel.....	432
Nervenzellen	224	Phosphor, weißer	241	REA-Gips	498
Netzwerk, künstliches, neuronales.....	446	Phosphornekrose	244	REACH-Auskunfts-konzept	341
Neuraminidase-Hemmer.....	547	Phosphoroxid.....	252	REACH	338
Neuraminidase.....	547	Photobioreaktoren	53		

Reaktion, exotherme.....	19	Selbstorganisation.....	480	T	
Rechtsmedizin.....	549	Sensoren.....	310	TAED.....	161
Recycling-Verfahren.....	464	Sesquisulfid-Hölzer.....	244	Tafelkreide.....	502
Regen, saurer.....	368	Sesquiterpen.....	404	Talbot-Lau-Effekt.....	417
Registrierung.....	340	Shell.....	307	Talbot-Lau-Interferometer.....	416
Regulationsnetzwerk.....	198	Si-Modulatoren.....	165	TAP-Technologie.....	196
Reinheitstauglichkeit.....	467	Si/SiO ₂ -Wafer.....	310	Tarifentgelte.....	225
REM-Aufnahmen.....	318	Sicherheitszünder.....	244	Tatrekonstruktion.....	550
Rentabilitätsberechnung.....	55	Signal, systemisches.....	405	Tauchen.....	83
Repeats, inverted.....	152	Silberionen.....	97	Tauchroboter.....	420
Resistenz-Gene.....	152	Silex.....	291	Telomerase.....	532
Retrotransposone.....	152	Siliziumlaser.....	165	Telomere.....	528
rHA-Infestin-4.....	168	Silverlight.....	218	Terahertz-Sicherheitskamera.....	120
Rheinische Olefinwerke.....	309	snoRNA.....	201	Termitenbau.....	483
Rhizom.....	145	Soda.....	161	Tetrahydrocannabinol.....	435
Rhodiumkomplex.....	408	SOFI.....	166	Tetraphosphortrisulfid.....	244
Rigips-Platte.....	494	Soja.....	40	Theobromin.....	432
Rindermast.....	47	Solarfeuerzeug.....	385	Thermometer.....	65
Risiko-Sätze.....	34	Sonderforschungsbereiche.....	560	Thrombus.....	168
RNA-Editing.....	198	Spargelanbau.....	144	Thyssen, August.....	452
RNA-Erbgut.....	545	Spargelernte.....	145	Tight-Binding-Modell.....	311
RNPs.....	200	Spargelinhaltsstoffe.....	148	Tilling.....	130
Rohstoff, nachwachsender.....	256	Speed.....	438	Titandioxid-Beschichtung.....	98
Rohstoffe, nachwachsende.....	47	Speisesalz.....	158	Titandioxid.....	449
Rohstoffe, nachwachsende.....	48	Spikes.....	447	Tombak.....	211
Ronson Varaflame.....	385	Spikey-Chip.....	444	Top-down-Prozess.....	489
Röntgenröhre.....	65	Spincoating.....	316	Totalionenchromatogramm.....	553
Röntgentechnik.....	415	Sprödigkeit.....	353	Toxine, insektizide.....	118
Rotaxan.....	222	Spurenelement, essentielles.....	206	Toxizität, des Bleis.....	108
rRNA.....	201	Stabilisator.....	20	trans-Form.....	62
Ruhr.....	454	Stammzellen.....	114	Transposon-Familie.....	152
RWE.....	306	Stammzellforschung.....	171	Transposon-Klassen.....	152
S		Stärke.....	128	Transposon.....	151
S-Methylmethioninsulfoniumchlorid.....	147	STDP.....	447	Trauma.....	411
Salz-Zusatzstoffe.....	159	STED-Mikroskop.....	6	Treibhäuser.....	349
Salz, Experimente mit.....	162	STM-Ätzung.....	315	Treibstoffverbrauch.....	422
Salzchemie.....	158	Stoffsicherheitsbericht.....	340	Triacetontriperoxid.....	18
Sandrose.....	495	Stoffwechsel.....	365	Triazine.....	349
Saponine.....	33	Stoßzähne.....	540	Trichloranisole.....	260
Sauerstoff, Nachweis von.....	22	Strahlung, optische.....	463	Trimix.....	84
Sauerstoffschaum.....	23	Streichhölzer.....	242	tRNA.....	201
Säule, kortikale.....	442	Strippen.....	82	TU Ilmenau.....	67
Scherprozesse.....	71	Strukturformeln.....	465	Tunkhölzchen.....	247
Schicht, kontaktaktive.....	97	Studentenbudget.....	229	Turbo-Züchtung.....	130
Schilf.....	331	Studentenwohnheim.....	179		
Schlaganfall.....	168	Styruer Wasserturm.....	452	U	
Schleime.....	33	Suberin.....	258	Übergewicht.....	117
Schott, Otto.....	66	Sulfidnachweis.....	297	Umsetzung Biomasse.....	331
Schulchemie, experimentelle.....	247	Supernovaexplosion, asymmetrische.....	411	Umwandlungseffizienz.....	55
Schulexperimente.....	384	Supertein.....	43	Unfallstatistik.....	175
Schulmathematik.....	127	Süßwasserschnecke.....	504	Universitäten.....	510
Schüßler-Salze.....	501	Synapsen.....	442	UV-Licht.....	463
Schwarnverhalten.....	484	Synergetik.....	486	UV-Licht.....	99
Schwefeldioxid-Nachweis.....	298	Synthesechemie.....	512	UV-Schutz.....	349
Schwefelnachweis.....	297	Systembiologie.....	5	UV-Sensor.....	316
Schweinegrippe.....	544	Systembiologie.....	52		
Scotch-Tape-Methode.....	311	Szintigraphie.....	120	V	
Sebacinsäure.....	369			Venusfliegenfalle.....	405
				Verbindungshalbleiter.....	164

Vererbung.....	150	Wesseling	305	Zink, Vorkommen von	206
Verhalten.....	411	Wiedemann-Franz-Gesetz	207	Zink.....	206
Virusstämme.....	546	Wilderei.....	536	Zinkhydroxid-Fällung.....	208
Viscotoxine	34	Wirtsbaum	30	Zinklegierungen	210
Viscum album	28	Wissenschaftsjournalisten	272	Zinkmangel.....	212
Visual Studio.....	217	Wissenschaftsjournalisten	364	Zinkpräparate.....	212
Vogelgrippe.....	547			Zinkstaub-Destillation.....	208
W		X		Zinksulfat-Heptahydrat	208
Wachstumshormone, pflanzliche ..	409	XAML.....	218	Zinksulfat.....	209
Wärmeleitfähigkeit.....	257	XML.....	216	Zippo-Benzin.....	302
Wasser, oxidiertes.....	14	Y		Zippo	296
Wasserchemie.....	367	Yoctonewton.....	410	Zöliakie.....	44
Wasserentkeimung.....	462	Z		Zunderpilz	293
Wassermuseum.....	452	Zahn-Bleaching.....	16	Zunderpistole.....	293
Wasserstoffzeugung	51	Zellkultur, dreidimensionale	112	Zündhölzer, Geschichte der.....	240
Wasserstoffperoxid.....	12	Zellstoff-Bleichung	15	Zündvorgang	246
Wasserstoffsensoren	316	Zellteilung	151		
Weckamine.....	437	Zeolithkristalle	97		
Weinstein	160	Zink-Anthranilsäure-Komplex.....	210		
Weizen	133	Zink-Carbonsäure-Verbindungen...	209		
Weizen	43	Zink-Chelate	212		
Welternährung.....	36	Zink-Diphylat-Komplex.....	211		
Werkstoffe, selbstheilende	555	Zink-EDTA-Komplex	210		
Wertigkeit, biologische.....	38	Zink, Eigenschaften des.....	207		

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. Kleinermanns, 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 Soiné-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, Diekhofen;
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

Abonnentenbetreuung:
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



Der Forschung und Entwicklung (F&E) geben die Unternehmen einen hohen Stellenwert (siehe dazu die Artikel auf Seite 5 (Bayer 3,1 Mrd. Euro für F&E) bzw. ab Seite 60 (BASF, 1,5 Mrd. Euro für F&E)), gilt sie doch als Grundlage für künftige Umsatzträger.

Schon vor 60 Jahren, im Juli 1951, wurden Bezüge zwischen F&E und Unternehmenserfolg gemacht. Man griff dabei auf Daten der „Chemie-Ingenieur-Technik“ zurück, die einen Zeitraum von 16 Jahren verglich – offenbar einschließlich der Kriegsjahre zuvor. Interessant, dies noch einmal zu lesen...

Das Lebensgesetz der chemischen Industrie

Erst forschen, dann verdienen!

Die großen Chemiekonzerne der USA haben in ihren Jahresberichten alle darauf hingewiesen, daß der Hauptanteil bei Umsatz und Gewinn auf neue Produkte entfällt, die erst in den letzten Jahren erforscht und entwickelt wurden. Viele von ihnen waren vor einem Jahrzehnt, eine ganze Anzahl sogar vor 5 Jahren noch gar nicht bekannt. Gewaltige Mittel, nämlich 2 Milliarden Dollar im laufenden, 2,5 Milliarden Dollar im kommenden Jahr werden daher von der chemischen Industrie für Forschungszwecke ausgegeben: für die Errichtung neuer Institute, Laboratorien und Versuchsanlagen, die großzügig mit den besten und modernsten Hilfsmitteln ausgerüstet werden; reiche finanzielle Unterstützungen für die forschende Wissenschaft an den Hochschulen und immer neue Stipendien für den studierenden Nach-

1) Vgl. auch Angew. Chemie 51, 73 [1938].
 7) Vgl. diese Ztschr. 2, 195 [1951] und Angew. Chemie 51, 703 [1938].

wuchs. Und über diese riesigen, für die unmittelbare Zweckforschung aufgewendeten Mittel hinaus hat sich vor kurzem die Regierung der Vereinigten Staaten entschlossen, eine „Nationalstiftung für Wissenschaft“ ins Leben zu rufen, die, mit einem Etat von jährlich 15 Mill. Dollar aus Staatsmitteln ausgestattet, ausschließlich der Grundlagenforschung dienen soll.

Und wie liegen die Dinge in Deutschland? Auch hier ist die Lebensgrundlage der chemischen Industrie, der sie Entstehung, Wachstum und Blüte verdankt, die Forschungsarbeit unserer Wissenschaftler. Und zwar nicht nur diejenige, die in den Laboratorien der Industrie geleistet wird,

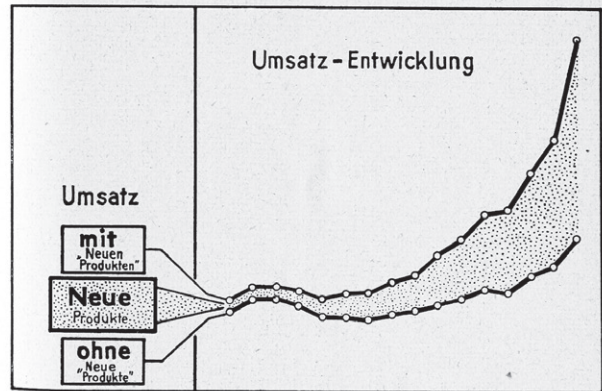


Abb. 1.

sondern ganz besonders auch die der Universitäten. Der Bestand und jegliche neue Entfaltung unserer chemischen Industrie hängt davon ab, ob es gelingt, wieder in breitem Rahmen Forschungsarbeit zu treiben. Hier sieht sich nun die deutsche Industrie in einer äußerst kritischen Lage. Sie ist durch den Verlust der Patente, durch schwere Kriegsschäden, Demontagen, Entflechtungsmaßnahmen und vor allem auch durch die Auswanderung deutscher Wissenschaftler und Fachkräfte entscheidend geschwächt worden. Aus eigener Kraft allein vermag

sie nicht die erforderlichen Mittel aufzubringen. Diese müßten vielmehr, gegebenenfalls unter Beteiligung der Gesamtwirtschaft, vom Staat getragen werden.

Die Forderung der deutschen Industrie auf ausreichende staatliche Mittel für die Forschungsarbeit ist besonders deshalb berechtigt, weil diese Gelder keine verlorenen Zuschüsse darstellen, sondern eine reichliche Verzinsung versprechen, die auf dem Steuerwege früher oder später wieder dem Staate zufließt. Der Beweis für diese Behauptung wird durch die nachstehenden Schaubilder erbracht, die kürzlich von der Zeitschrift „Chemie-Ingenieur-Technik“⁽¹⁾ veröffentlicht wurden. In ihnen wird der Zusammenhang zwischen Forschung,

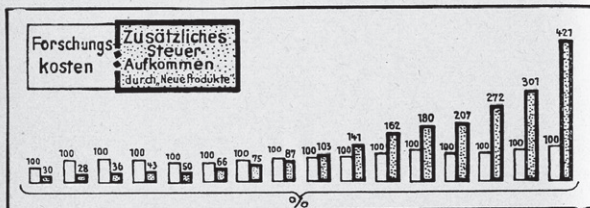


Abb. 2.

Umsatz und Steueraufkommen eines größeren Industrieunternehmens während einer Zeitdauer von 16 Jahren graphisch dargestellt.

Die erste Kurve zeigt die Einwirkung der Forschung auf den Umsatz. Während in den ersten Jahren der Gesamtumsatz fast parallel zu dem Umsatz „ohne neue Produkte“ verläuft, steigert er sich dann von Jahr zu Jahr, bis er schließlich mehr als das Doppelte des alten Umsatzes erreicht. Als neue Produkte galten alle Erzeugnisse, welche vom Beginn des Betrachtungszeitraumes an neu entwickelt und eingeführt worden sind.

Das zweite Bild schildert die Entwicklung des Steueraufkommens aus diesen neuen Produkten im Vergleich zu den Forschungskosten in der gleichen Zeitspanne. Als Steueraufkommen wurden nicht nur die von dem Unternehmen geleisteten Beträge ermittelt, sondern auch überschlagsmäßig die Steuern des Groß- und Einzelhandels, abgesehen

1) Chem.-Ing.-Technik 22, 307 [1950].

von den Lohnsteuern. Die Höhe der Forschungskosten nahm, wie ersichtlich, nur wenig zu, das entsprechende Steueraufkommen aber stieg von einem Drittel im ersten Jahr auf das 3-4fache in den beiden letzten Jahren.

Die summarische Zusammenfassung der 16 Jahre zeigt schließlich, daß durch die geleistete Forschungsarbeit ein zusätzliches Steueraufkommen von 56%, eine Mehrproduktion von 50% und eine Erhöhung der Beschäftigungsziffer um 40 bis 50% erzielt wurde. Volkswirtschaftlich gesehen ist die Berechtigung und Notwendigkeit einer kräftigen Unterstützung der Forschung durch den Staat also erwiesen. Die Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie auf dem Weltmarkt und die Steuereinnahmen des deutschen Staates hängen demnach weitgehend davon ab, in welchem Umfang die Grundlagenforschung an den Universitäten und Hochschulen gefördert wird, einschließlich der Heranbildung eines geeigneten wissenschaftlichen Nachwuchses. Die deutschen



Abb. 3.

Aufwendungen hierfür sind gegenwärtig völlig unzureichend. Während 1950 z. B. in England 16,30 DM je Kopf der Bevölkerung für Forschungszwecke aufgewendet wurden und in den USA sogar 55,90 DM, waren es in Westdeutschland nur 2,— DM.

Zur Behebung der Wirtschaftskrise 1932 verlangten die Arbeiter damals in den USA eine Intensivierung der Forschung durch staatliche Mittel, die auch gewährt wurden, und die damals geschaffenen „Children of depression“ brachten der Industrie neue Erfolge und einen neuen Aufschwung, wie auch wir ihn jetzt brauchen und anstreben müssen. v. Hz.

Alles fürs Labor –

maßgeschneidert für Technische Assistenten und Laboranten



DIETER HOLZNER

Chemie für Technische Assistenten in der Medizin und in der Biologie

5., vollst. überarb. u. erw. Aufl.

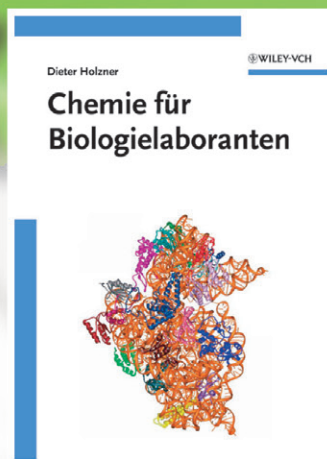
ISBN: 978-3-527-31516-1

2006 710 S. mit 74 Abb., davon 29 in Farbe, und 77 Tab. Broschur € 47,90

Diese Auflage ist eine gründliche Überarbeitung und Anpassung an die neuesten Änderungen der gesetzlichen Vorschriften.

„MTLA- und VMTA-Schüler werden auf den 670 Seiten sicher alles finden, was sie für die Ausbildung und ihr späteres Berufsleben brauchen, denn es basiert auf dem MTA-Ausbildungskatalog.“

MTA Dialog – Die Fachzeitschrift der Technischen Assistenten in der Medizin



DIETER HOLZNER

Chemie für Biologielaboranten

ISBN: 978-3-527-30755-5

2003 399 S. mit 61 Abb., davon 16 in Farbe, und 52 Tab. Broschur € 47,90

Dieses Lehrbuch umfasst sämtliche für die Biologielaboranten-Ausbildung vorgeschriebenen Lehrinhalte im Fach Chemie. Damit halten auch Biologielaboranten nun endlich ein Lehrbuch in Händen, das sie während ihrer gesamten Ausbildungszeit begleitet und optimal auf die abschließenden Prüfungen vorbereitet.



HANS JÜRGEN BOXBERGER

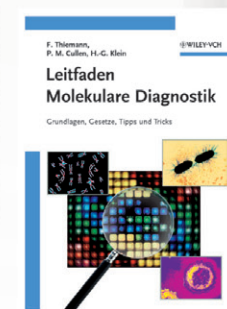
Leitfaden für die Zell- und Gewebekultur

Einführung in Grundlagen und Techniken

ISBN: 978-3-527-31468-3

2006 256 S. mit 51 Abb. und 1 Tab. Broschur € 34,90

Zellkultur gehört mittlerweile zum Handwerkzeug in allen Bio-Berufen, ob in Forschung, Industrie oder Klinik. Worauf es dabei in erster Linie ankommt, erklärt der Autor in übersichtlicher und leicht nachvollziehbarer Art und Weise.

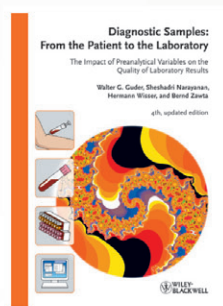


FRANK THIEMANN, PAUL M. CULLEN und HANNS-GEORG KLEIN (Hrsg.)

Leitfaden Molekulare Diagnostik

Grundlagen, Gesetze, Tipps und Tricks
ISBN: 978-3-527-31471-3
2006 315 S. mit 79 Abb., davon 12 in Farbe, und 59 Tab. Broschur € 39,90

Dies ist das erste deutschsprachige Lehrbuch, das sich umfassend mit der Thematik der modernen, praktischen DNA-Diagnostik im medizinischen Labor beschäftigt. Das praxisnah geschriebene Werk ist für MTAs sowie Studenten der Naturwissenschaften und Medizin geeignet.



WALTER G. GUDER et al.

Diagnostic Samples: From the Patient to the Laboratory

The Impact of Preanalytical Variables on the Quality of Laboratory Results

4., aktualisierte Aufl.

ISBN: 978-3-527-32307-4

2009 124 S. mit 84 Abb., davon 84 in Farbe, und 32 Tab. Gebunden € 59,90

In diesem Referenzwerk werden alle relevanten biologischen, analytischen und sonstigen Einflussfaktoren, die sich auf die Entnahme, den Transport, die Lagerung und Aufbereitung medizinischer Proben auswirken, beschrieben und qualitätssichernde Verfahren erläutert.

 WILEY-VCH

Wiley-VCH • Postfach 10 11 61 • D-69451 Weinheim
Tel. +49 (0) 62 01-60 64 00 • Fax +49 (0) 62 01-60 61 84
e-mail: service@wiley-vch.de

Preise gelten ausschließlich für Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche MwSt. Irrtum und Preisänderungen vorbehalten.