

CLB

Chemie in Labor und Biotechnik

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung

- Algen als Rohstofflieferanten
- Wasserstoffperoxid im Experiment
- „Mysterium“ Mistel
- Ernährung: Proteine aus Pflanzen
- Chaperone und Proteinfaltung
- Glas aus Ilmenau
- Löslichkeit von Gasen

60 Jahre CLB ***



Highlights zur analytica:

- Probenvorbereitung – Standards für HPLC, UHPLC
- LiquiPhysics für Dichte und Brechungsindex
- One Click Titration
- One Click Siebanalyse
- Kombinierte Messtechniken
- Academia Excellence Initiative

analytica 2010

23.–26. März 2010
Neue Messe München

Halle A2
Stand 101/102



Intelligente Lösungen für Ihr Labor

Exakt **1.998,457** Gramm geballtes Wissen und umfassende Informationen für Forschung und Lehre. Arbeits- und Praktikumsgruppen erhalten den WunderWelt-Katalog kostenlos an unserem Stand!

► www.mt.com/academia-wunderwelt

METTLER TOLEDO

 *lichen
Glückwunsch!*

METTLER TOLEDO wünscht der CLB
zum 60. Geburtstag alles Gute!

Liebe CLB-Leserin, lieber CLB-Leser,

mit dieser Doppelausgabe der CLB geht die Zeitschrift in ihren 61. Jahrgang. Auch in einem ständig schwieriger werdenden Umfeld für Printmedien jeglicher Art hat sie sich einen Platz erhalten. Dafür danke ich Ihnen, denn Sie geben mit ihrer Leserschaft zu verstehen, dass die Inhalte der CLB so ausgesucht und aufbereitet sonst kaum wieder zu finden sind. Ebenso danke ich allen Aktiven seitens der Herausgeber- und der Autorenschaft, die beständig ihre Ideen und Arbeiten einbringen, teils in einer Form, der man schon einen Kultstatus zubilligen kann. Nicht zuletzt danke ich aber auch Firmen und Institutionen, die mit finanzieller Unterstützung oder mit dem Zugang zu Ressourcen, personellen Kontakten und Informationen ihren Teil dazu beitragen, die Zeitschrift fortzuführen.



Mit dem Beginn des 61. CLB-Jahrgangs haben wir auch kleinere Änderungen des Layouts durchgeführt, die sich in der Vergangenheit als wünschenswert herausgestellt haben. Die wichtigste Änderung betrifft wohl den ehemaligen „Memory“-Teil: Konsequenter seiner Absicht nach orientiert haben wir ihm den Namen „Erreichen & Erhalten“ gegeben. Ziele in der Ausbildung, im Beruf, im Leben erreichen, den Wert der Arbeit, den Stand der Ausbildung erhalten und verbessern, aber auch praxisorientiert auf unsere Umwelt schauen, das erhalten, was für die Menschen wertvoll ist. Dieser Teil der CLB hieß übrigens früher einmal in ähnlicher Weise „Lernen und Leisten“.

Natürlich dienen auch unsere Hauptaufsätze dem Ziel, übersichtlich und unvoreingenommen zu informieren. Unsere komplexe Umwelt macht das nicht einfach; dies offenbaren die kontroversen Diskussionen um den Klimawandel, die sich auf immer neue Mechanismen und Modelle berufen. Mir selbst zeigte eine Tagung der Dechema über die Möglichkeiten, Produkte durch Mikroalgen zu erzeugen, wieviele Stellschrauben solch ein Thema bereit hält, wo man sie bis an den Anschlag drehen kann, und trotzdem läuft es nicht so wie gewünscht – und dann verrennt man sich eventuell in die falsche Richtung.

Ein interessantes Beispiel dafür liefert eine aktuelle Studie der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, OECD, die auch die PISA-Studien durchführt. Sie hat untersucht, welche wirtschaftliche Auswirkung bessere Bildung hat, und kommt zu einem unglaublichen Ergebnis: Weltweit würde der eher mäßige Zuwachs von 25 PISA-Punkten sage und schreibe 115 Billionen Dollar (kein

Übersetzungsfehler!) im Leben der jetzt Geborenen ausmachen. Ein anderer Vergleich: Wenn die deutschen Schüler auf den Bildungsstand ihrer finnischen Kollegen gebracht werden könnten, dann entspräche der Ertrag in unserem Land mit 10 Billionen Euro etwa dem Fünffachen der gesamten Jahreswirtschaftsleitung oder einem zusätzlichen jährlichen Wachstum von 0,8 Prozent. Die interessante Randbedingung, die man in diesem Zusammenhang fand: Es kommt nur zu einem Viertel darauf an, in die Bildung mehr Geld zu stecken. Die größte Verbesserung komme durch kostenneutrale Faktoren zur Qualität des Unterrichts. Es kommt also darauf an, wie man Schule macht – was Kinder gerne bestätigen: Ein Fach kann von seiner Einschätzung her noch so langweilig sein: Ein guter Lehrer zieht die Schüler mit – und umgekehrt... Übrigens hat Polen zwischen 2000 und 2006 29 PISA-Punkte hinzugewonnen. Grund: die Einführung einer sechsjährigen Primarschule und anschließender gemeinsamer dreijährigen Sekundarschule für alle; soviel zur Debatte über das dreigliedrige Schulsystem in Deutschland.

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

Ihr

Was bedeuten Pisa-Punkte?

Die OECD führt PISA-Studien seit dem Jahr 2000 alle drei Jahre durch. Für den Durchschnitt der OECD-Länder wird der Wert von 500 Punkten festgelegt, bei einer Standardabweichung von 100 Punkten. Somit erzielen etwa zwei Drittel aller Schülerinnen und Schüler der OECD-Länder Ergebnisse zwischen 400 und 600 Punkten.

Ein Unterschied von 74,7 Punkten entspricht der Höhe einer Kompetenzstufe auf der PISA Gesamtskala Naturwissenschaften, was einem relativ großem Leistungsunterschied entspricht. So müssen Schülerinnen und Schüler der Stufe 3 z.B. in der Lage sein, Fakten und Kenntnisse zur Erklärung von Phänomenen auszuwählen und einfache Modelle oder Untersuchungsstrategien anzuwenden. Für die Kompetenzstufe 2 reicht es dagegen aus, direkte logische Denkschritte zu vollziehen und Beschreibungen wörtlich zu interpretieren.

Es lässt sich ableiten, dass ein Schuljahr im Durchschnitt 38 Punkten auf der PISA Gesamtskala Naturwissenschaften entspricht.

INHALT

Aufsätze

Mit H ₂ O ₂ zur „Elephant's Toothpaste“ Die homogen katalysierte Zersetzung von Wasserstoffperoxid _____	12
Die geheimnisvollen Pflanzen der Druiden Misteln: Mythen – Inhaltsstoffe – Anwendungen _____	28
Pflanzen als Proteinlieferanten Welternährung auf Bevölkerungszuwachs einstellen _____	36
Mikroalgen als Rohstoffproduzenten geeignet für Hochtechnologieprodukte Unrentabel für die Produktion von Biokraftstoffen – Grundlagenforschung ausweiten _____	48
Proteinfaltung mit Escortservice Chaperone zur Beschleunigung der Proteinfaltung _____	58
Glas aus der Region Ilmenau in Thüringen Ausstellung als Keimzelle zu einem Museum _____	64

Rubriken

Editorial _____	1
Impressum _____	3
F & E im Bild _____	3
*** 60 Jahre CLB *** _____	4
Unternehmen _____	8
Personalia _____	10
Forschung und Technik _____	70
Umfeld Wissenschaft _____	72
Literatur _____	75
Neue Produkte _____	76
Bezugsquellenverzeichnis _____	87
Index 2009 _____	I
CLB-Geschichte _____	U3

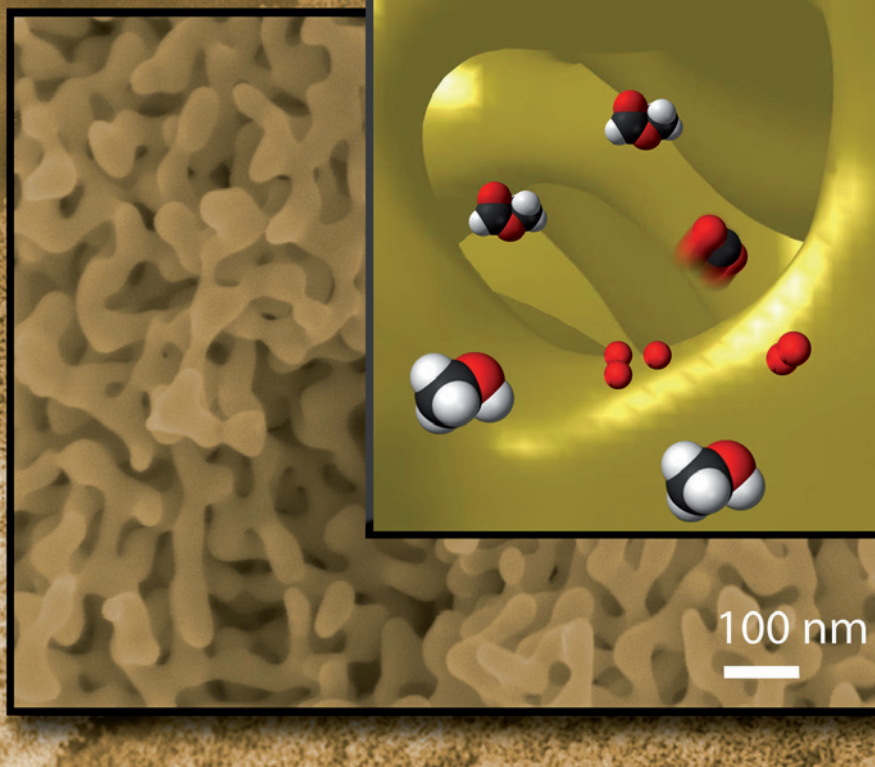


Zum Titelbild:
Algen – auch Mikroalgen – liefern Rohstoffe. Ökologisch und ökonomisch? Dazu der Artikel ab Seite 48 (Foto: Stef Maruch).

Erreichen & Erhalten

Normale Arbeitsverhältnisse nehmen ab Schwache Lohnentwicklung – Frauen besonders betroffen _____	79
Löslichkeit von Gasen – Grundlagen und Beispiele Unter welchen Umständen die harmlose Luft Probleme bereiten kann _____	80
Elektrochemie (1) – In der Produktion Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich _____	86

Schwamm statt Partikel



Anstatt der für die Katalyse mit Gold bislang als unerlässlich angesehenen Nutzung in Form von Nanopartikeln werden Goldschwämme erforscht. Durch sein Herstellungsverfahren ist dieses zu über 99 % aus reinem Gold bestehende Material zu über 70 Prozent porös und besitzt eine selbsttragende schwammartige Struktur mit Poren im Bereich einiger 10 nm (1 nm = 10⁻⁹ m). An der Universität Bremen wird dieses nanoporöse Gold in vielfältiger Weise auf sein katalytisches Potenzial hin untersucht. Wichtiger Erfolg: Methanol konnte, durch nanoporöses Gold katalysiert, bereits bei Temperaturen von 20 °C mit nahezu 100 %iger Selektivität zum Methylformiat oxidiert werden. Das Bild zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von monolithischem nanoporösem Gold. Die poröse Struktur des Materials ist im Bereich weniger zehn Nanometer und erstreckt sich homogen von der äußeren Oberfläche bis in das innere Volumen. Reaktanden durchströmen das Porenvolumen und erreichen somit die innere Oberfläche des Materials. Oben rechts: Schematische Darstellung der von den Reaktanden durchströmten Porenstruktur des nanoporösen Goldes (Abb.: Uni Bremen / M. Bäumer).

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. Heinz-Martin Kuß, Duisburg,
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, 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.
© 2010 Agentur und Verlag Rubikon
Rolf Kickuth

Bezugspreise:
CLB Chemie in Labor und Biotechnik
mit der Beilage „CLB-MEMORY“. Ein-
zelheft – außerhalb des Abonnements
– 13,00 Euro, im persönlichen Abonne-
ment jährlich 104,00 Euro zuzüglich Ver-
sandkosten; ermäßigter Preis für Schüler,
Studenten und Auszubildende (nur ge-
gen Vorlage der Bescheinigung) jährlich
79,45 Euro zuzüglich Versandkosten,
inkl. 7% MWSt. Ausland sowie Firmen-
bzw. Bibliothekenabonnements auf An-
frage. Bezug durch den Buchhandel und
den Verlag. Das Abonnement verlängert
sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls
nicht 8 Wochen vor Ende des Bezugsjah-
res Kündigung erfolgt.

Erfüllungsort ist Heidelberg. Mitglieder
des VBTA, des VCO 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 Buchbesprechungs-exemplare kann
keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



Kurz bevor die CLB im Jahre 2001 zu unserem Verlag kam, hatte sie gerade ein Jubiläum gefeiert, das 50. Fast war ich ein bisschen traurig darüber, denn das bedeutete, neun Jahre zu warten, ehe wieder eine runde Zahl zum Feiern anstand – und wer feiert nicht gerne :)

Blättere ich in den 103 Heften (108 Ausgaben incl. dieser und incl. Doppelnummern), die wir mittlerweile produziert haben, erscheint mir Vieles, als hätten wir erst gestern daran gearbeitet. Die Zeit verging rasend schnell – und doch ist viel geschehen (siehe rechte Seite). Immerhin kann ich auf Arbeiten des 50. Jubiläums zurückgreifen: Die CLB-Geschichte von Anfang an, die wir hier als Nachdruck liefern. Der genaue Titel der

Zeitschrift zum Start 1950 war übrigens: „Chemie – Die verständliche Zeitschrift für Labor und Betrieb“. Verständlichkeit schien damals für manche ein zu niedriges Niveau zu bedeuten. Von daher wandte sich Dr. Wilhelm Foerst, der die Idee zur CLB hatte und damals Herausgeber der renommierten „Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie“ beim Verlag Chemie war, an den Frankfurter Umschau-Verlag.

Diese Grundidee der Verständlichkeit und Übersichtlichkeit in den komplexen Feldern von Chemie und anderen Molekül-orientierten Wissenschaften und Techniken will ich beständig verfolgen, auf dass die CLB weiter gern gelesen wird und nochmals Grund zum Feiern haben möge. *Rolf Kickuth*

50 Jahre CLB: Ereignisse und Personen in Kurzübersicht

1950

Im Umschau Verlag, Frankfurt am Main, kommt eine neue Zeitschrift heraus: „Chemie für Labor und Betrieb“. Begründer ist Dr. Wilhelm Foerst. Redakteur ist Dr. Hans-Joachim Flechtner. Das Format ist 12,5 x 17,5 cm. Im ersten Jahr erscheinen 7 Hefte.

1956

Das Format wächst auf 13,5 x 19 cm. Im April erhält die noch junge Zeitschrift eine Beilage für den Nachwuchs: „Lernen und Leisten“. Schriftleiter der Beilage wird Reinhold Ellmer.

1975

Das Format wird auf DIN A4 umgestellt. Eine Wechsel in der Redaktion wird vorbereitet: Reinhold Ellmer bearbeitet jetzt neben der Beilage auch den Referateteil.

1976

Dr. Hans-Joachim Flechtner scheidet aus der Redaktion aus. Neuer Chefredakteur wird Reinhold Ellmer. Schriftleiter der Nachwuchsbeilage wird Dr. Udo Bosmann.

1982

Die Kurzbezeichnung „CLB“ wird offiziell: Der Umschau Verlag ändert den Namen in „CLB Chemie für Labor und Betrieb“.

1984

Dr. Udo Bosmann scheidet als Schriftleiter der Beilage aus, die einen neuen Namen erhält: „CLB-Memory“. Der Chefredakteur bearbeitet jetzt auch die Beilage.

1987

CLB erhält eine neue, jeden zweiten Monat erscheinende Beilage: „BTplus – Supplement für die Biotechnologie“. Bearbeiter sind Dr. O. Serafimov und Dr. B. Schnetter. BTplus wird im Januar 1989 in die Zeitschrift integriert.

1990

Der Name der Zeitschrift wird geändert in „CLB Chemie in Labor und Biotechnik“.

1993

Die nächste Generation tritt an: Dr. Ernst Guggolz wird neuer Chefredakteur. Zuvor hat er über ein Jahr in der Redaktion mitgearbeitet. Reinhold Ellmer bleibt CLB als Schriftleiter der Beilage erhalten.

1994

Die im gleichen Verlag erscheinende Zeitschrift „BL-Journal“ wird in CLB integriert. So stößt Dr. Udo Maid zum CLB-Team und arbeitet bis Juni 1998 mit.

1996

Dr. Ernst Guggolz wendet sich anderen Aufgaben zu. Neuer CLB-Chefredakteur wird Dipl.-Ing. Jürgen Wagner, nachdem er vorher schon einige Monate in der Redaktion mitgearbeitet hatte.

2000

CLB wird 50 Jahre alt. Das vorliegende Heft ist das 599ste.

Der Begründer

Dr. Wilhelm Foerst war beim damaligen Verlag Chemie in leitender Position tätig. Er wollte eine Zeitschrift für die Mitarbeiter der Chemiker herausbringen, realisierte das Vorhaben aber nicht im eigenen Haus, sondern ging mit seiner Idee zum Umschau Verlag. Es folgten viele Jahre fruchtbarer Zusammenarbeit.



Der erste Chefredakteur

Dr. Hans-Joachim Flechtner war kein Chemiker. Er besaß die Gabe, sich durch Lesen von Spezialliteratur in ein Gebiet einzuarbeiten und dann über dieses Gebiet verständliche Bücher schreiben zu können. Er war bereits ein bekannter Autor, als Begründer und Verlag ihm die neue Zeitschrift anvertrauten.



Die Herausgeber

Seit 1950 wirkten insgesamt 34 Herren aus Industrie, Hochschule und anderen Einrichtungen als Herausgeber an der Entwicklung von CLB mit und berieten Verlag und Redaktion. Derzeit gehören dem Gremium neun Herren an. Prof. Dr. Wilhelm Fresenius ist schon von Anfang an dabei.



Die Leser

CLB war bei der Gründung für Leser ohne Universitätsstudium bestimmt. Dem ersten Chefredakteur und den von ihm ausgesuchten Autoren gelang es, auch komplizierte Sachverhalte verständlich darzustellen. Die Folge davon war, dass CLB sehr gern von Chemikern als leichte Lektüre gelesen wurde. Um auch dem Nachwuchs Beiträge für die Ausbildung zu bieten, riefen 1956 Begründer und Verlag die Beilage ins Leben. Rückblickend kann man sagen, dass der CLB-Leserkreis immer sehr heterogen war (und auch heute noch ist); er reichte vom Lehrling über Laborant, Techniker und Ingenieur bis zum Hochschulprofessor.

10 Jahre CLB – nach den ersten 50 Jahren...

Was vor 60 Jahren niemand ahnte – und vor 10 Jahren unbezahlbar war

Der CLB-Chefredakteur Jürgen Wagner, der die Jubiläumsausgabe im Jahr 2000 verantwortete, ermittelte in einer Umfrage die acht wichtigsten Fortschritte und Entwicklungen, die in Chemie und Biotechnik seit den 1950er Jahren gemacht wurden (siehe Umschlagseite 3). Lässt man die letzten zehn Jahre Revue passieren, erkennt man eine Reihe von Forschungen, Entwicklungen und Techniken, die jenen aus 50 Jahren Rückschau zumindest ebenbürtig sind.

Zu den Top 8 zählte damals die Desoxyribonukleinsäure, und zwar die Entdeckung ihrer Struktur im Jahre 1953 durch Crick und Watson, zweifelsfrei eine richtige Wahl.

Human Genome Project

Die DNA zählt auch heute wiederum zu den herausragenden Themen der letzten zehn Jahre: 1990 wurde das Human Genome Project (Hugo) gegründet. Daran nahmen zu Beginn über 1000 Wissenschaftler in 40 Ländern teil. Ziel war die Sequenzierung des menschlichen Genoms bis 2010. Und wie lief es? Im Jahr 1998 gab Craig Venter bekannt, er wolle das gesamte menschliche Genom schneller und billiger entschlüsseln als das Humangenomprojekt. 2001 wurde dann unabhängig von beiden Forschungsunternehmungen die vollständige Sequenzierung des menschlichen Genoms verkündet; seit April 2003 gilt das menschliche Genom offiziell als vollständig entschlüsselt. Die US-Firma Illumina bietet heute das Ablesen der persönlichen DNA-Bausteine innerhalb von Wochen für rund 35 000 Euro an. Man schätzt, der Preis dafür liegt in wenigen Jahren bei unter 1000 Euro. Hugo verschlang 300 Millionen Dollar...

Eine der Top 8-Entwicklungen vor zehn Jahren hieß „Kombinatorische Chemie“. Sie hat sich mittlerweile als Standard-Screeningmethode eta-

biert, wurde weitgehend automatisiert und roboterisiert. Heutzutage geht man in der Zusammenstellung von Chemiebausteinen aber Schritte, die sogar zur Definition neuer ethischer Handlungsmaximen herausfordern. Ich meine damit die synthetische Biologie.

Synthetische Biologie

Ziel der synthetischen Biologie ist es, komplette künstliche biologische Systeme zu erzeugen. Zwar veröffentlichte der Franzose Stéphane Leduc bereits 1912 eine Arbeit mit dem Thema „La Biologie Synthétique“. Der Franzose wollte aus physikalischen und chemischen Gegebenheiten heraus die Entstehung des Lebens erklären, driftete dann aber ins Mystische ab. Erst 2000 bezeichnete der Stanford-Chemieprofessor Eric Kool auf dem Jahrestreffen der American Chemical Society in San Francisco die Einbeziehung künstlicher chemischer Systeme die Betrachtung von Lebensvorgängen als „Synthetische Biologie“ und etablierte damit das heutige Verständnis dieses Begriffs. Im Januar 2008 berichtete eine Forschergruppe um Craig Venter, es sei erstmals gelungen, das Erbmaterial eines Bakteriums komplett synthetisch herzustellen. Schon 2003 gelang Craig Venter zusammen mit Hamilton O. Smith die Komplettsynthese des Bakteriophagen PhiX174 mit 5386 Basenpaaren. Ein Jahr zuvor synthetisierten Eckard Wimmer, J. Cello und A.V. Paul das 7500 Basenpaare große Genom des Poliovirus (siehe CLB 01/02-2009, Seiten ab M2, sowie auch CLB 01-2003 und 02-2003 die Artikel von Dr. Röbbke Wünschiers über das kleinste Genom).

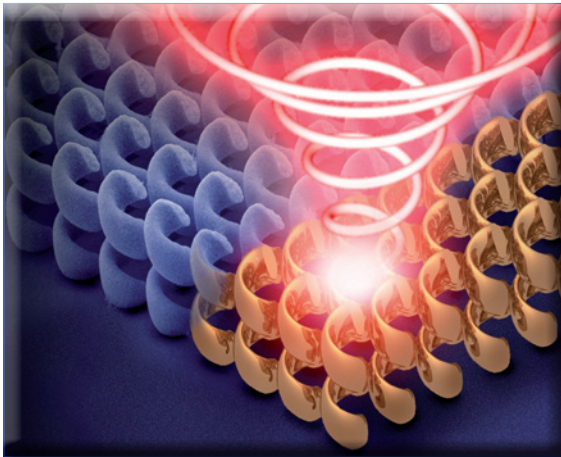
Systembiologie

Zur synthetischen Biologie gesellt sich die Systembiologie. Der Durchbruch für die Systembiologie kam um die Jahrtausendwende durch die Entwicklung von Hochdurch-

satztechnologien zur Messung von Genexpression, Proteinexpression und Protein-Protein Interaktion auf molekularem Level und dem Abschluss des Humangenomprojekts. Die Flut der dabei erhaltenen Daten für etwa drei Milliarden Basenpaare und über eine Million Proteine pro Zelle macht es unmöglich, alle theoretisch denkbaren und interessierenden Experimente im Labor durchzuführen. Deshalb ist die Modellierung am Computer zur Voraussetzung für die Auswahl der erfolgversprechendsten Ansätze geworden. Diese CLB enthält in dem Artikel über Mikroalgen am Beispiel der Entschlüsselung des Photosynthese-Katalysatorprozesses ein aktuelles Beispiel systembiologischer Forschung.

Frequenzkammgeneratoren

Vor zehn Jahren wurden das Rastertunnelmikroskop und der Laser gleichermaßen als bedeutsame Erfindungen seit 1950 genannt. Nun gibt es ebenfalls Fortsetzungen bei den Erfindungen für feinste Messungen und besseres „Kleinsehen“. Diese liegen zum einen in Frequenzkammgeneratoren, 1998 von Theodor Hänsch in München erfunden und 2005 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Der Frequenzkammgenerator erzeugt einen Lichtstrahl, mit dem sich die Schwingungsfrequenz eines anderen Lichtstrahls um fünf Größenordnungen genauer als mit den bis dahin bekannten Methoden bestimmen lässt. Das Herzstück ist ein Laser, der Lichtwellen von sehr genau bekannter Frequenz liefert, die mit dem zu vermessenden Lichtstrahl interferieren. Die Idee: Es bildet sich ein Interferenzmuster mit einer Frequenz im Radiobereich, eine Schwebung, die sich sehr viel einfacher vermessen lässt. Mögliche Anwendungen u.a.: billigerer und genauerer Ersatz für Atomuhren; höchst empfindliche chemische Detektoren; Verbesserung der Möglichkeiten der „Desi-



Solche dreidimensionalen Metamaterialien könnten in spektroskopischen Messgeräten Anwendung finden. Abb.: CFN; siehe auch CLB 10/2009, Seite 371).

gner-Chemie“ im Bereich ultrakalter chemischer Reaktionen.

STED-Mikroskop

Bei den Mikroskopen („Kleinhörn“) hat Stefan Hell in Göttingen eine erstaunliche Entwicklung gemacht. Ihm ist die Lichtmikroskopie unterhalb einer Auflösung gelungen, die von der Beugungsgrenze definiert wird. Sein STED-Mikroskop (für Stimulated Emission Depletion) erreicht eine bessere Auflösung, indem sichergestellt wird, dass das Licht aus einem Bereich der Probe kommt, der kleiner als die optische Auflösung ist. Das geschieht, indem nach Anregung (An, rot im Bild) gezielt die angeregte Stelle mit einem zweiten Lichtstrahl (Aus, blau im Bild) abgeregt wird. Dieser zweite Lichtstrahl wird mit einer Intensitätsverteilung versehen, die in der Mitte des Strahls Null ist. An dieser Stelle findet daher keine stimulierte Emission statt (schwarz im Bild). Die Intensität des anregenden und abregenden Strahls wird so eingestellt, dass der Bereich, in dem keine stimulierte Emission stattfindet, kleiner ist als das optische Auflösungsvermögen.

Lithium-Ionen-Akkus

Zu meinen Top-Favoriten von Entwicklungen der Chemie, die erst in den vergangenen zehn Jahren zur Geltung gekommen sind, gehören auch Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Ohne sie gäbe es keine leistungsfähigen MP3-Spieler, Laptops – und

kaum Hoffnung auf alltagstaugliche Elektrofahrzeuge.

Die Entwicklung wiederaufladbarer Lithium-Batterien wurde Ende der 70er Jahre mit der Entdeckung möglich, daß eine Reihe von Oxiden bei nur geringen Volumenänderungen Lithium-Ionen in ihr Schichtgitter einlagern, ohne daß eine echte chemische Bindung ausgebildet wird. Anstrengungen zur Kommerzialisierung wiederaufladbarer Batterien oder Akkus folgten in den Jahren nach 1980. Dies blieb allerdings aufgrund der Sicherheitsprobleme mit der latenten Explosionsgefahr anfangs erfolglos. Der erste Lithium-Ionen-Akkumulator wurde erst um 1995 auf den Markt gebracht. Seit 1999 gibt es Lithium-Polymer-Akkumulatoren. Im März 2009 wurde eine Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Akkus durch die beiden MIT-Forscher Byoungwoo Kang und Gerbrand Ceder veröffentlicht, die sowohl die Lade- als auch die Entladegeschwindigkeit drastisch erhöht, auf zehn Sekunden statt sechs Minuten für einen kleinen Test-Akku. Man darf gespannt sein...

Magnetresonanztomographie

Selbstredend sind auch die Entwicklungen von Biosensoren, der Polymerase Chain Reaction (PCR), der Kapillarelektrophorese und der HPLC in den vergangenen zehn Jahren fortgeführt worden – allesamt als besonders wichtig in der Rückschau des Artikels aus dem Jahre 2000 ausgezeichnet. Eine Entwicklung jedoch, die in besonderem Maße das Ineinandergreifen von Technik, Algorithmen, Biochemie, Physiologie, Medizin und Ethik aufzeigt, hat auch gerade im vergangenen Jahrzehnt einen Siegeszug quer durch die Lebenswissenschaften angetreten: die Magnetresonanztomographie (MRT; siehe dazu auch CLB 05/2009, Seiten M26 - M31). Dies hat auch seinen Grund: Zwar wurde die MRT als bildgebende Kernresonanzspektroskopie ab 1973 vor allem von Paul C. Lauterbur mit wesentlichen Beiträgen von Sir Peter Mansfield entwickelt. Sie erhielten dafür 2003

gemeinsam den Nobelpreis für Medizin.

1985 jedoch gelang Jens Frahm und Axel Haase in Göttingen mit der Erfindung des Schnellbild-Verfahrens FLASH (fast low angle shot) ein grundsätzlicher Durchbruch in der MRT. Die FLASH-Technik reduzierte die damaligen Messzeiten um bis zu zwei Größenordnungen (Faktor 100) ohne substantielle Verluste an Bildqualität. Das Verfahren ermöglicht zudem sequentielle Messungen sowie völlig neue klinische Untersuchungen, etwa dynamische Aufnahmen von mit dem EKG synchronisierten Herzfilmen, bis hin zu funktionellen Kartierungen des Kortex mit besonders hoher Auflösung.

Brain-Computer-Interface

Wo wir schon bei medizinisch-technischen Themen sind: Was sich auch erst in den vergangenen zehn Jahren abzeichnete – und was immer noch intensiv erforscht wird – sind Nerven-Computer- bzw. Gehirn-Computer-Schnittstellen (siehe dazu CLB 11/12-2007, Seiten 427 - 439: Vom Hebel zum Gedankenimpuls). Therapeutisch wird die Technik bereits bei der Behandlung von Parkinson-Patienten eingesetzt. Es gibt mittlerweile zehntausende Menschen mit elektronischen Implantaten im Innenohr (Cochlea-implantate); im vergangenen Jahr testete man erstmals beim Menschen ein Retina-Implantat, und es gibt Prothesensteuerungen, die Nerven- oder auch Gehirnsignale auswerten. Dieser Bereich moderner Forschung und Entwicklung hat gute Chancen, in zehn Jahren wieder auf den ersten Plätzen wichtigster Errungenschaften zu stehen, die auch mit Fortschritten molekularer Wissenschaften in Verbindung stehen, man denke hier etwa nur an die Austauschprozesse zwischen Nerven und Elektroden.

Metamaterialien

Ein anderer heißer Kandidat für bahnbrechende Entwicklungen der letzten zehn Jahre, die auch in den nächsten zehn Jahren von sich reden machen werden, sind Metamaterialien. Sie wurden 1967 von

Viktor Veselago aus Moskau erstmals theoretisch vorhergesagt.

Metamaterialien sind synthetische Objekte mit einem periodischen Aufbau, deren elektromagnetisches Verhalten von ihrer Strukturierung abhängt. Sie besitzen neuartige elektromagnetische Eigenschaften. So wird ihre Struktur in einer Weise maßgeschneidert, dass ihr Brechungsindex in bestimmten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums auf fast beliebige Werte eingestellt werden kann. Ihre Gitterkonstante ist erheblich kleiner als die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung, mit der sie eine Wechselwirkung eingehen. Ihr besonderes Kennzeichen: Metamaterialien ermöglichen die Erzeugung negativer Brechungsindizes.

Als es Forschern um David Smith in San Diego in Zusammenarbeit mit John Pendry, London, 2000 erstmals gelang, ein Material herzustellen, das bei Mikrowellen diese faszinierenden optischen Eigenschaften zeigte, war das eine Sensation. 2007 gelang es dann Forschern um Martin Wegener, Karlsruhe, das weltweit erste Metamaterial im optischen Bereich herzustellen.

Mögliche Anwendungen von Metamaterialien liegen in Antennenoptimierungen, besseren Strahlfokussierungen bei MRTs, „Superlinsen“ für optische Lithographie und Datenspeicherung, die Grenzen der Lichtbeugung überwinden, bis hin zu Tarnkappentechnologien.

Kohlenstoff-Nanoröhren

Aktuell bedeutend für die Technologie sind auch Kohlenstoff-Nanoröhren. Ihre Entwicklung hat in den vergangenen zehn Jahren einen raketenhaften Aufschwung genommen, der auch noch nicht zu Ende ist. Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT, carbon nano tubes) leiten sich in ihrer Entwicklung von den Fullerenen ab. Die erste Veröffentlichung zu Fullerenen erfolgte im November 1985. Dafür bekamen Robert F. Curl jr. (USA), Sir Harold W. Kroto (England) und Richard E. Smalley (USA) 1996 den Nobelpreis für Chemie.

CNTs gehören zu der Familie der Fullereene. Die Kohlenstoff-Röhren besitzen einen Durchmesser von 1 bis einigen 100 Nanometer.

Mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren wurden 1991 von dem Japaner Sumio Iijima mit einem Elektronenmikroskop zufällig entdeckt. Er hatte eine Lichtbogenentladung zwischen Kohlenstoffelektroden erzeugt. 1993 wurden einwandige Kohlenstoffnanoröhren entdeckt.

CNTs finden ihre Anwendung bereits in Sportartikeln wie Tennisschlägern oder Golfschlägern: Sie haben rechnerisch ein ca. 135-mal besseres Verhältnis von Zugfestigkeit zu Dichte als für Stahl. Herausragend sind auch ihre elektrische sowie ihre Stromleitfähigkeit. Mit ihnen macht man beispielsweise Antistatikfolien leitfähig. Im Mikroprozessorbereich gelten sie als künftige Schaltelemente. Bayer hat gerade eine 200 Jahrestonnen-Anlage eröffnet (siehe Firmenmeldungen nächste Seite).

Graphene

Wo wir gerade schon beim Kohlenstoff sind: Strikt zweidimensionale Strukturen sollten thermodynamisch nicht stabil sein können. Daher war es umso erstaunlicher, als der russisch-britische Physiker Kostya Novoselov 2004 die Präparation von freistehenden Graphenkristallen bekannt gab. Bei Graphenen sind die Kohlenstoffatome in einer hexagonalen Honigwaben-Struktur angeordnet. Diese Anordnung resultiert aus der Hybridisierung der $2s$ -, $2p_x$ - und $2p_y$ -Orbitale der beteiligten Kohlenstoffatome zu sogenannten sp^2 -Hybridorbitalen, welche plane σ -Bindungen zu drei weiteren C-Atomen ausbilden. Die Honigwaben-Struktur ergibt sich aus den Bindungswinkeln 120 Grad. Die übriggebliebenen $2p_z$ -Orbitale stehen senkrecht zur Graphenebene und bilden ein delokalisiertes π -Bindungssystem aus.

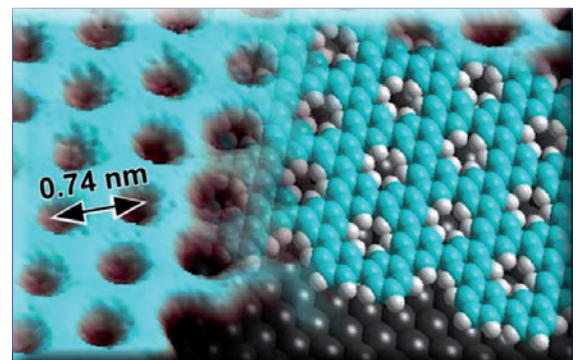
Mögliche Anwendungen bauen auf die ungewöhnlichen Eigenschaften von Graphenen. Wissenschaftler der New Yorker Columbia University veröffentlichten 2008

Messergebnisse, nach denen Graphen die höchste Reißfestigkeit aufweisen, die je ermittelt wurde. Elektrischen Strom leitet Graphen bei Raumtemperatur schneller als jeder andere Stoff, weil sich die Elektronen darin fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. So kann es sogar zum Nachweis exotischer Quantenphänomene dienen, die sonst nur unter extremen Bedingungen beobachtbar wären. Ein Preis unterstreicht die Bedeutung der Graphenforschung: 2009 ging der mit 750 000 Euro dotierte Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft an den Begründer der Graphen-Forschung, den niederländischen Physiker Andre Geim.

...und noch viel mehr...

Der CLB werden also auch in Zukunft die Themen nicht ausgehen. Vieles Interessante konnte in diesem kurzen Artikel ja auch nicht angesprochen werden, man denke nur an Metal Organic Frameworks, Stammzellentherapie, Katalysatorforschung, Solartechnologie, Plasmatechnologie, ionische Flüssigkeiten, etc. Im Rahmen einer an molekularen Forschungen und Entwicklungen ausgerichteten Zeitschrift habe ich die Informations- und Kommunikationstechnologien hier ebenfalls nur indirekt genannt. Sie stellt allerdings die Klammer dar, die viele der aktuellen Forschungen verbindet. *Rolf Kickuth*

Physikern der Empa ist es zusammen mit Chemikern des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung jetzt erstmals gelungen, ein graphenähnliches Polymer mit atomarer Genauigkeit zu synthetisieren. Das Bild ist eine Rastertunnelaufnahme des zweidimensionalen porösen Polymers (linker Bildteil) mit überlagertem Strukturmodell (rechter Bildteil); blaugrün: Kohlenstoff; weiss: Wasserstoff; grau: Silberoberfläche; Abb.: Empa).



NACHRICHTEN & NOTIZEN

Abimed wurde zum primären Vertriebspartner für IDEX Produkte bestellt. Die Abimed GmbH ist in Deutschland seit mehr als 30 Jahren ein Lieferant für Chromatographie und Liquid-Handling-Produkte.

Apeiron Biologics AG gab kürzlich die Unterzeichnung einer Vereinbarung bekannt, die GlaxoSmithKline exklusive Rechte am Projekt APN01 einräumt. APN01 (rekombinantes humanes Angiotensin Converting Enzyme 2, rhACE2) ist ein Enzym-Biotherapeutikum für die Behandlung des akuten Lungenversagens (ARDS) und ist derzeit in Phase I der klinischen Entwicklung.

Bayer CropScience erweitert sein klassisches Pflanzenschutz-Portfolio um das Bio-Fungizid Shemer. Damit hat das Unternehmen die Akquisition bestimmter Vermögenswerte und Technologien im Zusammenhang mit biologischen Entwicklungsprodukten der Firma AgroGreen in Ashdod, Israel abgeschlossen.

Schott Pharmaceutical Packaging wird eine Produktionsstätte für hochwertige pharmazeutische Ampullen und Fläschchen in Russland aufbauen. Standort des neuen Werks, das voraussichtlich Ende 2010 in Betrieb genommen wird, ist Zavolzhe, nahe der russischen Stadt Nizhny Novgorod.

Die BASF SE hat am Standort Ludwigshafen eine neue Wasserstoffanlage in Betrieb genommen. Das Unternehmen investierte einen hohen zweistelligen Millionenbetrag in die Erweiterung eines bestehenden Produktionsbetriebs im Werksteil Nord. Damit verfügt die Anlage insgesamt über eine Kapazität von rund 1,4 Mrd. Kubikmetern Synthesegas pro Jahr.

Die LANXESS AG errichtet am Standort Bitterfeld ein neues Chemiewerk. Der Spezialchemie-Konzern steigt damit in ein neues Geschäftsfeld zur Wasseraufbereitung ein. Das Investitionsvolumen für das Projekt liegt bei insgesamt rund 30 Millionen Euro. Das Unternehmen wird in Bitterfeld eine Membran-Filtrationstechnologie entwickeln und produzieren. Sachsen-Anhalt fördert dieses Vorhaben mit bis zu sechs Millionen Euro. Es entstehen 200 neue Arbeitsplätze.

Die Merck KGaA hat am Standort Darmstadt mit den Bauarbeiten für eine neue Produktionsanlage zur Herstellung anorganischer Salze begonnen. Damit wird die Anlagenkapazität gegenüber den bisherigen Produktionslinien um rund 50 Prozent erhöht. Das Unternehmen investiert rund 30 Millionen Euro in die Anlage, in der Wirk- und Hilfsstoffe, Produkte für den Einsatz in biopharmazeutischen Herstellprozessen, Zusatzstoffe für die Lebensmittelindustrie und Laborreagenzien hergestellt werden.

Cognis hat am 1. Januar 2010 eine Landesgesellschaft in Selangor, Malaysia, gegründet. Cognis Malaysia Sdn. Bhd. ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft des Spezialchemieanbieters.

Bayer MaterialScience hat am 29. Januar in Leverkusen die weltgrößte Pilotanlage zur Herstellung von Kohlenstoff-Nanoröhren eröffnet. Die 22 Millionen Euro teure Anlage hat eine Kapazität von 200 Jahrestonnen.

**Lukrativer Gesundheitsmarkt
In Russland Zuwächse über Durchschnitt erwartet**

Trotz der unsicheren Wirtschaftslage birgt der russische Healthcare-Markt nach wie vor ein enormes Potenzial. Größter Wachstumstreiber sind umfassende Regierungsmaßnahmen, die den desolaten Zustand des russischen Gesundheitssystems verbessern und eine demographische Wende einleiten sollen. Außerdem nimmt das Gesundheitsbewusstsein in der russischen Bevölkerung stetig zu, und auch die Einkommen dürften weiter steigen.

Angesichts dieser Entwicklungen rechnet die Unternehmensberatung Frost & Sullivan im russischen Healthcare-Markt für den Zeitraum bis 2013 mit Zuwächsen über dem internationalen Durchschnitt. Bereits 2009 waren die Wachstumsraten trotz der allgemeinen wirtschaftlichen Turbulenzen beachtlich. Zwar schrumpfte der Pharmasektor in US-Dollar betrachtet um sechs Prozent, legte aber in heimischer Währung (RUB) um 28 Prozent zu. Im Sektor für Medizintechnik war ein Plus zwischen vier und fünf Prozent zu verzeichnen. Die positiven Prognosen für den Gesamtmarkt stützen sich vor allem auf die hohe Nachfrage nach Gesundheitsprodukten und -dienstleistungen in den Privathaushalten.

Regierungsinitiativen zur Modernisierung der medizinischen Ausstattung in russischen Krankenhäusern stellen ausländischen Investoren gute Renditen in Aussicht. Denn 60 bis 70 Prozent der Geräte sind veraltet und müssen ersetzt werden. Zum Wachstum des Gesamtmarkts wird auch der Pharmasektor beitragen – zum einen dank des staatlichen Programms zur Erstattung der Kosten ausgewählter Arzneimittel für einzelne Gruppen der Bevölkerung

(DLO-Programm), zum anderen durch den steigenden Bedarf der Kliniken an teuren Spezialmedikamenten.

Was die Bevölkerungsentwicklung betrifft, steht Russland vor großen Herausforderungen: Aufgrund der schlechten Gesundheitsversorgung und des ungesunden Lebenswandels wurden die Menschen in den letzten Jahren immer kranker. Parallel dazu ist das BIP stetig gewachsen und die Staatseinnahmen entwickeln sich zunehmend stabil.

Der schlechte Gesundheitszustand der Bevölkerung hat die russische Regierung dazu veranlasst, sich bei öffentlichen Ausgaben auf das Gesundheitswesen zu konzentrieren und dessen Entwicklung eine hohe strategische Priorität beizumessen. In der Folge haben sich Regierungssubventionen zum wichtigsten Wachstumstreiber für das überwiegend öffentliche russische Gesundheitswesen entwickelt.

Trotz all dieser Maßnahmen haben die Marktteilnehmer mit einigen Hindernissen zu kämpfen. Die Reformen im Gesundheitswesen schreiten relativ langsam voran und widersprechen sich zum Teil gegenseitig. Noch undurchsichtiger wird die Lage durch missverständliche gesetzliche Rahmenbedingungen.

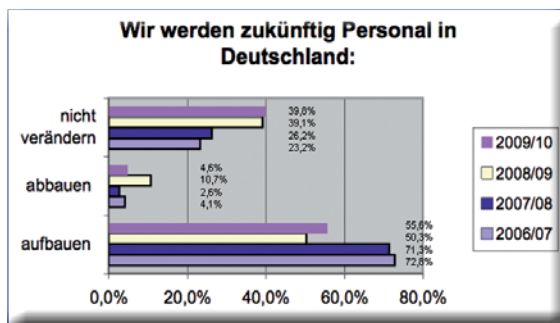
Behindert wird das Wachstum zudem durch bürokratische Hürden und Vetternwirtschaft, wie sie im russischen Gesundheitssystem Gang und Gäbe sind. So müssen Gesundheitsprodukte vor ihrer Markteinführung beispielsweise einen langen und kostenintensiven Registrierungsprozess durchlaufen. Auch von der FDA zugelassene oder CE-gekennzeichnete medizinische Geräte werden nicht anerkannt, was den Markteintritt für ausländische Produkte erschwert.

Biotech blickt optimistischer in die Zukunft

Umfrage: Trends in der deutschen Biotechnologie-Branche 2010

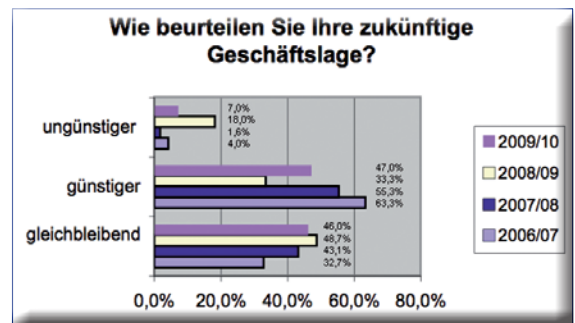
Die deutschen Biotechnologie-Unternehmen blicken wieder optimistischer in die Zukunft. Das ergab eine Umfrage des Industrieverbandes BIO Deutschland in Kooperation mit dem Branchenmagazin „Transkript“, deren Ergebnisse Anfang Januar vorgestellt wurden.

Annähernd die Hälfte der deutschen Biotech-Unternehmer (47 %) glaubt, dass sich die zukünftige Geschäftslage günstiger darstellen wird. Im vergangenen Jahr hatte dies lediglich ein Drittel (33 %) der Befragten angegeben. Gleichzeitig sank der Anteil der Pessimisten, die davon ausgehen, dass sich ihre wirtschaftliche Lage verschlechtern wird, von 18 % im vergangenen auf nur noch 7 % im laufenden Jahr. Die Einschätzung ihrer aktuellen Lage ist im Vergleich zum Vorjahr in den Unternehmen stabil geblieben. Den Umfrageergebnissen zufolge wird sich der Personalaufbau weiter beschleunigen: 55,6 % der Firmen gaben an, wieder Einstellungen vorzunehmen zu wollen. Anfang 2009 waren das lediglich 50,3 % gewesen. Nur noch jede 20. Firma (4,6 %) rechnet damit, Entlassungen vornehmen zu müssen. Mehrheitlich (52,2 %) wird in der Branche davon ausgegangen, dass sich das Klima – also die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen – wieder verbessern wird. Im vergangenen Jahr wurde im Rahmen der Unternehmenssteuerreform die steuerliche



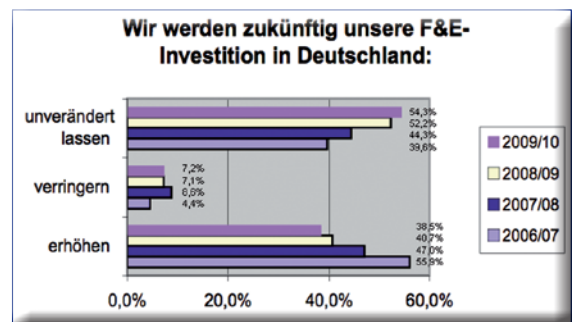
Die Zahl der Biotechnologie-Unternehmen, die im kommenden Jahr Personal einstellen werden, ist im Vergleich zum Vorjahr gestiegen. Nur noch jedes 20. Unternehmen rechnet mit Entlassungen.

Nutzung von Verlustvorträgen erschwert. Zudem gab es einen Abzug vieler Wagniskapitalinvestoren aus Deutschland und in der Folge zu einem Einbruch der Unternehmensfinanzierung. Dies spiegelt sich in der Investitionsbereitschaft der zumeist stark auf Forschung fokussierten Unternehmen wider: Nur noch 38,5 % wollen ihre Ausgaben in diesem Bereich erhöhen (Vorjahr 40,7 %).



Im Vergleich zum Vorjahr stieg der Anteil der Optimisten von 33 % auf 47 %. Gleichzeitig schrumpfte die Gruppe der Pessimisten von 18 % im Vorjahr auf nur noch 7 % in diesem (Abbildungen: BIO Deutschland / Transkript Firmenumfrage 2009/2010).

Die Mehrzahl der deutschen Biotech-Unternehmen wird ähnlich stark wie im Vorjahr in Forschung und Entwicklung (F&E) investieren.



Asien attraktiv für Labortechnik Kaum von Weltwirtschaftskrise betroffen

Die Länder Asiens sind attraktive Exportziele für deutsche Produkte aus dem Bereich Analysen-, Bio- und Labortechnik. Dies zeigt eine Studie der Germany Trade and Invest, initiiert von Branchenverband Spectaris.

In der Region ist zu beobachten, dass die Abnehmerbranchen insgesamt stark wachsen und dass Branchen wie die Biotechnologie oder die pharmazeutische Industrie in vielen dieser Länder kaum von der weltweiten Wirtschaftskrise betroffen waren. Die chemische Industrie bildet dabei eine Ausnahme, vor allem aufgrund von Finanzierungsproblemen für Projekte. Die zukünftigen Aussichten sind trotzdem überwiegend gut und es ist

mit einer zunehmenden Nachfrage zu rechnen. Besonders das Zugpferd China weist ein hohes Marktvolumen auf und lockt mit einer hohen Nachfrage nach innovativen Produkten und durchschnittlichen Wachstumsraten von bis zu 30 Prozent. Für das Jahr 2010 wird vom Internationalen Währungsfonds (IWF) für das Reich der Mitte ein reales BIP-Wachstum von 9 Prozent prognostiziert. Für die gesamtasiatische Region sagt die Prognose ein BIP-Wachstum von 6,8 Prozent für 2010 voraus. Viele der kleineren asiatischen Länder sind auf Importe von Labortechnik angewiesen, da die einheimischen Unternehmen nicht immer die erforderliche Qualität liefern können.

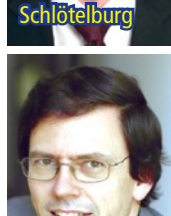
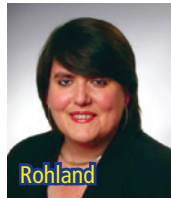
AGPU Dr. Axel Bruder, Mitglied des Vorstandes der Renolit AG in Worms, ist neuer Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.. Er löst Dr. Volker Hofmann/ profine GmbH ab, der als Schriftführer weiterhin dem Vorstand angehört. Die Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt wird von rund 70 nationalen und internationalen Unternehmen und Verbänden der PVC-Branche getragen, von Salz-, PVC- und Additivherstellern über PVC-Verarbeiter bis hin zu Recyclingunternehmen.

BCV Katrin Rohland (31), zuletzt Koordinatorin und Assistentin der Geschäftsführung des BioCon Valley Mecklenburg-Vorpommern e. V., ist neue Geschäftsführerin des Vereins. Sie folgt auf Dr. Heinrich Cuypers, der nach achtjähriger ehrenamtlicher Tätigkeit die Vereinsführung abgibt.

DEUTSCHE KREBSHILFE Prof. Harald zur Hausen, langjähriger Vorstandsvorsitzender des Deutschen Krebsforschungszentrums und Träger des Nobelpreises für Medizin 2008, ist neuer Präsident der Deutschen Krebshilfe. Er folgt damit auf Prof. Dagmar Schipanski.

DGBMT Dr. Cord Schlötterburg (40), Senior Manager der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (VDI/VDE-IT), wird neuer Geschäftsführer der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT) im VDE, mit Sitz in Frankfurt. Die DGBMT ist Teil des VDE-Netzwerks, welches rund 35 000 Mitglieder hat.

FVEE Das Direktorium des Forschungsverbands Erneuerbare Energien (FVEE) wählte **Prof. Dr. Vladimir Dyakonov** vom Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung in Würzburg zum Sprecher für das Jahr 2010. Stellvertretender Sprecher ist **Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Eberhardt** vom Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH. Das Jahr 2010 steht ganz im Zeichen des Wissenschaftsjahrs der



Energie, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ausgerufen wurde.

GRM Die Deutsche Gesellschaft für Regenerative Medizin e. V. (GRM) hat **Prof. Dr. Guido Nikkhah**, Ärztlicher Direktor der Abteilung Stereotaktische Neurochirurgie am Neurozentrum des Universitätsklinikums Freiburg, zum neuen Wissenschaftlichen Sprecher gewählt. Prof. Nikkhah folgt satzungsgemäß auf Frau Prof. Dr. Heike Walles im Amt.

EMBO Die European Molecular Biology Organization (EMBO) wählte **PhD Bernd Pulverer** zum Head of Scientific Publication. Der Biologe Pulverer, zuletzt Herausgeber von Nature Cell Biology, folgt auf Les Grivell.

EuMA Der langjährige Abteilungsleiter Mikrowellentechnik des Ferdinand-Braun-Instituts und Professor an der Technischen Universität Berlin, **Wolfgang Heinrich**, übernahm zum Jahreswechsel 2010 die Präsidentschaft der European Microwave Association (EuMA), einer der international wichtigsten Zusammenschlüsse von Wissenschaftlern und Ingenieuren in der Mikrowellentechnik.

GDCh Seit dem 1. Januar 2010 ist **Prof. Dr. Michael Dröscher** (61), Evonik Degussa GmbH, Präsident der GDCh. Er löste turnusgemäß Prof. Dr. Klaus Müllen, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, ab. Müllen und Prof. Dr. Barbara Albert von der Technischen Universität Darmstadt stellen nun die stellvertretenden GDCh-Präsidenten.

ÖKO-INSTITUT Der Nuklear-experte **Michael Sailer** ist der neue Geschäftsführer des Öko-Instituts mit seinen drei Standorten in Freiburg, Darmstadt und Berlin. Der 56-Jährige Ingenieur für Technische Chemie ist Nachfolger von Dr. Joachim Lohse, der das Öko-Institut verlassen hatte. Michael Sailer hat das Darmstäd-

ter Büro des Instituts aufgebaut und arbeitet seit 29 Jahren für die Umweltforschungs- und Beratungseinrichtung. Zusammen mit Dr. Rainer Grieshammer und Christian Hochfeld stellt er das Geschäftsführungs-Team.

PDA Maik W. Jornitz, Leiter des globalen Marketings für Filtrations- und Fermentationstechnologien bei Sartorius Stedim Biotech, ist zum Vorstandsvorsitzenden des Pharmaverbandes Parental Drug Association (PDA) berufen worden. Die PDA (Bethesda, MD, USA) gilt als weltweit bedeutendste Interessenvertretung der biopharmazeutischen Industrie. Jornitz gehört der PDA seit 1994 an und hat seitdem verschiedene Funktionen bekleidet, seit 2007 war er stellvertretender Vorstandsvorsitzender.

VBIO Die Bundesdelegiertenversammlung des VBIO hat **Prof. Dr. Diethard Tautz** vom Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie zum neuen Präsidenten gewählt. Tautz ist dem Biologenverband seit längerem als Beiratsmitglied verbunden und löst Prof. Dr. Rudi Balling ab, der den VBIO seit dessen Gründung im Juni 2007 geführt hatte.

WGL Karl Ulrich Mayer wird neuer Präsident der Leibniz-Gemeinschaft (WGL, Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz). Der Soziologe ist derzeit Inhaber der Stanley B. Resor-Professur und Chair des Department für Soziologie an der Yale University (USA). Er wird zum 1. Juli 2010 den derzeitigen Amtsinhaber Ernst Th. Rietschel ablösen.

WGP Seit Januar 2010 übernahm **Prof. Reimund Neugebauer**, Institutsleiter des Fraunhofer IWU, nach einjähriger Vizepräsidentschaft das Amt des Präsidenten der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik für die kommenden beiden Jahre. Die WGP ist ein Zusammenschluss führender deutscher Professoren der Produktionstechnik und vereinigt rund 1300 Wissenschaftler.

EHRUNGEN

Den mit 250 000 Euro dotierten **Lautenschläger-Forschungspreis** erhielt **Prof. Dr. Eva Grebel** (44), Astrophysikerin an der Universität Heidelberg. In ihren Arbeiten befasst sie sich mit der Galaxienentwicklung und der Nahfeld-Kosmologie. Sie hat verschiedene leuchtschwache Zwerggalaxien mit extrem niedrigen Massen entdeckt, die für das Verständnis der Dunklen Materie von Bedeutung sind. Zugleich gilt die Wissenschaftlerin als Expertin in der galaktischen Archäologie, die aus den „Überresten“ vergangener Sternentstehungs-Epochen die detaillierte Entwicklungsgeschichte der Galaxien im kosmologischen Kontext rekonstruiert.

Prof. Claus M. Schneider vom Forschungszentrum Jülich ist einer der Gewinner des mit 25 000 Euro dotierten **Gay-Lussac-Humboldt-Preises 2009**. Der Direktor des Instituts für Festkörperforschung wird für seine wissenschaftlichen Arbeiten und Verdienste um die französisch-deutsche Wissenschaftskooperation geehrt. Schneider erforscht die elektronischen und magnetischen Eigenschaften von Schichtsystemen und Nanostrukturen und lotet ihre Eignung für Anwendungen in der Informations- und Nanotechnologie aus. Die Weiterentwicklung spektroskopischer Techniken mit hoher räumlicher Auflösung zur Erforschung des Zusammenhangs zwischen elektronischer Struktur und Magnetismus in Kollaboration mit Partnern in Frankreich und weltweit ist ein Schwerpunkt seiner Arbeit.

Den **Alwin-Mittasch-Preis 2009** der Dechema teilen sich **Prof. Dr.-Ing. Jens Weitkamp** (68), Stuttgart, und **Prof. Dr. Jens K. Nørskov** (58), Lyngby. Die mit 10 000 Euro dotierte Ehrung wird an Forscher verliehen, die sowohl die Grundlagen der Katalyse erweitert als auch beispielhafte Anwendung in der industriellen Praxis gefunden haben. Jens Weitkamp befasst sich mit

der Isomerisierung und dem Hydrocracken von Alkanen sowie der Aromatenhydrierung mit Hilfe von Zeolith-Katalysatoren. Diese Prozesse gehören zu den wichtigsten bei der Raffination und Weiterverarbeitung von Erdöl. Jens Nørskov hat durch die Entwicklung von theoretischen Modellen entscheidend zur Aufklärung der Vorgänge am Katalysator beigetragen. Auf der Basis solcher Erkenntnisse können Katalysatoren für spezifische Anwendungen gezielt entwickelt werden.

Prof. Dr. Michael Buchmeiser (43) von der Universität Stuttgart erhält die mit 5000 Euro dotierte **Otto-Roelen-Medaille 2010** der Dechema. Buchmeisers Spezialgebiet ist die Metathesepolymerisation; dabei werden ringförmige Bausteine mit Hilfe von Katalysatoren geöffnet und zur Reaktion gebracht. Der Forscher hat Katalysatoren entwickelt, die auf Oberflächen fixiert und damit leicht wiedergewonnen werden können. Anwendung finden diese Verfahren vor allem bei der Herstellung von Spezialkunststoffen aus maßgeschneiderten funktionellen Monomeren.

Die beiden wichtigsten Auszeichnungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) gehen nach Augsburg und Frankfurt am Main. Sie beinhalten jeweils eine Goldmedaille und sind undotiert: **Dieter Vollhardt** (58) von der Universität Augsburg erhält die „**Max-Planck-Medaille für theoretische Physik**“ für seine Beiträge zur Festkörperphysik. Seine Forschungsergebnisse dienen dem Verständnis der mikroskopischen Vorgänge in magnetischen Materialien und Metalloxiden. Die „**Stern-Gerlach-Medaille für experimentelle Physik**“ geht an **Horst Schmidt-Böcking** (70) von der Universität Frankfurt am Main. Bereits in den 1980er Jahren entwickelte er ein Messverfahren, das detaillierte Einblicke in das Innenleben von Atomen und Molekülen liefert.

Den mit 15 000 Euro dotierten **Walter-Schottky-Preis für Festkörperforschung** vergibt die Deutsche Physikalische Gesellschaft dieses Jahr an **PD Dr. Thomas Seyller**, derzeit Lehrstuhlvertreter am Lehrstuhl für Technische Physik der Universität Erlangen-Nürnberg. Seyller erhält die Auszeichnung für seinen Beitrag zum Wachstums von Graphen, insbesondere zur Graphen-Synthese auf Siliziumkarbid. Graphen birgt ein großes Potential für Anwendungen, die von neuartigen Halbleiterbauelementen über chemische und biologische Sensoren bis zu Quanten-Computern reichen.

Der mit 75 000 Euro dotierte „**Otto-Bayer-Preis 2010**“ geht an **Prof. Dr. Detlef Weigel** (47), den Direktor am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen. Weigels Arbeiten tragen wesentlich zum Verständnis der molekularbiologischen Grundlagen der Variabilität von Pflanzen bei und haben ein praktisches Ziel: voraussagen zu können, wie Wild- und Ackerpflanzen auf die sich zurzeit schnell verändernde Umwelt reagieren werden.

Mirjam Christ-Crain (35), leitende Ärztin am Universitätsspital Basel, erhielt in Bern den mit 100 000 Franken dotierten **Nationalen Latsis-Preis 2009**. Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) zeichnet sie damit für ihre Arbeiten aus, in denen die Ärztin aufzeigt, dass Stresshormone im Blut Entscheidungsgrundlagen für die Behandlung von Lungenentzündung oder Schlaganfall liefern.

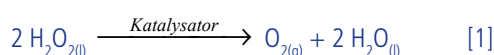
Preisträger des mit 50 000 Euro dotierten **Siebeneicher-Forschungspreises** ist **Dr. Gerhard Schrott** vom Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Heidelberg. Der Wissenschaftler untersucht die molekularen Mechanismen, die Lernen und Gedächtnis zugrunde liegen. Die Erkenntnisse könnten zur Entwicklung neuer Therapieansätze bei Autismus und Demenzerkrankungen beitragen.

Mit H_2O_2 zur „Elephant's Toothpaste“

Die homogen katalysierte Zersetzung von Wasserstoffperoxid

Viktor Obendrauf, Graz

Die katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid zu Sauerstoff und Wasser gemäß Gleichung (1) ist seit vielen Jahrzehnten zentraler Bestandteil von diversen fachdidaktischen Publikationen [1 bis 14].



$$\Delta H = -196,46 \text{ kJ}$$

In der Tat kann man mit den Lernenden anhand dieser Reaktion etliche wichtige Prinzipien der Chemie erarbeiten, weil die Umsetzung unter gewissen Voraussetzungen ausreichend rasch und auch quantitativ abläuft. Dazu kommt, dass die einfach strukturierte Peroxo-Verbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff, die vor allem in Produkten des täglichen Bedarfs als Bleichmittel, Desinfektionsmittel und Sauerstofflieferant zum Einsatz gelangt, von erfahrenen Chemielehrkräften nicht erst seit dem englischen „Salters Approach“ (1983) oder der deutschen CHiK-Welle (1998) [15] systematisch und gezielt als exzellentes Beispiel einer sinnstiftenden „Context-Based Chemistry“ eingesetzt wird.

Die experimentelle Behandlung der Basisbegriffe „Homogene und Heterogene Katalyse“ steht dabei meist genauso im Blickfeld didaktischer Überlegungen wie diverse stöchiometrische Zusammenhänge unter Einbeziehung der Gasgesetze, reaktionskinetische Untersuchungen und die verblüffende Leistungsfähigkeit von Biokatalysatoren am Beispiel von diversen Katalasen (Oxidoreduktasen). Nicht zuletzt erweist sich die Reaktion (1)

Der Autor

Prof. Dr. Viktor Obendrauf ist seit 1978 im Schuldienst tätig, seit 1980 in der Lehreraus- und -fortbildung im In- und Ausland. Er arbeitet an der Universität Graz und ist weltweit führend in der Entwicklung von Mikromaßstab-Experimenten für den Chemieunterricht. Viktor Obendrauf veröffentlichte über 100 Arbeiten. Er erhielt u.a. 1998 den Friedrich-Stromeyer-Preis der GDCh, 2001 den Pädagogenpreis des Fachverbands der chemischen Industrie Österreichs (FCIO) und 2005 den Manfred-und-Wolfgang-Flad-Preis.



als sehr komfortable und Ressourcen schonende Möglichkeit, Sauerstoff für schulische Zwecke im Labormaßstab zu generieren.

Wasserstoffperoxid in der Natur

Die Existenz diverser Katalasen (Wasserstoffperoxid zersetzender Enzyme) in verschiedensten biologischen Systemen ist bereits ein deutlicher Hinweis darauf, dass das industrielle Bleichmittel in geringer Konzentration Bestandteil der natürlichen Umwelt ist. In der Tat kommt Wasserstoffperoxid in natürlichen Gewässern und auch in der Atmosphäre vor, wo es unter Einwirkung von Licht beziehungsweise katalytisch wirkenden Stoffen aus Sauerstoff gebildet wird. Die natürliche Konzentration von Wasserstoffperoxid im Meerwasser liegt zwischen 0,5 und 14 $\mu\text{g/L}$. Süßwasser enthält bis zu 30 $\mu\text{g/L}$. In der Luft liegen die Werte zwischen 0,1 und 1 ppb [16]. Alle im Zusammenspiel mit Sauerstoff existierenden Zellen (quasi vom Phytoplankton bis zum Sauerstoff atmenden Menschen) sind mit Wasserstoffperoxid konfrontiert, das im Zuge des Stoffwechsels aus Sauerstoff gebildet wird. Sogar unsere Ausatemluft enthält Wasserstoffperoxid ohne dass dies bereits als Anzeichen von entzündlichen Prozessen („oxidativer Stress“) in der Lunge gewertet werden könnte. Je nach expiratorischer Flussrate (Ausatemgeschwindigkeit) und Lungenvolumen werden, offensichtlich vorwiegend aus den Bronchien, jeweils zwischen 0,1 und 0,4 μmol (3,4 beziehungsweise 13,6 μg) H_2O_2 exhaliiert [17].

Weil Wasserstoffperoxid in größeren Konzentrationen als Zellgift wirkt, hat die Natur auch für solche Situationen vorgesorgt: Verschiedene Wasserstoffperoxid zersetzende Enzyme (Katalasen) halten den Gehalt an Wasserstoffperoxid in den Zellen unter der Toxizitätsgrenze. Die humane Katalase besteht zum Beispiel aus vier identischen Peptid-Struktureinheiten zu je etwa 60 000 u (Abbildung 1). Jede dieser vier Einheiten enthält als zentrale Liganden noch eine Häm-Gruppe (Porphyrin, Abbildung 2). Dazu kommen insgesamt zwei, eher in der Peripherie des Enzyms gelegen NDP-Gruppen (Dihydro-Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid-Phosphat-Gruppen); alles mit dem Java-Applet JMol unter [18]

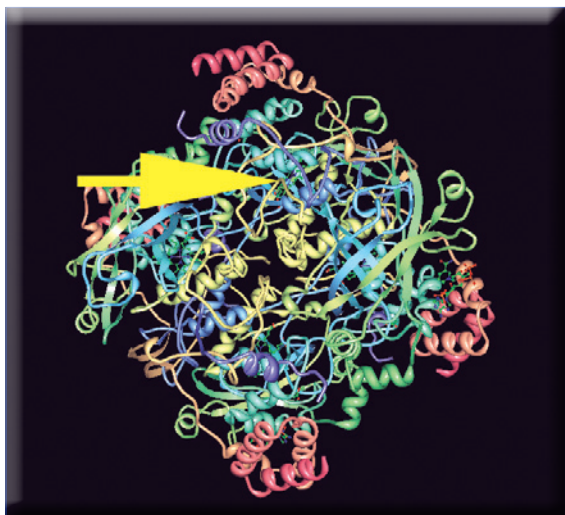


Abbildung 1: Ein Enzym, das den Abbau von biogenem H_2O_2 katalysiert: die Humane Katalase, ein Protein mit 4 identischen Strukturbausteinen zu je ungefähr 60 000 u, die je eine Häm-Gruppe enthalten. Der gelbe Pfeil weist auf eine der 4 Häm-Gruppen innerhalb der Proteinketten. Das Molekül-Modell wird aus Daten, die sich aus der zuvor ermittelten Aminosäuresequenz und der Elektronendichteverteilung aus der Röntgenstrukturanalyse der kristallisierten Katalase ergeben, errechnet [18].

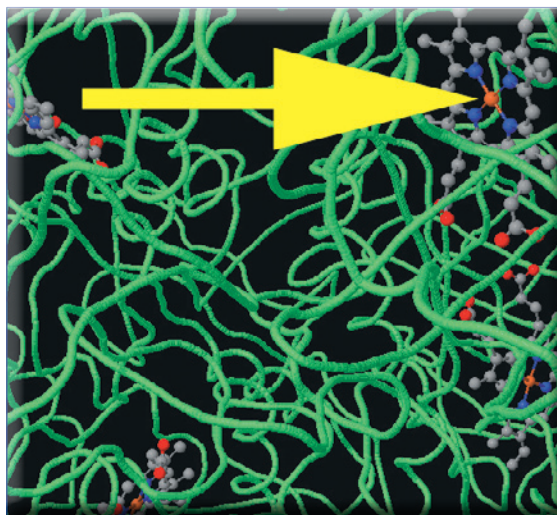


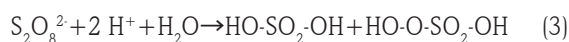
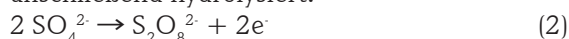
Abbildung 2: Ein Ausschnitt aus dem Molekülmodell der Humanen Katalase. Der Pfeil weist auf das Fe^{2+} im Zentrum einer der vier Häm-Bausteine (Porphyrine). Die PDB [18] enthält alle wichtigen Informationen zur Aminosäuresequenz und den zugehörigen Liganden. Die visuell darstellbaren Details des Molekülmodells mit über 18 500 lokalisierten Atomen können mittels PC und Jmol nach Belieben gezoomt und gedreht werden, um wichtige räumliche Verhältnisse im Enzym erkennen zu können.

wunderbar von allen Seiten und in verschiedenen Ausschnittvergrößerungen betrachtbar. Die Leistungsfähigkeit des genannten Biokatalysators ist enorm: Ein einziges Katalasemolekül (mit einer gesamten Molekülmasse von etwa 240 000 u) kann pro Minute ungefähr $5 \cdot 10^6$ Moleküle Wasserstoffperoxid zersetzen [3].

In Ausnahmefällen kann die Wasserstoffperoxid-Konzentration in biologischen Systemen auch extrem hoch sein: Der in Europa vorkommende Bombardierkäfer (*Brachinus crepitans*) speichert Wasserstoffperoxid in einer Art Blase im Hinterleib in einer Konzentration bis zu 28,5%, um die aggressive Verbindung gemischt mit einem zweiten „Kampfstoff“ gegen unliebsame Frösche und Ameisen einsetzen zu können. Dabei werden unmittelbar vor dem geplanten „Gegenangriff“ Wasserstoffperoxid und Hydrochinon in einer Art „Explosionskammer“ gemischt. Im richtigen Augenblick werden dort die Enzyme Katalase und Peroxidase zudosiert. Das bloß gesundheitsschädliche Hydrochinon wird dabei zum tatsächlich giftigen 1,4-Benzochinon (Cyclohexa-2,5-dien-1,4-dion) oxidiert, während das Wasserstoffperoxid schlagartig unter großer Druck- und Wärmeentwicklung gemäß Gleichung (1) in Wasser und Sauerstoff gespalten wird. Mit dem ätzenden, rund 100°C heißen „Giftcocktail“ aus dem Hinterleib können etwaige Gegner mit hörbarem Knall je nach Dringlichkeit sogar portionsweise (!) „bombardiert“ werden [19].

H_2O_2 – eine Verbindung macht Geschichte

Im Juni 2007 feierte die ÖCW-Degussa CEE GmbH in Weißenstein im Kärntner Drautal (Jahresumsatz 2007 etwa 38 Millionen Euro) ihr 100jähriges Bestehen: Im Jahr 1907 hatte der Wiener Industrielle Otto Margulies ein Patent zur Herstellung von Wasserstoffperoxid angemeldet. Noch im Jahr 1908 wurde mit dem Bau der weltweit ersten Fabrik (basierend auf diesem Patent) im Drautal begonnen [20]. Die Standortwahl war natürlich kein Zufall: Das Verfahren beruhte eigentlich auf einem Deutschen Reichspatent aus dem Jahre 1905 [20] und benötigte große Mengen an Strom, der mittels lokal vorhandener Wasserkraft an einer verkehrsgeographisch günstig gelegenen Bahnstrecke erzeugt werden sollte. Halb konzentrierte Schwefelsäure musste bei hoher Stromdichte unter Verwendung von Pt-Elektroden elektrolysiert werden. Die auf diese Weise im Anodenraum gemäß Gleichung (2) oxidativ gebildeten Peroxodisulfat-Ionen wurden anschließend hydrolysiert.



Dabei entsteht nach Gleichung (3) neben Schwefelsäure intermediär Peroxomonoschwe-

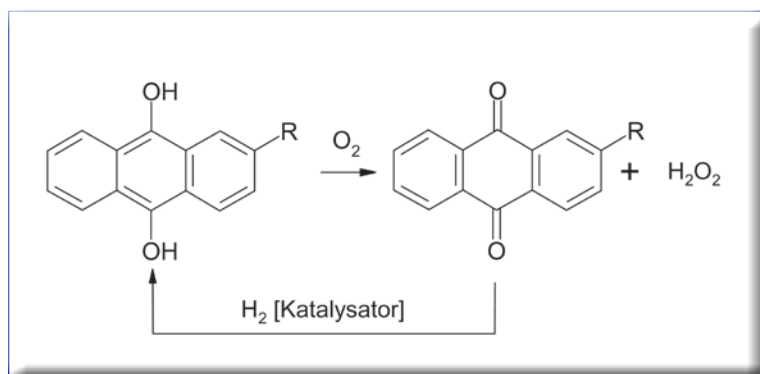
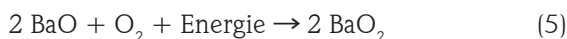


Abbildung 3: Prinzip des Anthrachinon-Autoxidations-Verfahrens (AO-Verfahren) zur großtechnischen Herstellung von Wasserstoffperoxid aus Wasserstoff und Sauerstoff.

felsäure (Carosche Säure H_2SO_5) die sich mit Wasser weiter zu Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid umsetzen lässt (Gleichung 4). Das auf diese Weise in der Lösung erhaltene Wasserstoffperoxid wurde mit großem Aufwand destillativ abgetrennt.

Vor Einführung des elektrochemischen Verfahrens standen für großtechnische Prozesse weltweit nur kleine Mengen an Wasserstoffperoxid (noch dazu mit geringer Konzentration) zur Verfügung: Im Jahr 1873 wurde die erste Anlage zur fabrikmäßigen Herstellung von 3%igem H_2O_2 aus Bariumperoxid bei E. Schering in Berlin gebaut. 1896 nahm auch E. Merck in Darmstadt eine technische Anlage zur Herstellung von 3-8%igem H_2O_2 in Betrieb. Um 1900 wurden weltweit nicht mehr als etwa 2000 Tonnen Wasserstoffperoxid (gerechnet als 100%) erzeugt [20].

Die Darstellung von H_2O_2 aus Bariumperoxid (BaO_2) ging auf L. J. Thenard zurück, der erstmals im Jahr 1818 die Bildung von „oxidiertem Wasser“ aus Bariumperoxid (BaO_2) und Schwefelsäure beschrieben hat. Obwohl L. J. Thenard die Verbindung H_2O_2 im Labormaßstab bereits mit überraschender Reinheit darstellen konnte und sie auch eindeutig charakterisierte, konnten sich viele Wissenschaftler bis 1900 nicht mit den Forschungsergebnissen des französischen Chemikers anfreunden. Zu ungewöhnlich waren die Eigenschaften. Einerseits leitet sich Wasserstoffperoxid aus Wasser ab und bildet unter Abspaltung von „aktivem Sauerstoff“ auch dieses. Andererseits ließ sich H_2O_2 nicht direkt aus Wasser erzeugen, also blieb vorerst nur der mühselige Umweg über das Bariumperoxid: BaO_2 konnte man durch Erhitzen von BaO an der Luft erzeugen.



Das Bariumperoxid liefert mit Schwefelsäure verdünntes, verunreinigtes Wasserstoffperoxid und Bariumsulfat:



Das Nebenprodukt Bariumsulfat konnte im großtechnischen Verfahren gemäß Gleichung (7) wieder verwertet werden, wobei das dabei anfallende SO_2 zur Herstellung der wieder benötigten Schwefelsäure (siehe Gleichung (6)) genutzt werden konnte:



Der wohl bedeutendste Meilenstein zur technischen Gewinnung von hochprozentigem H_2O_2 war die Etablierung des Anthrachinon-Autoxidationsprozesses (AO-Verfahren), das nach dem 2. Weltkrieg den elektrochemischen ÖCW/Degussa-Prozess abgelöst hat. In Weißenstein in Kärnten erfolgte die Umstellung auf das AO-Verfahren im Jahr 1967. Beim neuen Verfahren dienen Wasserstoff aus Methan (Erdgas) und Sauerstoff (aus der Luft) direkt als Rohstoffe (Abbildung 3).

Das Verfahren geht auf eine Entdeckung von W. Manchot zurück, der bereits im Jahr 1901 (!) die Oxidation von Hydrochinonen durch Luftsauerstoff unter gleichzeitiger Bildung von Wasserstoffperoxid beschrieben hat [21].

Dieses Prinzip der H_2O_2 -Gewinnung wurde im Jahr 1932 in den USA und von 1935 bis 1945 in Deutschland bei der I.G. Farbenindustrie (später BASF) weiter erforscht, wo noch im Jahr 1945 eine AO-Pilotanlage mit etwa 360 Jahrestonnen H_2O_2 in Betrieb war. Nach dem Krieg wurden die deutschen Erfahrungen aus dieser Pilotanlage im Zuge des auferlegten „Know-how-Transfers“ an die Firma DuPont weiter gereicht, die im Jahr 1953 die erste großtechnische Anlage in Memphis/Tennessee in Betrieb nahm. Bald darauf hatten auch Solvay und Degussa eigene AO-Anlagen.

Wie aus der Abbildung 3 ersichtlich, geht man in diesen Anlagen von alkylierten Hydrochinonen aus, die mittels Luftsauerstoff unter Bildung von Wasserstoffperoxid zu den entsprechenden Chinonen oxidiert werden. Aus dieser „Arbeitslösung“ lässt sich das H_2O_2 mit Wasser recht gut auswaschen. Man erhält eine 30-40%ige Lösung, die je nach Bedarf noch aufkonzentriert werden kann.

Das alkylierte Anthrachinon in der H_2O_2 -freien „Arbeitslösung“ wird mit Wasserstoff und einem Katalysator (zum Beispiel Palladiummohr oder spezielle Chinone) wieder in den Ausgangsstoff (alkyliertes Anthrachinon) überführt (Abbildung 3). Um die Reaktanten homogen in der „Arbeitslösung“ zu halten, braucht man ein ausgeklügeltes Lösemittelsystem sowohl für das jeweilige Anthrachinon (zum Beispiel polyalkyliertes Benzen, Alkyl-naphtalen) als auch für das polarere Anthrachinon (zum Beispiel höhere Alkohole, Phosphorsäureester). Abgesehen

von geringen Verlusten bei der „Arbeitslösung“ durch Ausschleusen von Verunreinigungen und der Notwendigkeit, den Katalysator von Zeit zu Zeit zu regenerieren, beruht das AO-Verfahren auf fast idealen Stoffkreisläufen, was auch durchaus angebracht erscheint: Für eine AO-Anlage mit einer Jahreskapazität von 50 000 Tonnen H_2O_2 werden rund 800 m^3 (!) der „Arbeitslösung“ benötigt, die rund 20 Mal pro Tag den beschriebenen Redox-Prozess durchlaufen muss.

Der technische Aufwand, die „Arbeitslösung“ möglichst perfekt im Kreis zu führen, ist somit beträchtlich und es verwundert nicht, dass man seit vielen Jahren auf der Suche nach Alternativen ist [20, 22].

Ein diesbezüglicher Durchbruch scheint dem Chemieteil der Evonik Industries (wie bekannt ehemals Degussa) vor etwa vier Jahren zusammen mit der U.S. Company Headwaters Inc. gelungen zu sein: Evonik hat mit einer jährlichen Kapazität von rund 600 000 Tonnen als weltweit zweitgrößter Hersteller von Wasserstoffperoxid zusammen mit Headwaters einen heterogenen Nanopartikel-Katalysator entwickelt und auch schon im technischen Maßstab getestet, mit dem die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff im Reaktor in einer methanolischen Lösung unter wesentlich einfacheren Bedingungen miteinander direkt zu Wasserstoffperoxid reagieren als beim herkömmlichen AO-Verfahren (Abbildung 4) [23].

Mit dieser Entwicklung soll der wachsende Bedarf an H_2O_2 vor allem für die innovative Erzeugung von Propylenoxid nach dem HPPO-Verfahren (Hydrogen Peroxide for Propylene Oxide) gedeckt werden. Die weltweit erste HPPO-Produktion nach Lizenz von Evonik und Uhde ging im Sommer 2008 in Ulsan (Korea) in Betrieb.

Der Vorteil des neuen, ebenfalls von der Evonik zusammen mit Krupp-Uhde erst in den letzten Jahren entwickelten Verfahrens mit Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel besteht darin, dass dabei nicht wie bisher Koppelprodukte anfallen, die nur schwer einer anderen Verwertung zugeführt werden können [24]. Propylenoxid wird in großen Mengen vor allem in den Wachstumsmärkten in Asien für die Herstellung von Kunststoffen (Polyurethan und Polyester) benötigt.

Vom Papier zur Blondine

Die Kapazitäten zur Erzeugung von H_2O_2 betragen im Jahr 1998 weltweit bereits etwa 2,8 Mio. Tonnen [20]. Mehr als die Hälfte der Produktion wird für die chlorfreie Bleiche von Zellstoff für die Papierindustrie benötigt. Die oxidative Wirkung auf verschiedene, am Zellstoff anhaftende (braune) Lignin-Bausteine erfolgt im Unterschied zur Chlorbleiche ohne Umwelt belastende Ne-

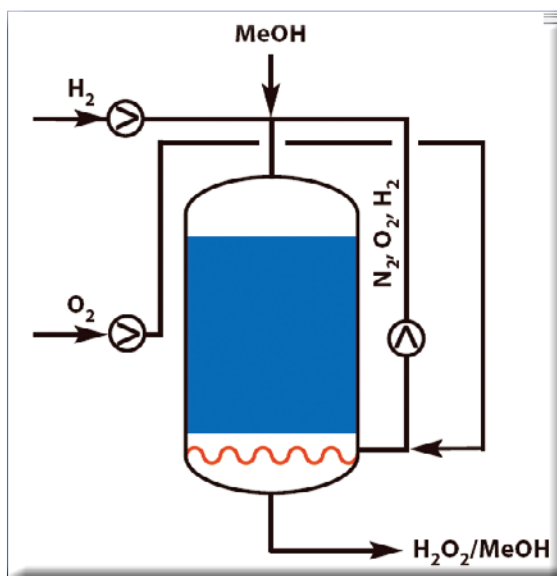
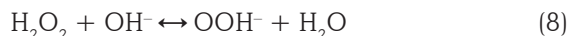


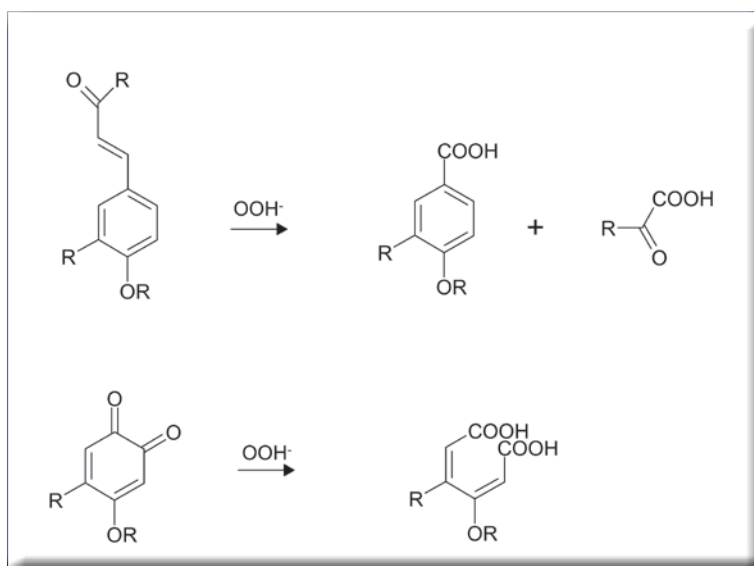
Abbildung 4: Das einfache Schema der neuen DSHP-Technologie (Direct Synthesis Hydrogen Peroxide) von Evonik. Mit dem Verfahren soll im großen Maßstab Wasserstoffperoxid als Zwischenprodukt für organische Synthesen erzeugt werden [23, 24].

benprodukte. Die Bleiche erfolgt in alkalischer Lösung, weil sich unter diesen Bedingungen gemäß Gleichung (8) das sehr reaktive Perhydroxylanion bildet:



Dieses sehr stark nucleophile Agens kann die konjugierten Doppelbindungen der Chromophore in den Lignin-Bausteinen partiell oxidieren (Abbildung 5). Blaue Anteile des weißen Lichtes können nicht mehr absorbiert werden. Der gelb-

Abbildung 5: Beim H_2O_2 -Bleichen von Zellstoff im alkalischen Milieu entsteht das Perhydroxyl-Anion (OOH^-), das die konjugierten Doppelbindungen der Chromophore bei den Lignin-Bausteinen teilweise oxidiert. Die den Zellulosefasern aus dem Zellstoffwerk noch anhaftenden Rückstände werden farblos. Ursprünglich braun gefärbter Zellstoff wird weiß.



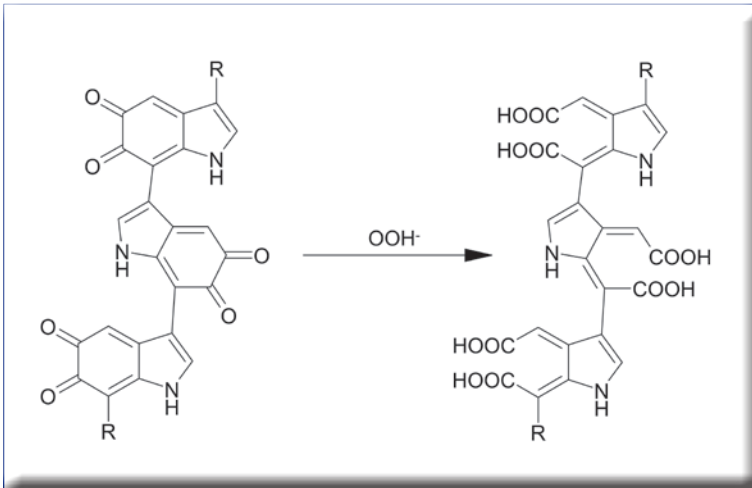


Abbildung 6: Bleichen von Haaren mit H_2O_2 (recht „anrühlich“ in Gegenwart der flüchtigen Base Ammoniak): Farbige Pigmente (Melanin-Bausteine), zwischen Proteinfaserbündeln (Keratine) gebunden, werden partiell oxidiert (siehe auch Schema in Abbildung 5).

Abbildung 6a: Produkt der Firma Schwarzkopf zum Bleichen von Haaren. Der Begriff „Wasserstoff-Blondine müsste richtig Wasserstoffperoxid-Blondine heißen.



liche Zellstoff wird gebleicht. Entsprechend Gleichung (9) soll sich aus dem Perhydroxyl-Anion auch reaktiver „Aktivsaurestoff“ bilden:



Überschüssiges Wasserstoffperoxid zerfällt in Wasser und Sauerstoff. Ein Zellstoffwerk mit einer Tagesproduktion von etwa 2000 t Cellulose kommt auf einen Jahresbedarf an H_2O_2 von bis zu 10 000 Tonnen [20]. Der weltweit stark wachsende Markt am Papier- und Zellstoffsektor hat auch eine signifikante Ausweitung der H_2O_2 -Produktionskapazitäten zur Folge.

Neben Zellstoff und Holzstoff (Holzschliff = feinst zerklebertes Holz für Zeitungspapier) werden auch andere natürliche und synthetische Fasern (Baumwolle, Wolle, Polyester) mit H_2O_2 gebleicht.

Im ersten Halbjahr 2007 haben die Österreicher wieder einen neuen Rekord beim Sammeln von Altpapier aufgestellt: Durchschnittlich landeten innerhalb der 6 Monate pro Einwohner 36,9 kg Papier in den Sammelcontainern. Das sind hochgerechnet insgesamt 282 000 Tonnen Altpapier, das großteils nur nach entsprechender Aufbereitung (Deinking und Bleichung mit H_2O_2) einer Wiederverwertung zugeführt werden kann.

Apropos Recycling: Bei der Bevölkerung viel besser bekannt als die Zellstoffbleiche ist wohl das „strohblonde“ Resultat beim Friseur, wenn dunklere Melanin-Bausteine in naturbraunen Haaren mit Wasserstoffperoxid gebleicht werden (Abbildungen 6 und 6a). Die Zuerkennung des zweifelhaften Attributs „Wasserstoff-Blondine“ geht somit auf eine falsche Benennung des H_2O_2 zurück: Im schlampigen Drogisten- und Apotheker-Jargon werden Lösungen von Wasserstoffperoxid häufig verkürzt und irreführend bloß als „Wasserstoff“ bezeichnet. So als ob die handelsübliche Bleichlösung gasförmigen Wasserstoff H_2 enthalten würde. Wasserstoffmoleküle sind unpolar und damit kaum wasserlöslich. Außerdem fungiert das gasförmige Element im Zuge diverser Reaktionen eher als Reduktions- und nicht als Oxidationsmittel.

Apropos Element: Weil Wasserstoffperoxid als Bleichmittel für die modebewussten Römerinnen im alten Rom nicht verfügbar war, sollen manche von ihnen sogar mit dem Element Gold (in Form von teurem Goldstaub) nachgeholfen haben, um auf diese Weise optisch der kolportierten Haarfarbe der griechischen Götter ein wenig näher zu kommen.

Apropos „Schön und reich“: Damit ein strahlend-weißes Lächeln (passend zum Haar-Styling) trotz Nikotinabhängigkeit und regelmäßigem Rotweinkonsum auch im „besten Alter“ machbar ist, bieten heute geschäftstüchtige Zahnärzte

für rund 500-700 Euro ein Zahn-„Bleaching“ an, bei dem in mehreren, jeweils einstündigen Sitzungen ein Gel mit hochprozentigem Wasserstoffperoxid in Kombination mit UV-Strahlen und obligatorischer Zahnfleischabdeckung den gewünschten Effekt erzielt [25].

H₂O₂ als Desinfektionsmittel

Wasserstoffperoxid wirkt als starkes Oxidationsmittel zytotoxisch und damit gegen viele prokaryontische Mikroorganismen (Bakterien) desinfizierend. In manchen Ländern der Erde ist Wasser ein so kostbares Gut, dass sogar der Ablauf von Kläranlagen zum Beregnen von Gemüsekulturen verwendet werden darf, wenn das Wasser zuvor einer desinfizierenden Behandlung mit Wasserstoffperoxid unterzogen wurde.

Der große Vorteil von Wasserstoffperoxid als Desinfektionsmittel besteht darin, dass überschüssiges Wasserstoffperoxid rasch und rückstandsfrei in Wasser und Sauerstoff zerfällt. Deshalb findet man das Desinfektionsmittel H₂O₂ („kalt aseptisch“) auch immer häufiger bei Abfüllanlagen für Mineralwässer, Fruchtsäfte und Milch in Kunststoff-Flaschen (PET-Flaschen) und Tetra-Pak-Gebinden, die mit ihrem ausgeklügelten Schichtsystem Papier-Alufolie-Kunststoff vor dem Füllen keiner thermisch-sterilisierenden Behandlung unterzogen werden können.

Zur Poolwasserbehandlung gibt es (vor allem für den privaten Consumer-Bereich) neben den herkömmlichen (chlororganischen) Präparaten auch Wasserstoffperoxid (noch immer 35%ig: Datenblatt <http://www.kopieren-ist-straftbar.de/Bayrol-BayroFix.pdf> und OnlineShop: <http://www.aqua-poolshop.de/Bayrol/Aktivsauerstoff/Bayro-Fix-5-Liter::107.html>) als chlorfreie Sofortmaßnahme sprich „Schockbehandlung mit BayroFix“ bei plötzlichem Algenbewuchs in kleineren Becken: 1 L H₂O₂ 35%ig pro 10 m³ Poolwasser (entsprechend einer angestrebten Konzentration von 0,0035% H₂O₂) beseitigt Trübungen und Algenbewuchs angeblich in kürzester Zeit.

Bei einer speziellen Art der Zierfisch-Teichbelüftung setzt man auf katalytisch erzeugten Sauerstoff am Grund des Biotops. Der langsam erzeugte Sauerstoff soll sich sukzessive im Wasser lösen, ohne dabei, wie bei einer Luftpumpe, das für die Wasserpflanzen lebensnotwendige CO₂ auszutreiben. Nachfüllgebinde (1 L 6%iges H₂O₂) kann man bei eBay ordern [26].

Apotheken führen seit vielen Jahrzehnten 3%ige Lösungen von Wasserstoffperoxid nach wie vor mit großem Erfolg als altes Hausmittel zur Desinfektion der Mundhöhle (Stichwort: „Zahntaschen“), obwohl in [27, Seite 534] zu lesen ist, dass wegen der ätzenden Wirkung auf Schleimhäute heute „von einer Munddesinfektion mit 3%iger H₂O₂-Lösung Abstand genommen wird“.

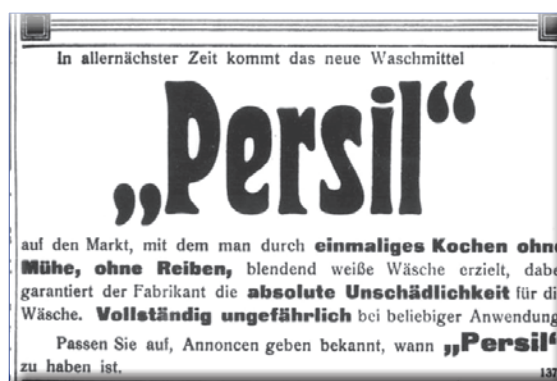


Abbildung 7: Noch bevor die Firma Henkel im Jahr 1907 das Waschmittel PERSIL auf den Markt brachte, wurde in Anzeigen bereits kräftig Werbung dafür gemacht. Wäschewaschen war vor der Erfindung des ersten Vollwaschmittels Schwerstarbeit (Foto: Henkel: www.persil.de).

Dass Bienenhonig eine desinfizierende Wirkung hat, soll angeblich bereits den alten Ägyptern bekannt gewesen sein. Zwei Dutzend Kliniken in Deutschland sammeln jedenfalls seit einiger Zeit deutliche Hinweise darauf, dass Honig („Medihoney“) bei gewissen Wundheilungsprozessen den teuren herkömmlichen Antibiotika antibakteriell sogar überlegen ist [28]. Der Zusammenhang im Staat der Bienen scheint klar: Honigwaben, gefüllt mit dem süßen Vorrat, dürfen natürlich nicht verkeimen. Was die alten Ägypter noch nicht gewusst haben: Das Enzym Glucose-Oxidase im Honig katalysiert an der Luft die Bildung von physiologisch relevanten Mengen an Wasserstoffperoxid (etwa 50 mg/kg Honig [29]). Dabei wird Glucose mit Sauerstoff zu Gluconsäure oxidiert. Das erzeugte Wasserstoffperoxid sorgt offensichtlich auch in dieser niedrigen Konzentration für eine antibiotische Wirkung weil die Verbindung nach dem Verbrauch aus dem riesigen Pool aus Glucose und Luftsauerstoff enzymatisch ständig nachgebildet werden kann.

Wasserstoffperoxid und Folgeprodukte

Über Propylenoxid als Folgeprodukt von H₂O₂ für die Herstellung von bestimmten Kunststoffen wurde bereits weiter oben (Abbildung 4) berichtet [30].

Ganz und gar nicht zufällig deckte sich im Jahr 2007 das 100jährige Jubiläum der ÖCW/Degussa CCE GmbH mit dem 100jährigen Jubiläum des Waschmittels PERSIL der Firma Henkel [31].

Damals wurde nicht nur die großtechnische Gewinnung von Wasserstoffperoxid revolutioniert. Mit der effizienteren Herstellung von Wasserstoffperoxid hatte man auch den Schlüssel zur Herstellung von festen Bleichmitteln für die in Mode kommenden Pulverwaschmittel in der Hand (Abbildung 7). Der Markenname PER-

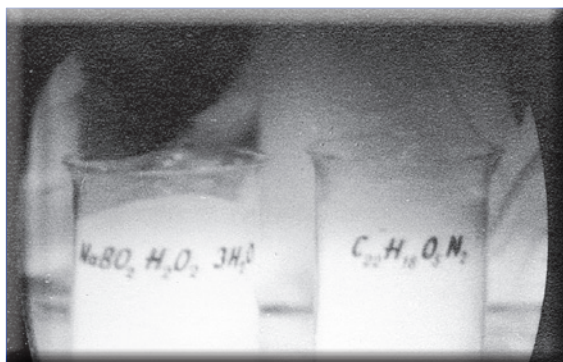


Abbildung 7a: Natriumborat, Wasserstoffperoxid und ein organisches Mittel zeigte Henkel 1969 als Inhaltsstoffe von Persil in der Fernsehwerbung (Foto: Kickuth).

SIL ist bekanntlich eine Wortschöpfung aus den bewährten Waschmittel-Ingredienzien PERborat (Natriumperborat als Bleichmittel) und SILikat (Natriumsilicat als Stabilisator). Natriumperborat und, seit etlichen Jahren aus ökologischen Gründen stark forciert, Natriumpercarbonat sind die mit Abstand wichtigsten Folgeprodukte von Wasserstoffperoxid.

Natriumperborat ($\text{NaBO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Abbildung 7a), eigentlich $\text{Na}_2[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})_4]$) wird mit Hilfe von Wasserstoffperoxid hergestellt und reagiert als Peroxoverbindung in (heißer) wässriger Lösung wie das Bleichmittel H_2O_2 unter Freisetzung von „aktivem“ Sauerstoff. Die Produktionskapazität von Natriumperborat lag im Jahr 2003 allein in Europa noch bei 590 000 Tonnen pro Jahr [32]. Natriumpercarbonat ist im Gegensatz zum Perborat keine definierte Perox- sondern eine Anlagerungsverbindung mit der durchschnittlichen Zusammensetzung $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$. Das Wasserstoffperoxid ist ähnlich dem normalen Kristallwasser in das Gitter von Natriumcarbonat integriert. Die Verwendung von Na-Percarbonat anstelle von Na-Perborat ist eine aktuelle Entwicklung der letzten Jahre. In der 101. Auflage des Standardwerkes Holleman-Wiberg wird Natriumpercarbonat auf über 2000 Seiten noch nicht einmal erwähnt [27]. Versucht man jedoch heute als Standard-Schulversuch in gängigen Vollwaschmitteln das Perborat durch Bildung des grün brennenden Borsäuremethylesters nachzuweisen [33], so wird man kaum mehr fündig werden.

Peressigsäure (Peroxoessigsäure, $\text{CH}_3\text{CO}(\text{O})_2\text{H}$) wird aus Wasserstoffperoxid und Essigsäure hergestellt. Peroxoessigsäure ist ein hervorragendes Desinfektionsmittel, das anstelle von Hypochlorit zum Beispiel im Bereich der Lebensmittelindustrie, in der Landwirtschaft (beim Reinigen von Hühnerställen) und in Brauereien verwendet wird [34].

Keine kommerziell erhältlichen Folgeprodukte von Wasserstoffperoxid aber trotzdem H_2O_2 -



Abbildung 8: Sauerland, September 2007: 730 kg Wasserstoffperoxid im Ferienhaus, offensichtlich gekauft zur Herstellung von unberechenbaren Peroxiden. Die 35%ige Lösung wurde noch vor der Festnahme der Verdächtigen ohne deren Wissen gegen eine 3%ige Lösung ausgetauscht. (Foto: Welt-Online: www.welt.de)

Produkte mit fatalen Folgen sind die brisant-unberechenbaren organischen Peroxide wie TATP (Triacetontriperoxid) und HMTD (Hexamethylen-triperoxididiamin). Insbesondere das instabilere TATP hat als „Mutter des Satans“ im Nahen Osten traurige Berühmtheit erlangt. Vor allem palästinensische Selbstmordattentäter nutzen immer wieder die Möglichkeit, TATP aus relativ einfach beschaffbaren Haushaltschemikalien (Wasserstoffperoxid 35%ig siehe Poolwasserzusatz) herzustellen. Sowohl die Möglichkeit einer relativ sicheren Synthese in Microscale-Mengen, als auch die praktische Demonstration der Brisanz dieser Verbindungen wurden vom Verfasser dieses Beitrags in zwei fachdidaktischen Zeitschriften mehrfach und ausführlich beschrieben [35,36,37].

Im September 2007 wurden im Sauerland/Deutschland in einem Ferienhaus insgesamt 730 kg 35%iges Wasserstoffperoxid in Kanistern ohne Wissen der monatelang (!) observierten Besitzer gegen eine 3%ige Lösung ausgetauscht (Abbildung 8). Damit sollte nach Angaben der Terrorfahnder verhindert werden, dass die verdächtigen Personen TATP (oder HMTD?) nach dem Muster der Londoner Attentäter vom Juli 2005 herstellen konnten. Offensichtlich war man sich nicht sicher, die Aktivitäten der Gruppe auch lückenlos überwachen zu können. Wie die FAZ-Net berichtete, lief die spektakuläre Festnahme tatsächlich nicht ganz ohne Pannen ab [38].

Wie auch immer: Ganz so einfach scheint die Möglichkeit, größere Mengen an wirklich handhabbaren Sprengstoff aus Wasserstoffperoxid herzustellen dann doch nicht zu sein: Wasserstoffperoxid 35%ig wird in beliebiger Menge Online nur mehr an Gewerbebetriebe verkauft, beispielsweise bei der Kroll-Chemie im Osten Münchens für 99,90 Euro (30 kg) inkl. MWSt.

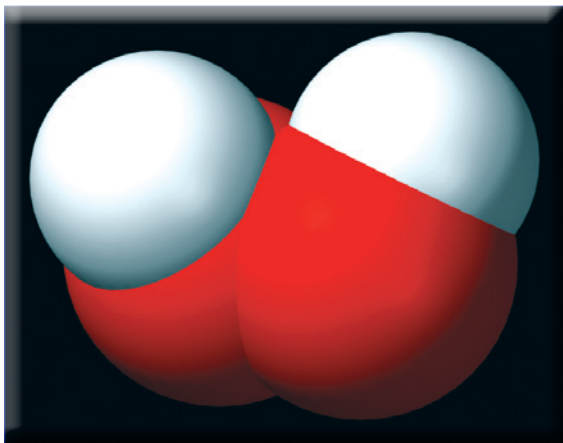


Abbildung 9: Das H_2O_2 -Molekül als Kalotten-Modell, die O-H-Hälften sind gegeneinander verdreht. Der O-O-H-Winkel beträgt $94,8^\circ\text{C}$ [27].

zuzüglich 17,95 Euro Porto (innerhalb Deutschlands) [39].

H_2O_2 – Struktur und Eigenschaften

Aufgrund der höheren Molekülmasse von H_2O_2 (Abbildung 9) im Vergleich zu H_2O ($34\text{u} : 18\text{u}$) und noch mehr Möglichkeiten, zwischen den Molekülen Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden, ist Wasserstoffperoxid deutlich weniger flüchtig als Wasser. Reines, wasserfreies Wasserstoffperoxid ist sogar eine sirupöse Flüssigkeit mit einer Siedetemperatur von $150,2^\circ\text{C}$ und einer vergleichsweise großen Dichte von $1,448\text{ g/cm}^3$ bei 20°C [27]. Die Schmelztemperatur von reinem H_2O_2 liegt wiederum ganz nahe bei der des Wassers: $-0,43^\circ\text{C}$.

35%ige Lösungen haben ihren Gefrierpunkt bei -33°C . Die Siedetemperatur von H_2O_2 35%ig liegt bei 108°C . Durch die deutlich höhere Siedetemperatur von reinem H_2O_2 im Vergleich zu Wasser ist eine Anreicherung von wässrigen Lösungen durch Destillation möglich und auch Stand der Technik. Wobei jedoch bereits in [40] nachzulesen ist, dass das Abdestillieren von Wasser unter Normaldruck nicht selten zu schweren Explosionen führt, wenn die Anreicherung ein gewisses Ausmaß erreicht hat. Deshalb können handelsübliche 30%ige Lösungen bei Bedarf im Labor, wie in [40] auch beschrieben, nur bei stark reduziertem Druck (Wasserstrahlpumpe) und unter Beachtung besonderer Sicherheitsmaßnahmen (Schutzscheibe etc.) destillativ weiter angereichert werden. Von der Industrie werden normalerweise Lösungen bis 70% angeboten, die auch in Tankzügen und Kesselwagons mit den entsprechenden Begleitpapieren transportiert werden dürfen. In Ausnahmefällen (für militärische Anwendungen und Satellitenantriebe) wird auch 85 bis 90%iges Wasserstoffperoxid geliefert, wobei derartige Produkte nur

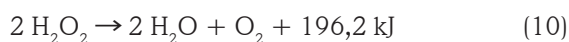


Abbildung 10: Wasserstoffperoxid 30%ig ist brandfördernd und ätzend.

mehr mit behördlicher Sondergenehmigung an ihren Bestimmungsort gebracht werden dürfen [20]. Reinstes H_2O_2 kann nur im Labor mit beträchtlichem (Sicherheits-) Aufwand durch fraktionierte Kristallisation (Ausfrieren der wässrigen Anteile) hergestellt werden.

Die Dichte einer 35%igen Lösung liegt bei $1,13\text{g/cm}^3$. In höheren Konzentrationen hat Wasserstoffperoxid einen leicht stechenden Geruch. Der Dampfdruck der 35%igen Lösung liegt bei 17 hPa bei 20°C . Der MAK-Wert (35%ige Lösung) liegt bei 1 mL Dampf/m^3 beziehungsweise $1,4\text{ mg/m}^3$. Bei 70%igen Lösungen sind diese Werte halbiert: $0,5\text{ mL/m}^3$ und $0,7\text{ mg/m}^3$. Die akute Toxizität einer 35%igen Lösung, gemessen als LD_{50} -Wert (Ratte): 1193 mg/kg [41]. Lösungen über 20% können auf der Haut starke Verätzungen verursachen (R 34) (Abbildung 10). Wasserstoffperoxid-Lösungen reagieren leicht sauer: Der pH-Wert von 35%igen Lösungen liegt zwischen 2 und 4 [41]. Die R-Sätze: 5-8-20/22-35, S-Sätze: 1/2-17-26-28-36/37/39-45.

Als besondere chemische Eigenschaft von Wasserstoffperoxid ist die stark exotherm verlaufende Zersetzung in Wasser und Sauerstoff gemäß Gleichung 10 zu nennen:



1 kg H_2O_2 kann bei vollständiger (katalytischer) Zersetzung über 300 L Sauerstoffgas und bis zu 700 L Wasserdampf (bei Normaldruck) freisetzen. Diese schlagartige Gas/Dampf-Entwicklung

wurde beziehungsweise wird sogar als Rückstoß-Antrieb bei Torpedos verwendet. Bei Zusatz von relevanten Mengen eines fein verteilten heterogenen Katalysators (zum Beispiel MnO_2) kann die Zersetzung von H_2O_2 auch explosionsartig verlaufen. Dass dabei ein normaler Maßkolben nach anfänglicher moderater Dampf- und Sauerstoffbildung mit lautem Knall und verheerender Splitterwirkung richtiggehend gesprengt werden kann, war bis vor kurzem in einem Film in der Online-Video-Welt (Internet-Plattform) „Youtube [42]“ eindrucksvoll dokumentiert. Wenn bei diesem „Schulhof-Versuch“ (Stichwort: „Wasserdampf-Atompilz“), der offensichtlich aus dem Ruder gelaufen ist, Leute daneben gestanden wären, hätte es Tote geben können.

Spuren von Schwermetallen wie Kupfer, Mangan, Eisen, Edelmetalle, aber auch Alkalien können eine langsame Zersetzung katalysieren. Deshalb sollen konzentriertere Lösungen von H_2O_2 nicht in Glasflaschen sondern nur in sauberen Kunststoff-Gebinden aufbewahrt werden, obwohl handelsüblichen Lösungen Stabilisatoren (bis 1000 ppm) enthalten. Als Stabilisatoren fungieren Komplexbildner oder Phosphate, die katalytisch wirkende Metallionen komplexieren. Mit

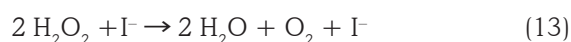
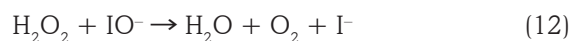
Abbildung 11: Beschriftung einer 1Liter- H_2O_2 -Flasche 30%ig – nach 1 Jahr Lagerung sollte man trotz Stabilisator für ein Gebinde mit Druckentlastung sorgen.



steigendem pH-Wert nimmt die Stabilität von konzentrierten H_2O_2 -Lösungen signifikant ab. Deshalb müssen alle Lager- und Transportbehälter für Wasserstoffperoxid Druckentlastungseinrichtungen (Überdruckventile) besitzen.

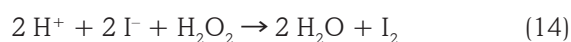
Katalyse und Kinetik

Konzentriertes Wasserstoffperoxid ist vergleichsweise relativ beständig obwohl es sich um eine stark endotherme Verbindung handelt (Gleichung 1). Durch Stoffe wie Platin, Silber, Braunstein, Kaliumpermanganat, Katalase, Peroxidase, Kupfer-, Eisen-, Bromid- und Iodid-Ionen wird der Zerfall nach Gleichung 1 signifikant beschleunigt. Der Reaktionsmechanismus der homogen katalysierten Zersetzung von Wasserstoffperoxid mit mehr oder weniger konzentrierten Kaliumiodid-Lösungen lässt sich in Teilschritten wie folgt skizzieren:



Die katalytische Aktivität von Iodid erniedrigt die Aktivierungsenergie der Zersetzungsreaktion von 76 kJ/Mol auf 57 kJ/Mol [43], wobei solange kein Iodid verbraucht wird, solange die Reaktion im alkalischen Milieu ablaufen kann.

Im sauren beziehungsweise schwach sauren Milieu wird Iodid sehr wohl zu braunem Iod oxidiert, was insbesondere bei der Bildung einer möglichst weiß konzipierten „Elephant's Toothpaste“ nicht besonders hübsch aussieht (Gleichung 14):



Die Bildungsgeschwindigkeit von Sauerstoff v ist nach [3] unter anderem abhängig von der Konzentration an Wasserstoffperoxid und Iodid. (Gleichung 15)

$$v = \frac{d[\text{O}_2]}{dt} = k_1 [\text{H}_2\text{O}_2] \cdot [\text{I}^-] \quad (15)$$

Bei einer vorgegebenen Konzentration des homogenen Katalysators Iodid $[\text{I}^-]$ wird die Reaktionsgeschwindigkeit v (Bildung von Sauerstoff pro Zeiteinheit) nach Gleichung 15 direkt proportional nur der jeweiligen Konzentration an H_2O_2 sein. Es handelt sich also um eine klassische Reaktion 1. Ordnung, wie dies bei katalytischen Prozessen (auch beim Zerfall von H_2O_2 mit Hilfe von Katalasen) normalerweise der Fall ist.

Bei höherer Konzentration des Katalysators Iodid wird auch die Reaktionsgeschwindigkeit

größer sein (Gleichung 15). Will man somit eine möglichst rasche Zersetzung von H_2O_2 zu Sauerstoff und Wasser, wird man die Konzentration des Katalysators möglichst hoch ansetzen.

Mit Zement zu Tabletten verfestigtes Brauneisinpulver (MnO_2) als heterogenen Katalysator wird wegen der stark reduzierten Oberfläche wesentlich weniger effizient katalytisch wirksam sein, als das feine Pulver selbst (in Wasserstoffperoxid suspendiert). Größere Mengen an Brauneisinpulver gemischt mit einigen 100 mL H_2O_2 30%ig katalysieren die stark exotherme Zersetzung mit rasch steigender Geschwindigkeit, weil diese auch den höher werdenden Temperaturen direkt proportional ist. Derartige Mischungen können durch den großen Volumenbedarf der Reaktionsprodukte Sauerstoff und Wasserdampf sehr gefährlich explodieren auch wenn das Reaktionsgefäß nicht verschlossen ist. Brauneisinpulver darf man in klassischen Gasentwicklern (Tropftrichter, Standkolben mit Gasableitung) nur mit gering konzentrierten H_2O_2 -Lösungen (< 5%) in Kontakt bringen.

Experimentelle Möglichkeiten

Die Zeitschriftenpalette der experimentellen Schulchemie hält eine Reihe von praxistauglichen Versuchsvorschriften bereit, mit denen die Zersetzung von Wasserstoffperoxid beziehungsweise die Erzeugung von Sauerstoff qualitativ und quantitativ behandelt werden kann [1-14]. Auch in den gängigsten Experimentierbüchern wird die Gewinnung von Sauerstoff aus H_2O_2 seit vielen Jahren forciert [44,45].

Leider entspricht die skizzenhafte Beschreibung des Low-Cost-Gasentwicklers inkl. „Kolbenprober mit Absperrhahn“ (!) in [45, Seite 59] nicht einmal symbolisch dem tatsächlich funktionierenden Original [46-48].

Während vor 15 Jahren noch mehr als 10% der Kollegenschaft an Österreichs Hauptschulen entsprechend einer repräsentativen Umfrage Sauerstoff für die Glimmspanprobe durch Thermolyse von Quecksilberoxid (!) erzeugt hat [49], sollte sich der Anteil jener Lehrenden, die Sauerstoff komfortabel aus H_2O_2 freisetzen, von damals weniger als 13% deutlich erhöht haben. Schließlich wurden seither hunderte Kolleginnen und Kollegen der österr. Sekundarstufe I in 13 Sommerschulen mit der komfortablen Möglichkeit der Gaserzeugung mittels Low-Cost-Gasentwickler vertraut gemacht [50]. Um kontraproduktiven, weil zeitraubenden und sogar gefährlichen „Verschlimmbesserungen“ entgegen zu wirken, sollen bei dieser Gelegenheit die essenziellen materiellen Rahmenbedingungen bei der Herstellung von Sauerstoff mittels Low-Cost-Gasentwickler nochmals skizziert werden:

Sauerstoff im Low-Cost-Gasentwickler

Material und Chemikalien: Reagenzglas Fiolax 16/160 mit Bördelrand, Weichgummistopfen (Fa. Verneret, grau 18D), zwei Kanülen (1,2/40 mm), schwergängig gemachte Einwegspritze 2 mL ohne Gummidichtung (Luer Konus, Spritzenzylinder innen mit Eisenwolle-Pfropfen 00 vollflächig aufgeraut), Einwegspritze 20 mL mit Gummi-O-Ring-Dichtung (Luer Konus, Fa. ONCE, mit hochsiedendem Siliconöl der Fa. Büchi leichtgängig gemacht), Reagenzglasständer, Reagenzglashalter, Brauneisen-Katalysator-Tabletten (aktives MnO_2 -Pulver und Grauzement trocken im Volumenverhältnis 1:1 gemischt, mit Wasser angeteigt und in leerer Aspirin (500mg)-Plisterverpackung verfestigt), Wasserstoffperoxid 30%ig (am besten in 15 mL Kunststoff-Weithals-Vials von Nalgene).

Herstellung des Gasentwicklers: Die zwei Kanülen werden möglichst parallel im Weichgummistopfen positioniert, wobei der Abstand zwischen den Kanülen etwa 0,5 cm betragen soll. Die abgeschrägten Spitzen der Kanülen werden sofort nach dem Durchstechen des Stopfens



Abbildung 12: Handhabung des Gasentwicklers ohne Stativ und mobil: Stopfen, Kanülen und Reagenzglas werden mit drei Fingern einer Hand fixiert, während mit der anderen das Reagenz zudosiert wird.

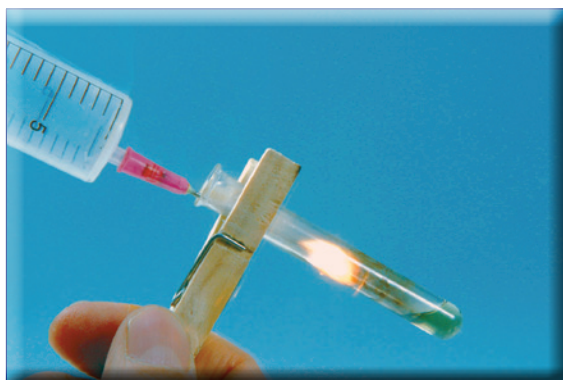
Abbildung 13: Handhabung des Gasentwicklers: einem etwaigen Überdruck wird durch Erzeugung von Unterdruck vorgebeugt. Mit zwei Fingern wird am Spritzenstempel gezogen, ein Finger hält die Spritze in der Kanüle in Position.





Abbildung 14: Nachweis von Sauerstoff durch Aufflammen einer glimmenden Zigarette: Die Kanülenspitze muss in der Nähe der Glutzone sein. Sauerstoff wird in Stößen von je 5 mL (nicht kontinuierlich) zudosiert.

Abbildung 15: Sauerstoffnachweis im Mini-Reagenzglas: Kerzenparaffin wird über die Siedetemperatur hinaus erhitzt. Sauerstoff wird mittels Spritze und Kanüle in 5mL-Portionen rasch in die weißen Paraffin-Schwaden gedüst – das Gemisch explodiert.



gekappt. Aus den spitzen Nadeln entstehen auf diese Weise platz sparende Kapillarröhrchen aus resistentem Chirurgenstahl. Der mit den gekappten Kanülen dauerhaft präparierte Gummistopfen wird zum Verschließen des Reagenzglases verwendet.

Erzeugung von Sauerstoff: Das Reagenzglas wird wegen der reduzierten katalytischen Oberfläche mit mindestens 5 Kat-Tabletten beschickt und mit dem präparierten Gummistopfen fest (!) verschlossen. Die schwergängige 2mL-Spritze wird mit H_2O_2 (30%ig) gefüllt, außen abgespült beziehungsweise mit einem Papiertaschentuch abgewischt und fest (!) auf eine der im Stopfen positionierten Kanülen aufgesetzt.

Mit der leichtgängig gemachten Einwegspritze ONCE 20mL wird die zweite Kanüle fest verschlossen. Stopfen und Reagenzglas werden mit 3 Fingern gehalten, während tropfenweise (!) H_2O_2 ins Reagenzglas dosiert wird. (Abbildung 12). Es wird nicht gewartet, bis sich im Gasentwickler ein größerer Überdruck bildet. Das Entstehen von Sauerstoff und die Leichtgängigkeit des Kol-

bens wird vielmehr durch Ziehen am Stempel überprüft. Dabei wird der Spritzenzylinder mit einem Finger in Position gehalten (Abbildung 13). Die ersten 20 mL an gesammeltem Gas werden verworfen, die weiteren 20mL Portionen bestehen aus ziemlich reinem Sauerstoff, der in mehreren Spritzen auch auf Vorrat gelegt werden kann. Wenn die Aktivität der Kat-Tabletten nicht schnell genug zur gewünschten Zersetzungsgeschwindigkeit führt, sollte man das Reagenzglas und die darin befindlichen Kat-Tabletten mittels Mikrobrenner etwas erhitzen.

Nachweis von Sauerstoff – Aufflammende Zigarette

Material: mit Sauerstoff gefüllte 20 mL-Spritze, Kanüle (1,2/40 mm, abgeschrägte Spitze ausnahmsweise nicht gekappt), Zigarette, Feuerzeug.

Durchführung: Die Zigarette wird in der Mitte abgebrochen, die Kanüle wird zentral durch die Filterzone bis zum Anschlag des Luer-Ansatzes in die Zigarettenhälfte geschoben, so dass die Spitze noch mitten in der Tabak-Zone liegt. Nach dem Anzünden der Zigarette verbindet man die Kanüle mit der mit Sauerstoff gefüllten Spritze und düst stoßweise (!) jeweils etwa 5 mL auf einmal in die Glutzone. Die Zigarette flammt bei jeder Portion Sauerstoff kurz auf (Abbildung 14).

Nachweis von Sauerstoff – Paraffindämpf- Explosionen nach Baumbach [51]

Material: mit Sauerstoff gefüllte 20mL-Spritze, Kanüle 1,2/40 mm (Spitze gekappt), Wäscheklammer aus Holz (als Reagenzlashalter), Mini-Reagenzglas (10/80 mm), Kerzenparaffin (Christbaumkerze), Mikrobrenner (Proxxon)

Durchführung: Das Reagenzglas wird mit kleinen Paraffin-Stücken beschickt und mit dem Mikrobrenner sehr stark erhitzt, bis das Paraffin im Reagenzglas über der gebildeten Schmelze siedet und weiße Schwaden bildet. Die mit Sauerstoff gefüllte Spritze wird mit einer Kanüle versehen, die mit der Spitze etwa 1 bis 2 cm tief ins stark erhitzte Reagenzglas gehalten wird. Nun düst man wieder in ganzen Portionen (jeweils 5 mL) stoßweise Sauerstoff auf die weißen Schwaden, die sich sofort mit einer Stichflamme und lautem Knall entzünden (Abbildung 15).

Quantitative Konzentrations-Bestimmung einer handelsüblichen H_2O_2 -Lösung (30%ig) mittels Low-Cost-Bürette

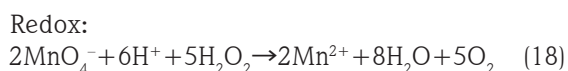
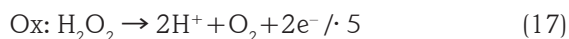
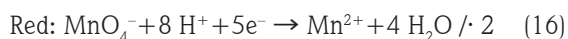
Material: 1L-Maßkolben, 10mL-Vollpipette, 50mL-Becherglas, 10mL-Messpipette (Kunststoff), Gummischlauchstück, passend zur Pipette, 4mm PVC-Schlauchstück (passend in Gummischlauch), 20mL-Spritze ONCE, Einweghahn Luer-Konus und Luer-Lock (Kunststoff, Fa. Semadeni),



Abbildung 16: Manganometrische Bestimmung der handelsüblichen Wasserstoffperoxid-Lösung (30%ig an Masse). Als Low-Cost-Bürette dient eine 10mL-Vollpipette aus Kunststoff, die mittels Gummi- beziehungsweise PVC-Schlauchstück mit dem Luer-Anschluss eines Einweghahnes oder mit der 20mL-Spritze verbunden wird. Das Reagenz wird nur bis zur 0,0mL-Markierung der Pipette (Bürette) angesaugt. Das tropfenweise Zusetzen der Lösung erfolgt durch Drücken auf den geöhlten Spritzenstempel wie bei einer Kolbenhubpipette.

250 mL Erlenmeyer-Kolben, Stativ mit Muffe und Klemme, Standard-Lösung Kaliumpermanganat (0,02 Mol/L), Schwefelsäure konz., dest. Wasser

Durchführung: Gemäß dem Reaktionsschema der Gleichungen 16, 17 und 18:



reagiert Permanganat im sauren Milieu mit Wasserstoffperoxid im Molverhältnis 2:5. Um die handelsübliche Permanganat-Lösung ($c = 0,02 \text{ Mol/L}$) mit einem vernünftigen Verbrauch einsetzen zu können, muss die 30%ige H_2O_2 -Lösung (Gewichtsprozent!) exakt 1:100 mit destilliertem Wasser verdünnt werden. Dazu bedient

man sich eines 1L-Maßkolbens und einer 10mL-Pipette.

Die Dichte einer 30%igen H_2O_2 -Lösung beträgt $1,11 \text{ g/cm}^3$.

In den Erlenmeyerkolben werden exakt 10,0 mL der verdünnten H_2O_2 -Lösung vorgelegt. Dazu kommen noch etwa 3-5 mL konzentrierte Schwefelsäure.

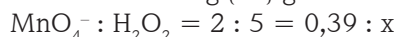
Die Low-Cost-Bürette wird mit den beschriebenen Materialien wie in Abbildung 16 gezeigt zusammengebaut und mit der handelsüblichen Permanganat-Lösung gefüllt.

Die 20mL-Spritze aufgesetzt auf die 10mL-Messpipette funktioniert quasi als Teil einer Kolbenhubpipette. Der dazwischen geschaltete Einweghahn dient als Sicherung gegen Abtropfen nur beim Unterbrechen der Titration.

Ein typischer Verbrauch an Permanganat-Lösung für 10,0 mL der verdünnten H_2O_2 -Lösung beträgt 19,50 mL.

1,0 L Permanganat enthält 0,02 Mol/L MnO_4^- ,
1,0 mL Permanganat enthält 0,02 mMol MnO_4^- ,
19,5 mL sind somit $19,5 \text{ mal } 0,02 = 0,39 \text{ mMol}$ Permanganat.

Gemäß Gleichung (15) gilt:



$$x = 0,975 \text{ mMol } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ (in 10,0 mL Verdünnung)}$$

$$1 \text{ Mol } \text{H}_2\text{O}_2 = 34,02 \text{ g}$$

$$1 \text{ mMol } \text{H}_2\text{O}_2 = 34,02 \text{ mg}$$

$$0,975 \text{ mMol } \text{H}_2\text{O}_2 = 33,2 \text{ mg} = 33,2 \text{ mg (in 10mL Verdünnung)}$$

Die Konzentration der verdünnten Lösung beträgt somit $0,0332 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2 / 10 \text{ g Verdünnung}$.

1 L (= 1000g) Verdünnung enthält somit 3,32g H_2O_2 . Diese Menge wurde als 10,0 mL konz. Lösung vorgelegt. Die Dichte der konz. Lösung beträgt $1,11 \text{ g/mL}$. Somit hatten die 10 mL Probe eine Masse von 11,1g.

$$11,1 \text{ g konz. Lösung} : 100\% \text{ Masse} = 3,32 \text{ g } \text{H}_2\text{O}_2 : x$$

$$x = 29,9\% \text{ (Masse)}$$

Die genaue Spezifikation der untersuchten Lösung entsprechend der Angabe auf der Flasche: 30,43 % (Masse). Erwartungsgemäß hat die Lösung im Lauf der Jahre etwas an Gehalt verloren.

Sauerstoffschaum nach Maß

Material: 250 mL Messzylinder, Wasserstoffperoxid-Lösung ($c = 29,9\% \text{ Masse}$), Messpipette 2 mL, Messpipette 10 mL, 10mL-Spritze, dest. Wasser, Spatel, Waage (Genauigkeit 0,01g), KI, Spülmittel, NaOH ($c = 0,1 \text{ Mol/L}$)

Durchführung: Herstellung der Katalysatorlösung: 7,5 g KI werden in 5 mL dest. Wasser, gemischt mit 5 mL NaOH ($c = 0,1 \text{ Mol/L}$) gelöst.

Es sollen nicht mehr als 250 mL Sauerstoffschaum erzeugt werden. $V = 0,25 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Dazu ist die dafür notwendige Wasserstoffperoxid-



Abbildungen 17-20: Bildung einer vorausberechneten Sauerstoffschaum-Säule im 250 mL-Messzylinder. Mittels aufflammendem Holzspan lässt sich der eingeschlossene Sauerstoff auch nachweisen.

Menge zu errechnen. Annahme: Der erzeugte Sauerstoff hat eine Temperatur von 25°C (298 K) bei 1 bar (= 10⁵ Pa).

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = p \cdot V \cdot (R \cdot T)^{-1}$$

$$n = 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 (8,31 \cdot 298)$$

$$n = 0,01 \text{ Mol Sauerstoff (= 250 mL).}$$

0,01 Mol Sauerstoff entsteht gemäß Gleichung 1 aus 0,02 Mol H₂O₂

Zum Füllen des 250 mL-Messzylinders mit Sauerstoff(schaum) sind somit 0,02 Mol H₂O₂ als Reagenz notwendig.

Die H₂O₂-Lösung hat eine tatsächliche Konzentration von 29,9% Masse.

Die Dichte beträgt 1,11 g/mL

1,11 g/mL enthalten 29,9% H₂O₂

$$1,11 \text{ g} : 100\% = x : 29,9\%$$

$$x = 0,33 \text{ g H}_2\text{O}_2$$

1 mL der konz. Lösung enthält somit 0,33 g H₂O₂ (entsprechend 0,33g:34,02g sind dies 0,0097 Mol)

1 mL H₂O₂-Lösung entspricht 0,0097 Mol

$$x = 0,02 \text{ Mol}$$

$$1,0 \text{ mL} : 0,0097 \text{ Mol} = x \text{ mL} : 0,02 \text{ Mol}$$

$$x = 2,0 \text{ mL H}_2\text{O}_2\text{-Lösung}$$

Im 250 mL-Messzylinder werden somit mittels 2mL-Pipette exakt 2,0 mL H₂O₂-Lösung (ziemlich genau 30%ig) vorgelegt. Es ist darauf zu achten, dass die Wasserstoffperoxid-Lösung dabei nicht mit der Wand des Messzylinders in Kontakt kommt. Zum H₂O₂ am Boden des Gefäßes kommt etwa die gleiche Menge an Spülmittel, das mit gut mit der Peroxid-Lösung vermischt wird. Nun setzt man zügig aus einer 10mL-Spritze 5 mL der vorbereiteten Katalysator-Lösung (10 mL alkalische KI-Lösung, siehe oben) zu und schwenkt rasch um. Am Beginn wird das Gemisch wärmer als 25°C. Durch die nur schwach alkalische Lösung entsteht auch etwas braunes Iod entsprechend Gleichung 14. Der Schaum mit dem eingeschlossenen Sauerstoff steigt zu Beginn deshalb rasch hoch, bremst sich dann aber so ein, dass sich die obige Berechnung bestätigt und die Schaumsäule ziemlich genau bei 250 mL stehen bleibt. Was für Lernende nach getaner Arbeit (Rechnung) immer sehr spannend und eindrucksvoll ist. Offensichtlich wird der durch homogene Katalyse unter diesen Bedingungen gebildete Sauerstoff fast vollständig im Spülmittelschaum eingeschlossen.

Der so gesammelte Sauerstoff lässt sich mittels brennendem (wegen der Feuchtigkeit des Schaumes nicht glimmenden!) Holzspan auch nachweisen. Ein Span mit kleiner Flamme brennt beim langsamen (!) Absenken in den Schaum stärker auf (Abbildungen 17-20).

Der Versuch lässt sich auch in beliebig größerem Maßstab ausführen. Wenn man beispielsweise das Volumen von großen, schlanken Blumenvasen ausmisst, kann man die benötigte Peroxid-Menge analog berechnen. Entsprechend den größeren Mengen sind auch mehr Spülmittel und Katalysator-Lösung notwendig (Abbildung 21

von der Closing-Lecture beim Europ. Chemielehrerkongress 1999 in Alpbach).

Elephant's toothpaste

Unter „Elephant's toothpaste“ findet man beim „Googeln“ über 9200 Eintragungen die zeigen, dass das Experiment Amerika seit Jahrzehnten außerordentlich beliebt ist (siehe auch unzählige Videos in der Internetplattform „Youtube“). Die „Elefanten-Zahnpasta“ hat mittlerweile auch den Weg in den deutschsprachigen Raum gefunden. Neben dem in Deutschland legendären, rasch wachsenden „Zauber-Himbeereis“ (Wasserstoffperoxid vermischt mit Schweineblut) gibt es mittlerweile eine übersäumende Versuchsvorschrift ohne Blut [52].

Das folgende Rezept wurde jedoch so konzipiert, dass sowohl der Verbrauch an Chemikalien als auch die Bildung von Abfall im normalen Schulexperiment in Grenzen gehalten werden. Ein Gramm Kaliumiodid zur Zubereitung der Katalysatorlösung kostet durchschnittlich doch schon mehr als 30 Cent und 7,5 Gramm werden bei einem Versuch verbraucht...

Der gewünschte Effekt in der vorgeschlagenen 500mL-Kunststoffflasche mit kleiner Öffnung ist sogar hübscher als die Reaktion im häufig kolportierten weiten Becherglas. Unter den vorgegebenen Bedingungen läuft die Reaktion trotz der engen Flaschenöffnung nicht so heftig ab, dass die „Zahnpasta“ an der Decke klebt und unnötig Arbeit macht. Die Bildung des Schaumes geschieht dennoch ausreichend schnell; eben so, als ob ein Elefant auf eine riesige „Tube“ drücken würde (Abbildung 22).

Material: 330ml-PET-Flasche mit Schraubverschluss, Glas- oder Kunststoffwanne, Becherglas, 10mL-Pipette mit Peleus-Ball, 10 mL-Spritze, H_2O_2 -Lösung (30%ig), Spülmittel, Katalysator-Lösung.

Durchführung: Aus dem Original-Gebinde wird etwas Wasserstoffperoxid-Lösung in ein Becherglas gegeben. Mittels Peleus-Ball und Pipette werden davon 10,0 mL in die 330ml-PET-Flasche transferiert. Zur H_2O_2 -Lösung gibt man etwa 5 mL Spülmittel. Nach dem Vermischen setzt man mittels Kunststoffspritze 10 mL Katalysator-Lösung zu und mischt erneut rasch. Die Flasche wird sofort in das vorbereitete Auffanggefäß gestellt. Fast augenblicklich tritt aus der Flaschenöffnung Schaum aus. Das voluminöse Reaktionsprodukt kann mit viel Wasser über die Kanalisation entsorgt werden.

CLB



Abbildung 21: Mega-Sauerstoffschaumsäule in Vasen mit definiertem Volumen, gezeigt beim Europ. Kongress in Alpbach 1999.

Abbildung 22: Die „Elephant's toothpaste“ wohldosiert: Größere Mengen an Ausgangsstoffen machen nur mehr Arbeit und kosten auch Geld.



Literatur siehe Folgeseiten

Literatur

- [1] H. L. Wikoff, J. B. Brown, An experiment suitable for the demonstration of the preparation and properties of oxygen and of enzyme action (catalase). *J. Chem. Educ.* 3 (1926) p. 1434
- [2] M. Haight, A convenient method for testing the strength of hydrogen peroxide. *J. Chem. Educ.* 6 (1929) p. 2234
- [3] D. Büttner, H. Schmidkunz, Kinetische Untersuchungen mit dem X-T-Schreiber CQ 75 C der WPA Ltd. (VI). *PdN-Ch*, 27 (1978), Heft 6, S. 18 – 23
- [4] G. E. Carter, The feasibility of using hydrogen peroxide decomposition studies for high school chemistry (GB). *J. Chem. Educ.* 63 (1986) p. 159
- [5] J. H. Bedenbaugh, A.O. Bedenbaugh, T.S. Heard, Oxygen from hydrogen peroxide: A safe molar volume mass experiment. *J.Chem.Educ.* 65 (1988) p. 455
- [6] B. Lutz, V. Müller, Katalyse in Natur und Technik. Die Natur, das große Vorbild. *NiU-C Heft 11* (1992) S. 18-23
- [7] G. S. Moran, Untersuchung des Zerfalls von Wasserstoffperoxid. *NiU-C*, Heft 23 (1994), S. 46-47
- [8] J. C. Hansen, The Iodide-Catalyzed Decomposition of Hydrogen Peroxide: A Simple Computer-Interfaced Kinetics Experiment for General Chemistry. *J. Chem. Educ.* 73 (1996) p. 728
- [9] V. Davydow, Chemie treibt Räder an – eine chemische Reaktion verrichtet Arbeit. *MNU* 50 (1997) Heft 2, S. 108
- [10] P. W. Martin, Gase im Seifenschaum. *CHEMKON* 4 (1997), Heft 2, S. 85-87
- [11] R.O. Ragsdale, J. C. Vanderhooft, P.A. Zipp, Small-Scale Kinetic Study of the Catalyzed Decomposition of Hydrogen Peroxide. *J. Chem. Educ.* 75 (1998) p. 215
- [12] B. Kardow, Unser Konzept zur Gestaltung des letzten Unterrichtsstunde. *ChidS* (Berlin) 45 (1998) S. 165-168
- [13] C. J. Marzzacco, The Enthalpy of Decomposition of Hydrogen Peroxide: A General Chemistry Calorimetry Experiment. *J. Chem. Educ.* 76 (1999) p.1517
- [14] R. Heimann, Wasserstoffperoxid aus chemischer und biologischer Sicht. *MNU* 57 (2004) Heft 1, S 13-19
- [15] I. Parchmann, B. Ralle, Chemie im Kontext – ein Konzept zur Verbesserung der Akzeptanz von Chemieunterricht. *Chemieunterricht im Spannungsfeld Gesellschaft - Chemie – Umwelt* (Hrsg.: A. Kometz), 12ff, Cornelsen-Verlag, Berlin (1998)
- [16] Hydrogen peroxide OEL Criteria Document CAS No. 7722-84-1. ISSN-0773-8072-10, Ecetoc, Brussels, 1996
- [17] R. A. Jörres, Stickstoffmonoxid und Wasserstoffperoxid in der Ausatemluft als Marker entzündlicher Aktivität. Dissertation des Fachbereiches Chemie der Universität Hamburg 2002, S. 57
- [18] C. D. Putnam, A. S. Arvai, Y. Bourne, J. A. Tainer, Active and inhibited human catalase structures: ligand and NADPH binding and catalytic mechanism. *J.Mol.Biol.* 296 (2000) p. 295 - 309; PDB (Protein Data Bank): <http://www.pdb.org/pdb/explore.do?structureId=1DGF> (Stand: 2. 12. 07)
- [19] H. Schildknecht, K. Holoubek, Die Bombardierkäfer und ihre Explosionschemie V. Mitteilung über Insekten-Abwehrstoffe. *Angewandte Chemie* 73 (1961), Heft 1, S. 1-7
- [20] H. Offermanns, G. Dittrich, N. Steiner, Wasserstoffperoxid in Umweltschutz und Synthese. *ChiuZ* 34 (2000), Heft 3, S. 150-159
- [21] W. Manchot, *Liebigs Annalen der Chemie* 177 (1901), S 314
- [22] W. E. Thiel, Neue Wege zu Wasserstoffperoxid: Alternativen zu etablierten Prozessen? *Angewandte Chemie*, 111 (1999) S. 3349-3351
- [23] http://corporate.evonik.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Corporate/en/Investor-Relations/Portrait/Portrait_Wasserstoffperoxid_-_englisch.pdf
- [24] <http://www.chemie.de/news/d/630/>
- [25] <http://www.bleaching-studio.at/html/zahnaufhellung.html>
- [26] http://cgi.ebay.de/Soechting-Oxydator-A-fuer-400-Liter-Oxydatorloesung-6_W0QQitemZ160349039137QQcmdZViewItemQQptZde_haus_garten_tierbedarf_fische?hash=item25558c2a21
- [27] A.F.Holleman, E. Wiberg, N. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, Walter de Gruyter, Berlin, New York 1995
- [28] <http://www.stern.de/gesundheitsnews/wundheilung-honig-wirkt-besser-als-antibiotika-566537.html>
- [29] A. Deifel, Die Chemie des Honigs. *ChiuZ* 23 (1989), Nr. 1, S. 25-33
- [30] http://www.dgmk.de/petrochemistry/abstracts_content13/Bredemeyer.pdf
- [31] <http://www.persil.de> und <http://www.verantwortung-zeigen.at/fileadmin/templates/vz/download/ubgp/de-gussa.pdf>
- [32] Thieme Römpf Online: <http://www.roempp.com>
- [33] V. Obendrauf, Methanol für Unbefugte? Ausnahme vom ChemG spart Zeit und Geld. *Chem.Sch.(Salzbg.)* 22 (2007) Heft 2, S. 4-16
- [34] B. Oliver-Daumen, Kaltseptische Abfüllanlagen Hardwarekomponenten Siehe: http://www.vod-engineering.com/artikel_aseptik_flo_2004_6.pdf
- [35] V. Obendrauf, Mit Links zur fatalen Sprengchemie. Internetrezepte für TATP und HMTD aus Haushaltschemikalien. *Chem.Sch.(Salzbg.)* 20 (2005) Heft 2, S. 3-9
- [36] V. Obendrauf, Peroxide is suicide bomber's weapon of choice...Aus aktuellem Anlass: TATP und HMTD da capo. *Chem.Sch.(Salzbg.)* 20 (2005) Heft 3, S. 3
- [37] V. Obendrauf, Aufklärung tut not: Gefährliche Peroxide. *CHEMKON* 12 (2005) Nr. 4 S. 165-170
- [38] <http://www.faz.net/s/RubF359F74E867B-46C1A180E8E1E1197DEE/Doc~E9A96C16C02924E21BAD215F7FD0F24B7~ATpl~Ecommon~Scontent.html>
- [39] <http://www.kroll-chemie.de/index.php?cat=c245>

- [40] O. Kühling, Karl Heumanns Anleitung zum Experimentieren bei Vorlesungen über Anorganische Chemie, 3. Aufl., Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1904, S. 211 ff
- [41] http://www.hedinger.de/uploads/media/Wasserstoffperoxid_35_v006_01.pdf
- [42] <http://www.youtube.com/watch?v=wpBeGZCw318> (Stand: 02. 12. 07)
- [43] B. Lutz, V. Müller, Katalyse in Natur und Technik. Die Natur das große Vorbild. NiU-C Heft 11 (1992) S. 18-23
- [44] K. Häusler, H. Rampf, R. Reichelt, Experimente für den Chemieunterricht, Oldenbourg Verlag, München 1991, S. 84
- [45] W. Glöckner, W. Jansen, R.G. Weißenhorn (Hrsg.), Handbuch der experimentellen Schulchemie, Sekundarbereich II, Band 1, Aulis Verlag Deubner, Köln 2002, S. 231
- [46] V. Obendrauf, Experimente mit Gasen im Minimaßstab, ChiuZ 30 (1996), Heft 3, S. 118-125
- [47] V. Obendrauf, Die Low-Cost-Lachgas-Kanone, PdN-Ch 48 (1999), Heft 3, S. 35-42
- [48] V. Obendrauf, Gasexplosionen in der Low-Cost-Kanone. In: Chemisches Feuerwerk: 50 effektvolle Schaulversuche, Nick, Parchmann, Demuth (Hrsg.), Aulis Verlag Deubner, Köln 2001, S. 37-47
- [49] V. Obendrauf, Physik und Chemie wurden streichfähig gemacht. Umfrage zur schulautonomen Stundenplanung an Österreichs Hauptschulen, Chem.Sch. (Salzbg.) 9 (1994), Heft 3, S. 1-4
- [50] <http://www.vcoe.or.at/verband/files/SS06-HS-Programm.pdf>
- [51] Das spektakuläre Reaktionsgeschehen wurde mit Sauerstoff aus der Stahlflasche, abgefüllt in Glas-Kolbenprobern und mit Materialien aus dem Mikrogasbaukasten (Mikroheizgerät) von E. Baumbach (Ostfildern, D) beim 6. Europ. Chemielehrer-Kongress 2001 in Wien demonstriert.
- [52] H. Brandl, Trickkiste Chemie, Aulis Verlag Deubner, Köln 2006, S. 139

Wasserstoffperoxid – entscheidend beim Ergrauen der Haare im Alter

Wissenschaftler der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und der University of Bradford in Großbritannien haben im vergangenen Jahr das Geheimnis um die Grau- oder auch Weißfärbung der Haare im Alter gelüftet. Demnach sind Sauerstoffradikale maßgeblich an dem Verlust der Haarfarbe beteiligt. Ausgangspunkt des gesamten Prozesses ist Wasserstoffperoxid. Bei zunehmendem Alter wird es in den Haaren vermehrt gebildet und verhindert schlussendlich die Herstellung des Farbpigments Melanin.

Wasserstoffperoxid entsteht beim Stoffwechsel überall im menschlichen Körper in kleinen Mengen, so auch im Haar. Mit dem Alter nimmt die Menge jedoch zu, weil der Körper mit dem Abbau von Wasserstoffperoxid in die beiden Bestandteile Wasser und Sauerstoff nicht mehr nachkommt. Die Wissenschaftler haben herausgefunden, dass ein dafür verantwortliches Enzym namens Katalase, das normalerweise Wasserstoffperoxid neutralisiert, in den Zellen nur noch in sehr geringer Konzentration vorkommt. Dies hat Konsequenzen: Wasserstoffperoxid greift das Enzym Tyrosinase an und oxidiert dabei die Aminosäure Methionin. Durch diesen Oxidationsvorgang wird die Funktion des Enzyms Tyrosinase so stark beeinträchtigt, dass es kein Melanin mehr bilden kann. Jetzt kennt man die genaue Molekuldynamik dieses Vorgangs.

Die Oxidation durch Wasserstoffperoxid legt jedoch nicht nur die Melaninproduktion lahm, sondern beeinträchtigt auch noch weitere Enzyme, die zur Wiederherstellung der beschädigten Eiweißbausteine benötigt werden. So kommt eine Kaskade von Ereignissen in Gang, an deren Ende der allmähliche Verlust der Pigmente im gesamten Haar steht.

Die geheimnisvollen Pflanzen der Druiden

Misteln: Mythen – Inhaltsstoffe – Anwendungen

Wolfgang Hasenpusch, Universität Siegen



Abbildung 1:
Von Misteln
heimgesuchte
Laubbäume (Foto:
Chin tin tin)..

Im Winter, wenn die Laubbäume in ihrem nackten Geäst dastehen, erkennt man die immergrünen, dichten Mistelballen am besten (Abbildung 1). Viele Mythen ranken sich um diese Halbschmarotzerpflanze seit dem Altertum. Sie gilt als Glücksbringer und als Heilpflanze gegen mannigfache Krankheiten. Sogar eine fragwürdige anthroposophische Misteltherapie ist heute weit verbreitet. Doch alle Teile der Mistelpflanze sind so giftig, dass von einer Eigetherapie dringend abzuraten ist. Neben der Biologie der bei uns hauptsächlich verbreiteten „Weißbeerigen Mistel“ (*Viscum album*) und der pharmazeutischen Anwendung soll vor allem auch auf ihre giftigen Inhaltsstoffe hingewiesen werden.

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.

Die Biologie der Mistel

Die „Weißbeerige Mistel“ mit dem lateinischen Namen des Linné-Systems „*Viscum album*“ zählt zur Gattung der Misteln (*Viscum*) und zur Familie der Sandelholzgewächse [1, 2]. Sie sitzt als immergrüne Halbschmarotzerpflanze auf den Ästen von bevorzugten Laubbäumen und entzieht ihnen einen Teil der aufsteigenden Säfte mit ihren darin gelösten Mineralsalzen. Zur Assimilation ist die Mistel selbst fähig und unabhängig von der Wirtspflanze, die ihre Blätter in der kalten Jahreszeit verliert.

Im Laufe der Jahre wachsen die Misteln aus den Samen der weißen, klebrigen Beeren, die bereits einen grünen herzförmigen Keim enthalten, zunächst fächerförmig, dann kugelförmig heran (Abbildung 2). Die immer dichter werden Mistelkugeln können einen Durchmesser von einem Meter erreichen und über 15 Jahre alt werden. Die an einem kurzen Stiel aus der Rinde des Wirtsbaumes herauswachsenden Misteln verzweigen sich zunächst weitgehend symmetrisch nach zwei Seiten, später auch in weiteren Verästelungen.

Die lederigen Blätterpaare sitzen an den Enden der verzweigten Äste. Die Äste werden vom Wirtszweig ausgehend immer dünner und länger, wie beispielsweise in der Reihenfolge 2,5 – 4,5 – 5,5 – 7,5 – 8,0 cm. Die eingeschlechtlichen unscheinbaren Mistelblüten sitzen in den Gabelungen der Mistel. In den Sommermonaten von Juni bis September blühen die Misteln. Als Früchte der Weißen Mistel sind die weißen halbtransparenten Beeren in den Gabelungen bekannt, an denen sich die Vögel besonders auch im Winter laben können. In den Beeren befinden sich die grünen Samen, umgeben von einer farblosen, klebrigen Fruchtfleisch-Masse.

Diesem klebrigen Schleim, mit dem die Vögel Samen zu benachbarten Ästen oder Bäumen transportieren, ist auch zum Teil die Verbreitung zu verdanken. Eine weitere Ausbreitung der Mistelbestände verläuft über die Verdauungsverbreitung. Denn die Samen sind derart resistent, dass sie im Magen der Vögel nicht verdaut werden. Aus dem Vogelkot, der auf passenden Wirtszweigen abgelegt wird, können sich die Samen erneut in die Rinde bohren und verankern. Ab-

bildung 3 zeigt eine einjährige Mistelpflanze auf ihrem Wirtsast.

Das Verbreitungsgebiet der Weißen Misteln sind die milderen Regionen Skandinaviens bis hinunter nach Südeuropa. Sie wächst bevorzugt auf Obstbäumen, Linden, Pappeln, Robinien, Ahorn und Weißdorn. Jedoch auch auf Tannen und Kiefern wird sie gesehen. In Obstplantagen kommt es zu merklichen Ernteverlusten, da den Früchten ein Teil des Nährstoffangebots durch die Mistel entzogen wird.

Das Holz der Mistel ist relativ dicht und hart, enthält auch schwache Jahresringe. Die Holzdicke mit der gleichmäßig grünen Rinde schwankt zwischen 1,5 und 1,8 g/cm³, wie durch Wägung und Abmessungen leicht nachzuprüfen ist.

Die Dichte lässt sich auch aus der Sinkgeschwindigkeit in Wasser errechnen: aus der auf dem Stokes-Gesetz basierenden Gleichung

$$\text{Viskosität}_{\text{Wasser}} = \frac{2 r^2 (D_k - D_w) g}{9 v} \text{ oder } 9 v \text{ Viskosität}_{\text{Wasser}} / 2 r^2 g + 1,0,$$

wobei r = Radius des Mistelzweiges, D_k = Dichte des Mistelzweigstückes, D_w = Dichte von Wasser (=1,0), g = Erdbeschleunigung 9,81, v = Fallgeschwindigkeit.

Da die Viskosität des Wassers 1,0 ist, der Mistelastdurchmesser 7 mm betrug und die Sinkgeschwindigkeit mit 14 Sekunden pro Meter gemessen wurde, errechnet sich aus diesen Messdaten eine Dichte von 1,52 g/cm³.

Die Blätter der Mistel sind in der Regel fünf bis sieben Zentimeter lang und ein bis zwei Zentimeter breit. Allerdings lassen sich auch Mistelblätter mit einer Länge von 10 cm finden (Abbildung 4). Die Relation dieser Abmessungen folgt in etwa der Gleichung:

Blattbreite = ¼ x Blattlänge oder Blattlänge = 4 x Blattbreite (Abbildung 5). Zwischen kleineren und größeren Blättern besteht in dieser Relation kein Unterschied.

Der Wuchs der Mistelpflanze auf dem Wirtszweig erfolgt relativ symmetrisch, wobei die Zweige immer dünner und länger werden. Eine leichte Asymmetrie lässt aus der Lage und der unterschiedlichen Abschattung der Seiten erklären.

Die Wuchsgeschwindigkeit zielt zunächst auf eine zweidimensionale Verbreiterung der Halbschmarotzerpflanze ab. Später verstärkt sich auch die dritte Dimension zu einer kugeligen Ausprägung. Die Wachstumsgeschwindigkeit in der Breite beziehungsweise Durchmesser wurde in Abbildung 6 abgeschätzt.

Ein weiteres Experiment zeigt die Austrocknungsgeschwindigkeit der weißen Beeren nach dem Separieren von der Pflanze bei 22°C (Abbildung 7). Die gallertartige Fruchtfleischmasse



Abbildung 2: Weißbeerrige heimische Mistel als Detail-Grafik und Foto.



Abbildung 3: Junger Misteltrieb.

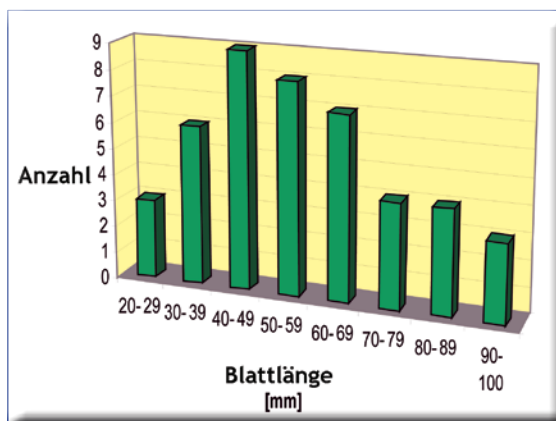


Abbildung 4: Blattlängen-Verteilung der abgefallenen Mistelblätter (März).

trocknet rosinenartig ein. Sie besteht aus über 70% aus Wasser.

Obwohl Dutzende, ja Hunderte von Mistelarten und -unterarten bekannt sind und auch nach ihren Wirtsbäumen unterschieden werden, sei noch auf die Eichenmistel, *Loranthus europaeus*, hingewiesen (Abbildung 8). Sie bevorzugt Eichen

Abbildung 5: Breite-Länge-Relation von Mistelblättern.

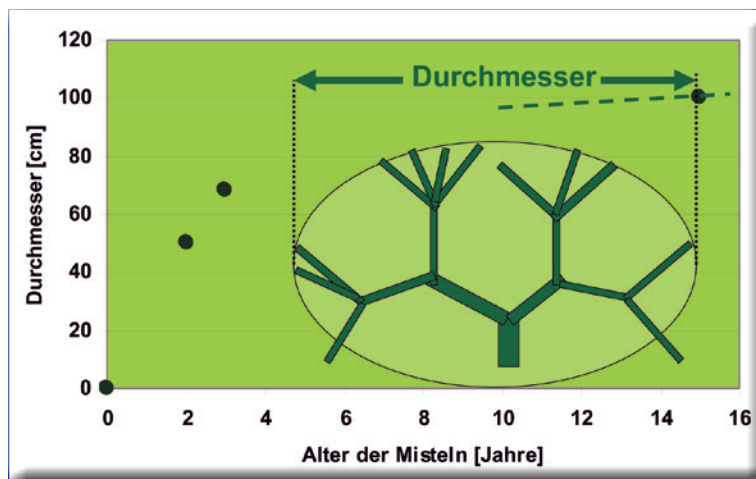
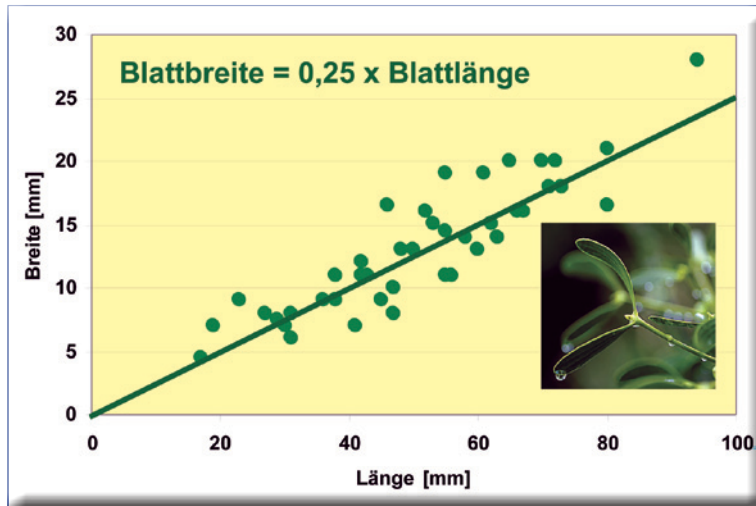
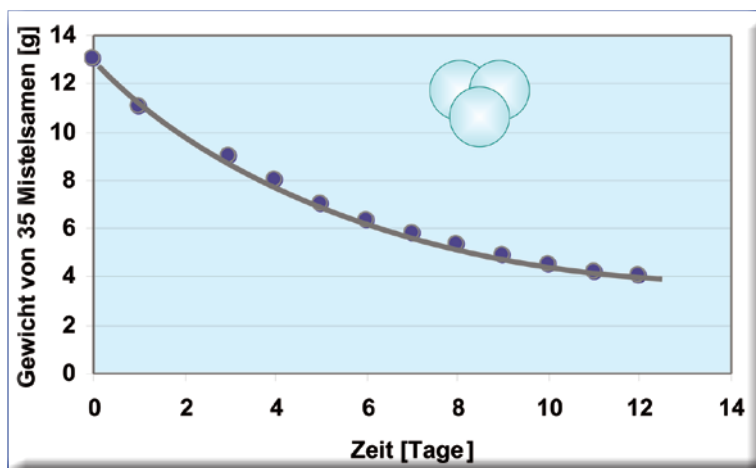


Abbildung 6: Wachstum der Misteln: nach 15 Jahren Kugel von 100 cm Durchmesser.

Abbildung 7: Austrocknung der separierten Mistelsamen.



und Esskastanien. Man findet sie im nordöstlichen Mittelmeerraum, Niederösterreich, Tschechien bis in die Sächsische Schweiz [3]. Sie trägt gelbe Beeren und verliert im Herbst ihre Blätter.

Aus den Beeren der Eichenmistel stellte man früher einen hochviskosen Leim („Vogelleim“) her, mit dem man an bestrichenen Ästen Vögel gefangen hatte. Von dem lateinischen Wort „viscum“ für Mistel leitet sich auch der Begriff „Viskosität“ für Zähflüssigkeit ab.

Entsprechend einfach ist die künstliche Vermehrung der Misteln: das Anheften der klebrigen Beeren an die Baumrinde reicht aus, um dort eine neue Mistelpflanze entstehen zu lassen.

Seit Jahrzehnten wird im Institut Hiscia erfolgreich die Eichenmistel kultiviert. Natürliche Vorkommen sind im Wesentlichen auf Frankreich beschränkt und zählen dort nur wenige hundert Exemplare.

Grundlage für die Kultivierung ist die Tatsache, dass sich die genetisch-physiologische Disposition mistelempfindlicher Eichen bei vegetativer und generativer Vermehrung auf Nachkommen übertragen lässt. Der Anteil mistelempfindlicher Eichen kann beim Pfropfen von Edelreisern bis zu 100 % erreichen und bei der Aussaat von Eichen immerhin 20% betragen.

Die Eichenmistel wächst nur selten auf Eichenbäumen, mehr auf Birken, Buchen, Weiden, Linden, Apfel-, und Birnbäumen. Sie ist eine Schmarotzerpflanze, deren einjährige und zweijährige Äste, besonders im frischen oder getrockneten Zustand, gegen Kinderkrämpfe und Epilepsie ein sehr wirksames Mittel sind.

Das Mysterium „Mistel“

Nicht erst seit dem Zauberkraut zur Stärkung von Asterix wird der Mistel eine geheimnisvolle Wirkung zugesprochen. Die Mythologie der vergangenen Jahrtausende kennt diverse mystische Geschichten um die Misteln:

Die Druiden, die Priester der Kelten bestiegen weiß gekleidet die Bäume und schnitten die Misteln für rituelle Handlungen. Der Überlieferung nach verwendeten sie dazu goldene Sichel und keines der geernteten Mistel-Büschel durfte dabei den Erdboden berühren.

Schon in der griechischen Mythologie kam die Mistel vor, als Äneas mit der „Goldenen Zauberrute“ in die Unterwelt eindringen wollte, und auch dem Gott Merkur soll sie zum Öffnen des Hades gedient haben.

Die Germanen sahen die Misteln als Geschenk des Himmels an, denn sie glaubten, dass Götter die Mistelsamen in die Bäume streuten. Nach ihren Sagen tötete der Gott Loki den Göttersohn Balder des Götterpaares Odin und Friggs mit einem Mistelzweig.

Sicherlich wurde der Mistel die Zauberkraft zugeschrieben, weil sie anders als andere Pflanzen, nicht in der Erde wächst.

Heute gehören Küsse unter einem Mistelzweig zu den Weihnachtsbräuchen in den USA und in England. In der Schweiz gilt der Mistelzweig als Fruchtbarkeitssymbol.

Pharmazeutischer Einsatz der Mistel

Die Mistel findet ihren pharmazeutischen Einsatz als Kaltauszugs-Tee mit innerer und äußerlicher Anwendung sowie als Begleiter in der Krebstherapie. Die Pharmazie bietet auch sorgfältig getrocknete Mistel-Präparate für die Tee-Zubereitung an (Abbildung 9).

Mistel-Kaltauszug für innere Anwendungen

Vor allem diesen mystischen Geschichten um den Mistelstrauch war es zu verdanken, dass unsere Vorfahren die zugesprochene Kraft der Mistel schon nachweislich im 5. Jahrhundert vor Christi Geburt nutzten. Seit dem ersten Jahrhundert nach Christi sind Behandlungen bei Fallsucht bekannt. Man schrieb diese Krankheit den bösen Geistern zu.

Kräuterkundler des Mittelalters nutzten die Mistel als Heilkraut für diverse Krankheiten. Die Benediktinerin Hildegard von Bingen (1098 – 1179) empfahl einen Mistelsud gegen erfrorene Gliedmaßen, und der Wasser- und Kräuterpfarrer Sebastian Kneipp (1821 – 1897) setzte die Mistel in Wörishofen zum Blutstillen ein [4].

Aufgrund ihrer magischen Bedeutung galt die Mistel seit frühesten Zeiten als Allheilmittel. Heute wird sie vor allem gegen Bluthochdruck und therapiebegleitend gegen Krebs eingesetzt. Aufgrund der giftigen Substanzen sind die Anwendungen nur unter ärztlicher Aufsicht durchzuführen.



Abbildung 8:
Eichen-Mistel.

Für Tees empfehlen sich Kaltauszüge, so dass sich die giftigen Stoffe, wie Viscalbin und Viscotoxin weniger lösen. Zudem soll auch die Heilwirkung von warmen Auszügen abnehmen. Diese Tees helfen bei Bluthochdruck, Herzschwäche und Arteriosklerose. Sie regulieren auch einen zu niedrigen Blutdruck über die Normalisierung des Kreislaufs und die Stärkung des Herzens. Der Tee wirkt zudem verdauungs- und stoffwechselfördernd. Darüber lassen sich auch rheumatische Beschwerden mildern.



Abbildung 9:
Weißbeerrige
Mistel und die
getrockneten
Teeblätter.

Der kalte Misteltee stärkt auch die Nerven und lindert daher Kopfschmerzen und Schwindelgefühle.

Auch in den Wechseljahren kann die Mistel die typischen Beschwerden lindern. Ihre blutstillende Eigenschaft hilft bei Menstruationsbeschwerden ebenso, wie bei Gebärmutterblutungen. Das macht die Mistel zu einer wertvollen Heilpflanze nach Geburten, indem sie hilft, den Wochenfluss zu verkürzen und abzuschwächen [5].

Mistel-Kaltauszug für äußerliche Anwendungen

In der Form von Umschlägen oder Bädern hilft die Mistel bei Krampfadern und Unterschenkelgeschwüren.

Umschläge mit kalten Mistelauszügen geben bei rheumatischen und neuralgischen Schmerzen deutliche Linderung.

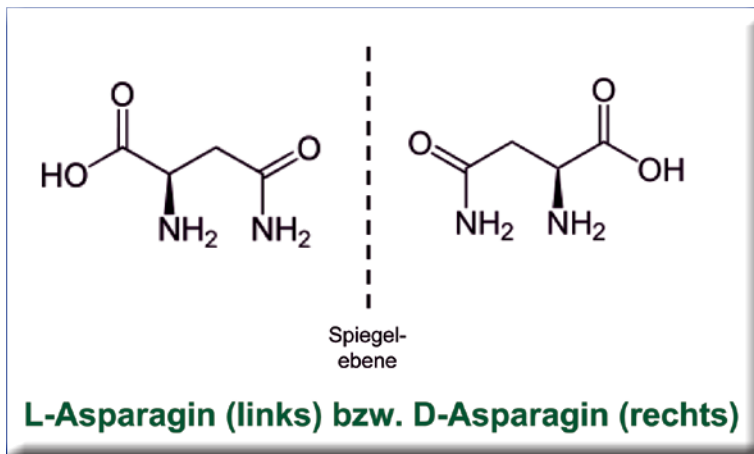
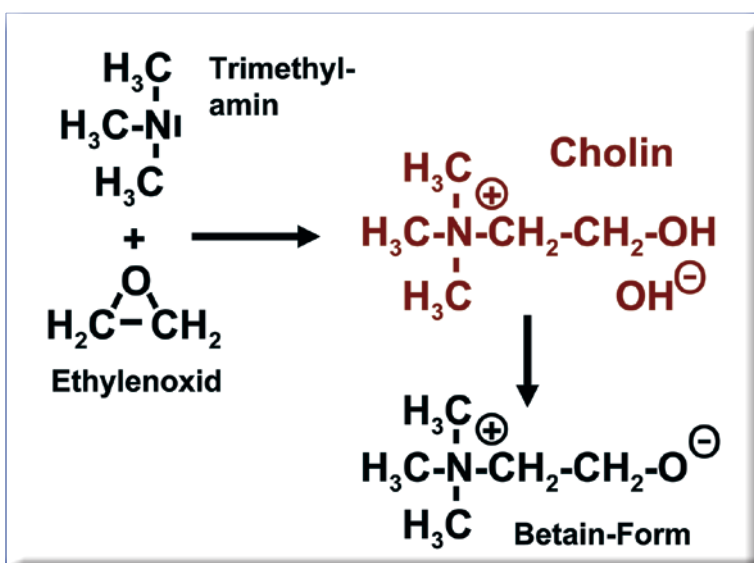


Abbildung 10: Asparagin als einer der harmlosen Inhaltsstoffe der Misteln.

Abbildung 11: Technische Cholin-Synthese und Vorkommen in der Natur als Betain.



Auch Ekzeme und Arthrose können mit Mistelbrei erfolgreich behandelt werden.

Im Falle von Heuschnupfen lindert eine Nasenspülung mit Misteltee die Beschwerden.

Misteltherapie

Die Mistel-Krebstherapie geht auf den Anthroposophen Rudolf Steiner (1861 – 1925) und der Ärztin Ita Wegman aus Dornach bei Basel zurück, die von der Analogie der parasitär wachsenden Mistel und den Tumoren überzeugt waren [6]. Methodisch einwandfreie Studien zeigen jedoch leider keine Vorteile der Mistelanwendung gegenüber Placebos.

So ist diese Krebstherapie auch außerhalb des deutschsprachigen Raumes weitgehend unbekannt, obwohl sie in Deutschland zu den oft eingesetzten alternativmedizinischen Krebs-Behandlungen zählt [7]. In der Regel wird der Mistelextrakt unter die Haut gespritzt, von speziellem Fachpersonal auch direkt in den Tumor.

Die Alternativmedizin setzt die Misteltherapie auch bei Sarkoidose (gutartige Gewebewucherung), Arthrosen (nichtentzündliche Gelenkerkrankung) sowie bei einer Reihe von Autoimmunerkrankungen ein.

Unerwünschte Nebenreaktionen betreffen das Herz-Kreislauf-System mit Abfall oder Anstieg des Blutdrucks sowie Verlangsamung des Herzschlages, den Magen-Darm-Trakt mit Übelkeit, Erbrechen und Durchfall, das Zentrale Nervensystem mit Verwirrtheit, Halluzination und epileptischen Anfällen wie auch das Immunsystem mit Fieber und dem Anstieg der Anzahl der weißen Blutkörperchen. Schmerzhaftes Entzündungen an der Injektionsstelle kommen häufig vor. Allergische Reaktionen führten auch über einen anaphylaktischen Schock zu schwerwiegenden Komplikationen und zum Tod des Patienten.

Das Amerikanische Nationale Krebsinstitut empfiehlt die Anwendung der Misteltherapie nur im Rahmen qualifizierter Untersuchungen, rät ansonsten von einer Misteltherapie ab.

Inhaltsstoffe der Mistel

Die Inhaltsstoffe in den Mistelarten variieren je nach Alter, Wirtspflanze und Jahreszeit der Ernte. Die Sammelzeit erstreckt sich über die kältere Jahreszeit vom Spätherbst bis in den Frühling.

Als Inhaltsstoffe werden die Stoffgruppen Alkaloide, Bitterstoffe, Harze, Lektine, Saponine sowie Schleim genannt.

Bei den Alkaloiden handelt es sich um eine in der Natur weit verbreitete basische, nicht charakterisierbare Stoffgruppe mit mindestens einem, alkalisch reagierenden Stickstoff-Zentrum. Viele Alkaloide sind Nervengifte.

Auch Bitterstoffe sind in der Botanik weit verbreitet. Über ihre chemische Struktur lässt sich kein Merkmal erfassen. Auf der Zunge hinterlassen sie ein hohes Maß an Bitterkeit, so dass sie zum Teil für pharmazeutische Anwendungen stark verdünnt werden müssen.

Harz ist ein technologischer Sammelbegriff von Stoffen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung. Man unterscheidet die natürlichen und die synthetischen Harze.

Der Verdauungstrakt des Menschen ist den Lektinen permanent ausgesetzt. Es sind komplexe Eiweiße, die sich an Zellwände anlagern können, um dort biochemische Reaktionen durchzuführen. Oft wirken sie auch wie Antibiotika.

Als Saponine bezeichnet man eine Gruppe von zumeist pflanzlichen Glykosiden (Naturstoffe, die Zucker-Reste enthalten), die in Wasser kolloidale, seifenartige Lösungen bilden. Obwohl sie auch zum Waschen (*sapo*, lat. = Seife) verwendet wurden, wie die Seifenwurzel, Kastanie und die Panamarinde, stellen sie zum Teil sehr starke Blutgifte dar.

Schleime pflanzlichen Ursprungs sind zumeist aus Polysacchariden (Vielfachzuckern) aufgebaut und von gallertartiger Konsistenz, wie beispielsweise die Alginat aus den Meeresalgen.

Konkreter lassen sich die Mistel-Inhaltsstoffe Asparagin, Cholin, Histamin, Inosit, Lektine, Oleanolsäure, Pyridin, Tyramin, Viscalbin, Viscin, Viscotoxin, Xanthophyll und Zink fassen. Auf einige soll im Folgenden näher eingegangen werden.

Asparagin zählt zu den hydrophilen Aminosäuren, löst sich in Wasser jedoch bei 20°C nur zu 2,2 %. Seinen Namen hat die Verbindung von ihrem Vorkommen im Spargel (*Asparagus officinalis*). Gefahrstoff-Eigenschaften bestehen nicht. Selbst R- und H-Sätze (Risk, Hazard = Risiko, Gefahr) sind nicht bekannt (Abbildung 10) [8].

Das stark basisch reagierende Cholin ist in der Natur weit verbreitet. So ist es im Eigelb ebenso zu finden wie in Steinpilzen, Champignons und Hopfen. Es ist in der Regel als Betain anzutreffen, einer Verbindungsform bei der im Molekül ein echter Dipol vorliegt (Abbildung 11). Cholin wirkt blutdrucksenkend, gefäßerweiternd, darmregulierend und soll auch die Fettablagerung in der Leber reduzieren. Das Cholinchlorid dient unter anderem als Arzneimittel gegen Arterienverkalkung. Die technische Synthese erfolgt aus den Industrie-Chemikalien Ethylenoxid und Trimethylamin.

Bei dem Histamin handelt es sich um einen Naturstoff, der im menschlichen und tierischen Organismus als Gewebshormon und Neurotransmitter (Botenstoffe im Nervensystem) wirkt. Eine zentrale Rolle spielt Histamin bei allergischen

Reaktionen. Es ist an der Abwehr körperfremder Stoffe beteiligt. Es steuert den Schlaf-Wach-Rhythmus und kontrolliert unseren Appetit. Die Verträglichkeitsgrenze von Histamin liegt für den Menschen bei 10 mg. Größere Mengen führen zu Beschwerden, wie Rötung der Haut, Blutdruckabfall, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall und Atemnot. 100 mg führten bereits zu deutlichen Vergiftungen, wobei Menschen mit einer Histamin-Intoleranz bereits bei viel geringeren Dosen ins Koma fallen können.

Histamin löst sich bereits in kaltem Wasser. Als Gefahrstoff ist Histamin als gesundheitsschädlich eingestuft (R22-36/37/38-42/43) (Abbildung 12) [9]. Die zitierten Risiko-Sätze sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Während Inosit als ein mit dem Traubenzucker verwandtes Monosaccharid (Einfachzucker, $C_6H_{12}O_6$) zu verstehen ist, das selbst als Nahrungsergänzungsmittel seinen Einsatz findet, handelt es sich bei dem Tyramin um einen möglicherweise Allergien auslösenden und Schleim-

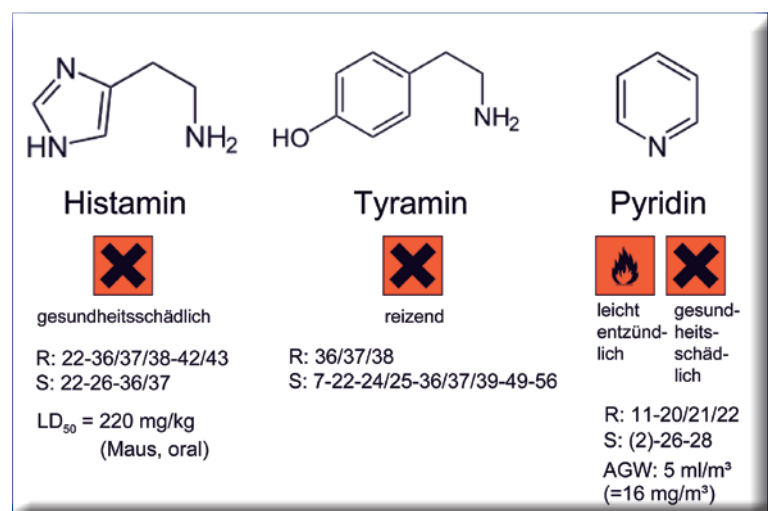
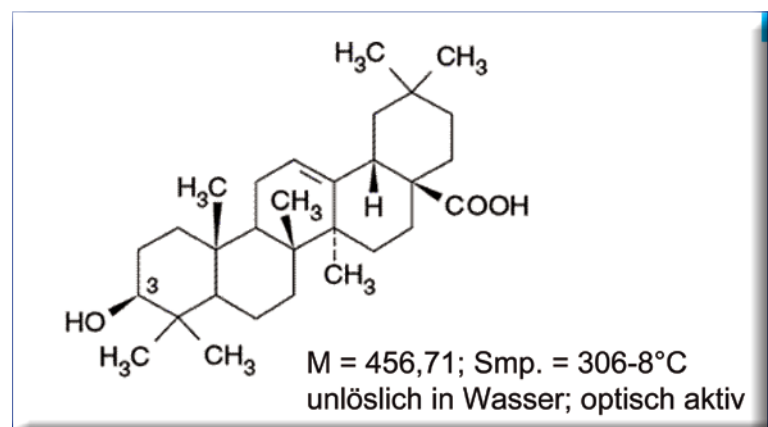


Abbildung 12: Gefährliche Inhaltsstoffe der Misteln.

Abbildung 13: Oleanolsäure, 3-β-Hydroxy-12-oleanen-28-säure (Triterpen)



haut reizenden Stoff. Er steht auch im Verdacht, Migräne auszulösen. In Wasser ist die Verbindung nur wenig löslich (1,1% bei 15°C). Tyramin entsteht bei der Zersetzung von Eiweißen und ist häufig in Nahrungsmitteln enthalten (Abbildung 12) [10].

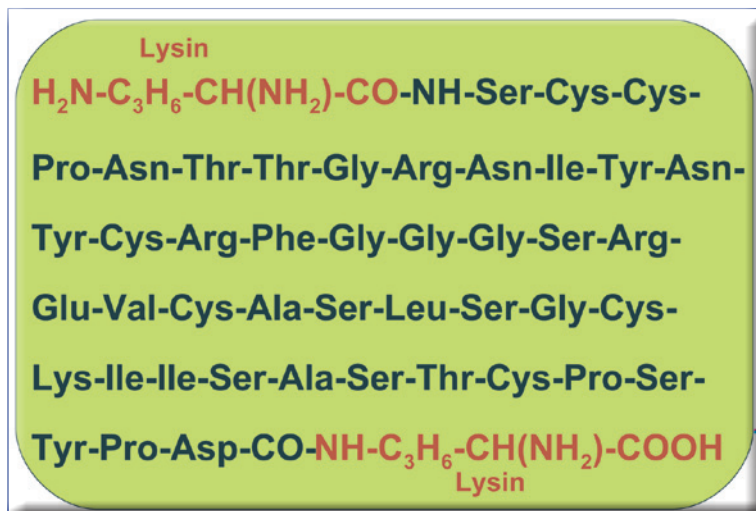
Pyridin ist eine unangenehm scharf riechende Flüssigkeit, die mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar ist. Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) liegt mit 5 ppm relativ niedrig (Abbildung 12).

Das Triterpen Oleanolsäure ist eine höher molekulare, in Wasser unlösliche Verbindung. Sie kommt in Misteln, aber auch noch in anderen Pflanzen wie Zuckerrüben, Olivenblättern und Birken vor. Gefährliche Eigenschaften sind nicht bekannt (Abbildung 13).

Neben den Lektinen sind die Viscotoxine die bedeutendsten Inhaltsstoffe in der Mistel. Es handelt sich um eiweißartige Verbindungen, die den Schlangengiften, wie dem der Kobra, ähneln (Abbildung 14). Die Viscotoxine stehen für die giftigen Verbindungen in der Mistel (*Viscum album*). Es konnten vier Viscotoxine isoliert werden und charakterisiert werden. Die Aminosäure-Abfolge der 46 Aminosäuren in dem Viscotoxin 3 mit dem Molekulargewicht 5300 konnte 1972 publiziert werden [11]. Die Abkürzungen der Aminosäuren innerhalb des Viscotixins 3 sind in der Tabelle 2 zu finden.

Die Viscotoxine lösen sich sehr leicht in Wasser. Ihre tumorzerstörende Wirkung aus Mistel-Extrakten konnte noch nicht eindeutig belegt werden. Bekannt ist allerdings, dass Viscotoxine die Krebszellen auflösen können, indem sie durch ihre zytotoxische Wirkung die Zellwände zerstören. Darüber hinaus können sie ebenso wie die Lektine das Immunsystem stimulieren. Dadurch steigern sie die Abwehrkräfte gegen Bakterien und vermutlich auch gegen Tumorzellen [12].

Abbildung 14: Aminosäure-Sequenz im Viscotoxin 3 der Mistel.



R-Satz	Erklärung
R 11	leichtentzündlich
R 12	hochentzündlich
R 14	reagiert heftig mit Wasser
R 15	reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Gase
R 16	explosionsgefährlich in Mischung m. brandfördernden Stoffen
R 17	selbstentzündlich an der Luft
R 18	bei Gebrauch Bildung explosionsfähiger/leichtentzündlicher Dampf-Luftgemische möglich
R 19	kann explosionsfähige Peroxide bilden
R 20	gesundheitsschädlich beim Einatmen
R 21	gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut
R 22	gesundheitsschädlich beim Verschlucken
R 23	giftig beim Einatmen
R 24	giftig bei Berührung mit der Haut
R 25	giftig beim Verschlucken
R 26	sehr giftig beim Einatmen
R 27	sehr giftig bei Berührung mit der Haut
R 28	sehr giftig beim Verschlucken
R 29	entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase
R 30	kann bei Gebrauch leicht entzündlich werden
R 31	entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase
R 32	entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase
R 33	Gefahr kumulativer Wirkung
R 34	verursacht Verätzungen
R 35	verursacht schwere Verätzungen
R 36	reizt die Augen
R 37	reizt die Atmungsorgane
R 38	reizt die Haut
R 39	ernste Gefahr irreversiblen Schadens
R 40	verdacht auf krebserzeugende Wirkung
R 41	Gefahr ernster Augenschäden
R 42	Sensibilisierung durch Einatmen möglich
R 43	Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich

Tabelle 1: Risiko-Sätze der zitierten Gefahrstoffe.

Zusammenfassung

Zunächst war es die Mystik der Mistel-Pflanze, ihr unerklärbares Zuhause auf den Wipfeln der Bäume, die den Menschen seitdem er sie zum ersten Mal erkannte, in Erstaunen, Ehrfurcht und göttliche Distanz versetzte. Für die naturkundigen Menschen galt sie schon als Wunderpflanze, ohne dass sie ihre positiv und negativ wirkenden Inhaltsstoffe kannten.

Heute, wo wir die meisten der Inhaltsstoffe isoliert und analysiert vorfinden, offenbart sich uns aber auch die Gratwanderung im verantwortungsvollen Nutzen der pharmazeutischen Kraft, die der Mistel innewohnt. So positiv die Wirkungen in richtigem Verhältnis der extrahierten Inhaltsstoffe auch sein mögen, in den Händen unerfahrener Menschen kann die Verwendung von Mistelextrakten auch großen Schaden anrichten.

Haustieren dürfen Mistelzweige auf keinen Fall als Futter verabreicht werden, weder Meer-schweinchen, Hamstern, Hasen, Hunden oder gar Pferden. Die Vergiftung äußert sich durch erschwertes Atmen, Darmbeschwerden und Erbrechen der Tiere.

Die gleichen Symptome würden natürlich auch beim Menschen auftauchen, wenn er an den Misteln herumkaut oder sie gar als Salat zubereitet.

Die Konzentration der Viscotoxine, denen die zerstörende Wirkung von Tumoren nachgesagt wird, hängt sehr stark von dem Alter der Misteln, den Wirtsbäumen und der Sammelzeit im Jahr ab. Während sich im Herbst der Lektin-Gehalt der Mistel auf sein Maximum zubewegt, nimmt der

Gehalt an Viscotoxinen ab. Er ist in ganz jungen Blättern, Stengeln und Blüten tragenden Trieben, einschließlich der weißen Beeren, generell am höchsten. Daher bestehen anthroposophische Mistel-Präparate aus Extrakten der Sommer- und Winterernte.

In den Städten, Dörfern und Wäldern ist nicht jeder Naturschützer von der sich mitunter zahlreich und schnell vermehrenden Mistel-Population angetan. Sie schwächen zunehmend die Laubbäume, auf denen sich bis zu 100 Pflanzen niederlassen und von dem aus den Wurzeln aufsteigenden nahrhaften Saft leben. Die Assimilation besorgen sie immerhin mit ihrer Fülle an Blattgrün selbst. Aber ein Mittel, ihren Wildwuchs einzudämmen, um die Laubbäume zu schützen, gibt es bisher noch nicht. **CLB**

Literatur

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Mistel>
- [2] http://de.wikipedia.org/wiki/Weissberige_Mistel
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Eichenmistel>
- [4] <http://www.botanikus.de/Beeren/Mistel/mistel.html>
- [5] <http://www.heilkraeuter.de/lexikon/mistel.htm>
- [6] Steiner, R., „Geisteswissenschaft und Medizin“, Rudolf Steiner Verl., Dornach (1985)
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Misteltherapie>
- [8] <http://de.wikipedia.org/wiki/Asparagin>
- [9] <http://de.wikipedia.org/wiki/Histamin>
- [10] <http://de.wikipedia.org/wiki/Tyramin>
- [11] Acta Chem. Scand. 26 (1972) 585 - 595
- [12] <http://allgemein.mistel-therapie.de>

Nr.	Abkürzung	Aminosäure	Chemische Formel	M	Smp. [°C]	D
1	Lys	Lysin	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}_3\text{H}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	146,19	224 (Z.)	n.b.
2	Ser	Serin	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	105,09	220 (Z.)	1,54
3	Cys	Cystein	$\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	121,16	240 (Z.)	n.b.
4	Pro	Prolin	2-Pyrrolidin-COOH	115,13	210	n.b.
5	Asn	Asparagin	$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	132,12	236	1,45
6	Thr	Threonin	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	119,12	253	n.b.
7	Gly	Glycin	$\text{H}_2\text{C}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	75,07	233 (Z.)	1,16
8	Arg	Arginin	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{N}=\text{H})-\text{NH}-\text{C}_3\text{H}_6-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	174,20	238 (Z.)	n.b.
9	Ile	Isoleucin	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	131,17	284 (Z.)	n.b.
10	Tyr	Tyrosin	$p\text{-HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	181,19	344 (Z.)	1,46
11	Phe	Phenylalanin	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	165,19	312 (Z.)	n.b.
12	Glu	Glutamin	$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	146,15	187	n.b.
13	Val	Valin	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	117,15	293 (Z.)	1,230
14	Ala	Alanin	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	89,09	295	1,42
15	Leu	Leucin	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	131,17	295 (Z.)	1,29
16	Asp	Asparaginsäure	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	133,10	270 (Z.)	1,66

Tabelle 2: Aminosäuren des Mistel-Viscotoxins 3.

Pflanzen als Proteinlieferanten

Welternährung auf Bevölkerungszuwachs einstellen

Knut Burgdorf, Ried-Brig (CH)

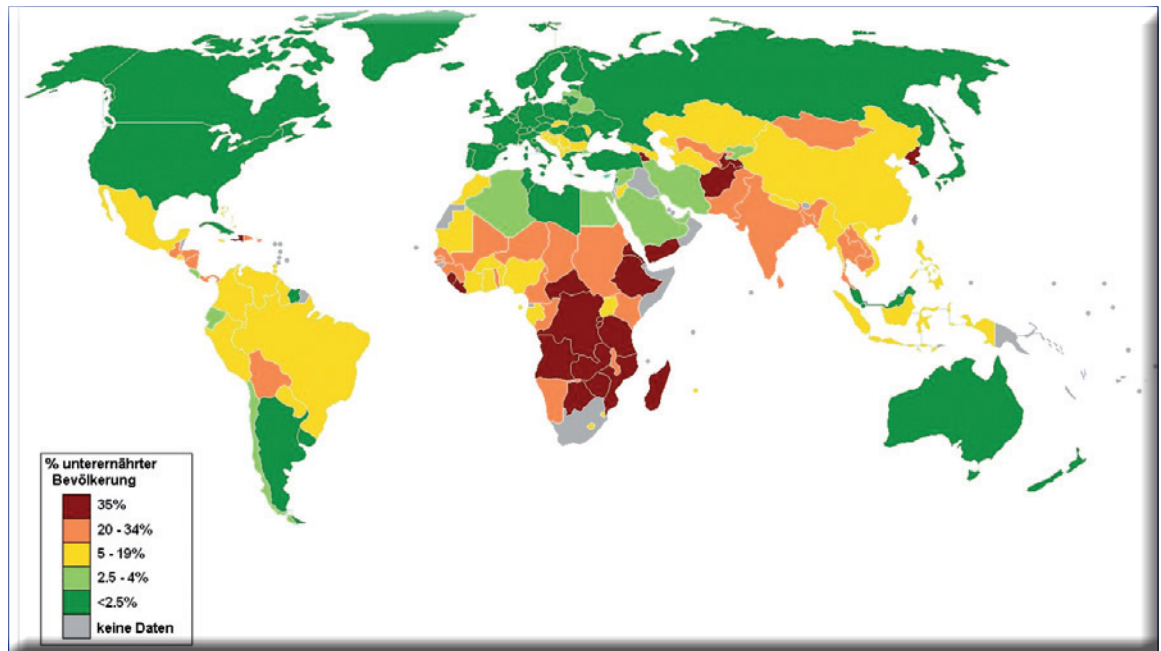


Abbildung 1: Prozentualer Anteil unterernährter Menschen (Abb.: Lobizón; Quelle: United Nations World Food Programme).

Die Erdbevölkerung nimmt immer rascher zu. Dies zwingt dazu, die auf der Erde vorhandenen Ressourcen jeglicher Art, darunter insbesondere jene für Nahrungsmittel, besser auszunutzen. Diese Situation konfrontiert uns mit einem doppelten Problem: Erstens sollte die im Durchschnitt auf der Welt bereits ungenügende Nahrungsmittelversorgung und -verteilung für die gegenwärtige Bevölkerung verbessert werden. Gleichzeitig ist zweitens dafür zu sorgen, dass quantitativ wie qualitativ ausreichende Nahrung für den, auf absehbare Zeit unvermeidlichen, weiteren Bevölkerungszuwachs bereitgestellt wird.

Die globale Landwirtschaft könnte selbst bei besten Erträgen, verbesserter Verteilung und verringerten Verlusten nicht jene Menge an Nahrung erzeugen, die in Zukunft für die dann auf der Erde lebende Bevölkerung benötigt wird. Deshalb wird es notwendig, neue Methoden und Technologien zu entwickeln und alle möglichen unkonventionellen Nahrungsressourcen zu erforschen, um den gegenwärtigen und zukünftigen Nahrungsbedarf in der Welt zu decken (Abbildung 1).

Das Protein-Problem

Bei der Nahrungsmittelversorgung spielen Proteine eine besondere Rolle: Eiweißverbindungen bilden in der Nahrung des Menschen und für das Futter der Mehrheit der landwirtschaftlichen Nutztiere einen unverzichtbaren und durch nichts anderes ersetzbaren Bestandteil. Die optimale Proteinmenge und -qualität in einem Nahrungs- oder Futtermittel bestimmen den Ernährungswert für das betreffende Lebewesen. Eine hinsichtlich der Proteinqualität und -quantität optimierte Nahrung gestattet es nicht nur, die in den Entwicklungsländern hauptsächlich verbreiteten Proteinmangelkrankheiten Kwashiorkor



Der Autor

Knut Burgdorf ist Biotechnologe und als Projektmanager bei der Lonza AG in Visp, Schweiz tätig. Daneben schreibt er seit 1993 in verschiedenen Journalen über angewandte Themen aus der Biologie und Chemie.

Funktion	Merkmale
Baustoff	Eiweiss liefert das Material zum Aufbau und für die Erneuerung von Zellen und Gewebe. Diese Funktion kann von keinem anderen Nahrungsmittel übernommen werden.
Struktur	Proteine wie z.B. Keratin, Kollagen u.a. sind Bestandteile biologischer Membranen
Transport	Proteine dienen auf zellulärer Basis oder z.B. im Blutplasma als Transportmittel für verschiedene Substanzen (z.B. Cholesterin, Vitamine, Eisen, Pharmaka u.a.).
Kontraktion	Spezialisierte Proteine spielen eine wesentliche Rolle bei der Muskelkontraktion
Schutz und Abwehr	Wichtige Bestandteile unseres Immunsystems wie Antikörper und Gerinnungsfaktoren sind aus Proteinen aufgebaut.
Hormone	Hormone sind körpereigene Informationsübermittler. Sie werden in Drüsenzellen bestimmter Organsysteme gebildet und anschliessend ins Blut abgegeben. Schliesslich gelangen sie zu Zellen mit speziellen „Andockstellen“ (Rezeptoren), wo ihre Nachricht „gelesen“ werden kann.

Tabelle 1:
Funktionen von
Proteinen im
Körper.

kor und Marasmus zu vermeiden oder, soweit noch möglich, zu heilen, sondern stellt auch ein wichtiges Instrument zur Gesunderhaltung der Bevölkerung in den hoch entwickelten Industriestaaten dar (Abbildung 2).

Die Aufgaben einer verbesserten Welt-Proteinversorgung lassen sich vereinfacht wie folgt zusammenfassen:

- Steigerung des Proteinaufkommens
- Verbesserung der Proteinqualität durch Erzeugung qualitativ verbesserter Ernteprodukte, durch Herstellung entsprechender Produktgemische oder durch Ergänzung natürlicher Nahrungs- und Futtermittel mittels Aminosäuren aus chemischer oder mikrobieller Produktion.

Zur Lösung dieser Aufgaben bieten sich folgende Wege an:

- Vermehrte und direktere Nutzung unkonventioneller Proteinträger (Proteine aus Mikroorganismen, Pilzen, Algen oder Pflanzen)
- Züchterische Steigerung des Proteinanteils oder/und der Proteinqualität in Proteinträgern,
- Anwendung physiologischer Maßnahmen, die beispielsweise über Pflanzenbau, Biotechnologie oder Tierernährung wirken und damit zu einer Steigerung des Proteinaufkommens und, idealerweise, auch der Proteinqualität führen
- Betriebswirtschaftliche Maßnahmen zur Rationalisierung und Senkung von Produktionsverlusten.

Eiweisse – Grundbausteine unseres Körpers

Eiweisse, auch Proteine genannt, sind wichtige Grundbausteine unseres Körpers. Die biologischen Funktionen der Proteine lassen sich grob in sechs Gruppen, bezogen auf Ihre Funktion, unterteilen (Tabelle 1).

Da im Körper alle Organe und Muskeln einem ständigen Auf- und Abbau unterliegen, werden ständig Eiweisse benötigt. Beim Abbau dieser

Strukturen wird ein großer Teil der Proteine zurück gewonnen und wieder verwertet. Bei lang dauernden Anstrengungen (zum Beispiel Marathonlauf) werden geringe Mengen Eiweiss zur Energiegewinnung verbraucht.

Da unser Körper Proteine nicht speichern kann, muss ihm über die Nahrung täglich neues Eiweiss zugeführt werden. Allgemein geht man davon aus, dass eine Zufuhr von 0,8 g/kg Körpergewicht für die Bedarfsdeckung ausreicht. Eine normale Mischkost deckt diesen Bedarf problemlos ab. Sportlich sehr aktive Personen und Ausdauersportler müssen bis zur Hälfte mehr, also bis zu 1,2g Protein pro Kilogramm Körpergewicht aufnehmen, da zusätzliches Protein beispielsweise für die Bildung neuer Muskelsubstanz oder die Regeneration verletzter Muskelfasern benötigt wird.

Eine überdosierte Proteinzufuhr trägt nicht zum schnelleren Muskelaufbau oder zum Kraftzuwachs bei. Im Gegenteil, von einer Aufnahme über 2 g/kg Körpergewicht wird allgemein abgeraten, da Protein zu Harnstoff abgebaut wird und dieser über Niere und Urin ausgeschieden werden muss. Entsprechend wird die Niere bei überhöhter Proteinzufuhr vermehrt belastet.

Abbildung 2: Typische Protein-Mangelkrankheiten: Kwashiorkor (links) und Marasmus (rechts). Der chronische Protein- und Energiedefizit führt zum Abbau aller Energie- und Eiweissreserven (Quellen: www.cs.stedwards.edu und wikieducator.org).



Tabelle 2: Essentielle Aminosäuren.

Essentielle Aminosäure	Nahrungsmenge mg pro kg KG pro Tag
Phenylalanin	14 (mit Tyrosin)
Leucin	14
Methionin	13 (mit Cystein, Homocystein)
Lysin	12
Isoleucin	10
Valin	10
Threonin	7
Tryptophan	3

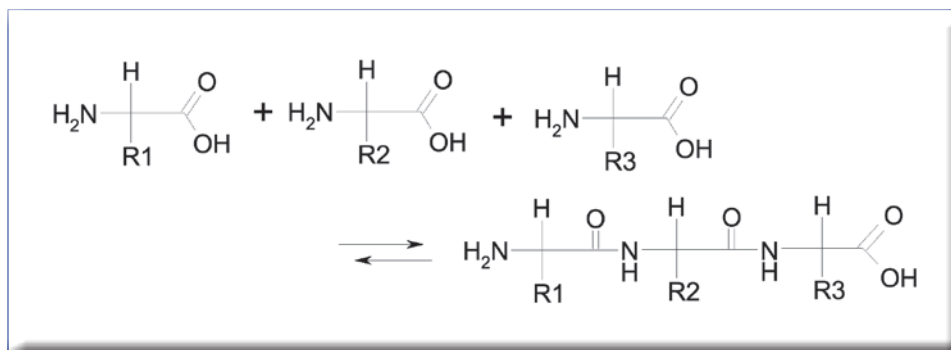
Nahrungseiweiß wird während der Verdauung in seine Grundbausteine, die Aminosäuren, zerlegt. Aus diesen setzt der Körper dann genau die Proteine zusammen, die er gerade benötigt (Abbildung 3).

Einige dieser lebensnotwendigen Aminosäuren kann unser Körper selbst herstellen. Die essentiellen Aminosäuren muss man jedoch regelmäßig mit der Nahrung aufnehmen. Erwachsene benötigen acht dieser essentiellen Aminosäuren, Säuglinge und Heranwachsende sogar zehn (Tabelle 2).

Grundsätzlich ist ein Nahrungseiweiß um so hochwertiger, je mehr dieser essentiellen Aminosäuren pro Mengeneinheit enthalten sind. Wenn eine der essentiellen Aminosäuren fehlt, kann der Körper nicht alle Eiweiße aufbauen, die er benötigt. In diesem Sinne „hochwertige“ Proteine sind vorhanden in Fleisch und anderen tierischen Produkten wie in Fisch, Eiern, Milch und Milchprodukten. Pflanzliche Eiweißquellen sind beispielsweise Hülsenfrüchte (Soja), Getreide, Kartoffeln, Nüsse und Samen, diese haben jedoch meist eine geringere „biologische Wertigkeit“ (siehe Kasten rechts).

Tierische Proteine sind den menschlichen ähnlicher und können daher effizienter zum Aufbau körpereigener Proteine genutzt werden, sie sind also „biologisch wertvoller“. Die höchste biologische Wertigkeit erreicht man durch die Kombination von pflanzlichem und tierischem Eiweiß.

Abbildung 3: Auf- und Abbau von Proteinen aus Aminosäuren.



Eiweiß-Mangelkrankungen

Was passiert, wenn man zuviel oder zu wenig Eiweiß mit der Nahrung aufnimmt? Wird mehr Protein mit der Nahrung aufgenommen als man benötigt, dient es nicht mehr als Baustoff, sondern nur mehr als Energielieferant. Dabei liefert ein 1 Gramm Eiweiß etwa 17 kJ.

Eine über längere Zeit mangelhafte Eiweißzufuhr, typisch für die meisten „Dritt-Welt-Länder“, führt zum Abbau von Muskelmasse und dadurch zu Muskelschwäche, sowie zu einer deutlichen Schwächung des Immunsystems. Der permanente Mangel an Proteinen kann schwere Krankheiten auslösen. In den entwicklungsschwachen Drittweltländern leiden viele Kinder an ständigem Hunger und damit auch an Eiweißmangel. Symptomatisch für diese Mangelkrankungen sind der aufgeblähte Bauch und extrem dünne, schwache Extremitäten (Abbildung 2). Zudem fallen den Betroffenen die Haare aus; sie leiden unter Wachstumsstörungen und in schlimmen Fällen unter Ödemen und einer Fettleber, denn die Leber ist nicht mehr in der Lage, giftige Stoffe und Fette zu filtern. Auf Dauer führt Eiweißmangel zum Tod.

Bei normaler Mischkost besteht keine Gefahr, an Eiweißmangel zu erkranken. Deshalb ist Eiweißmangel in den Industrieländern äußerst selten und tritt höchstens als Begleiterscheinung einer einseitigen, ungesunden Diät oder Essstörungen auf. Kinder sind dabei stärker gefährdet als Erwachsene.

In Krankenhäusern ist Eiweißmangel eine der Ursachen für Wundliegen: Aufgrund einer suboptimalen Eiweißversorgung leiden viele ältere Patienten an Druckgeschwüren (Dekubitus), die nicht selten indirekt zum Tod führen, da die offenen Wunden oft schwere Infektionen zur Folge haben. Gemäß Angaben des Deutschen

Biologische Wertigkeit

Der Begriff der „Biologischen Wertigkeit“ (englisch: Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score, PDCAAS) wurde in der Lebensmittelchemie eingeführt zur Bewertung von Proteinen verschiedener Quellen für die humane Ernährung. Er ist ein Maß für die Proteinqualität und gibt an, wie viel Gramm körpereigenes Eiweiß man aus 100 Gramm des Lebensmittel-Eiweißes aufbauen kann.

Instituts für Ernährungsmedizin begünstigt falsche Ernährung das Wundliegen enorm. Die geschätzten jährlichen Kosten von etwa 300 bis 400 Millionen Euro für die Behandlung der teilweise lebensbedrohlichen Geschwüre wären zu einem beträchtlichen Teil reduzierbar. Abhilfe könnten beispielsweise Trinkpräparate aus Eiweiß, Zellbausteinen und durchblutungsfördernden Stoffen schaffen.

Bedeutung von Pflanzeiweiß bei der Lösung des Proteinproblems

Bestimmte Organismen können die Energie des Sonnenlichtes mit Hilfe komplexer biochemischer Prozesse wie der Photosynthese in organische Biomasse umwandeln. Dieser Gruppe von Lebewesen gehören beispielsweise alle photosynthetischen Mikroorganismen und grünen Pflanzen an. Die „Photoautotrophen“ sind damit die Primärproduzenten von Eiweiß auf unserer Erde. Alles tierische Protein geht direkt oder indirekt auf stickstoffhaltige organische Kohlenstoffverbindungen zurück, die besagte Organismengruppe gebildet haben.

Die Umwandlung von pflanzlichen Proteinen in tierische Eiweiße ist stets mit Verlusten verbunden. So geht beispielsweise bei der Konversion der Pflanzenbiomasse in tierischer Verdauung und Stoffwechsel ein signifikanter Teil der primär gespeicherten Energie und mehr als der Hälfte des ursprünglich in den Pflanzen vorhandenen Proteinstickstoffs verloren. Andererseits führt diese Umwandlung zu Proteinen mit verbesserter biologischer Wertigkeit für die menschliche Ernährung beziehungsweise Tierfütterung (Abbildung 4).

Die direkte Ernährung des Menschen mit pflanzlichem Protein ist also die am wenigsten mit Verlusten behaftete Form der Nutzung von photoautotrophen Eiweiß. Die Optimierung des Ertrages und der biologischen Wertigkeit pflanzlicher Speicherproteine liegt also in besonderem wissenschaftlichem Interesse. Mit dem Einsatz moderner biochemischer, gentechnischer und analytischer Methoden stellte sich in den letzten Jahren ein verbessertes Verständnis über die Molekularbiologie der Pflanzenproteine ein, auf deren Basis sich ganz neue Perspektiven zur gezielten Optimierung des Ernährungspotentials von Pflanzen ergeben.

Gewinnung pflanzlicher Proteine

Die Samen bestimmter proteinreicher Hülsenfrüchte (Lupine, Erbse, Ackerbohne und andere) und die Samen typischer Ölpflanzen wie Soja, Raps, Sonnenblumen sind besonders reich an

Protein. Ähnliches gilt für einige Getreidepflanzen wie Weizen und Mais, die in ihren Samen ebenfalls gewisse Mengen an Eiweiß speichern (Tabelle 3).

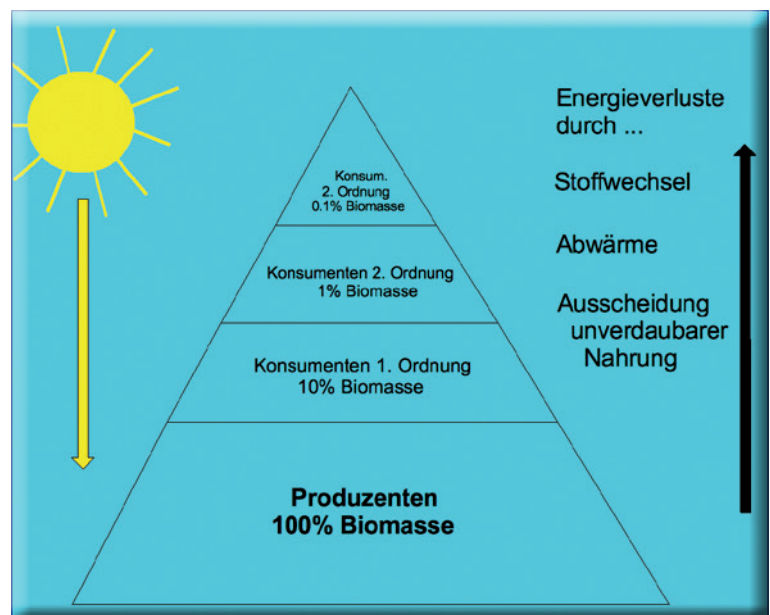
Zur Extraktion der Proteine werden die Pflanzensamen geschält, dann trocken gemahlen und mit Wasser versetzt. Dienen Samen ölhaltiger Pflanzen wie Raps, Soja und Sonnenblume als Ausgangsmaterial, kann man den entfetteten proteinhaltigen Presskuchen (oder den Extraktionsschrot) nach dem Trocknen mit Wasser versetzen. Anschließend wird der Einfluss des pH-Wertes auf die Löslichkeit der Proteine ausgenutzt. Bei alkalischem pH-Wert (pH 8-10) geht der größte Teil der Proteine in Lösung, unlösliche Bestandteile werden durch Filtration abgetrennt. Durch Ansäuern bis auf pH 4,5 fallen die Eiweiße schließlich aus und können von der Flüssigkeit getrennt werden. Nach dem Neutralisieren und Trocknen der proteinhaltigen Masse enthält die isolierte Trockensubstanz bis zu 90 Prozent Protein. Umgekehrt könnten die Reaktionsbedingungen der wässrigen Eiweiß-Lösung auch so gewählt werden, dass nicht die Proteine, son-

Abbildung 4: Energiefluss und Nahrungspyramide.

Mit Hilfe der Sonnenenergie bauen die Pflanzen durch die Photosynthese aus energiearmen, anorganischen Stoffen energiereiche, organische Substanz auf. Die Sonnenenergie wird also in chemisch gebundene Energie umgewandelt und wird von den Konsumenten 1. Ordnung, den Pflanzenfressern, als Nahrung aufgenommen.

Da die Pflanzen Zellatmung betreiben und dafür Energie verwenden, geben sie nicht die ganze aufgenommene Sonnenenergie als chemisch gebundene Energie weiter, es entsteht ein geringer Energieverlust. Die Pflanzenfresser geben ebenfalls nicht die ganze Energie aus ihrer Nahrung weiter an die Fleischfresser (Konsumenten 2. und 3. Ordnung), sondern verlieren einen Teil bei der Atmung und scheiden die unverdaulichen, noch energiehaltigen Nahrungsreste aus. Bei der nächsten Ebene verläuft es ähnlich.

Die Nährstoffe werden von Ebene zu Ebene weitergegeben und der Energieverlust wird zwangsläufig immer größer.



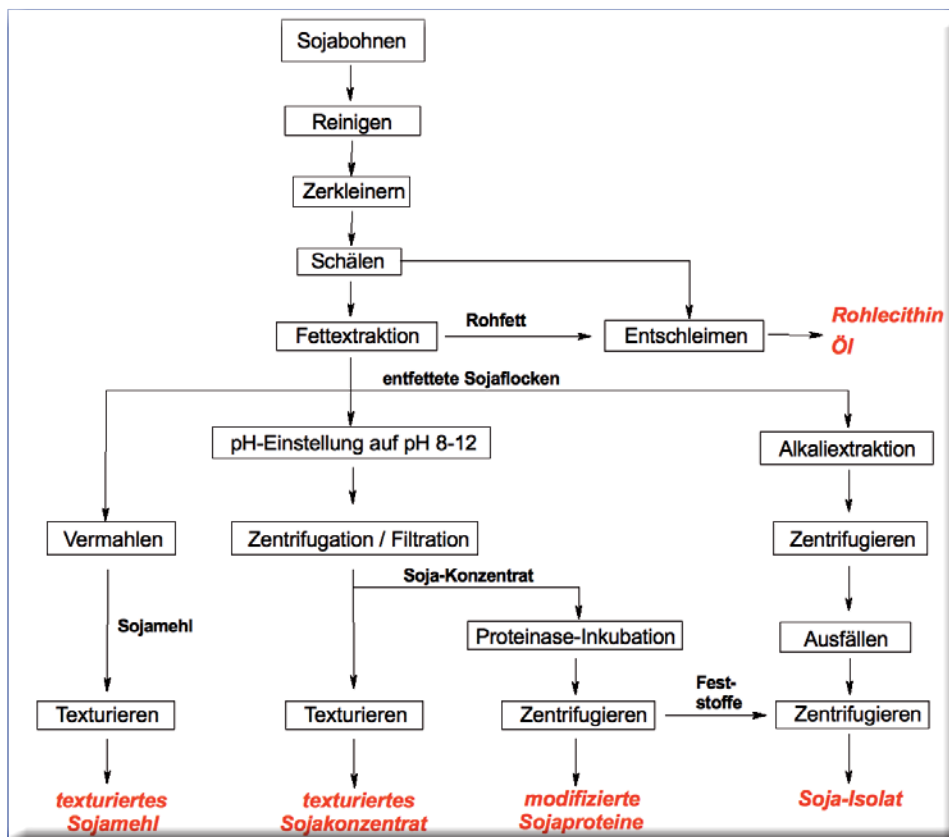
Pflanze	Lokalisation	Protein (%)	Fett (%)	Kohlenhydrate (%)
Lupine (<i>Lupinus mutabilis</i>)	reife Samen	47.8	17.8	30.4
Erbse (<i>Pisum sativum</i>)	reife Samen	22.9	1.4	56.7
Ackerbohne (<i>Vicia faber</i>)	reife Samen	23.0	2.0	55.0
Soja (<i>Glycine max</i>)	reife Samen	36.9	18.1	11.1
Raps (<i>Brassica napus</i>)	reife Samen	22.0	42.0	22.0
Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>)	Speicherkeimblätter	26.0	46.5	8.3
Weizen (<i>Triticum aestivum</i>)	reife Samen	11.7	2.0	59.4
Mais (<i>Zea mays</i>)	reife Samen	9.2	3.8	65.2

Tabelle 3: Hauptinhaltsstoffe in reifen Samen proteinliefernder Pflanzen.

den andere Stoffe in Lösung gehen und so von den Proteinen abgetrennt werden. Ein so gewonnenes Konzentrat hat nach dem Trocknen immerhin noch einen Proteingehalt von bis zu 70 Prozent. Beide Verfahren wurden zur Gewinnung von Proteinisolaten und -konzentraten aus Sojabohnen optimiert und sind mit geringem Material- und Kostenaufwand verbunden (Abbildung 5).

Der geschilderte Aufreinigungsprozess hat neben der Proteinkonzentrierung auch noch einen anderen wichtigen Effekt: Er entfernt, zum

Abbildung 5: Aufreinigung von Sojaprotein.



Beispiel bei Sojaprotein, einige unerwünschte Nebenkomponenten, anti-nutritive Proteine, welche zum Beispiel die Aktivität der menschlichen Verdauungsenzyme Chymotrypsin und Trypsin hemmen. Würden diese Stoffe nicht entfernt, käme es beim Konsumenten langfristig zu einer verstärkten Produktion von Verdauungsenzymen und in der Folge zu Pankreasvergrößerung oder sogar Pankreaskarzinomen. Die am weitesten verbreitete Form der Inaktivierung ist die Dampfbehandlung („toasting“). Aus Sojaprotein müssen außerdem bestimmte phenolhaltige Verbindungen entfernt werden, welche bei Säuglingen und Kleinkindern unerwünschte sensorische Eigenschaften hervorrufen können. Dazu können die Sojaprotein-Isolate beispielsweise durch eine Aktivkohlebehandlung zusätzlich gereinigt werden.

Für viele Anwendungen kann das extrahierte „Naturprodukt“ nicht direkt genutzt werden, sondern es ist nötig, die bestehenden Eigenschaften entsprechend der späteren Anwendung weiter zu modifizieren. Hierfür stehen vielfältige chemische, enzymatische sowie physikalische Techniken zur Verfügung. Die Modifizierungen können in den Extraktionsverlauf integriert werden, sie sind aber auch nach der Proteinextraktion möglich:

– Physikalische Modifizierungen wie Denaturierung durch Hitze oder Druck sind am kostengünstigsten und ermöglichen die mechanische Auflösung beziehungsweise Beeinträchtigung der nativen Proteinstruktur.

– Chemische Modifizierungen sind abhängig von der Anzahl, Reaktivität und Zugänglichkeit modifizierbarer Seitengruppen, der Größe der modifizierenden Gruppe sowie vom verwendeten Reaktionsmedium. Die Reaktionspalette reicht von Acylierung über Deaminierung oder Cross-linking bis hin zur Einführung neuer hydrophiler oder hydrophober Gruppen.

– Enzymatische Modifizierungen wie Proteolysen sind relativ teuer, zeichnen sich aber durch eine hohe Spezifität aus.

Beispiele wichtiger Pflanzenproteine

Soja

Soja ist die bedeutendste Ölpflanze und liefert alleine beinahe die Hälfte des weltweit



Abbildung 6: Sojabohne (Bild: US Department of Agriculture).

produzierten Pflanzenöls. Im Jahr 2002 wurden 183 Millionen Tonnen Sojabohnen erzeugt, 43 Prozent davon allein in den USA. Brasilien hat den Sojaanbau in den letzten Jahren forciert und erntete 2001 42,5 Millionen Tonnen oder 24 Prozent der Weltproduktion. Weiter bauen Argentinien, China, Paraguay, Indien, Indonesien und Kanada Soja an (Abbildung 6).

Aus klimatischen Gründen spielt der Sojaanbau in Mitteleuropa kaum eine Rolle. Im Jahr 2000 konnten in der Europäischen Union nur etwa 1,3 Millionen Tonnen Soja geerntet werden, was lediglich knapp einem Prozent der Weltproduktion entspricht. Die wichtigsten Soja-Länder der EU sind Italien (1,0 Mio. Tonnen), Frankreich (220 000 Tonnen) und Österreich (50 000 Tonnen). Auch in einigen südosteuropäischen Ländern (Rumänien, Bulgarien, Ukraine) wird Soja angebaut (Abbildung 7).

Das Protein der Sojabohne zeigt unter den Leguminosen die für den Menschen höchste

Tabelle 4: Biologische Wertigkeit der Sojabohne im Vergleich.

Pflanze	Biologische Wertigkeit (%)
Tierisches Eiweiss	100
Soja	86
Bohne	55 – 65
Erbse	50 - 60
Linse	~ 45
Kartoffeln	71 – 79
Weizen	68 – 77
Reis	~ 60
Mais	50 – 60

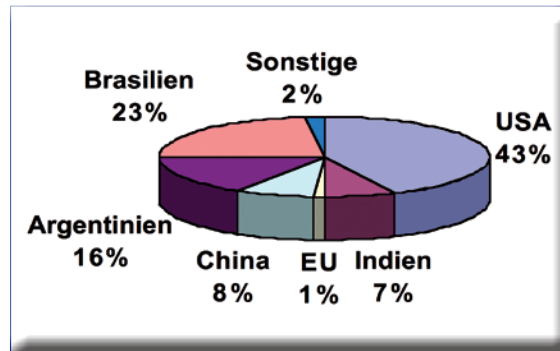


Abbildung 7: Anbau von Soja im Jahr 2002: Die Weltjahresproduktion von 183 Millionen Tonnen verteilt sich vor allem auf die USA und Südamerika.

biologische Wertigkeit. Der im Vergleich zu Fleisch- oder Getreideprotein vorhandene Mangel an Methionin kann durch entsprechende Supplementierung gut ausgeglichen werden, was aber bei der Ernährung von Erwachsenen nicht unbedingt notwendig ist (Tabelle 4).

Soja ist derzeit die am weitesten verbreitete Alternative zu tierischem Nahrungsprotein und gilt seit Jahren als Paradebeispiel für Lebensmittel mit gesundheitlichem Zusatznutzen. Fermentierte Soja-Lebensmittel wie Tempeh (fermentiert mit *Rhizopus oligosporus*), Miso (*Aspergillus oryzae*) und Natto (*Bacillus natto*) sind in Asien teilweise seit Jahrtausenden populär und mittlerweile als Soja-Käse, Soja-Getränke, Tofu und vegetarischer Fleischersatz auf Sojabasis auch bei uns gängige Lebensmittel. Als potenziell gesundheitsförderlich gelten Sojaprotein-Zusätze in Cerealien und anderen Lebensmitteln wie Milchprodukten. Teilweise werden bestimmte Lebensmittel durch den Zusatz von Sojakeimen aufgewertet, die einen besonders hohen Gehalt an Phytosterolen, Linolsäure, Linolensäure (positive Blutfettwirkungen) und Vitamin E (positiver Oxidationsschutz) aufweisen. Die Sojabohne ist außerdem reich an Phyto-Östrogenen. Deren Hauptvertreter, die Isoflavone Genistein und Daidzein, sind das Objekt zahlreicher aktueller Forschungsarbeiten. Die hormonähnliche Wirkung der Isoflavone wird auf die chemische Strukturähnlichkeit mit endogenen Human-Östrogenen zurückgeführt (Abbildung 8).

Abbildung 8: Daidzein und Genistein (mit rot markierter OH-Funktion), sind zwei Phyto-Östrogene aus der Sojabohne. Die hormonähnliche Wirkung der beiden Isoflavone wird auf eine gewisse chemische Strukturähnlichkeit mit endogenen Humanöstrogenen wie zum Beispiel dem Steroidhormon 17- β -Östradiol (rechts) zurückgeführt.

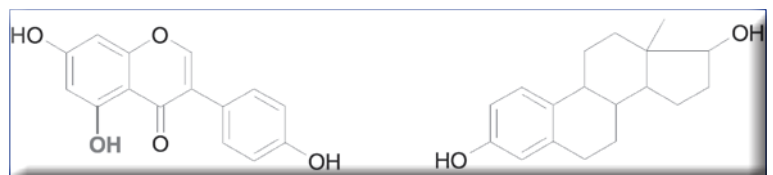




Abbildung 9:
Clarisoy, ein
vollständig
wasserlösliches
Extrakt aus Soja-
Protein (Quelle:
www.burcon.ca).

Phyto-Östrogene werden direkt mit der geringeren Häufigkeit von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in vielen asiatischen Ländern in Verbindung gebracht, wo Soja in viel höheren Mengen konsumiert wird als in Westeuropa und den USA. Auch das geringere Auftreten von Tumorerkrankungen wie Brustkrebs sowie chronisch-entzündlicher Darmerkrankungen in diesen Ländern könnte mit dem täglichen Phytoöstrogen-Konsum zusammenhängen. Aufgrund der vorliegenden Daten erlaubt die amerikanische Arzneimittelzulassungsbehörde FDA seit dem Jahr 2000 auf Sojaprodukten das Anbringen der werbenden Aussage „Eine an gesättigten Fettsäuren und Cholesterin arme Diät, die 25g Sojaprotein pro Tag enthält, kann das Risiko von Herzerkrankungen reduzieren“.

Es gibt jedoch auch Forschungsergebnisse, die auf eine schädliche Wirkung der Soja-Isoflavone hindeuten. So bewirkten diese Verbindungen beispielsweise in Zellkulturen eine Zunahme des programmierten Zelltods Apoptose. Andere Forschungsergebnisse deuten auf einen Zusammenhang mit verringerter Spermienqualität hin. Auch die genaue Rolle der Isoflavone bei der Cholesterin-Reduktion bleibt unklar.

Um Milchprotein-bedingte allergische Reaktionen bei Säuglingen und Kleinkindern zu vermeiden, spielt Sojaprotein inzwischen auch in der Babyernährung eine wichtige Rolle. Dies, obwohl bekannt ist, dass auch Sojaproteine vereinzelt allergische Reaktionen auslösen können. Unnötige Phytoöstrogen-Belastungen von Säuglingen und Kleinkindern vermeidet man, indem statt Sojamehlen heute nur noch hoch aufgereinigte Sojaprotein-Isolate verwendet werden. Diese enthalten nur noch vergleichsweise sehr geringe Mengen an Isoflavonen.

Der kanadische Lebensmittelkonzern Burcon hat unlängst über ein neues Produkt aus Sojaprotein-Isolat berichtet. „Clarisoy“ ist 100-prozentig wasserlöslich und in sauren Lösungen

vollkommen transparent, was auch Anwendungen in trinkfertigen Getränken ermöglicht, die einen pH-Wert von 2,5 oder niedriger aufweisen. Das neue Produkt ist hitzebeständig und ihm fehlt das typische „bohnenähnliche“ Aroma von Soja, was Getränken einen reineren Geschmack gibt und damit den Einsatz in einer Vielzahl unterschiedlicher Getränke erlaubt, in denen die Verwendung traditioneller Sojaprodukte bisher nicht möglich war (Abbildung 9).

Raps

Raps (*Brassica napus*; Abbildung 10) ist eine seit dem Altertum bekannte Kreuzung von Kohl (*Brassica oleracea*) und Rüben (*Brassica rapa*).

Raps wurde im Jahr 2002 weltweit auf 25 Millionen Hektar angebaut, davon etwa 20% in Kanada und den USA. In der EU werden rund 3,2 Millionen Hektar Ackerfläche mit Raps bepflanzt. Hauptanbauländer sind Deutschland (1,1 Mio. ha) und Frankreich (1 Mio. ha) gefolgt von England (0,45 Mio. ha).

Die Samen von Raps enthalten vor allem zwei Proteine, nämlich Cruciferin und Napin, mit bis zu 50 beziehungsweise 40 Prozent Anteil am gesamten Samenprotein. Cruciferin ist ein Oligomer mit einer relativen Molekülmasse von 360 kDa, dessen 6 Untereinheiten aus je einer

Abbildung 10: Blühender Raps im Frühling (Foto: RK).



sauren, hydrophilen und einer basischen, hydrophoben Polypeptidkette bestehen. Die beiden Ketten sind über 2 Disulfidbrücken sowie nicht-kovalente Bindungen miteinander verknüpft. Da die hydrophobe Kette im Inneren des Moleküls liegt, ist Cruciferin im Gegensatz zu den meisten Globulin-Proteinen in wässrigen Medien löslich. Gleiches gilt für das vorherrschende Albumin Napin, das aufgrund seines stark basischen Charakters in wässrigen Medien über einen weiten pH-Bereich löslich ist.

Der bereits genannte Lebensmittelkonzern Burcon hat sich in den letzten Jahren auch auf dem Gebiet der Rapsprotein-Vermarktung als besonders innovativ erwiesen. Puratein ist ein Rapsprotein-Isolat, das hauptsächlich aus dem Globulin Cruciferin besteht. Seine funktionellen Eigenschaften schließen die Emulgierung, die Gelbildung, das Eindicken und die Bildung hitzebeständiger Schäume ein. Damit ist es in der gesamten Lebensmittelindustrie sehr vielseitig einsetzbar, unter anderem bei der Herstellung von Fleischersatz, Backwaren, Protein-Riegeln oder (Salat)-Saucen.

Supertein und Puratein sind hochreine Raps-Proteine mit sehr gut löslichen Eigenschaften. Damit bietet sich beide Produkte zum Beispiel zur Herstellung von Getränken, in Süßwaren, Schaumdesserts und Protein-Riegeln an. Durch ihr aus Sicht der Humanernährung hochwertiges Aminosäure-Profil sind die Proteine auch lebensmittelindustriell von großer Bedeutung: Supertein ist nämlich besonders reich an schwefelhaltigen Aminosäuren, vor allem an Cystein (Abbildung 11).

Weizen

Weizenprotein besteht mehrheitlich aus dem stark viskos-elastischen, wasserunlöslichen Gluten, auch als Klebereiweiß bekannt. Dieses bildet das Teiggerüst beim Brotbacken.

Nur aus Mehlen mit Gluten kann Brot, im Unterschied zu Fladenbrot, in Form eines Laibes gebacken werden. Die Menge an Gluten ist dabei für die Backfähigkeit („Gashaltfähigkeit“) von Weizenmehlen ausschlaggebend: Gluten ist dehnbar und sorgt im Weizenteig dafür, dass die Gärgase gehalten werden und somit das Gebäck aufgehen kann. Später, im fertigen Gebäck sorgt das geronnene Klebergerüst dafür, dass das Produkt seine Form behält.

Gluten besteht aus zwei Fraktionen, dem Gliadin (56%) und Glutenin (44%). Glutenin ist die elastische Komponente des Weizenglutens mit hoch- (80-120 kDa) und niedermolekularen (35-60 kDa) Anteilen, die über Disulfidbrücken und nicht-kovalente Bindungen zu Polymeren aggregiert sind. Deren relative Molekülmassen gehen



Abbildung 11: Lebensmittelherstellung mit Puratein: Die Konsistenz der Produkte ist von normalem Fleisch praktisch kaum zu unterscheiden. (Quelle: www.burcon.ca).

in die Millionen. Die niedermolekularen Gliadine bilden den viskosen Anteil des Glutens, in das sie über nicht-kovalente Wechselwirkungen eingebettet sind.

Wegen seiner relativ geringen biologischen Wertigkeit spielt isoliertes Weizenprotein ernährungsphysiologisch heute kaum eine Rolle.

Lupinen

In der Pflanzenfamilie der Hülsenfrüchte (Leguminosen) gehört die Lupine (Abbildung 12) zur Unterfamilie der Schmetterlingsblütler und ist damit mit Erbse, Kichererbse und Erdnuss verwandt.

Die ursprünglich aus dem Mittelmeerraum stammende Pflanze gehört heute zu den wenigen einheimischen Hülsenfrüchten mit großen und proteinreichen Samen. Deutschen Pflanzenzüchtern ist es in den letzten Jahren mit ausschließlich konventionellen Methoden gelungen, Lupinen erfolgreich für den Großflächenanbau in der Landwirtschaft zu optimieren. Wichtige Zuchtkriterien waren dabei auch die Resistenz gegen die lupinenspezifische Pilzkrankheit Anthraknose und die möglichst geringe Produktion bestimmter pflanzentypischer Alkaloide, die bitter schmecken und vor Fraßfeinden schützen.

Der Lupinenanbau hat in Deutschland bereits eine längere Tradition. Im Anbau dominieren Sor-



Abbildung 12:
Lupinenblüte
und -blätter (Foto:
Franz Eitzinger).

ten der blauen Lupine, der Anbauschwerpunkt befindet sich in den Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Derzeit liegt die deutsche Anbaufläche in Deutschland bei über 35 000 Hektar. Jährlich werden rund 10 000 Tonnen für die Humanernährung und 200 000 Tonnen für die Tierernährung produziert. Weltweit größter Produzent von Lupinen ist aber Australien mit einer Anbaufläche von 424 000 ha (davon 93 % Blaue Süßlupine) und einer Produktion von 530 000 t pro Jahr.

Lupinensamen enthalten, je nach Sorte, zwischen 35 und 45 Prozent Protein. Dieses weist einige besonders vorteilhafte ernährungsphysiologische Merkmale auf: Die Aminosäure Lysin, die in anderen Getreide- und Hülsenfrüchtearten nur sehr wenig vorkommt, ist beispielsweise in der Lupine reichlich vorhanden. Damit liesse sich die biologische Wertigkeit des Proteins in Brot und anderen Backwaren durch die Zugabe von Lupinenmehl aufwerten.

Der Fettgehalt von Lupinensamen beträgt bis zu 10 Prozent. Das Fettsäuremuster ist wegen seines hohen Anteils an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren besonders günstig. Natürlicherweise ebenfalls vorhandenes Vitamin E und Carotinoide schützen als antioxidative Inhaltsstoffe die Fettbestandteile des Samens vor dem Verderb.

Lupinensamen enthalten kaum Stärke, dafür sind sie sehr ballaststoffreich und enthalten wie Mineralstoffe wie Calcium, Magnesium, Eisen und Kalium. Dafür ist kein Gluten enthalten, weshalb Lupinenmehl häufig in Lebensmitteln für Personen mit Gluten-Unverträglichkeit („Zöliakie“) zugesetzt wird.

Wegen seiner hohen Wasserbindungsfähigkeit und seiner Emulgatoreigenschaften wird Lupinenmehl häufig Backwaren zugesetzt. So entstehen feinporige Produkte mit einem nussigen Geschmack, die nur langsam austrocknen. Die Palette an Lebensmitteln, die aus Lupinensamen hergestellt werden können, ist ähnlich vielfältig wie bei Soja und reicht vom Müsliriegel bis hin zu Waffeln, Brot und Nudeln. Es gibt inzwischen Lupinenmilch, Lupinentofu, Lupinenshoyu (Flüssigwürze) und Lupinenmiso. Aus der Süßlupine kann sogar ein, natürlich koffeinfreier, „Lupinenkaffee“ hergestellt werden.

Theoretisch könnte man in vielen (allen?) Lebensmitteln, in denen Proteine benötigt werden, anstelle des häufig verwendeten Sojaproteins alternativ eine einheimische Proteinquelle einsetzen. Der Lupinen-Vermarktung kam auch zugute, dass Soja in Deutschland ein Imageproblem hat: Der Großteil der weltweiten Sojaproduktion beruht nämlich auf gentechnisch veränderten Pflanzen, was bei vielen Konsumenten Unbehagen auslöst. Mit der Lupine könnte eine naturbelassene, einheimische Pflanze das importierte „Gen-Soja“ vom Markt drängen - für die deutsche Landwirtschaft würde ein Traum wahr!

Der Lupinenanbau wäre nicht nur aus ernährungsphysiologischer Sicht eine wichtige Innovation. Lupinen sind in der Lage, den Luftstickstoff über ihre Wurzelknöllchen-Symbionten zu fixieren. Daher benötigen Lupinenkulturen keine Düngung durch Stickstoff (Abbildung 13).

Tatsächlich reichern Lupinen den Boden mit verwertbaren Stickstoff-Reserven sogar an, so dass davon die nächste Frucht, zum Beispiel Getreide, besser wachsen und auf künstliche N-Düngung teilweise verzichtet werden kann.

In diesem Sinne könnten Lupinen auch auf Grenzertragsböden gut angebaut werden, was ihre Förderung auch aus ökologischer Sicht sinnvoll macht.

In den letzten Jahren stellte sich leider heraus, dass auch Lupineneiweiß mit der Entwicklung bestimmter Allergief Formen beim Menschen in Verbindung steht. Die Symptome wie Hautreaktionen, Atemprobleme und Krämpfe sind dabei ähnlich wie bei der Sojabohne oder Erdnüssen. Nachdem in Folge der intensivierten Vermarktung von Lupinenprodukten eine Häufung schwerwiegender allergischer Reaktionen festgestellt wurde, besteht in der EU seit Dezember 2008 eine Deklarationspflicht für sämtliche

Lebensmittel, die Lupinen oder Spuren davon enthalten (EU Labelling Directive 2006/ 142/EC).

Da Lupinenmehl oder -protein derzeit vielen unterschiedlichen Lebensmitteln zur Verbesserung der nutritiven beziehungsweise technologischen Eigenschaften zugesetzt wird, ist es für die Lebensmittelindustrie notwendig, Lupinen-eiweiß schnell und sicher nachweisen zu können. Das Central Laboratory Unilever Switzerland (CLUS) in Thayngen, Schweiz hat unlängst auf Basis der Real-time-PCR eine Methode zum Nachweis von Lupinen-DNS in Lebensmitteln entwickelt. Die Nachweisgrenze in Lebensmittel liegt bei 10 ppm (10 mg/kg).

Moderne Biotechnologie als alternative Proteinquelle?

Unter Einzellerprotein (englisch: single cell protein; SCP) werden getrocknete Zellkulturen von Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen, Actinomyceten, Pilzen und auch von Algen verstanden. Es kann sich um Organismen mit photosynthetischer oder nicht-photosynthetischer Energiegewinnung handeln.

Die SCP-Produktion hat gegenüber klassischen Methoden der Proteingewinnung einige interessante Vorteile, ist sie doch unabhängig vom geographischen und klimatischen Einfluss, kontinuierlich und gut kontrollierbar zu fahren und mit geringer Abfallproduktion versehen. Zusätzlich lassen sich pro Zeiteinheit wesentlich größere Eiweißmengen produzieren, weil die Mikroorganismen unter optimierten Anzuchtbedingungen erheblich schneller wachsen als Pflanzen und Tiere.

Die Idee zur großtechnischen Produktion von Einzellerprotein geht bereits auf das späte 19. Jahrhundert zurück, als man 1879 in England in belüfteten Fässern Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) produzierte. Der gleiche Organismus diente während des ersten Weltkrieges in Deutschland zur Herstellung von SCP mit dem Ziel der Unterstützung der Tier- und Humanernährung. Die Mikroorganismen wurden dabei unter Verwertung von in großen Mengen vorhandenen Melasse, einem Abfallprodukt aus der Zuckerrüben-Industrie, gezüchtet. Später wurde die Hefe *Candida utilis* zur Produktion von Nahrungsprotein eingesetzt; als Nährsubstrat dienten zum Beispiel auch Sulfitabwässer, welche bei der Papierherstellung aus Holz entstehen. Noch einmal später in den 1960er und 1970er Jahren versuchten einige Chemieunternehmen, Mikroorganismen auf aus Erdöl abgeleiteten Kohlenstoff-Verbindungen (Alkane, Methanol, Ethanol) zu züchten. Die teilweise recht erfolgreichen Bemühungen in England, Ja-



Abbildung 13: Wurzelbakterien an Leguminose (Sumpf-Hornklee, lat. *Lotus pedunculatus*; Foto: Frank Vincentz).

pan und Russland wurden erst durch die Ölkrise 1973 gestoppt, weil die Rohstoffe zu teuer waren.

Mitte der 1980er Jahre wurde unter dem Namen „Quorn“ erstmals ein proteinreiches, industriell hergestelltes Nahrungsmittel aus fermentiertem Schimmelpilz-Myzel eingeführt. Der zugrunde liegende Schimmelpilz *Fusarium venenatum* wurde in den 1960er Jahren zufällig auf Getreideähren auf einem Bauernhof in England entdeckt (Abbildung 14).

Das cholesterinarme „Quorn“ besteht zu 10 bis 15 Prozent aus Proteinen und zu etwa 13 Prozent aus Fetten. Es wird mit Vitaminen und Mineralien angereichert und mit Eiweiß aus Hühnereiern als Bindemittel in einem patentierten Verfahren zu vegetarischem Fleischersatz verarbeitet.

Um „Quorn“ überhaupt in den Verkauf bringen zu können, wurde es einer umfangreichen, mit toxikologischen Studien verbundenen Sicherheitsbewertung unterzogen. Um die Aussagekraft der Tierversuche sicherzustellen, achtete man in den Fütterungsversuchen in besonderem Maß auf ernährungsphysiologische Ausgewogenheit. Dies gelang durch die Verwendung eines Futters mit 54 Prozent „Quorn“ als einziger Proteinquelle. Das Vergleichsfutter enthielt Casein anstelle des Mycoproteins. Es wurden auch Toleranzstudien mit Freiwilligen durchgeführt, in denen man das allergene Po-

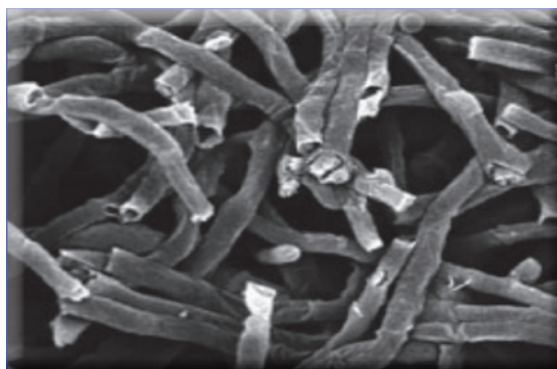


Abbildung 14: *Fusarium venenatum*, dessen Biomasse zur Herstellung des Pilzproteins „Quorn“ dient (Quelle: www.mycoprotein.org).

Proteinquelle	PDCAAS
„Quorn“	1.0
Casein	1.0
Hühnereiwiss	1.0
Huhn	1.0
Truthahn	0.97
Fisch (Kabeljau)	0.96
Sojaprotein	0.94
Fleisch	0.92
Erbsenmehl	0.69
Kidney-Bohnen	0.68
Erdnussmehl	0.52
Weizenmehl	0.40
Weizengluten	0.25

Tabelle 5:
Eiweisswertigkeit
(Protein Digesti-
bility Corrected
Amino Acid
Score, PDCAAS)
ausgewählter
Proteinquellen.

tential des neuen Produktes untersuchte.

1985 wurde „Quorn“ offiziell als Lebensmittel zugelassen und hat in England und den USA eine recht hohe Verbreitung erreicht. Im deutschsprachigen Raum wird das Produkt aktuell nur in der Schweiz in Nahrungsmitteln unter dem Markennamen „Cornatur“ angeboten. In Deutschland konnte man Quorn-Produkte bis Ende August 2009 in den inzwischen geschlossenen Filialen der belgischen Supermarkt-Kette Delhaize in Köln und Aachen erwerben.

Die Produkte weisen gegenüber Fleisch Vorteile auf, da sie beim Erhitzen praktisch nicht schrumpfen. Weil der Durchmesser der Pilzfilamente mit dem von Fleischfibrillen nahezu identisch ist, ergeben sich auch Vorzüge gegenüber texturierten Sojaprodukten.

Mycoprotein besitzt eine hohe biologische Wertigkeit, die mit Casein verglichen werden kann. Als limitierende Aminosäuren wurden Cystein und Methionin bestimmt. „Quorn“ hat auch cholesterinsenkende Eigenschaften. Es werden sowohl Cholesterin- als auch Blutfettwerte (HDL, LDL) positiv beeinflusst. Mycoprotein ist selbst cholesterinfrei und hat nur einen geringen Gehalt an gesättigten Fettsäuren. Ein Grund für die gesundheitlich positiven Effekte ist vermutlich der Gehalt an Zellwandmaterialien. So wird etwa ein Drittel der Trockenmasse durch das Zellwandmaterial (Chitin, 1,4-verknüpftes Poly-N-Acetylglucosamin) gestellt. Chitin soll neutrale Sterole, Gallensäuren und Cholesterin im Verdauungstrakt binden und dadurch deren Absorption beziehungsweise Reabsorption verhindern.

Kritischer Bestandteil allen Einzellerproteins, also auch von „Quorn“, ist dessen hoher Gehalt an Nucleinsäuren, welche vom Menschen zu Harnsäure metabolisiert wird. Da der menschliche Stoffwechsel Harnsäure nicht in das bes-

ser lösliche Allantoin überführen kann, können durch den Genuss großer Mengen Einzellerproteins Nierensteine entstehen. Um dieser Gefahr vorzubeugen, wird Mycoprotein heute durch die RNS-reduzierten Zellen eines genetisch veränderten *Fusarium venenatum* produziert. Durch zusätzliche Inkubation des Mycoproteins bei etwa 65°C wird eine weitere Reduktion des Nucleinsäuregehaltes erreicht, der schließlich dem Lebensmittelrichtwert der Weltgesundheitsorganisation WHO entspricht (Abbildung 15, Tabellen 5 und 6).

Ein Blick in die Zukunft

Die Herausforderungen bezüglich der ausreichenden und sicheren Ernährung einer stetig steigenden Weltbevölkerung sind gewaltig. Ganz offensichtlich sind Pflanzenproteine die primäre Eiweißquelle aller höher entwickelten Lebewesen. Proteine bilden mit Blick auf die globalen Ernährungsprobleme des Menschen einen der größten Engpässe.

Auf absehbare Zeit bleibt die natürliche Proteinbiosynthese, basierend auf autotropher CO₂-Assimilation und eingestrahelter Sonnenenergie, die Hauptquelle an Nahrungseiweiß. In den letzten Jahren hat die pflanzliche Proteinforschung zwar einen wesentlichen Aufschwung genommen, aber dennoch werden die heutigen Anstrengungen der Größe der Aufgabe und der zentralen Bedeutung der Pflanzenproteine bei weitem nicht gerecht. Eine weiter intensiviertere Grundlagenforschung auf dem Gebiet der pflanzlichen Proteine würde wichtige Beiträge zur notwendigen Steigerung der Eiweißproduktion und -qualität liefern. Die Erforschung und systematische Erfassung der Nutzpflanzengenetik dient dabei als Ausgangspunkt für die Züchtung von neuen ertrag- und proteinreichen sowie qualitativ verbesserten Kulturpflanzensorten. Diese würden zum Beispiel keine Defizite an essentiellen Aminosäuren mehr aufweisen und wären damit in der Lage, tierisches Eiweiß zu ersetzen. Als Ergänzung könnte die Produktion von Einzellerprotein dienen, wenn es gelingen sollte, bessere Produktionsprozesse beispielsweise auf der Basis von Holz oder Stroh zu entwickeln. Die weltweit jährliche anfallende, und heute bis auf Anzucht von Speisepilzen praktisch unverwertbare, Menge an Stroh beträgt über 600 Millionen Tonnen und würde ein riesiges Rohstoffreservoir für die Proteinherstellung anbieten.

Sicher ist, dass der naturwissenschaftliche Beitrag zur Lösung des Proteinproblems nur dann voll wirksam werden kann, wenn gleichzeitig auch eine Optimierung der landwirtschaftlichen Anbaumethoden inklusive verbesserten Düng- und Pflanzenschutzmethoden erfolgt. Es ist auch vorstellbar, Pflanzensorten zu entwickeln, die

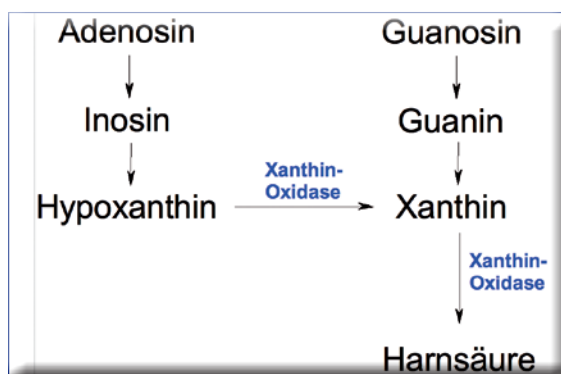


Abbildung 15:
Abbau von
Nucleosiden zu
Harnsäure.

Essentielle Aminosäuren	„Quorn“	Kuhmilch	Ei	Rindfleisch	Sojaprotein	Erdnüsse	Weizen
Histidine	0.35	0.09	0.30	0.66	0.6	0.65	0.32
Isoleucine	0.52	0.20	0.68	0.87	1.1	0.91	0.53
Leucine	0.86	0.32	1.10	1.53	1.8	1.67	0.93
Lysine	0.83	0.26	0.90	1.60	1.4	0.92	0.30
Methionine	0.21	0.08	0.39	0.50	0.3	0.32	0.22
Phenylalanine	0.49	0.16	0.66	0.76	1.1	1.30	0.68
Tryptophan	0.16	0.05	0.16	0.22	0.3	0.25	0.18
Threonine	0.55	0.15	0.60	0.84	0.8	0.88	0.37
Valine	0.62	0.22	0.76	0.94	1.1	1.08	0.59

Tabelle 6: Gehalt essentieller Aminosäuren im Pilzprotein „Quorn“ und anderen Nahrungsmitteln (g Aminosäuren pro 100 g), W. Franke: Nutzpflanzenkunde, 6. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1997.

weniger Wasserverbrauch als traditionelle Sorten haben und eine höhere Austrocknungs- und Salztoleranz aufweisen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“ konzentriert sich in Deutschland momentan eher auf die industrielle Nutzung pflanzlicher Kohlenhydrate, Fette und Öle. Letztere waren in den letzten Jahren vor dem Hintergrund der „Biodiesel“-Thematik ein beliebter Forschungsschwerpunkt. Proteine wurden bislang nur relativ wenig adressiert, wobei der Focus auf Raps, Weizen und Lupinen lag. Es läge nahe, das Synthesepotential ausgewählter Pflanzen im Sinne einer höheren Wertschöpfung vollständiger auszunutzen und beispielsweise die bei der Öl- und Stärkegewinnung anfallenden proteinreichen Rückstände industriell besser zu verwerten. Neue Anwendungsmöglichkeiten liegen auch in der gezielten Optimierung für Futtermischungen bei Masttieren; Lupinenprotein wird beispielsweise in Australien auch in Fischfarmen verfüttert.

Idealerweise würden die wissenschaftlichen Bemühungen einhergehen mit einem Wechsel zu einem ganzheitlicheren, globalen Denken über die Ernährungsproblematik, vor allem in den Industrienationen. Der enorme Anstieg der landwirtschaftlichen Produktivität in den USA nach dem Zweiten Weltkrieg wurde zu großen Teilen absorbiert durch die Verwendung der Getreideüberschüsse in der Rindermast, die den dauernd steigenden Bedarf der Bevölkerung nach Fleisch bedienen sollte. Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist diese Entwicklung sehr problematisch, weil zur Erzeugung von Rindfleisch unverhältnismäßig viel pflanzliches Primärprotein eingesetzt werden muss, oder umgekehrt: Mit der gleichen Menge primären Getreideproteins könnten wesentlich mehr Menschen ernährt werden als auf dem „Umweg“ über tierisches Protein. Dies wird in der folgenden Abbildung deutlich: In der Hühnerzucht werden drei Kilogramm Pflanzenprotein

in ein Kilogramm Hühnerfleisch umgewandelt, in der Rindermast, werden dagegen sechzehn Kilogramm Maisprotein verbraucht, um ein Kilogramm Beefsteak zu produzieren (Abbildung 14).

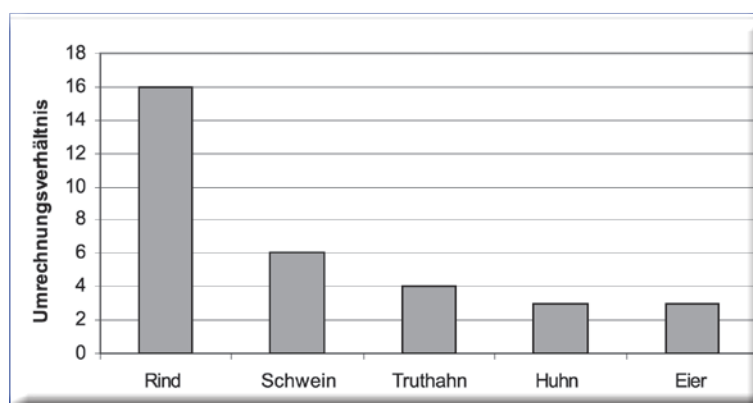
Nicht nur in den Entwicklungsländern kommen inzwischen vermehrt Fragen auf, ob dieser Weg auch in Zukunft unreflektiert weiter begangen werden kann ...

CLB

Literatur

- [1] W. Franke: Nutzpflanzenkunde, 6. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1997.
- [2] Luck T. und Borchering A., „Abschlussbericht: Untersuchungen zum technischen Einsatzpotential pflanzlicher Proteine aus entfettetem Raps als Rohstoff für technische Nutzungen (Förderkennzeichen 95 NR 101-F). Verbundvorhaben: Technischer Raps.“ Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising 1998.
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: <http://www.fnr.de>
- [4] Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe: <http://www.inaro.de/>
- [5] Verband der Chemischen Industrie: <http://www.vci.de>
- [6] <http://www.phytochem.de>
- [7] www.mycoprotein.org
- [8] Moore-Lappé, F. „Diet for a small planet“ Fischer Verlag, Frankfurt M., 1984.

Abbildung 16: Umwandlungsverhältnisse von primärem pflanzlichem Protein in tierisches Eiweiß verschiedener Nutztiere.



Mikroalgen als Rohstoffproduzenten geeignet für Hochtechnologieprodukte

Unrentabel für die Produktion von Biokraftstoffen – Grundlagenforschung ausweiten

Rolf Kickuth, Gaiberg

Als ein Lieblingskind der Forschungen zu nachwachsenden Rohstoffen – die Produktionen ohne Ressourcenverschwendung ermöglichen – haben sich Algen entwickelt, genauer Mikroalgen. Tatsächlich wird ihre Bedeutung für unsere Umwelt meist unterschätzt: Einzellige Algen in den Weltmeeren (Phytoplankton) sind etwa für die Hälfte der globalen Kohlenstofffixierung durch Photosynthese verantwortlich. Es wird geschätzt, dass sich jährlich 45 bis 50 Milliarden Tonnen Kohlenstoff des Kohlendioxids in Phytoplankton umwandeln. Mikroalgen erzeugen Fette und Eiweißstoffe. Sie haben keine Wurzeln, können als Ganzes geerntet werden. Auch aufgrund dieser Eigenschaften knüpfen sich hohe Erwartungen an den technischen Einsatz dieser Einzeller. Immer wieder liest man erstaunliche Erfolgsmeldungen. So schrieb Focus online am 10. Januar dieses Jahres: „Biosprit: Die Mikrobälchen-Revolution – eine neue Methode macht die Produktion von Biokraftstoffen aus Algen viel effizienter.“ Und Spiegel online titelte am 16. Dezember letzten Jahres hinsichtlich Biotreibstoff-Produktionen: „Alles auf Alge“ mit dem weiteren Hinweis: „Das Thema ist heiß“. Tanken wir bald am Algen-Bioreaktor?

Um es kurz zu machen: Heiß ist nur die Luft, mit der das Thema vermarktet wird – was nicht gleichbedeutend damit ist, dass Algenforschung uninteressant oder sinnlos ist, im Gegenteil. Das liegt einmal an einzigartigen Eigenschaften der Algen, zum anderen daran, dass sie noch verhältnismäßig unerforscht sind – und es somit möglicherweise viel zu entdecken gibt. So sind nach Angaben der Dechema derzeit Sequenzinformationen zu 27 eukaryontischen Algenarten öffentlich verfügbar. Für die prokaryontischen Blaualgen mit ihren wesentlich kleineren Genomen liegen für 30 Arten vollständige Sequenzen vor. Das ist im Vergleich zu anderen Organismengruppen sehr wenig.



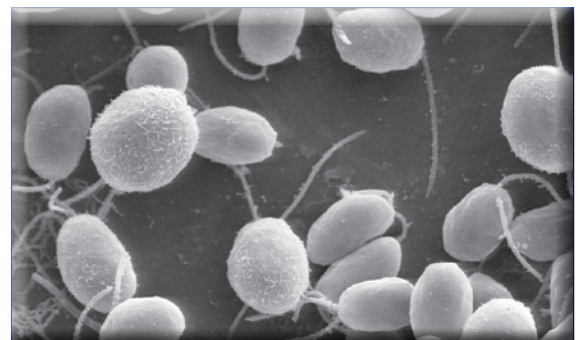
Der Autor

Rolf Kickuth ist Verleger. Schon während seines Chemiestudiums war er etwa für *FAZ*, *Bild der Wissenschaft* und *Chemische Rundschau* wissenschaftsjournalistisch tätig. Später gab er die *AXON* für Anwendungen und Methoden der künstlichen Intelligenz heraus. Er war zudem Chefredakteur des *Informatik Spektrum*, der Zeitschrift der Gesellschaft für Informatik, sowie Kongressveranstalter.



Abbildung 1: Bei Algen kann es sich um 30 bis 80 Meter große Gewächse handeln, die wie oben im Bild gezeigt Kelp- oder Tangwälder bilden (Foto (mit Anemone und Seestern)): Clark Anderson). Sie werden von gasgefüllten Ballons (kleines Foto; RK) an die Wasseroberfläche gezogen.

Abbildung 2: Dieser Artikel handelt vorwiegend von Mikroalgen wie etwa der einzelligen Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*, die nur etwa zehn bis 20 Mikrometer Durchmesser hat (El.mikroskopische Abb.: Dartmouth College).



Das ist im Vergleich zu anderen Organismengruppen sehr wenig.

Die verlockenden Eigenschaften der Algen sind teils offensichtlich, teils müssen sie aus ihnen „herausgekitzelt“ werden. Algen nutzen Kohlendioxid als Kohlenstoffquelle. Damit stellen sie zumindest theoretisch ein Bindeglied zwischen den technischen Prozessen, die CO₂ emittieren, und dem Kohlenstoffkreislauf der Natur dar. Zudem benötigen Algen in ihrer Produzentenfunktion für nachwachsende Rohstoffe kein Ackerland; somit ergibt sich keine Konkurrenzsituation zu Lebensmittelpflanzen. Es gibt Algen, die können Wasserstoff, und solche, die können Ethanol erzeugen. Und es gibt eine Vielzahl komplexer organischer Substanzen, die sich aus Algen gewinnen und in Hochtechnologieprodukte wie Pharmazeutika einsetzen lassen. Insgesamt sind etwa 40 000 Algenarten bekannt, wovon nur etwa ein Prozent wirtschaftlich genutzt wird.

Geschichte der Algennutzung

Erste Berichte über den Gebrauch von (großen, vielzelligen) Algen – finden sich in China schon um 2500 vor Christus. Die Japaner haben diese Kultur dann aus China übernommen. Etwa um 1670 begann man dort auch, die Algen in Aquakulturen zu züchten. Rund 300 000 Tonnen Algen verspeisen die Japaner jährlich. Sie werden in Sushi, Reis- oder Tofugerichten verwendet. Hierbei findet hauptsächlich Porphyra (*P. yezoensis* und *P. tenera*) Verwendung, die in der Küchensprache Nori heißt. Im 18. Jahrhundert erkannte man, dass das zur Glasherstellung und zur Porzellan glasur benötigte Soda aus der Asche großer Algen (die im Englischen Kelp genannt werden; siehe Abbildung 1) gewonnen werden kann. Sehr schnell entwickelte sich an den Küsten von Spanien, Frankreich und den Britischen Inseln eine Kelp-Industrie. Ende des 18. Jahrhunderts produzierte Schottland 20 000 Tonnen Algenasche, wofür 400 000 Tonnen Algen benötigt wurden. Modernere Algenprodukte sind Agar und Carrageen.

Die erste großtechnische Kultivierung von Mikroalgen (Abbildung 2) startete in den frühen 1960er Jahren in Japan mit dem Einzeller *Chlorella*. Die Alge verwendet man für die Herstellung von Lebensmitteln, Nahrungsergänzungsmitteln und Kosmetika. Im Jahr 1957 fanden im Auftrag der Carnegie Institution in Washington, die der Arthur D. Little Inc. angehört, die ersten Versuche zur Algengzüchtung statt. *Chlorella*-Einzeller erhielten neben Lichtenergie nur CO₂ und Salze als Nahrung. Zuerst wurde mit 150 Zentimeter hohen Glasreaktoren experimentiert, später mit einem Algenbecken in Form eines lichtdurchlässigen Plastikschlauches. Das Ziel der damaligen Forschungen war es, ein günstiges Viehfutter herzustellen. Auch der US-Amerikaner russischer Abstammung, Melvin Calvin, Professor an der Berkeley-Universität in Kalifornien, erforschte *Chlorella*. Er deckte grundlegende

Mechanismen der Photosynthese auf und erhielt dafür 1961 den Nobelpreis für Chemie (s.u.).

Andere Firmen setzen auf die Alge *Arthrospira* für Produkte des Lebensmittelsektors. *Arthrospira* Produkte werden sowohl in Pulver- als auch in Tablettenform angeboten. Diese Mikroalge enthält eine große Anzahl an Aminosäuren, Vitaminen, Mineralien, essentiellen Fettsäuren, Carotin und speziellen Polysacchariden mit hohem Molekulargewicht, die möglicherweise immunstärkende Eigenschaften aufweisen, indem sie die körpereigene Produktion von Antistoffen und Cytokinen (Signalstoffe des Immunsystems) erhöhen. Insgesamt sind etwa 40 000 Algenarten bekannt, wovon nur etwa ein Prozent wirtschaftlich genutzt wird.

Der Markt für Algenbiomasse beläuft sich nach Stefan Verseck, Cognis GmbH, auf etwa 5000 Tonnen Trockensubstanz pro Jahr. Damit erzielt man einen Umsatz von etwa 1,3 Millionen US-Dollar. Die Dechema beziffert die gesamte, weltweit verarbeitete Menge an Algen mit ca. 9 Millionen Tonnen pro Jahr, womit ein jährlicher Umsatz von schätzungsweise 3,5 Milliarden Euro erzielt wird.

Forschung

Grob unterscheiden lassen sich die Forschungsarbeiten mit Algen in systembiologische und in anlagenorientierte Ansätze. Grundlegende Aufklärungen zur Photosynthese gelangen wie gesagt Melvin Calvin. Er ermittelte, wie Pflanzen CO₂ fixieren und welche biochemischen Reaktionen dabei ablaufen. Zur Aufklärung dieser Prozesse nutzte er die radioaktive Markierung von Atomen bzw. Molekülen. Zunächst setzte Calvin Grünalgen der Gattungen *Chlorella* und *Scenedesmus* in eine Lösung, die als Teil des eingesetzten Kohlendioxids das radioaktive Kohlenstoff-Isotop ¹⁴C enthielt. Die Algen betrieben unter Licht Fotosynthese, wobei sie ¹⁴CO₂ aufnahmen. Nach der Belichtung löste man ihre Inhaltsstoffe in Alkohol. Anschließend

Kurz gefasst: Produkte aus Mikroalgen

- Mikroalgen sind zu uneffizient für die Produktion von Biotreibstoffen.
- Hochwertige Stoffe wie Lebensmittelzusatzstoffe oder Pharmaka lassen sich heute schon ökonomisch durch Mikroalgen produzieren.
- Kombinierte Prozesse von der Produktion von Biotreibstoffen durch den Einsatz von rückzuführendem CO₂ und späterer stofflicher Verwertung der wertvollen Algeninhaltsstoffe könnten zu einem insgesamt rentablen Prozess führen.
- Die Systembiologie mit ihrer Kombination aus Gentechnik, Proteomik, Computersimulation und evolutionärer Produktentwicklung können zu optimierten Algen führen, die wiederum mit optimierten Bioreaktorkonzepten ökonomische und ökologische Mikroalgenproduktionen erlauben.
- Mikroalgen sind ein faszinierendes Forschungsthema. Eventuell lassen sich molekulare Teilprozesse etwa der Photosynthese isolieren, sodass ohne Algen katalytisch Biotreibstoffe gewonnen werden können.

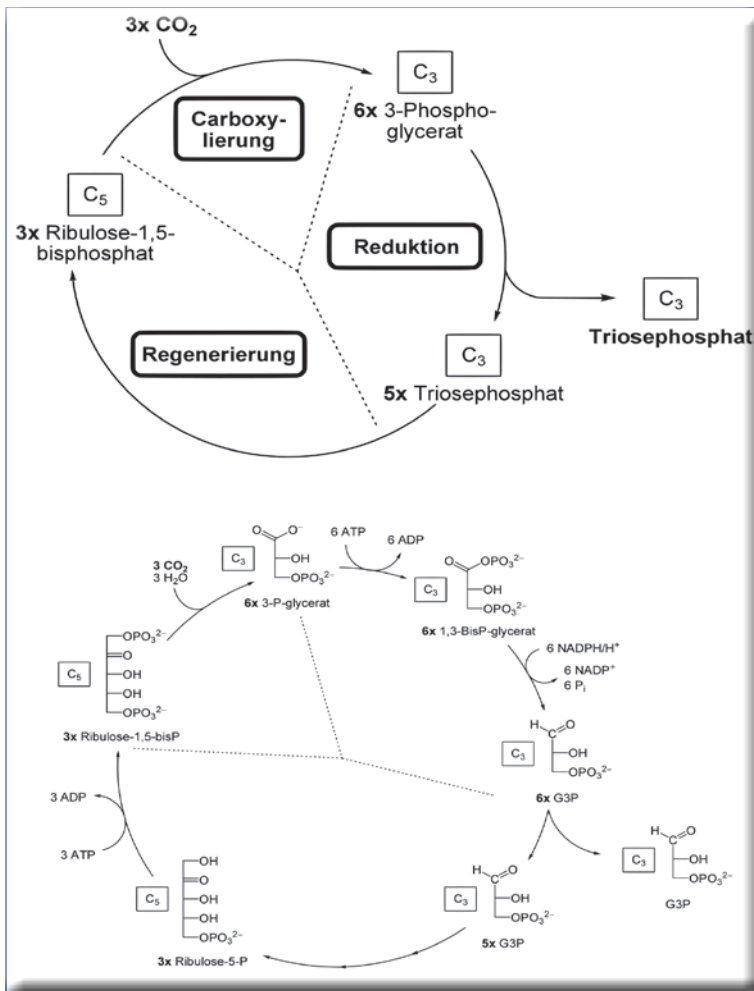


Abbildung 3: Der Calvin-Zyklus; oben schematisch die drei Phasen 1. CO₂-Fixierung, 2. Reduktion, 3. Regenerierung; unten im Detail (Abb.: Yikraazul).

erfolgte eine Trennung dieser Stoffe durch Papierchromatographie. Da die von Calvin gesuchten Stoffe farblos waren legte er sein Chromatogramm auf einen Röntgenfilm, der durch radioaktive Strahlung des Kohlenstoffisotops schwarz gefärbt wurde. Um die Stoffe zu identifizieren wurden Vergleichschromatographien vorgenommen. Nachdem Calvin zwölf verschiedene chemische Verbindungen gefunden hatte, ging es daran die Reihenfolge deren Synthese herauszufinden.

Er versetzte wieder eine Lösung mit radioaktivem Kohlenstoffdioxid, belichtete seine Algen jedoch unterschiedlich lange. Nach wenigen Sekunden Belichtungszeit entstand nur ein einziger radioaktiver Stoff: Glycerinsäurephosphat (ein Molekül mit drei C-Atomen; C₃-Körper). Calvin entdeckte eine Abfolge von Stoffen. Als letztes Reaktionsprodukt entstand der Zucker Ribulosebiphosphat (auch Ribulosebiphosphat oder Ribulosediphosphat, ein Molekül mit fünf C-Atomen; C₅-Körper). Eine entsprechende Einteilung gibt es auch für Pflanzen: C₄-Pflanzen sind Pflanzen mit C₄-Verbindungen als erstem Kohlendioxid-Fixierungsprodukt. Sie haben gegenüber C₃-Pflanzen eine erhöhte Effizienz bei der CO₂-Fixierung).

Verbindet sich dieser C₅-Körper mit einem CO₂-Molekül so entsteht dabei ein C₆-Körper, der aufgrund seiner Instabilität in zwei C₃-Körper zerfällt, die als erster radioaktiver Stoff nachzuweisen waren. Calvin schloss aus den Ergebnissen seiner Experimente, dass es sich um einen Kreisprozess handeln musste, der später ihm zu Ehren „Calvin-Zyklus“ genannt wurde (Abbildung 3).

Die Photosysteme der Photosynthese

Die Photosynthese ist ein komplexer Prozess, dem seit langem das Interesse der Forscher gilt. Ein zentraler Bestandteil der Photosynthese ist das Photosystem, das aus zwei Teilen besteht. Belichtet man Grünalgen jeweils mit Licht der Wellenlänge 700 oder 680 Nanometer, erhält man jeweils eine bestimmte Sauerstoffmenge. Lässt man jedoch Licht dieser beiden Wellenlängen gleichzeitig einwirken, wird die Photosyntheseleistung deutlich gesteigert (Emerson-Effekt). Dies zeigt, dass in der Photosynthese zwei verschiedene Licht absorbierende Systeme zusammenarbeiten. Bei der oxygenen Photosynthese (durch grüne Pflanzen, Algen und Cyanobakterien) werden molekularer Sauerstoff O₂ und Wasserstoffionen H⁺ freigesetzt. Die gewonnenen Elektronen werden auf NADP⁺-Moleküle (Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat) übertragen, welche im Stoffwechsel des Organismus vor allem für den Aufbau von Kohlenhydraten (Dunkelreaktion) notwendig sind. Um einerseits Wasser oxidieren zu können, und andererseits NADP⁺ reduzieren zu können, sind zwei verschiedene Photosysteme hintereinander geschaltet, deren Redoxpotentiale durch Absorption von Licht geändert werden. Photosystem II stellt ein starkes Oxidationsmittel zur Oxidation von Wasser bereit, während an Photosystem I ein starkes Reduktionsmittel zur Reduktion von NADP⁺ erzeugt wird. Diese Reaktion bezeichnet man als Lichtreaktion, da dieser Teil der Photosynthese direkt von Licht abhängig ist. Die netto-Reaktionsgleichung für die oxygenen Photosynthese sieht also so aus: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 \quad \Delta H^0 = +2870 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ Das Photosystem I enthält insgesamt zirka 200 Moleküle Chlorophyll a und b sowie 50 Carotine. Das Reaktionszentrum des Photosystems I hat ein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von 700 Nanometer, es wird deshalb auch als P700 bezeichnet. Das Photosystem II enthält insgesamt zirka 250 Moleküle Chlorophyll a und b sowie ca. 110 Carotinoide. Das Reaktionszentrum des Photosystems II hat ein Absorptionsmaximum bei 680 Nanometer (P680). Bei Cyanobakterien enthält das Photosystem Phycocyanobilin und Phycoerythrobilin.

Ein Photosystem setzt sich aus einem Lichtsammelkomplex (Antennenkomplex) und aus einem Reaktionszentrum zusammen. Der Lichtsammelkomplex besteht je nach Typus des Photosystems aus zirka 30 Proteinen, die mit Pigmentmolekülen verbunden sind. Sie werden durch das Licht in einen energiereichen Zustand gebracht. Diese Energie kann an das Reaktionszentrum weitergeleitet werden. Die Effizienz der Energieübertragung im Lichtsammelkomplex auf ein Reaktionszentrum beträgt mehr als 90 Prozent und erfolgt in 10⁻¹³ Sekunden.

Beispiele aktueller Forschung

Mit Hilfe analytischer Methoden der Genomik und Proteomik, unterstützt durch Modellbildung im Computer, ist man heute auf dem Weg, die einzelnen Synthesestufen in den Algen weiter zu entschlüsseln. Darauf aufbauend lassen sich dann Algenkulturen hin zur Produktion bestimmter Stoffe optimieren, oder man löst bestimmte Prozessschritte gänzlich von dem Organismus Alge. Über ein besonders interessantes Forschungsprojekt, dass zu solch einem Ergebnis führen könnte, berichtete Prof. Thomas Happe, Uni Bochum, auf einer Tagung des Dechema-Arbeitskreises Algenbiotechnologie Mitte Januar in Frankfurt. Das Projekt trägt zur Aufklärung bei, wie Algen Wasserstoff erzeugen, welche Optimierungen dabei möglich sind – und kann letztendlich sogar dazu führen, dass man auf die Algen verzichten kann: Es ist vorstellbar, dass es gelingt, nur durch den Einsatz der H_2 -erzeugenden und wasserspaltenden Enzyme „Biotrieben“ zu entwickeln.

Wasserstoffherzeugung

Wasserstoff erzeugen kann nämlich die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*. Bemerkenswerterweise sind bei dem Organismus die Enzyme, die den Wasserstoff erzeugen, an die Sauerstoff produzierende photosynthetische Elektronentransportkette gekoppelt. –Bemerkenswert deshalb: diese Hydrogenasen sind sehr sauerstoffempfindlich sind. Tatsächlich befinden sich die Hydrogenasen im Chloroplasten, dem Zellorganell, in welchem die Photosynthese stattfindet. Die Wasserstoffbildung findet bei Belichtung statt. Der lichtgetriebene Elektronentransport erfordert unbedingt Photosystem I (PS I); die Aktivität von PS II ist nicht unbedingt notwendig.

Im Jahr 2000 entdeckte man: Der Auslöser der photosynthetischen H_2 -Produktion in der Grünalge ist Schwefelmangel; die Wasserstoffproduktion ist für sie eine Notlösung. Während die Alge die durch die Photosynthese gewonnene Energie unter normalen Bedingungen in Zellvermehrung und Wachstum investiert, fehlen ihr dafür bei Nährstoffmangel die Bausteine. Um die bei der Photosynthese aus Lichtenergie gewonnenen Elektronen trotzdem loszuwerden, setzt die Alge sie mit Hilfe eines speziellen Enzyms, der Hydrogenase (Abbildung 4), mit Protonen zu Wasserstoff um, den sie an ihre Umgebung abgibt. Ein Protein kann dabei bis zu 9000 Moleküle Wasserstoff produzieren.

Happe und seine Mitarbeiter konnten bereits aufklären, wie der Mechanismus abläuft, durch den Sauerstoff die Hydrogenase zerstört (siehe CLB 12-2009, Seite 480-481: Sauerstoffschädigungsmechanismus aufgeklärt). Mit diesen Erkenntnissen hofft man, die Hydrogenase derart gezielt modifizieren zu können, dass sie gegen Luftsauerstoff unempfindlicher wird (Abbildung 5).

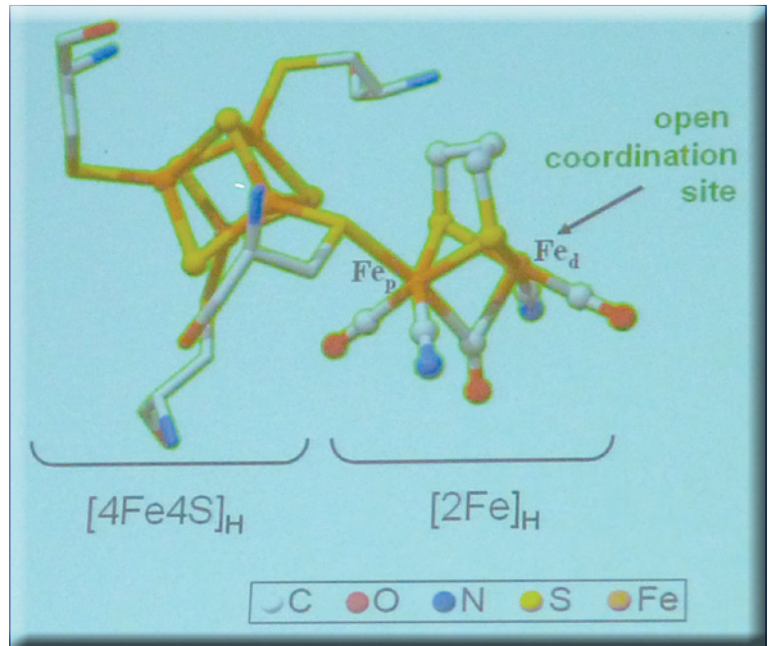


Abbildung 4: Analyse des aktiven Zentrums von [FeFe]-Hydrogenasen.

Abbildung 5: Clusterzerstörung durch O_2 -Angriff (Happe-Vortrag; Fotos: RK).

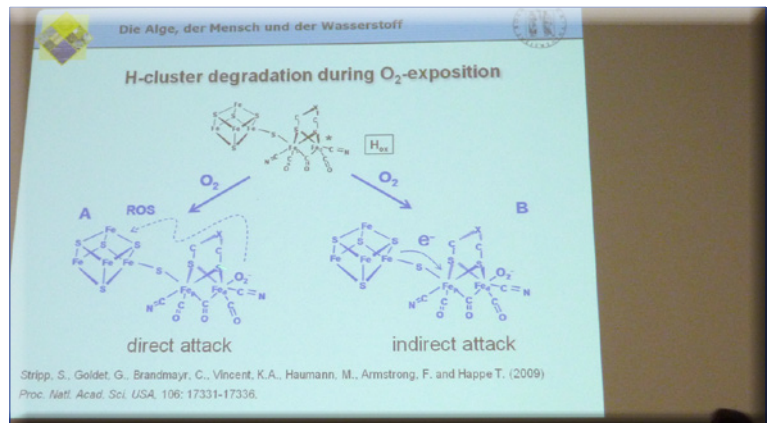


Abbildung 6: Rekonstruktion der lichtabhängigen Wasserstoffproduktion von Grünalgen im Reagenzglas. Unabhängig voneinander aufgereinigte Proteine (PC: Plastocyanin; PetF: Ferredoxin) bzw. Proteinkomplexe (Photosystem I) der Photosynthese von *C. reinhardtii* werden in einem Reagenzglas mit Hydrogenase (HydA1Cr) vermischt. Die ausschließlich unter Belichtung einsetzende Wasserstoffproduktion wird mittels Gaschromatographie im Gasraum des Reagenzglases nachgewiesen (Abb.: Happe).

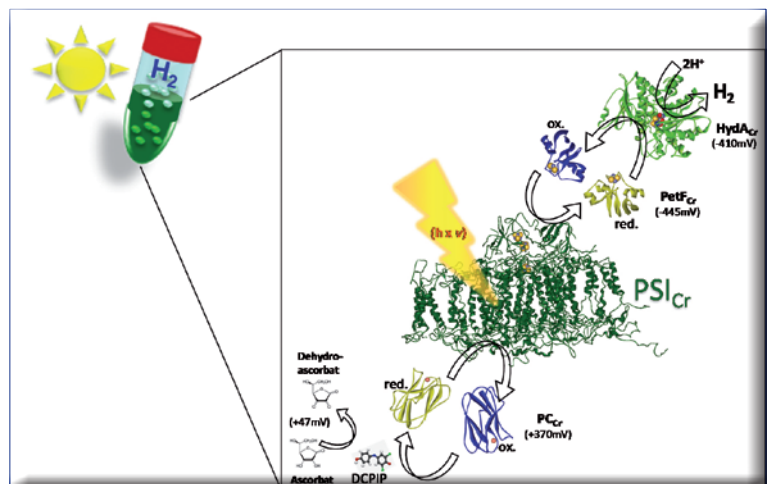
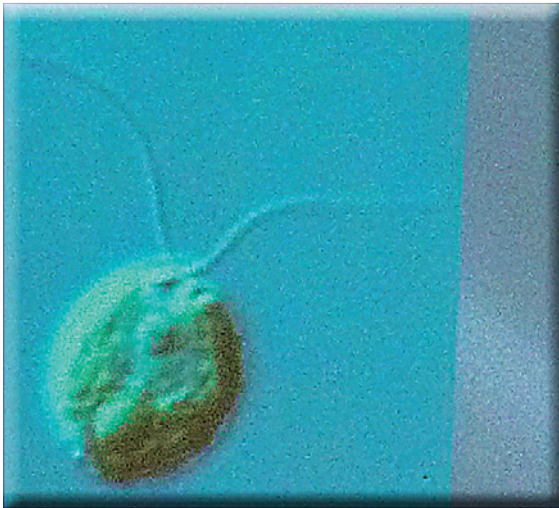


Abbildung 7:
Aufbau der Alge
C. reinhardtii.



Jetzt ist Happe und sein Team der „Biobatterie“ einen Schritt näher gekommen. Es ist ihnen gelungen, die für die H_2 -Bildung verantwortlichen Reaktionen im Detail aufzuklären, ihre Bestandteile aus den Algen zu isolieren und die Produktion ins Reagenzglas zu verlegen (Abbildung 6). Sie isolierten dafür getrennt voneinander die für die Lichtaufnahme erforderlichen Photosynthesekomplexe, das als Elektronenvermittler dienende Ferredoxin PetF und die wasserstoffproduzierende [FeFe]-Hydrogenase HydA1, die sie dann unter Belichtung vereinten. Bereits nach wenigen Minuten ist eine deutlich lichtabhängige Wasserstoffbildung feststellbar, die nur einsetzt, wenn alle drei Komponenten enthalten sind. Der Wasserstoff wird nach Angaben von Happe dabei sehr effektiv gebildet. Er zitiert dafür Ergebnisse US-amerikanische Forscher aus Tennessee. Sie hatten ein semiartifizielles System zur lichtgetriebenen Wasserstoffproduktion mit flächig aufgelagerten Photosynthesekomplexen und Platin-Nanopartikeln, welche die Katalysatorfunktion einer Hydrogenase ersetzen, entwickelt. Ihren Angaben zufolge liegt die Ausbeute, die mit einer großtechnischen Anlage unter optimalen Bedingungen gewonnen werden könnte, um eine Größenordnung über der Kraftstoffausbeute, die heute mit landwirtschaftlichen Mitteln in der Produktion von Biodiesel oder Bioethanol erzielt werden kann. In Zahlen heißt das: Das US-System verfügt über eine Wasserstoffbildungsrate von drei Litern pro Gramm Chlorophyll und Tag. Das System der Bochumer Forscher soll dies um das Sechsfache übertreffen! Ebenfalls erfreut ist man über die Ausbeute an Hydrogenase HydA1. Liegt sie in einer Algensuspension ursprünglich in einer Konzentration von $1 \mu\text{g}$ pro Liter vor, konnte man sie schon auf $2500 \mu\text{g}$ pro Liter aufkonzentrieren. Happe meinte sogar euphorisch, man könne sie fast grammeise isolieren.

Ferner gelang es der Bochumer Arbeitsgruppe, den genauen Kopplungsmechanismus von Photosynthese und H_2 -bildendem Enzym experimentell auf molekularer Ebene aufzuklären. Von entscheidender Bedeutung scheinen dabei sehr spezifische Ladungs-

wechselwirkungen zwischen den Proteinoberflächen von Ferredoxin und Hydrogenase zu sein. Mit dem Verständnis dieser Protein-Protein-Wechselwirkung eröffnen sich nun verschiedene Möglichkeiten zur Optimierung der natürlichen Wechselwirkungseffizienz beider Proteine.

Wie Happe berichtete nimmt man dafür Methoden der gerichteten Evolution. Das ganze passiert mit einem roboterisierten System zur Synthese und Analyse, das aufgrund der Sauerstoffempfindlichkeit der untersuchten Proteine auch noch unter anaeroben Bedingungen arbeiten muss. Damit gelingt es, 1000 Proteinvarianten pro Tag zu erzeugen. Mittlerweile ist es den Forschern gelungen, die Wasserstoffproduktion im Reagenzglas mit Hilfe von Hydrogenasen für mehr als drei Monate aufrecht zu halten.

Das stimmt den Bochumer Wissenschaftler optimistisch. Er schätzt, dass eine solch fortschrittliche, biokatalysierte Wasserstoffproduktion von der Fläche her rentabel ist. In dem Vortrag nannte er Rahmendaten. Danach beträgt die Welt-Wasserstoffherzeugung etwa 600 bis 700 Milliarden Normkubikmeter pro Jahr, im EU-25-Raum sind es rund 80 Milliarden. Davon gehen als Hauptverwendung 30 Prozent in Raffinerieprozessen und 20 Prozent für die Ammoniaksynthese. Typische Wasserstoff-Produktionsanlagen erzeugen 30 000 bis 200 000 Normkubikmeter pro Stunde. Ein Werk in Weißrussland in Novopolotsk beispielsweise, gebaut von ThyssenKrupp-Uhde und 2004 in Betrieb genommen, produziert pro Stunde 39 000 Kubikmeter Wasserstoff. Happe schätzt, dass ein System aus PS I und Hydrogenase „nur“ einen Flächenbedarf von weniger als 100 Fußballfeldern hätte, um dieselbe Menge Wasserstoff zu erzeugen, die immerhin dem Energieinhalt von 11 700 Litern Benzin entspricht – wenn es denn nur einmal funktioniert; noch ist jede Menge Forschung notwendig. Zudem gibt es Probleme mit den Kosten. Mittlere Abschätzungen für die photobiologische Wasserstoffherzeugung liegen laut Happe bei einem halben Euro pro Kubikmeter. Große Anlagen, die Wasserstoff aus Methan erzeugen, leisten dies für acht Eurozent. Selbst Biogasanlagen schaffen das für etwa 17 Cent.

C. reinhardtii und Systembiologie

Wie sehr Grundlagenforschungen (nicht nur) bei Algen auch mit möglichen Anwendungen verzahnt sind – und wie sehr dies auch für Informatik und Biochemie zutrifft – zeigen auch aktuelle Forschungen an der Universität Jena. Dort untersuchen die Professoren Stefan Schuster (Bioinformatik) und Maria Mittag (Botanik) zusammen mit dem Systembiologen Dr. Oliver Ebenhöf in Golm bei Potsdam die innere Uhr von *Chlamydomonas reinhardtii* (Abbildung 7) – ja, selbst Algen haben so etwas. Ebenhöf ist Mitarbeiter des „GoFORSYS“, eines von vier deutschen Forschungszentren für Systembiologie. Die Wissenschaftler untersuchen, wie die Grünalge reagiert, wenn ihre



Abbildung 8: Algenzucht im Miniatur-Maßstab: Im Labor wachsen die Mikroalgen in Glaskolben (Foto: WWU/Grewer).

innere Uhr verstellt wird. Das lässt sich durch gentechnische Eingriffe erreichen. Auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse simulieren die Forscher die Wechselbeziehungen der Gene der Alge im Computer. Die Ergebnisse überprüft man in der Laborpraxis, wonach wiederum die Computersimulationen verbessert werden. So wollen die Botaniker Gene verändern, die für den Stickstoff-Stoffwechsel zuständig sind. Vielleicht lässt sich *C. reinhardtii* dadurch so ändern, dass der Mikroorganismus mehr Stickstoffkomponenten aufnehmen kann. Gelingt das, ließe sich die Alge einsetzen, um Stickstoff belastete Böden zu entgiften.

Tatsächlich ist *Chlamydomonas reinhardtii* ein Modellorganismen der Algenforscher, wie Prof. Olaf Kruse (Uni Bielefeld) auf der Dechema-Tagung in Frankfurt erläuterte. *C. reinhardtii* lässt sich beispielsweise genetisch verändern, um mehr Wasserstoff, Methan oder Lipide zu erzeugen, also um die Effektivität zu erhöhen, mit der Licht in Biomasse umgewandelt wird. Er wächst autotroph und heterotroph, kann also neben der Photosynthese den zum Aufbau seiner Substanz benötigten Kohlenstoff aus bereits synthetisierten organischen Verbindungen zu beziehen; kurz gesagt: Man kann ihn auch mit Zuckerwasser ernähren. Zudem erlaubt er eine dichte Haltung in Kulturen von bis zu 16 Gramm pro Liter, und er ist schon ohne genetische Veränderung der beste Wasserstoffproduzent unter den Algen. Durch Optimierung seines Lichtsammelsystems, gemischte autotrophe und heterotrophe Kultivierung und verbesserte Stoffwechselvorgänge lässt sich nach Auffassung von Kruse solch ein Organismus schon in Produktionsleistungen bringen, die ihn für industrielle Einsätze geeignet erscheinen lassen.

Lichtschutzfaktor

Ähnlicher Auffassung ist Prof. Michael Hippler, Uni Münster. Er stellte in Frankfurt fest, dass die Kombination von Proteomik und reverser Genetik die Identifikation von Schlüsselproteinen und das gezielte Engineering, die gezielte produktorientierte Optimierung von Mikroalgen ermöglicht. Sein jüngster Forschungserfolg: Zusammen mit Wissenschaftlern

aus Berkeley, USA, konnte er erstmals zeigen, wie sich grüne Algen gegen oxidative Schäden durch übermäßige Lichteinstrahlung schützen (Abbildung 8: Algenzucht im Labor). Der Lichtschutz besteht aus einem speziellen Lichtsammler-Protein, dem LHCSR3. Normalerweise sammeln solche Proteine Licht und machen es für die Fotosynthese nutzbar. In diesem besonderen Fall erlaubt das Protein allerdings die Umwandlung von Licht- in Wärmeenergie. Dadurch macht es überschüssige Lichtenergie unschädlich. Wird das Gen, welches für LHCSR3 kodiert, ausgeschaltet oder über RNAi-Methoden in der Entstehung gehemmt, kann dieser Lichtschutzfaktor nicht mehr produziert werden; solche Algen sterben unter Lichtstress schneller als normale Algen. Die Entdeckung des Sonnenschutzfaktors in Algen erlaubt tiefe Einblicke in die Regulation der aquatischen Fotosynthese, die wie schon erwähnt für 50 Prozent der weltweiten Primärproduktion an Biomasse verantwortlich ist. Zudem könnten laut Hippler die Erkenntnisse dazu genutzt werden, die Anzucht von Mikroalgen in Bioreaktoren zu optimieren. So ließe sich die biotechnologische Produktion von Algenbiomasse, zum Beispiel zur Herstellung von Biokraftstoffen, verbessern – mal wieder...

Einen anderen Schutzmechanismus von Algen gegen Sauerstoffradikale, die sich bei zu großer Lichteinstrahlung bilden und die Zelle schädigen, haben kürzlich Biophysiker der Uni Bochum um Prof. Eckhard Hofmann in Zusammenarbeit mit Kollegen in den USA und Tschechien herausgefunden. Feueralgen (Dinoflagellaten) haben einen einzigartigen Lichtsammelkomplex, der bei zu viel Licht die überschüssige Energie sehr effizient ableiten kann, ohne die Zelle zu schädigen. Die Forscher konnten nun eine Art integrierten Blitzableiter identifizieren: Eines von vier Karotenoid-Molekülen, die mit dem Chlorophyll zusammen einen Komplex bilden, wechselwirkt mit einem „kurzlebigen“, energetisch angeregten Zustand des Chlorophylls. Es handelt sich dabei um Zeitmaßstäbe Nanosekunden-Bereich. Sobald das Chlorophyll in einen „langlebigen“ (Mikrosekunden-Bereich), für die Zelle gefährlichen Energiezustand übergeht, leitet es die überschüssige Energie ab. Um diese Karotenoid-Chlorophyll Wechselwirkung zu erforschen, war es notwendig, die strukturellen Arbeiten mit Femtosekunden-zeitaufgelöster Absorptionsspektroskopie (10^{-15} Sekunden) zu kombinieren.

Verfahrenstechnische Entwicklungen

Eine zweite grundsätzliche Richtung zur Verbesserung von Algenproduktionen ist die Optimierung von Photobioreaktoren (PBR). Daran arbeiten Verfahrenstechniker natürlich auch, so etwa in dem in der Einleitung erwähnten Beispiel mit dem Mikrobläschen-Reaktor. Der Trick der Wissenschaftlern der Universität von Sheffield in England, die dies meldeten: Sie fanden eine Methode, in PBRs ohne mehr Energie zu ver-

Abbildung 9:
Platten-Photobio-
reaktor des KIT.



brauchen Kohlendioxid-Mikrobläschen mit einem Durchmesser von nur 20 Mikrometern zu erzeugen; üblicherweise hat man Blasen von etwa einem bis drei Millimeter Durchmesser. Je kleiner die Gasbläschen, desto größer ist deren Oberfläche im Verhältnis zum Volumen. CO_2 löst sich so schneller, gelangt besser zu den Algen. In Labortests stellte man ein 30 Prozent höheres Wachstum der Algen fest. Dazu trägt wohl auch bei, dass der von den Algen produzierte und für sie toxische Sauerstoff von entsprechenden Mikrobläschen besser abtransportiert wird.

Von entscheidender Bedeutung ist zunächst aber einmal der grundsätzliche Aufbau der Photobioreaktoren. Standarddesigns sind Rohrreaktoren und Plattenreaktoren. Am Karlsruher Institut für Technologie

Abbildung 10: Gerade mal elf Prozent beträgt die maximale theoretische Biomasse-Ausbeute von Algen, bezogen auf die globale Einstrahlung (PAR: Photoactive Radiation = der Anteil der globalen Sonneneinstrahlung, der für die Photosynthese genutzt werden kann). Insgesamt hält Ulrich Steiner diese Abschätzung noch für sehr optimistisch (WOS: widely optimistic scenario). Andere Autoren kommen auf fünf Prozent Ausbeute (aus dem Vortrag von U. Steiner; Abb.: RK).

	WOS		Long 2006 ¹⁾	Zhu 2008 ¹⁾	Eggert 2009 ¹⁾
Global Radiation	100%		100%	100%	100%
PAR Component	-50%	Basically visible part of solar spectrum, generally around 45%, slightly location depended	-50%	-51%	-50%
Losses from Reflection / Absorption	-10%	5% per surface transmitted by light, absorption at pigments; perfect absorption otherwise (not true when algae PBRs look green on pictures – not black)	-13%	-10%	-25%
Photosynthesis Efficiency	-72%	To generate 1 glucose molecule (2862 kJ/mol) 48 photons are needed irrespective of color/energy (red photon: 169 kJ/mol → 36% eff., blue photon: 298 kJ/mol → 20% eff.). Overall efficiency on PAR light: 28%	-72%	-72%	-70%
Respiratory Losses	-10%	Light and dark respiration combined	-58%	-63%	-60%
Converted into Biomass	11%		5%	5%	5%

¹⁾ data for land crop plants with C3-photosynthesis; for C4-plants final yield is 6% for both Long and Zhu
 Light Respiration: C3 crops -30%, C4 crops: 0%
 Dark Respiration: C3 crops -40%, C4 crops -40%
 S.P. Long et al., Plant, Cell and Environment (2008) 29, 315-330
 doi:10.1111/j.1365-3113.2008.03619.x

²⁾ data for algae (*Phaeodictyon tricornutum*)
 A Eggert, 2009, with PAR = 50% of Global Radiation
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926661009001311>

(KIT) favorisiert man zur Zeit letzteren, weil er hohe Wirkungsgrade habe und die Lichtsteuerung einfacher sei, so Prof. Clemens Posten. Beispiel: In der Sahara gibt es doppelt so viel Sonne wie bei uns, dafür muss man dort aber den Reaktorinhalt kühlen. Bei der Aufzucht von Algen in PBRs ist auch eine Doppelnutzung zur Produktion von Lebensmitteln oder Feinchemikalien aus den Algen und der anschließenden energetischen Verwertung der Restbiomasse denkbar.

In diesem Zusammenhang entwickelt man am KIT Methoden, um mittels Elektropulsbehandlung der Algenbiomasse die wertvollen Inhaltsstoffe zu entlocken. Bei dem Verfahren werden Pflanzenzellen für sehr kurze Zeit einem hohen elektrischen Feld ausgesetzt. Dies führt zur Perforierung der Zellmembran und Freisetzung von Inhaltsstoffen. Um die Energiegewinnung aus Algen wirtschaftlich zu machen, wird es darum gehen, die Investitions- und Betriebskosten für PBRs gering zu halten und gleichzeitig hocheffiziente Verfahren zur Ernte und für den Aufschluss der Algen zu entwickeln. Deshalb geht man noch einen Schritt weiter: Die nach der Extraktion verbleibende Biomasse (60-70 Prozent) soll durch das ebenfalls am KIT entwickelte Verfahren der hydrothermalen Vergasung in weitere Energieträger wie Wasserstoff oder Methan umgewandelt werden.

Posten ist Koordinator des Projektes „HydroMicPro“ (Wasserstoff aus Mikroalgen: mit Zell- und Reaktordesign zur wirtschaftlichen Produktion). Neben dem Photobioreaktorbau geht es noch um Gasabtrennung durch Membranverfahren, biologische Sensortechnik für zellulären Sauerstoff, biotechnologische Optimierung von Algen sowie Systemintegration. Zunächst will man einen optisch strukturierten PBR entwickeln. Gegenüber gängigen Reaktorkonzepten ist geplant, zunächst die inneren Oberflächen des Reaktors zu vergrößern. In Verbindung mit sehr geringen Schichtdicken soll dies zu hoher Effizienz und verstärkten Zellkonzentrationen führen. Weiterhin wird die übliche Begasung der Algen mit dem wachstumsfördernden Kohlendioxid über Membranen erfolgen, um den Einsatz von Hilfsenergie zu minimieren. Die Reaktorentwicklung erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt ist das Ziel eine hohe Biomasseproduktion, wie sie auch für andere Wertstoffe aus Algen in Zukunft gebraucht wird. Im zweiten Schritt geht es darum, das System für die Wasserstoffproduktion zu optimieren.

Ziel ist es, mit den Investitionskosten für die Kultivierung von Algen auf etwa 25 Euro pro Quadratmeter Bodenfläche zu kommen. Das BMBF fördert das Projekt, bezeichnenderweise in seinem Programm „Grundlagenforschung Energie 2020+“.

Kritik: Kosten und Energieeffizienz

Dieser Zeitrahmen deutet schon an, dass die gesamte Entwicklung von Designer-Algen und PBRs sich zunehmender Kritik ausgesetzt sieht. Noch relativ milde erläuterte Dr. Daniela Kruse von Evonik auf der

Dechema-Tagung Evaluierungen zur Nutzbarkeitmachung von Algen als CO₂-Verwerter. Der Evaluierungsprozess sei noch im Gange. Ein Hauptproblem bei der Reaktorgestaltung sei beispielsweise, dass es sich bei Vergrößerung der Prozesse eher um ein „Numbering up“ denn um ein „Scale up“ handle. Kurz gesagt: Licht lässt sich nicht in einen Großraumreaktor einmischen; man benötigt eher viele Dünnschichtsysteme, was die Kosten eher erhöht. Als grobes Ziel zum realen Start von Überlegungen zum Einstieg in Produktionsanlagen mit Algen hat man sich bei Evonik den Kostenrahmen von einem Euro pro einem Kilogramm Algen-Massenprodukt gesetzt.

Gänzlich desillusionierend waren die Ausführungen von Dr. Ulrich Steiner von der Bayer Technology Services GmbH. Er zeigte auf, dass bei Algen die maximale theoretische Biomasse-Ausbeute – bezogen auf die globale Sonneneinstrahlung – gerade einmal elf Prozent beträgt (Abbildung 10). Die Umwandlungseffizienz von Strahlungsenergie in für den Menschen nutzbare Energie bzw. Energieträger beträgt bei Algen weniger als vier Prozent, während sich die besten Werte der Photovoltaik schon auf über 40 Prozent belaufen (Abbildung 11).

Im Gegensatz zu diesen Basisfakten stünden die Angaben mancher Firmen, die Energieträger aus Algen erzeugen wollen. Manchmal seien die behaupteten Produktivitäten nicht einmal mit dem 1. Hauptsatz der Wärmelehre vereinbar (Abbildung 12 und Abbildung 13).

Auch die Rentabilität von Algenanlagen zur Herstellung von Biotreibstoffen sei in keiner Weise gegeben. Er rechnete vor, dass die Kapitalkosten für derartige Anlagen 30 Euro pro Quadratmeter Anlagenfläche nicht überschreiten dürften. Annahmen dafür waren ein Biodiesel-Preis von einem Euro pro Liter – ohne Steuern, was zu Einnahmen von 10 Euro pro Quadratmeter Algenanlagenfläche führe. Zum Vergleich: Mit Weizen erzielt man ca. 15 Eurocent pro Quadratmeter. Mit den 30 Euro pro Quadratmeter müssten aber Photobioreaktoren, Extraktion, Biodieselerzeugung, Speicher, Abfallbehandlung, Heizung, Kühlung, Wasserhaushalt bezahlt werden – um nur einige Posten zu nennen. Dabei betragen die Kosten alleine für ein einfaches Gewächshaus schon 100 Euro pro Quadratmeter...

Selbst wenn ein Rohstoff für die Algenproduktion aus dem Kohlendioxid der Kohlenkraftwerksabgase komme sei die Rechnung nicht besser. Entsprechende Verfahren untersuchen verschiedene Kraftwerksbetreiber parallel zur CCS-Technologie (Carbon Dioxide Capture and Storage, Kohlendioxid-Abscheidung und -Speicherung; siehe CLB 07-2009, Seiten M44 - M45), so u.a. RWE und Vattenfall. Zum einen postuliert Steiner, durch Prozessverluste läge nach dem Verfüttern von CO₂ aus Kraftwerksabgasen an Algen mehr CO₂ vor als vorher, durch Abtrennen, Reinigen, Konvertieren etc. Zum anderen ist dies – völlig ungeachtet jeglicher Wirksamkeits- oder Kostenbetrachtungen – auch

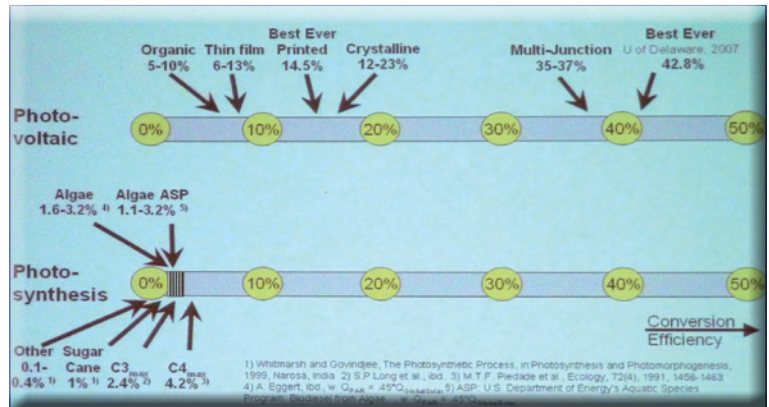
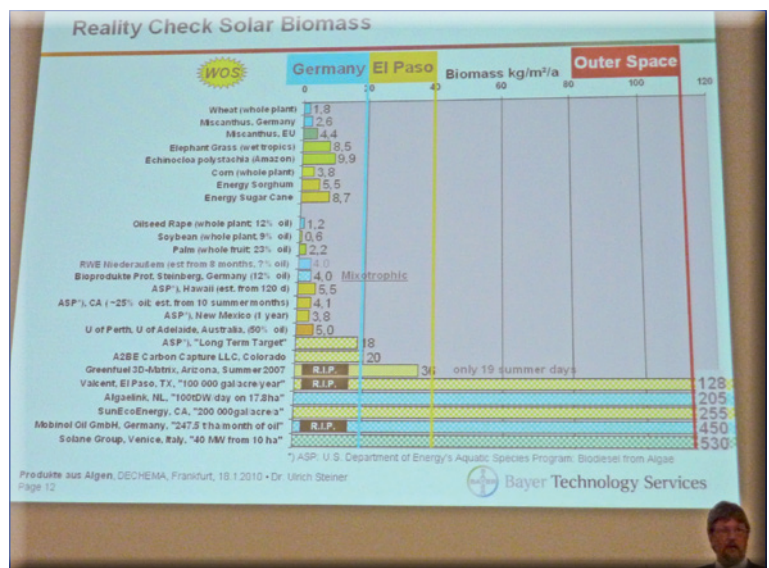


Abbildung 11: Beim Vergleich der realen Umwandlungseffizienz von Strahlungsenergie in für den Menschen nutzbare Energie bzw. Energieträger sieht die Photosynthese gegenüber der Photovoltaik schlecht aus (aus dem Vortrag von U. Steiner; Abb.: RK).

nur ein Tropfen auf dem heißen Stein der CO₂-Ersorgung. So steht in dem Positionspapier „Verwertung und Speicherung von CO₂“ des Verbands der Chemischen Industrie und der Dechema vom letzten Jahr, dass sich weniger als fünf Prozent an CO₂ eines „gegebenen Kraftwerks“ mit Mikroalgentechnologien nutzen lassen, bei maximal 25 000 Tonnen Algenprodukten pro Quadratkilometer Fläche!

Zusammengefasst bedeutet die Steiner'sche Aussage: Algen haben eine viel zu geringe Ausbeute an Energieträgern bei einem viel zu hohen Investitionsbedarf.

Abbildung 12: Ulrich Steiner mit einer optimistisch abgeschätzten Liste der Umwandlungseffizienz verschiedener Pflanzen in Biomasse, bezogen auf die Sonneneinstrahlung in Deutschland mit 1000 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr, El Paso (Texas; 2100 kWh/m²/a) und – als maximal vorstellbare Strahlungsqualität – den erdnahen Weltraum (6000 kWh/m²/a). Im unteren Teil Projektionen einiger Firmen zur Algenproduktivität ihrer Systeme. Einige davon sollen jenseits der Grenzen des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik liegen, d.h. sie erzeugen mehr Energie, als eingestrahlt wird (oder man muss eben entsprechende Zusatzenergien aufwenden ;-). Die R.I.P.-Markierungen bedeuten: Diese Firmen sind mittlerweile schon wieder verschwunden (rest in peace...; Foto: Kickuth).



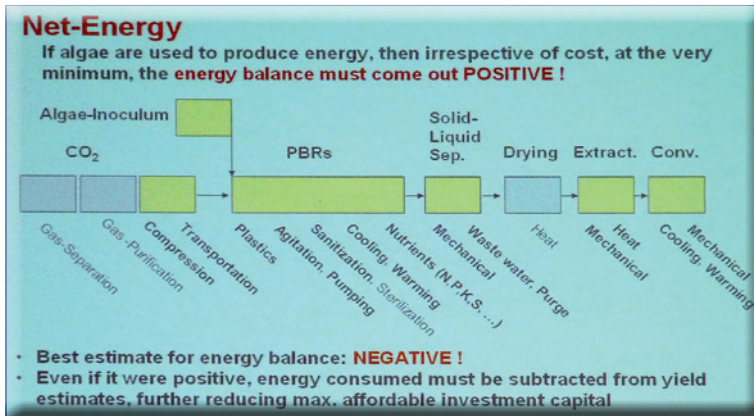
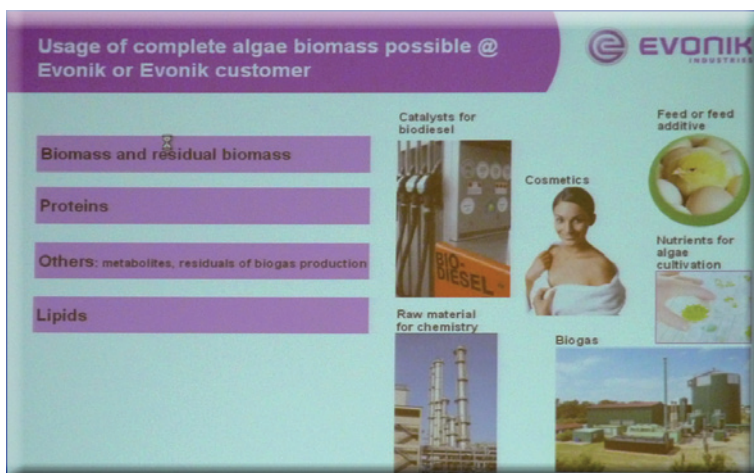


Abbildung 13: Die Grafik zeigt den Energieaufwand zum Betrieb einer Algen-Produktionsanlage. Nach Einschätzung von Steiner ist die Energiebilanz auf jeden Fall negativ, wenn es darum geht, aus Algen energieliefernde Stoffe zu gewinnen (aus dem Vortrag von U. Steiner; Abb.: RK).

Für einen Bereich der Algenproduktion sah der Experte aus Leverkusen allerdings die Rentabilität gegeben: Hochwertige, proteinreiche Produkte, etwa Futtermittel, aus Algen (Abbildung 14). Als Beispiel dafür nannte er Sojabohnenmehl. Der Rekordpreis dafür habe 2008 450 US-Dollar pro Tonne betragen. Proteine aus Algen, die in ähnlicher Weise als Futtermittel dienen können, ließen sich für 340 US-Dollar herstellen.

Entsprechende unmittelbar wirtschaftlich nutzbare Einsätze der Algentechnologie nannte auch Prof. Rainer Buchholz, Uni Erlangen-Nürnberg, gegenüber der CLB. Algenprodukte könnten zum Beispiel Fischmehl als Futtermittel ersetzen, u.a. weil es innerhalb von drei Jahren von einem halben auf vier Dollar pro Kilogramm gestiegen sei. Auch bei der Produktion von Beta-Carotine oder von speziellen Pharmazeutika sieht er Algen im Vorteil. Das erscheint umso möglicher, kennt man den Preis etwa für Beta-Carotin, wie ihn Stefan Verseck von Cognis nannte: je nach Anwendung und Formulierung zwischen 300 bis 3000 US-Dollar pro Kilogramm! Andere hochpreisige Produkte,

Abbildung 14: Algen können jedoch auch als Produzenten für hochwertige Produkte dienen. Dies kann teilweise schon heute ökonomisch sein. Das Bild zeigt Beispiele von Algenproduktions-Einsatzbereichen (aus dem Vortrag von D. Kruse; Abb.: RK).

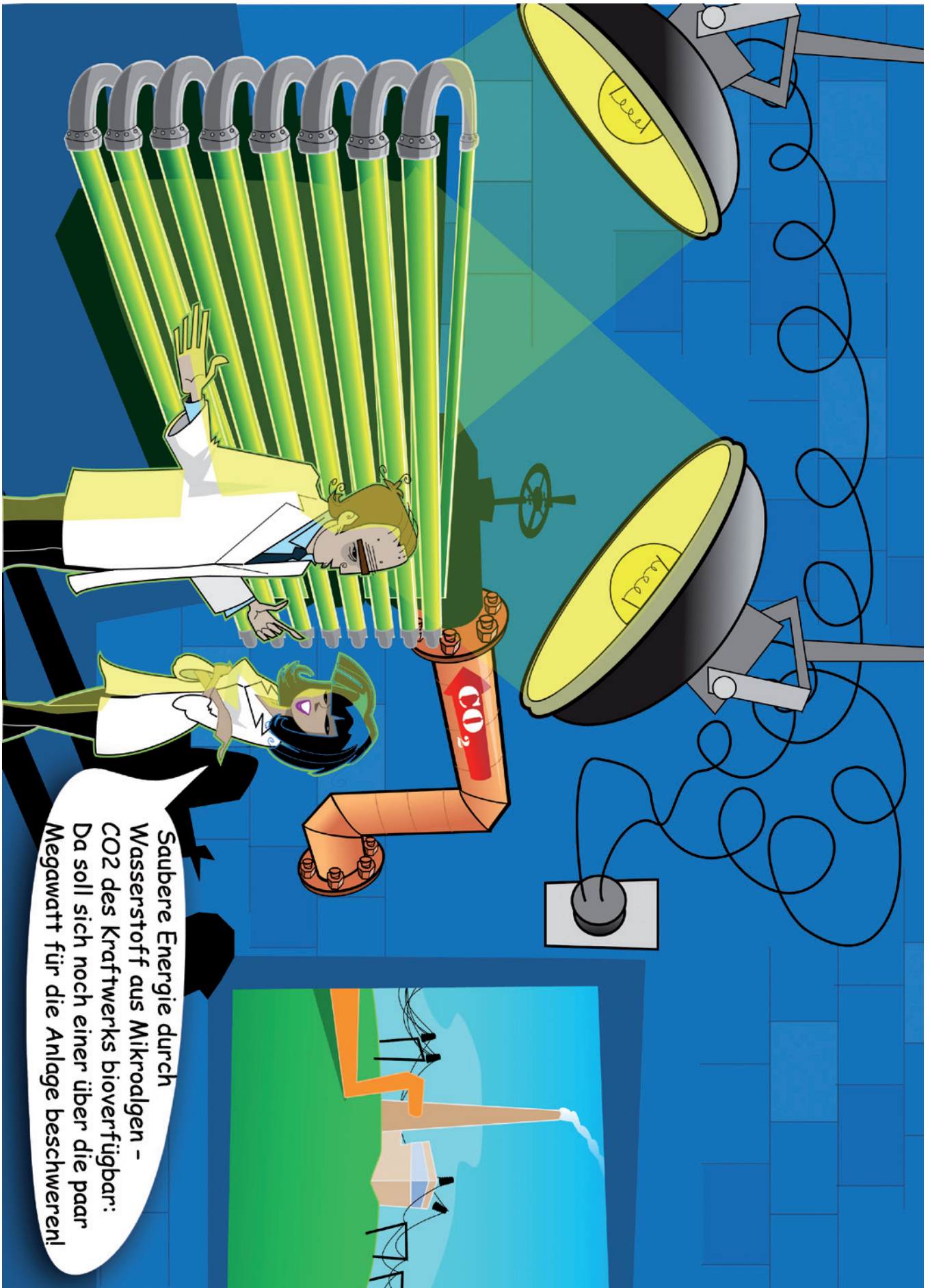


die seinen Angaben nach bereits aus Algen gewonnen werden, sind mehrfach ungesättigte Fettsäuren, insbesondere Docosahexaensäure (DHA). Sie soll als Nahrungsmittelbestandteil u.a. die Entwicklung des Gehirns von Kindern unterstützen. Die amerikanische Firma Martek vermarkte DHA aus Algen für 1500 bis 2500 Dollar pro Kilogramm. Auch Fluoreszenzmarker für Antikörper und Rezeptoren ließen sich hochrentabel aus Algen herstellen. Am Lehrstuhl von Buchholz in Erlangen optimiert man gerade die Produktion des Antioxidantiums und Co-Enzyms Q₁₀ durch Algen. Bei der Firma Morphoplant in Bochum erzeugt man aus marinen Rotalgen, deren Gewebe Calciumcarbonat enthält, Knochenaufbaumaterialien.

Den Ausführungen zu hochwertigen Materialien aus Algen entsprechend entsprach auch der Vortrag von Dr. Martin Ecke von der Firma BPS in Klötze. Dort betreibt man eine 12 000 Quadratmeter Photobioreaktoranlage. In einem 1,2 Hektar großen Gewächshauskomplex steht die nach seinen Angaben weltgrößte Anlage zur Kultivierung von Mikroalgen in Röhren-PBRs. Die Anlage erzeugt jährlich etwa 50 Tonnen hochwertiger Algenprodukte aus *Chlorella vulgaris*-Algen, hauptsächlich für den Lebens- und Nahrungsergänzungsmittelbereich. Aber auch Ecke meint: Wirtschaftlich lässt sich mit Algenkulturen nur arbeiten, wenn sie an entsprechende Wertschöpfungsprozesse gekoppelt ist. Die energetische Nutzung bietet dazu keinen Spielraum.

Fazit

Mikroalgen sind nicht effizient genug zur Erzeugung von Biotreibstoffen. Entsprechende Medienberichte sind weitaus zu euphorisch. Das heißt jedoch nicht, dass Mikroalgenproduktionen grundsätzlich unökonomisch sind. Vielmehr können sie geeignet sein, um hochwertige Stoffe wie Lebensmittelzusatzstoffe oder Pharmazeutika zu produzieren. Auch die Gesamtbilanz von Biotreibstoff-Produktionen könnte in Zukunft positiv ausfallen, bezieht man ein, dass das eingesetzte CO₂ beispielsweise aus Abgasen von Kohlekraftwerken kommt und andere Ressourcen geschont, Düngemittel gespart werden – und die anderen, wertvollen Inhaltsstoffe der Algen einer stofflichen Weiterverarbeitung zugeführt werden. Zudem bieten sowohl die Mikroalgen wie auch die Anlagentechnik viele Möglichkeiten der Optimierung. Dazu zählen Kombinationen von Maßnahmen der Algenauswahl, Gentechnik, Proteomik, Computersimulationen und evolutionäre Produktentwicklung, also systembiologische Ansätze zur Algenoptimierung. Dazu kommen neuartige Photobioreaktorkonzepte, Anlagenverbunde etc. Nicht zuletzt sind Mikroalgen ein faszinierendes Forschungsthema. Eventuell ergeben sich aus Grundlagenforschungen heraus einmal Möglichkeiten, Biotreibstoffe durch katalytische Prozesse zu gewinnen, die von der Natur abgeleitet wurden, und die den Organismus Alge selbst nicht mehr benötigen. **CLB**



Proteinfaltung mit Escortservice

Chaperone zur Beschleunigung der Proteinfaltung

Von *Annette von Kieckebusch-Gück*,

Ein Protein ist nicht nur eine lange Kette von Aminosäuren, aneinandergereiht nach einem vorgegebenen DNA-Muster, die sich selbst in eine 3-D-Struktur faltet. Ausschlaggebend für die Funktion eines Proteins sind seine dreidimensionale Struktur wie auch seine Lokalisation. Um diese spezielle Konformation fehlerfrei zu erreichen, werden Proteine von der hochkonservierten Chaperonen-Maschinerie unterstützt.

Proteine sind durch ihre Vielseitigkeit in der Lage, verschiedenste Funktionen in der Zelle zu übernehmen. Sie verleihen den Zellen zum Beispiel ihre Struktur und sind verantwortlich für die Beschleunigung chemischer Reaktionen.

Die Aminosäuresequenz der Proteine ist im Erbgut festgeschrieben. Neu synthetisierte Proteine müssen sich in eine wohldefinierte, dreidimensionale Struktur falten, um funktionsfähig zu werden. Diese native Form eines Proteins ist aufgrund seiner Aminosäuresequenz festgelegt (Abbildung 1). Wird ein Protein nicht korrekt gefaltet, führt dies zu Proteinaggregaten, die nicht mehr funktionieren. Beim Menschen führen solche Aggregate zu Erkrankungen wie Alzheimer, Chorea Huntington oder Sichelzellanämie [1].

Faltungsprozesse

Wie nimmt ein neu gebildetes Protein (Abbildung 1) die native Konformation ein?

Die Information für seine dreidimensionale Struktur ist bereits in der linearen Abfolge seiner 20 verschiedenen Aminosäuren enthalten. Die Sequenz der Seitenketten wird immer vom Amino-Ende in Richtung Carboxyl-Ende gelesen.

Die hydrophoben Aminosäuren lagern sich im wässrigen Milieu der Zelle im apolaren Inneren des Proteins zusammen. Die aktive Form des Proteins nimmt

den energetisch niedrigsten Zustand ein. Die Frage ist nur: Wie erreicht das Protein ihn?

Bereits ein kleines Protein könnte 1030 verschiedene Konformationen annehmen. Auf der Basis zufälliger Strukturänderungen ist eine korrekte Faltung des Proteins im Sekundenbereich nicht möglich. Im Mittel würde es 100 Milliarden Jahre dauern, bis die aktive Form erreicht wäre. Während der Phase, in der die Intermediär-Polypeptide hydrophobe Regionen an der Oberfläche präsentieren, sind sie besonders anfällig für Aggregationen. Daher benötigen Proteine für die Faltung die Hilfe von Faltungsenzymen: Chaperone – was auf Deutsch „Anstandsdamen“ oder „Aufpasser“ bedeutet – beschleunigen die Faltung eines Proteins in den nativen Zustand. Verschiedene ungefaltete Domänen eines neugebildeten Proteins sind bestrebt, im wässrigen Milieu den Zustand minimaler freier Energie zu erreichen. Dabei gelangen sie häufig in Intermediärzustände, die sie aus kinetischen Gründen nicht mehr verlassen können. Man vergleicht diesen Ablauf oft mit Energielandschaften, die verschiedene Minima besitzen, in denen sich Zwischenformen der Proteine verfangen können (Abbildung 2). So kann es beispielsweise zu einer Missfaltung zwischen Abschnitten aus verschiedenen Domänen kommen, die zur Aggregation von Proteinen führt.

Die korrekte Faltung erfolgt bei einer bestimmten Temperatur unter definierten chemischen Konzentrationen, aber für viele Proteine reicht das nicht aus. Sie erhalten Hilfe von speziellen Proteinen, den molekularen Chaperonen. Sie können Proteine während der Faltung stabilisieren und Fehlern bei der Faltung vorbeugen, indem sie kurzzeitig an die Proteine binden, sie erst entfalten, um schließlich die richtige Faltung zu erreichen. Sie beschleunigen die korrekte Faltung der Proteine.

Chaperone spielen auch beim Transport von Proteinen über Zellmembranen (zum Beispiel in ein Mitochondrium) eine Rolle. Transportproteine müssen nach dem Durchqueren einer hydrophoben Zellmembran wieder in ihre native Form zurückgefaltet werden, so dass sie ihre Funktion wiedererlangen.

Der Faltungsprozess ist in der Regel kein spontaner Vorgang. Eine spontane Faltung ist nur bei kleineren Proteinen, etwa der Ribonuklease, bekannt. Im allgemeinen benötigen neu synthetisierte Peptide eine Maschinerie von molekularen Chaperonen und den Einsatz von Energie, die ihnen ermöglichen, ihre aktive Konformation einzunehmen. Molekulare Chape-

Die Autorin

Dr. Annette von Kieckebusch-Gück war von 2005 bis 2009 Chefredaktorin der Schweizerischen Laboratoriums-Zeitschrift SLZ. Sie studierte in Konstanz und Freiburg Biologie mit Schwerpunkt Biophysik, diplomierte am MPI für biophysikalische Chemie in Göttingen und promovierte an der ETH Zürich über die Mutagenese von Membranproteinen. Nach einer einjährigen Postdoc-Zeit in Kanada und einer Familienpause wechselte sie in den Wissenschaftsjournalismus.



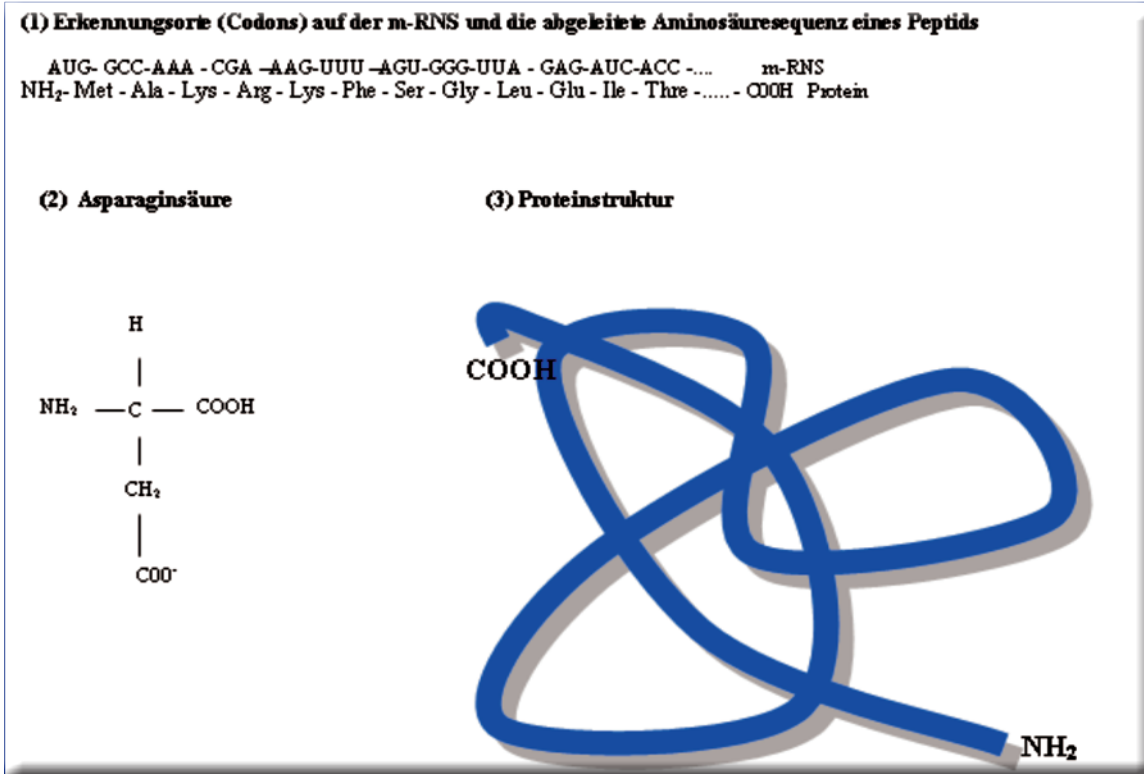
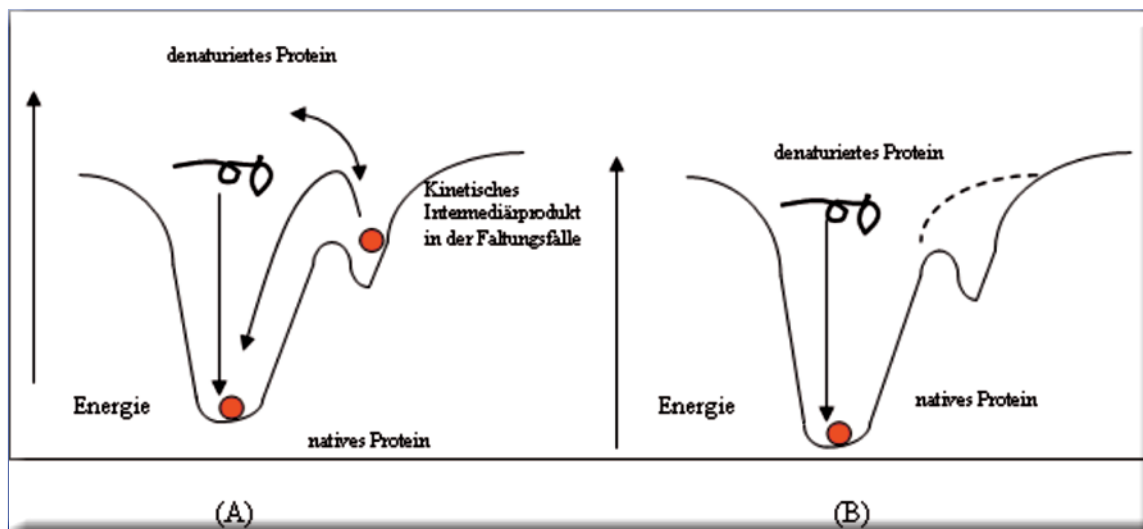


Abbildung 1: Aufbau eines Proteins: (1) Bei der Biosynthese (Translation) eines Proteins werden Erkennungsorte (Codons) auf der m-RNS als Matrize verwendet, die die Aminosäuresequenz des neugebildeten Proteins bestimmt. (2) Das Protein ist aus Aminosäuren aufgebaut, die je eine Amino- und eine Carboxylgruppe tragen. In höheren Zellen gibt es 20 verschiedene Aminosäuren, etwa Asparaginsäure. Sie sind über Amidbindungen miteinander zu Peptiden verknüpft. (3) Struktur eines Proteins mit amino und Carboxylende. Die Signalsequenz, die bei Sekretproteinen auftritt, ist grün dargestellt.

rone dienen dazu, Missfaltungen und Aggregationen der neu synthetisierten Proteine zu verhindern. Einige von ihnen werden von der Zelle zudem in Antwort auf Stressreize, wie etwa Verletzungen oder Hitze,

verstärkt gebildet, um denaturierte Proteine wieder zu aktivieren. In all diesen Situationen antwortet die Zelle auf besondere Umwelteinflüsse mit vermehrter Proteinbildung und benötigt daher auch mehr Cha-

Abbildung 2: In dieser Energielandschaft ist die freie Energie möglicher Faltungsformen eines Proteins abhängig von ihrer Konformation dargestellt. Der native Zustand eines Proteins ist gleichzeitig auch der energieärmste. Während der spontanen Faltung gelangen Intermediärprodukte häufig in kinetische Faltungsfallen. Hier können Chaperone assistieren, indem sie (A) das Protein in einen Übergangszustand überführen, aktiv entfalten und neu falten. Dabei ermöglichen sie es Proteinen im Intermediärzustand, unter Energieaufwand die Energiebarriere zu überwinden. (B) Chaperone können auch das entfaltete Polypeptid in einen Käfig einschließen und so die Faltungsfälle „glätten“.



perone. Einige Chaperone weisen bei hohen Temperaturen eine erhöhte Syntheserate auf. Sie werden daher als Hitzeschock-Proteine bezeichnet. Diese Hitzeschock-Proteine (Hsp) lassen sich in mehrere Familien, entsprechend ihrer Größe, unterteilen: Die 25 kDa-Familie, die 40 kDa-Familie, die 70 kDa-Familie, die 90 kDa-Familie und die 100 kDa-Familie (Tabelle 1).

Am besten untersucht ist die 70 kDa-Familie, deren Funktion es ist, denaturierte, aggregierte Proteine durch wiederholte Bindung und Entlassen ihrer Substrate zu reparieren. Auf diese Weise können sie die Aggregation von Proteinen verhindern. Unter ATP-Spaltung löst sich Hsp70 wieder von dem Protein. Hsp70-Proteine werden durch eine ATPase reguliert.

Einige Chaperone, wie GroEL, unterstützen die Einnahme des energieärmsten, nativen Zustandes, indem sie einen hydrophilen Käfig um das denaturierte Protein bilden und dadurch die Energielandschaft quasi „glätten“. Auf diese Weise verhindern sie, dass das Protein in eine Faltungsfalle hineingerät. Andere Chaperone agieren eher indirekt: In mehreren aufeinanderfolgenden Zyklen des Auflöserns ungeordneter Domänen und ihrer Neufaltung beschleunigen sie den Faltungsprozess und tragen zur Stabilität der Proteine bei. Alle diese Prozesse sind energieabhängig und verbrauchen ATP.

Proteine werden an Ribosomen im Zytoplasma synthetisiert. Bei der Proteinbiosynthese oder Translation werden „aktivierte“ Aminosäuren aneinander gehängt, indem m-RNS (Ribonukleinsäure) als Informationsquelle für die Anordnung der verschiedenen Aminosäuren dient. Dabei bestimmen Codons auf der Nukleinsäuresequenz der m-RNS als Erkennungsort, welche Aminosäure als nächste im neu gebildeten Peptid folgt (Abbildung 1). Anschließend wird eine Peptidbindung hergestellt, und der Ribosomenkomplex verschiebt sich um eine Codon-Einheit gegenüber der RNS. Daraufhin beginnt ein neuer Synthesekreislauf.

Während der Translation eines Proteins am Ribosom befindet sich das neugebildete Polypeptid in einem Tunnel der großen ribosomalen Untereinheit, der Polypeptide mit 30 bis 60 Aminosäuren aufnehmen kann. Man nimmt an, dass er eine Proteinfaltung verhindert. Derjenige Teil, der aus dem Ribosom herausragt, kann sich meistens nicht in die aktive Form falten, solange nicht das gesamte Protein gebildet ist. Daher sind wachsende Proteinketten besonders anfällig für eine Falsch-Faltung des Proteins. Die Biosynthese eines 300 Aminosäuren langen Proteins dauert etwa eine Minute. Während dieser Zeit besteht die Gefahr, dass die verschiedenen Domänen des Proteins mit anderen aggregieren, wenn sie nicht von Faltungsenzymen in einem faltungsbereiten Zustand gehalten werden.

Tabelle 1: Molekulare Chaperone und ihre Funktion in der Zelle. Co-Chaperone sind kleine Proteine, die Chaperone bei der Proteinfaltung assistieren.

eukaryontische Chaperone	Co-Chaperon	bakterielle Chaperone	Co-Chaperon	Funktion
Hsp100	Hsp104	ClpB, ClpA		Thermoresistenz, erleichtert die Proteolyse
Hsp90	Hsp70, Hop p23	HtpG		Stressantwort, Faltung von Steroisrezeptoren, Proteinkinasen, Thermoresistenz, im Zytoplasma, auch im ER
Hsp70	Hsp40, Bag1, Hip, Hop, HspBP1, Hsp104	Dank, Hsc66	DnaJ, GrpE	Assistiert bei Neusynthese und Stressantwort von Proteinen, erkennt hydrophobe Regionen in fehlgefalteten Proteinen, daher ATP-abhängige Auflösung von Proteinaggregaten
Hsp60 (Chaperonine)	TRiC	Prefoldin	GroEL, GroES	Erkennt hydrophobe Regionen. Effiziente ATP-abhängige Reparatur fehlgefalteter Proteine. Nur in Mitochondrien, Chloroplasten und in Bakterien. Kleine und mittelgroße Proteine
Hsp25				verhindert Proteinaggregationen, Actin-Faltung
sHsps	Hsp12	IbpA, IbpB		Kleine Hsp mit α -Crystallin-Domäne, Schutz vor Apoptose, Stabilisierung des Zellskeletts, verhindert irreversible Proteinaggregation
NAC		Trigger-Faktor (TF)		unterstützt Neusynthese von Proteinen, assoziiert mit Ribosomen, kleine Proteine
		Sec B		Proteinsekretion
BiP				Faltung von Proteinen im ER, Glycane am Aminoende
Calnexin, Calretikulin				Faltung von Proteinen im ER, Glycane am Carboxyende

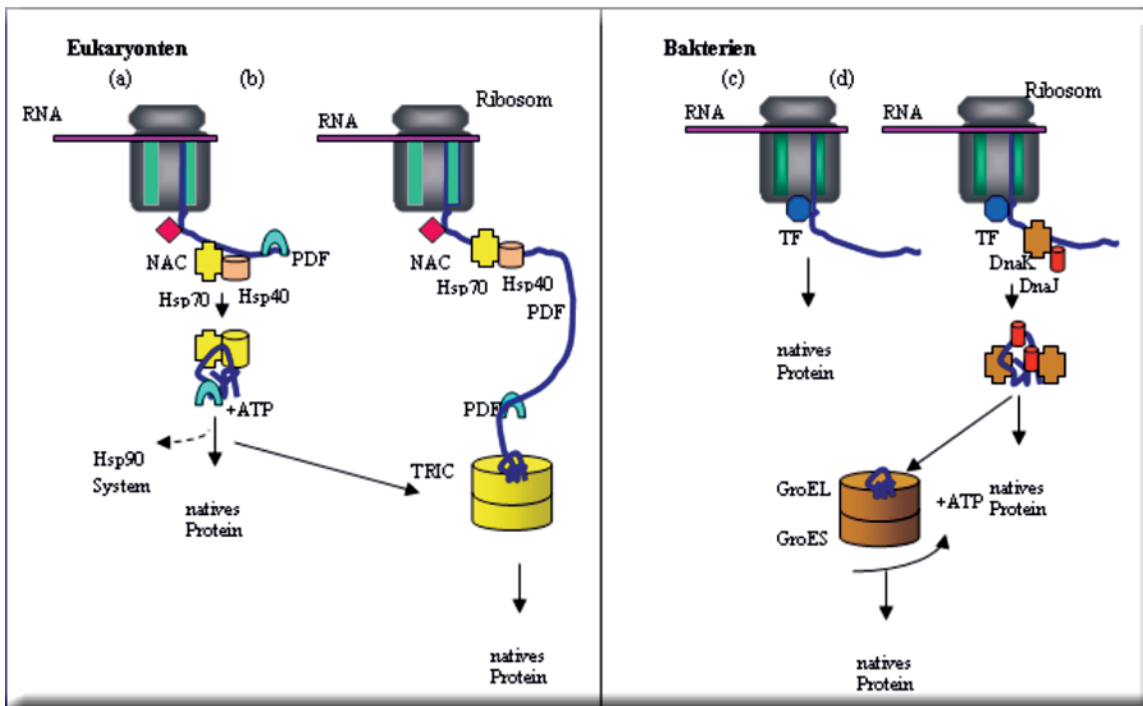


Abbildung 3: Modell der Chaperone-unterstützten Proteinfaltung. Das Protein ist als schwarzes Band, beziehungsweise schwarzes Knäuel dargestellt. Links sind die Faltungsabläufe für bakterielle Proteine dargestellt. (a) Wachsende Proteinketten treten direkt mit dem Trigger-Faktor in Kontakt. Er bindet an kurze hydrophobe Sequenzen, die im wachsenden Polypeptid exponiert werden und unterstützt die Faltung. Bei Eukaryonten (c, d) hat die Chaperone NAC vermutlich eine ähnliche Funktion. Kleinere Proteine können sich allein mit Hilfe von TF oder NAC korrekt falten. Längere Ketten treten anschließend mit dem DnaK/DnaJ-System in Verbindung und unterstützen die Proteinfaltung in mehreren Bindungs-Zyklen. Das DnaK/DnaJ-System korrespondiert mit dem der Hitzeschock-Proteine Hsp70/Hsp40. Einige Proteine (etwa 10 %) können nur in der Faltungskammer des GroEL/GroES-Systems gefaltet werden, dem in Eukaryonten das Hsp60-System TRiC entspricht.

Diese Chaperone erkennen hydrophobe Reste, wie sie typischerweise von denaturierten Proteinen dargestellt werden, sowie die ungeordnete Struktur des Aminosäurerückgrates denaturierter Proteine.

In Bakterien reagieren die meisten neugebildeten, kleineren, Proteine mit dem Trigger-Faktor (TF), der direkt an die Ribosomen gebunden ist und die Proteinfaltung unterstützt (Abbildung 3). Neben seiner Funktion als Chaperon [3] weist er eine cis-trans-Isomerase-Aktivität auf. Er bewahrt hydrophobe Domänen im neugebildeten Protein vor Fehlfaltungen und unterstützt die Faltung zum nativen Protein.

In höheren Organismen, die einen Zellkern besitzen (Eukaryonten), übernimmt das Protein NAC die Funktion des Trigger-Faktors.

Größere Proteine, die größer als 60 kDa sind, sind meist aus mehreren Domänen aufgebaut und haben daher besondere Schwierigkeiten, ihre aktive Konformation zu erreichen. Das Chaperon-System Hsp70, mit dem Co-Chaperon Hsp40, bindet jeweils nur kurze Segmente von etwa fünf Aminosäuren im Polypeptid. Hsp70, in Bakterien auch als DnaK/DnaJ bekannt, aktiviert an diese komplexeren Proteine und führt sie in mehreren Zyklen der Bindung und Loslösung zu ihrer korrekten Faltung.

Der Zyklus von Bindung und Dissoziation wird durch die ATP-Spaltung kontrolliert und dauert etwa eine Sekunde. Wie das Chaperon das Protein jedoch

rein mechanisch in den nativen Zustand überführt, ist noch unbekannt. Hsp70 unterstützt die Faltung von Proteinen aller Größenordnungen.

Etwa 10 bis 15 % der Polypeptide durchlaufen nach ihrer Loslösung vom Ribosom in Bakterien das Protein-System GroEL und GroES, das zur Hsp60-Familie gehört (Abbildung 4). Der gut untersuchte Chaperon-Mechanismus und wird als hydrophobic donut hole beschrieben: Das Chaperon ähnelt einem Donut oder Fass aus zwei Ringen mit Deckeln an beiden Seiten. An der Innenseite des Fasses sind hydrophobe Ketten lokalisiert, die mit den hydrophoben Bereichen des darin befindlichen ungefalteten Proteins wechselwirken und es so an einer unerwünschten Aggregation hindern. In dem Hohlraum werden Polypeptide von weniger als 60 kDa Größe gebunden und eingeschlossen. Das System bewirkt dadurch eine Verdünnung der Proteinkonzentration. Die Substrat-Bindestellen von GroEL drehen sich von dem Protein fort und bewirken so eine völlige Entfaltung des Proteins. Der falschgefaltete Zustand wird also aufgehoben und das Protein hat, zum Teil noch im GroEL-Trichter, nun Gelegenheit, sich in die aktive Konformation zu falten.

In Eukaryonten wirkt der Proteinkomplex TRiC mit dem Co-Chaperon Prefoldin (PFD) ähnlich wie das GroEL-System. Es ist bei der Faltung von Actin und Tubulin beteiligt (Abbildung 3).

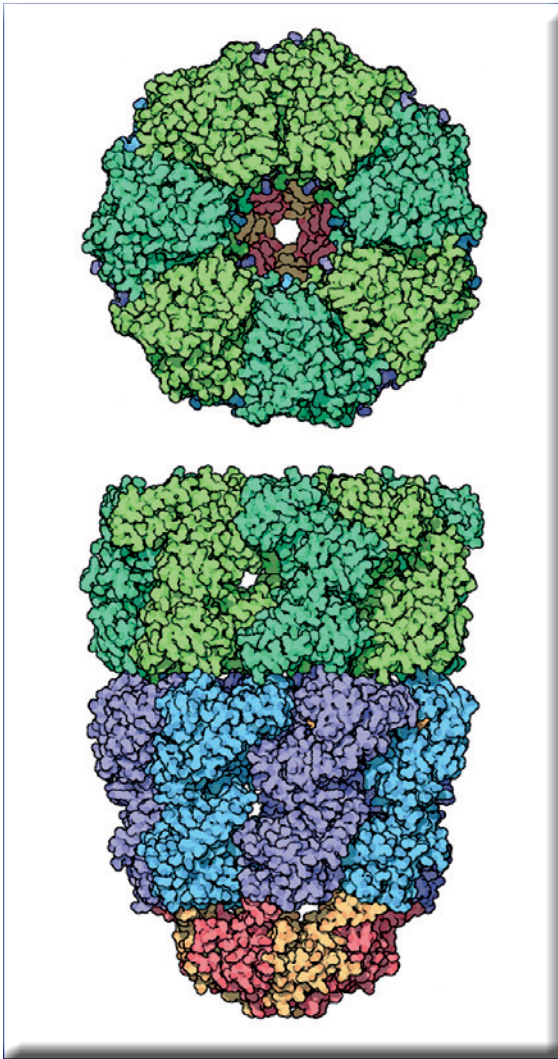


Abbildung 4 :Molekulare Chaperone, wie das hier dargestellte bakterielle GroEL unterstützen die korrekte Proteinfaltung in der Zelle. GroEL besteht aus zwei übereinander liegenden Ringen aus je sieben Untereinheiten. Jeder der beiden Ringe bildet einen Hohlraum, in dem missgefaltete Polypeptide an den Innenseiten gebunden und gefaltet werden (Abb.: Protein Data Bank: David S. Goodsell of The Scripps Research Institute).

Faltungshelfer-Duo

Eine wichtige Voraussetzung für die dreidimensionale Struktur der Proteine ist die in sich starre und planare Peptidbindung. Während die Peptidkette in der trans-Form eher gestreckt ist, führt die cis-Form einen Knick in die Peptidkette ein. Bei der CO-NH-Verknüpfung in denaturierten Proteinen liegt der Wasserstoff der Aminogruppe fast immer in trans-Position zum Sauerstoff der Carbonylgruppe. Eine freie Rotation um die Bindung zwischen dem Carbonyl-C-Atom und dem Stickstoffatom der Peptidbindung ist nur eingeschränkt möglich, weil diese Bindung partiellen Doppelbindungscharakter besitzt.

Das Drehen an dieser Bindung ist abhängig von speziellen Enzymen, den Isomerasen. Da entfaltete Eiweiße überwiegend in der trans-Form vorliegen, im gefalteten Zustand jedoch oft in der cis-Form, muss eine Umwandlung zwischen beiden Formen stattfinden. Dieser Prozess ist sehr langsam, wenn die erforderlichen Faltungshelfer fehlen.

Besonders effizient ist die Funktion der Isomerasen bei der Aminosäure Prolin, wie Max-Planck-Wissenschaftler aus Halle [3] herausfanden. Einige Faltungshelfer vereinigen die Eigenschaften von Prolin-Isomerasen und Chaperonen und beeinflussen so die Effizienz der Beschleunigung des cis/trans-Übergangs unabhängig von der chemischen Struktur der Aminosäure, die in der Peptidkette dem Prolin unmittelbar vorangeht. Die Wissenschaftler konnten das häufige gemeinsame Auftreten dieser beiden Funktionen aufklären, da die Faltungshelfer Proteinketten mit unterschiedlichsten Aminosäuren vor dem Prolin praktisch gleich gut umsetzen, wenn neben einer Prolin-Isomerase eine zusätzliche Chaperon-Untereinheit vorliegt. Der Schritt, der bestimmt, wie schnell das Enzym arbeitet, ist vermutlich der Transfer zwischen beiden Funktionszentren.

Chaperone bei der Krebsentstehung

Chaperone spielen wie auf Seite 57 schon erwähnt bei Zellen auch bei Stresszuständen eine Rolle. Sie stellen so das Überleben von Zellen unter ungünstigen äußeren Bedingungen wie beispielsweise Stress sicher. Zellen antworten normalerweise auf fortdauernden Stress mit der Einleitung des programmierten Zelltods. Das Absterben von Zellen kann einerseits im Zusammenhang mit entzündlichen Erkrankungen fatale Folgen bis hin zum Organversagen haben. Andererseits ist der programmierte Zelltod sehr wichtig für eine Vielzahl von Prozessen. Eine verminderte oder fehlende Befähigung zum programmierten Zelltod ist beispielsweise auch ein entscheidendes Charakteristikum von Krebszellen. Daher ist die Frage, auf welche Weise Hsp70 dieser wichtigen zellulären Antwort, beispielsweise bei einer Strahlentherapie von Tumoren, entgegenwirkt, für Wissenschaftler von besonderem Interesse.

Am Dänischen Krebsforschungszentrum in Kopenhagen und an der Humboldt-Universität zu Berlin ist jüngst ein wichtiger Einblick in die Wirkungsweise des Chaperons Hsp 70 gelungen [4]. In Kopenhagen hat man herausgefunden, dass dieses Protein bei zellulärem Stress oder auch in Krebszellen in bestimmte Bereiche der Zelle, die Lysosomen, gelangt. Die Berliner Forscher konnten dabei nachweisen, dass Hsp70 innerhalb der Lysosomen an ein definiertes Lipid bindet und offenbar gerade dadurch zum Überleben der Zellen beiträgt. Dies ist besonders interessant, da es bereits pharmakologische Wirkstoffe gibt, die diesem Überlebensmechanismus entgegenwirken könnten, da sie an das besagte Lipid binden und dadurch die

Anbindung des Hsp70 verhindern. Derartige Wirkstoffe könnten daher für zukünftige Krebstherapien beispielsweise in Kombination mit einer Strahlen- oder Chemotherapie interessant sein.

Auch bei der tödlich verlaufenden Stoffwechsel-Erkrankung Morbus Niemann-Pick spielt das molekulare Chaperone eine Rolle, hier könnte es möglicherweise einen therapeutischen Effekt haben. In Berlin fanden Forscher heraus, dass Hsp70 überraschenderweise auch mit dem Enzym ASM (acid sphingomyelinase) interagiert. Hsp70 und ASM aktivieren sich offenbar gegenseitig. Bei Patienten der Niemann-Pick-Krankheit ist die ASM-Aktivität jedoch zu niedrig. In ihren Zellen kann Hsp70 seine schützende Wirkung für die Zelle offenbar nicht voll entfalten; nach

den neuesten Erkenntnissen möglicherweise, weil die aktivierende Wirkung der ASM fehlt. Entscheidend könnte die Beobachtung sein, dass verabreichtes Hsp70 in Zellen von Niemann-Pick-Patienten die Aktivität von ASM stark heraufsetzen kann. Auch wenn ASM und Hsp70 gemeinsam gegeben wurden, hatte Hsp70 einen verstärkenden Effekt auf ASM. Die Verabreichung von ASM alleine wird zurzeit unter anderem in den USA und Deutschland an Patienten der Niemann-Pick-Krankheit als Behandlungsoption klinisch erprobt. Hier könnte also die gemeinsame Gabe von ASM und Hsp70 einen therapeutischen Effekt deutlich verstärken.

Chaperone in der Biotechnologie

Molekulare Chaperone sind zunehmend von Bedeutung für die rekombinante Produktion von Proteinen in der biotechnologischen Industrie. So sind Mikroorganismen, die durch genetische Modifikation einen erhöhten Chaperongehalt aufweisen, wesentlich besser geeignet als normale Zellen, biotechnisch interessante Proteine in großer Menge und in funktionell aktiver Form herzustellen.

Wenn ein rekombinantes Protein in gentechnisch modifizierten Mikroorganismen überproduziert wird, entsteht ein relativer Mangel an Faltungsenzymen, der dazu führt, dass ein großer Anteil der rekombinanten Proteine aggregiert oder falsch gefaltet wird. In diesem Fall ist der Einsatz von geeigneten Chaperonen sinnvoll, die bei der Biosynthese der rekombinanten Proteine assistieren und in der Lage sind, große Mengen rekombinierter Proteine in Lösung zu halten sowie aggregierte Proteine wieder aufzulösen. Möglich wird dies, indem man nicht nur Plasmide für

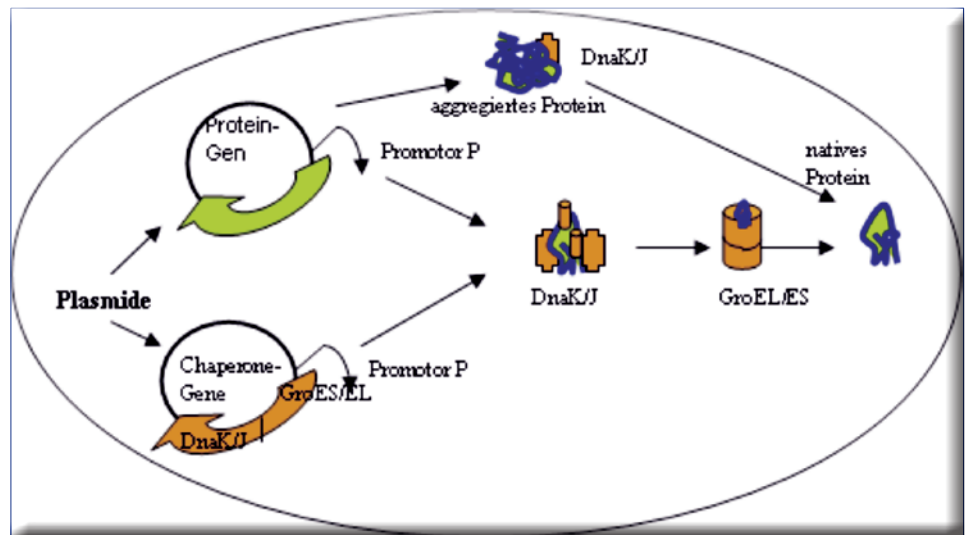


Abbildung 5: Produktion von rekombinanten Proteinen mit Hilfe von molekularen Chaperonen in Bakterienkultur. Die Gene der rekombinierten Proteine und der Chaperone liegen auf zwei Plasmiden, werden jedoch vom gleichen Promotor reguliert. Das ermöglicht eine aufeinander abgestimmte Produktion der beiden Komponenten. Der Anteil an aktivem rekombinanten Protein wird erheblich gesteigert.

das rekombinante Protein, sondern auch für geeignete Chaperone einsetzt (Abbildung 5). Wenn beide Plasmide durch den gleichen Promotor reguliert werden, kann man die Proteinproduktion mit der der Chaperone abstimmen. Die Ausbeute an aktivem Protein kann in einzelnen Fällen um das Vierfache gesteigert werden. So wurde beispielsweise der Trigger Faktor (TF) bei der Synthese von Lysozym überproduziert und führte zu einer besseren Löslichkeit des Proteins.

Beim Einsatz von Chaperonen in der Biotechnologie spielt es eine große Rolle, welche Chaperone man für das System einsetzt. Das GroEL-System kann man zum Beispiel nur bei Proteinen anwenden, die kleiner sind als 60 kDa. CLB

Literatur:

- [1] Hartl, F. U., Hayer-Hartl, M.: Chaperones in the Cytosol: From Nascent Chain to Folded Protein. *Science* 295, 1852-1858 (2002).
- [2] Rutkowska, A.; Mayer, M. P.; Hoffmann, A.; Merz, F.; Zachmann-Brand, B.; Schaffitzel, C.; Ban, N.; Deuerling, E.; Bukau, B. Dynamics of Trigger Factor Interaction with Translating Ribosomes *Journal of Biological Chemistry* 283, 7., 4124-4132 (2008).
- [3] Jakob, R.P., Zoldak, G., Aumüller, T., and Schmid, F.X.: Chaperone domains convert prolyl isomerases into generic catalysts of protein folding. *PNAS*, 106(48):20282-7 (2009)
- [4] T. Kirkegaard, A. G. Roth, N. H. T. Petersen, A. K. Mahalka, O. D. Olsen, I. Moilanen, A. Zylicz, J. Knudsen, K. Sandhoff, C. Arenz, P. K. J. Kinnunen, J. Nylandsted, M. Jäättelä Hsp70 stabilizes lysosomes and reverts Niemann-Pick disease-associated lysosomal pathology; *Nature* (28. Januar 2010)

Glas aus der Region Ilmenau in Thüringen

Ausstellung als Keimzelle zu einem Museum

Georg Schwedt, Bonn



Abbildung 1: Das ehemalige Amtshaus in Ilmenau, heute GoetheStadtMuseum (alle Fotos: Schwedt).

Als historische Regionen für die Herstellung von Glas seit dem 13. Jahrhundert sind in Deutschland vor allem der Bayerische Wald, der Schwarzwald sowie der Spessart und das Fichtelgebirge und auch der Thüringer Wald (Schwerpunkt technisches Glas) zu nennen. Dem Glas aus Thüringen ist in einer ehemaligen Glashütte in der heutigen Universitätsstadt Ilmenau eine Ausstellung als Keimzelle zu einem Museum gewidmet.



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.

Ilmenau – vom Bergbaustädtchen zur Universitätsstadt

1273 erstmals urkundlich erwähnt erhielt Ilmenau 1341 die Stadtrechte und gehörte ab 1343 zur Herrschaft der Grafen von Henneberg. Silber- und Kupferbergbau spielten damals eine wichtige Rolle. 1583 kam Ilmenau nach dem Aussterben der Grafen von Henneberg an das Haus Sachsen, 1661 zu Sachsen-Weimar. Brände zerstörten mehrmals die Stadt, zuletzt 1752. Als 1776 erneut ein schwerer Stadtbrand auftrat, wurde Goethe mit der Untersuchung der Ursachen beauftragt und danach auch mit der Wiederaufnahme des Bergbaus. 1784 konnte erneut der Betrieb aufgenommen werden; er musste jedoch nach einem Wassereinbruch 1796 wieder eingestellt werden. 1675 ist die erste Ilmenauer Glashütte nachweisbar. Seit 1852 bis heute erfolgt durchgängig die Produktion von Glas – vor allem auch von technischem Glas, als Glasinstrumentenbau. In 2008 sanierten „GoetheStadtMuseum“ Ilmenau (Abb. 1), dem ehemaligen Amtshaus mit Barockfassade (erbaut 1753-1756) werden in

Abbildung 2: Objekte zur Glasgeschichte in Ilmenau im GoetheStadtMuseum.





Abbildung 3: Ausstellungsobjekte zur Geschichte der Glasherstellung in der Region Ilmenau (in der Fischerhütte) – als Wanderausstellung gezeigt.

einem der Räume auch Exponate zur Geschichte der Glasherstellung in Ilmenau gezeigt (Abb. 2). Ab 1920 gehörte Ilmenau zum Land Thüringen. Als Thüringisches Technikum wurde 1894 die heutige Technische Universität (ab 1992) eröffnet.

Vom Waldglas zum Glasinstrumentenbau

Im waldreichen Thüringen entstanden im 12. Jahrhundert die ersten Waldglashütten. Das Holz war das Heizmaterial für die Schmelzöfen, die Holzasche und Quarzsand die Rohstoffe für das Glas. Es wurden entsprechend der zur Verfügung stehenden Rohstoffe grüne bis braungrüne Gläser (durch Eisenoxide hervorgerufen) gewonnen. Aus den Wanderglashütten entstanden im 16. Jahrhundert die ersten Dorfglashütten mit festem Standort. Die bisher kleinen Öfen mit kreisförmigem Grundriss wurden zu langgezogenen Öfen mit bis zu zwölf Häfen (Schmelzgefäßen) weiterentwickelt. Aus der Holzasche wurde die reinere Pottasche (durch Schlämmen und Auslaugen in „Pöthen“) gewonnen und Kalk als Rohstoff zugesetzt. Der Holzverbrauch betrug beispielsweise in den Hütten von Ilmenau (1731) 2500 m³ und im benachbarten Stützerbach (1648) 1000 m³.

In Ilmenau wurde 1675 durch Herzog Ernst von Sachsen-Weimar die erste herrschaftliche Hütte gegründet. Die Aufgabe, schön kristallenes, auch anderes Glas herzustellen, konnte sie nur unvollkommen erfüllen, so dass sie bereits 1679 wieder geschlossen wurde. Herzog Ernst-August ließ 1731 eine zweite Hütte einrichten. Sie produzierte Fensterglas, Flaschen, Gefäße, Haushaltsglas, Apotheker- und Medizinalgas und auch schon Glasgeräte für chemische und physikalische Experimente. Sie war mit maximal 20 Beschäftigten relativ klein und musste aus

Gründen der Rentabilität 1748 ihren Betrieb einstellen. Für die Geschichte der Ilmenauer Glasindustrie stellt sie jedoch den Beginn einer Tradition in der Herstellung technischer Glaserzeugnisse dar.

1730 entstand in Lauscha als neuer Erwerbszweig die Lampenglasbläserei, verbunden mit einem Wechsel von der Hütten- zur Heimarbeit (s. auch Abb. 3). Mit der Verarbeitung von Glas vor eine Lampe (zunächst Öllampe, dann Gasflamme) entstand die Kunstglasbläserei z. B. von Christbaumschmuckkugeln. Auf Handelswegen durch den Thüringer Wald wurden die heimischen Glaserzeugnisse bis in das europäische Ausland vertrieben. In der Region von Lauscha wurden auch Glasperlen, farbige Glasmärbel (-kugeln) und durch die Verwendung von Kryolithglas auch künstliche Augen produziert.

In der vom „Förder- und Freundeskreis Ilmenauer Glasmuseum e.V.“ 1998 herausgegebenen Beiträgen zur Geschichte der Glaserzeugung in der Region Ilmenau „Glas in Ilmenau“ berichtet Martin Hübscher über die Geschichte von insgesamt zehn Ilmenauer Glashütten bis 1996. Er stellt zusammenfassend fest: „Das Geräteglas hat mit seiner Entwicklung in Thüringen nicht nur einen besonderen Beitrag in das Buch der Glasgeschichte geschrieben, sondern die vielen Instrumente und Apparaturen, die aus Geräteglas hergestellt wurden, haben außergewöhnlich zum Fortschritt auf vielen Gebieten von Wissenschaft und Technik beigetragen. Der Anteil der Ilmenauer Glashütten ist dabei bedeutend.“

Vom Thermometer bis zur Röntgenröhre

Um 1830 begründete Franz Ferdinand Greiner (1808-1855) in Stützerbach auch die Glasinstrumentenfertigung mit Hilfe der Lampenglasbläserei. Er gilt als Begründer der industriellen Thermometerfertigung. Verfahren der weit verzweigten Familie Greiner kamen aus Schwaben bereits im 17. Jahrhundert nach Thüringen. Hans Greiner baute 1661 eine Glashütte, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts auch Goethe und Herzog Carl August besuchten. Ein weiteres Mitglied der Greiner-Familie, Franz Ferdinand Greiner, wurde zum Begründer der modernen Labor-

Abbildung 4: Thermometer- und Barometerhäuschen in der Ilmenauer Fußgängerzone.



Abbildung 5: Die Fischerhütte.



glasindustrie. Die Glashütte Greiner & Friedrichs entwickelte die Grundlagen zur Herstellung von Thermosgefäßen. Der Chemiker Otto Schott (1851-1935) führte in dieser Hütte seine ersten Versuche mit Spezialgläsern durch. 1869 übernahm Ephraim Greiner den Betrieb von Emil Gundelach im heutigen Goethehaus mit Glasmuseum. In Zusammenarbeit mit Ilmenauer Ärzten gelang ihm die Herstellung von Fieberthermometern. An die Tradition der Thermometer-Herstellung erinnert auch das Thermo- und Barometerhäuschen am Ende der Ilmenauer Fußgängerzone (Abb. 4) sowie das Liquid-Chronometer der Stadt Ilmenau am Wetzlarer Platz (gestiftet vom Ilmenauer Glastradition e.V., Sitz Fischerhütte). In der Gehlberger Glashütte (heute Museum) der Familie Gundelach entstand in Zusammenarbeit mit Conrad Röntgen eine technisch einsetzbare Röntgenröhre. Die Geschichte der Stützerbacher Glasindustrie im am Ende des 17. Jahrhunderts errichteten ehemaligen Wohnhaus des Glashüttenbesitzers Johann Daniel Gundelach wird auch in der heutigen Goethe-Gedenkstätte (mit Glasmuseum seit 1959) dargestellt.

Abbildung 6: Glasschmelzofen (mit Häfen) in der Fischerhütte.



Die Fischerhütte in Ilmenau

Der Gründer der so genannten Fischerhütte, Gustav Friedrich Fischer (1862-1921) stammte aus Pößneck/Thüringen und hatte zunächst eine Lehre bei einem Krämer absolviert. Er entwickelte sich zum Kaufmann und erwarb eigenes Vermögen als Teilhaber in einem Kaffee-Importgeschäft in Leipzig. Durch Heirat bekam er Verbindung nach Ilmenau und wurde dort 1893 Prokurist und später Teilhaber einer Glashütte. Mit Eigenmitteln und nach seinem Entwurf ließ er von 1907 bis 1910 eine moderne Glashütte errichten, die „Fischerhütte“. (Abb. 5) Dort wurden doppelwandige Isolierkolben, dann Labor-Hohlglas und Röhren sowie Thermometerglas und Normalglas für Laborgeräte produziert. Nach Gustav Fischers frühem Tod konnten seine Söhne Hellmuth und Martin nach ihrer Ausbildung erst 1925 den Betrieb übernehmen. Dr. Hellmuth Fischer (Studium in München und Erlangen; 1901-1990) entwickelte neue Hart- und Weichgläser für chemische Apparate, für Metallelektroden-Einschmelzungen, Thermometerkapillaren und auch für nicht verfärbende Röntgenröhren. In der Fischerhütte wurden die ersten Versuchs-Fernsehröhren für Manfred von Ardenne (Dresden) hergestellt. Ab 1930 produzierte er Lumophor-Gläser als Mehrschicht-Glasröhren, in denen das UV-Licht einer Niederdruck-Quecksilberdampf-Gasentladung die Glaswand zur Lumineszenz im sichtbaren Spektralbereich anregt. 1932 gelang ihm die Herstellung der ersten weißleuchtenden Deckenleuchtröhre für die Innenbeleuchtung. Nach dem Zweiten Weltkrieg leitete nach der Enteignung der Anteile seines Bruders Martin Fischer die Glashütte, sein Sohn Michael folgte als Betriebsleiter. Die Fischerhütte war als so genannter bezirksgeleiteter Betrieb dem Bezirkswirtschaftsrat Suhl, Industrieabteilung Glas-Keramik unterstellt. 1971 ging aus dem Glaswerk Gustav Fischer der „VEB IImglas Ilmenau“ hervor, der 1976 in den VEB Kombinat Technisches Glas

Abbildung 7: Gebäude der ehemaligen Glasfachschule.



Ilmenau eingegliedert wurde. 1978 wurde der Betrieb in der Fischerhütte eingestellt.

Der „Förder- und Freundeskreis Ilmenauer Glasmuseum e.V.“ engagiert sich für die noch erhaltenen Gebäude der Fischerhütte als Standort für ein Glasmuseum. In den Räumen der Fischerhütte befinden sich bereits die Exponate einer Wanderausstellung von 1996 „Geschichte der Glaserzeugung in der Region Ilmenau“, in der alle bedeutenden Ort der thüringischen Glasindustrie dargestellt werden, und auch originale Einrichtungen wie Schmelzöfen und andere technische Anlagen. (Abb. 6)

Glasforschung und die TU Ilmenau

1889 wurde in Ilmenau das Großherzoglich Sächsisch-Weimarische Prüfam für Thermometer gegründet, dessen Leiter Prof. Albrecht Böttcher wurde. Fünf Jahre später entstand zunächst im Anwesen des Glaskünstlers Edmund Koch die Glasfachschule. Das spätere Gebäude befindet sich in der Nähe des ehemaligen Ilmenauer Amtshauses, in dem sich das Goethe-Museum der Stadt mit ebenfalls Dokumenten zur Glasgeschichte befindet. Der Text auf der Tafel am Gebäude der ehemaligen Glasfachschule (Abb. 7) lautet: „1915 gezogener Neubau der 1894 gegründeten ‚Großherzoglich-Sächsischen Fachschule und Lehrwerkstatt für Glasinstrumentenmacher‘ (Leitung Prof. Albrecht Böttcher). Einer der ersten Stahlbetonbauten in Thüringen. Bis 1938 in Verwaltungseinheit mit dem Ilmenauer Eichamt und danach bis 1946 selbstständig als ‚Thüringische Lehr- u. Versuchsanstalt für Glasinstrumententechnik und Feinmechanik‘. 1952 Neugründung als ‚Fachschule für Technische Glasverarbeitung‘, ab 1958 ‚Ingenieurschule für Technische Glasverarbeitung‘. Ende der Ausbildung 1993. Seit 2001 (nach Sanierung) Sitz des Amtsgerichtes Ilmenau.“

1894 beginnt auch die Geschichte der heutigen TU Ilmenau des Freistaats Thüringen in

Abbildung 9: Innenhof am „Alten Technikum“ (mit Zugang auch zum Chemischen Labor).



Abbildung 8: Das „Alte Technikum“ (Curiebau) der TU Ilmenau.

der Goethe- und Universitätsstadt – als Thüringisches Technikum Ilmenau, einer zunächst privaten Bildungseinrichtung, gegründet von Eduard Jentzen (1847-1905; bis 1903 Leiter der Einrichtung). Das Alte Technikum (heute Curiebau – Abb. 8 u. 9) entstand 1895, das Neue Technikum (heute Faradaybau – Abb. 10) folgte 1926, als das Technikum in Ingenieurschule Ilmenau umbenannt wurde. 1947 wurde die Fachschule verstaatlicht, 1953 zur Hochschule für Elektrotechnik, 1963 Technische Hochschule und 1992 Technische Universität. Heute studieren an der TU Ilmenau etwa 6000 Studenten in Fächern der Ingenieurwissenschaften, Mathematik, Naturwissenschaften sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.

Enge Kontakte zur Glasindustrie begannen 1975 mit der Einrichtung einer Professur für Glas/Keramik-Werkstoffe. Auf diesem Gebiet konnten sich Ingenieurstudenten der Fachrichtungen Gerätetechnik und Elektrotechnik spezialisieren. In der Forschung wurden u.a. die Plasmaschmelze von Quarzglas in Zusammenarbeit mit der Abteilung Plasmatechnik und dem Ilmenauer Werk für Technisches Glas entwickelt, weiterhin Anwendungen der CCD-Technik für Messaufgaben zur Automatisierung der Formgebung und Verarbeitung technischer Glaserzeugnisse und Grundlagen zu Steuerung von vollelektrischen



Abbildung 10: Das „Neue Technikum“ (Faradaybau) der TU Ilmenau.

Glasschmelzwannen – und als Meilenstein ein Skalierroboter für Mess- und Vollpipetten aus Glas (1985). Im Studiengang Werkstoffwissenschaften (seit 1997) sowie in den Studiengängen Maschinenbau und Elektrotechnik findet auch heute noch eine Ausbildung auf den Gebieten des Glases statt. (www.tu-ilmenau.de)

Glastradition im Thüringer Wald

Die zu Abbildung 3 genannte Wanderausstellung wurde auch an historischen Orten der thüringischen Glasherstellung gezeigt, die noch heute besichtigt werden können. Außer in der beschriebenen Fischerhütte in Ilmenau war sie 2005/2006 in folgenden Orten zu sehen:

Das Glasmuseum Gehlberg (www.glasmuseum-gehlberg.de) zeigt Dokumente aus 350 Jahren Glastradition. Vor allem die Produktion von Röntgenröhren durch die Firma Max Gundelach (ab 1910 mit 10 verschiedenen Typen) wird dargestellt. Den Schwerpunkt Thermometer von den Anfängen der Temperaturmessung durch Galileo Galilei (Berührungsthermometer, z.B. Flüssigkeitsglasthermometer) bis zu elektronischen Messverfahren zeigt das Thermometer-

museum Geraberg (www.thermometermuseum.de), wo an einem Experimentiertisch auch Temperaturmessungen durchgeführt werden können. Im Heimatmuseum „Geißlerhaus“ in Neuhaus am Rennweg (Ortsteil Igelshieb, Sonneberger Straße 106), dem Geburtshaus von Heinrich Geißler (1814-1879) wird an die Familie und den Erfinder der „Geißlerschen Röhre“ (Niederdruck-Gasentladungsröhre) erinnert. Geißlers Vater, ein Lampenglasbläser aus Igelshieb, der Lauschaer Rohglas in Heimarbeit weiter verarbeitete, soll auf einer Hausiererreise 1830 mit seinen Vögelchen und Nippes auch Justus Liebig in Gießen besucht haben, der ihm riet, für Chemiker entsprechende Glasgeräte herzustellen. Sein Sohn gelangte nach langen Wanderjahren als Glasbläsergeselle nach Bonn, wurde dort Universitätsmechanikus und entwickelte die nach ihm benannten Röhren. Auch im heimatlichen Igelshieb arbeiteten 1853 „mehrere geschickte Glaskünstler an Glasperlen, Glasinstrumenten, Thermometern, Barometern und anderen Glasapparaten zu chemischen Untersuchungen“. Im Technischen Denkmal Glashütte Schmiedefeld am Rennsteig wird seit 1914 Glas geschmolzen und verarbeitet – Glasrohre und technische Gläser für Laborgeräte und Ganzglasspritzen an hochmechanisierten Produktionslinien. Dort kann man heute in einer Studiowerkstelle an einem Hafenofer die traditionelle Technik des „Glasmachens“ erleben. Im Museum für Glaskunst in Lauscha, dem Geburtsort des gläsernen Christbaumschmucks, bilden Waldglas, höfische und bürgerliche Prunkgefäße, Glasperlen, Sammlerfiguren, Christbaumschmuck sowie Glasaugen, technisches Glas und Jenaer Glas neben zeugnössischer Kunst die Schwerpunkte vom späten Mittelalter bis heute (mit einer historischen Glasbläserstube) (www.glasmuseum.lauscha.de) Auf das Glasmuseum im Goethehaus Stützerbach wurde bereits hingewiesen. Außerdem ist auch im Stützerbacher Heimatmuseum einer der Räume dem Thema „Das Industriedorf – Glasindustrie“ gewidmet.

CLB

Literatur

- Förder- und Freundeskreis Ilmenauer Glasmuseum e.V. (Hrsg.): Glas in Ilmenau. Beiträge zur Geschichte der Glaserzeugung in der Region Ilmenau, 1. Aufl. 1998
- Gerhard Kobe: 50 Jahre Glasmuseum im Goethehaus zu Stützerbach, Schriften des Heimat- und Geschichtsvereins Stützbach, Heftreihe No. 10, Stützerbach 2009
- Alan Macfarlane und Gerry Martin: Welt aus Glas. Eine Kulturgeschichte, München 2004

SKL10-01: Einstieg in die berufliche Grundbildung Laborant/in EFZ

Datum: 11.5.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-02: Einführungskurs in die Gaschromatographie

Datum: 19./20.5.2010
 Ort: Demolabor, Brechbühler AG, Schlieren

SKL10-03: Methodenentwicklung in der GC

Datum: 8./9.11.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-04: Troubleshooting in der GC

Datum: 15./16.11.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-05: Grossvolumige Einspritztechniken in der GC

Datum: 23.11.2010
 Ort: Juventus Schule, Zürich

SKL10-06: Einspritztechniken in der GC

Datum: 3./4.11.2010
 Ort: Demolabor, Brechbühler AG, Schlieren

SKL10-07: Einführungskurs in die HPLC

Datum: 24./25.8.2010
 Ort: FHNW, Rosental, Basel

SKL10-08: Methodenentwicklung in der HPLC

Datum: 26./27.8.2010
 Ort: FHNW, Rosental, Basel

SKL10-09: Troubleshooting in der HPLC

Datum: 31.8./1.9.2010
 Ort: FHNW, Rosental, Basel

SKL10-10: HPLC-MS in der Spurenanalytik

Datum: 13./14.10.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-11: IR Spektroskopie

Datum: 9./10.9.2010
 Ort: Portmann Instruments AG, Biel-Benken

SKL10-12: Interpretationstraining für IR-Spektren

Datum: 22.10.2010
 Ort: Portmann Instruments AG, Biel-Benken

SKL10-13: Spezielle Aspekte der Qualitätssicherung

Datum: 15.10.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-15: Validierung von computergestützten Systemen

Datum: 22.11.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-16: Auswerten von Labordaten mit Grafiken

Datum: 9./10.9.2010
 Ort: ZHAW, Winterthur

SKL10-17: Chemierecherchen im freien Internet

Datum: 8.6.2010
 Ort: Juventus Schule, Zürich

SKL10-18: Chemierecherchen mit STN International

Datum: 16.9.2010
 Ort: Juventus Schule, Zürich

SKL10-19: Grundlagen der Pharmakologie und Toxikologie

Datum: 1.6.2010
 Ort: Juventus Schule, Zürich

SKL10-20: Grundlagen der Molekularbiologie

Datum: 28.5.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-21: Immunologie

Datum: 17.8.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-22: Gentechnik

Datum: 17.9.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

SKL10-23: Zufrieden und erfolgreich im Beruf durch Selbstcoaching

Datum: 4.5.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

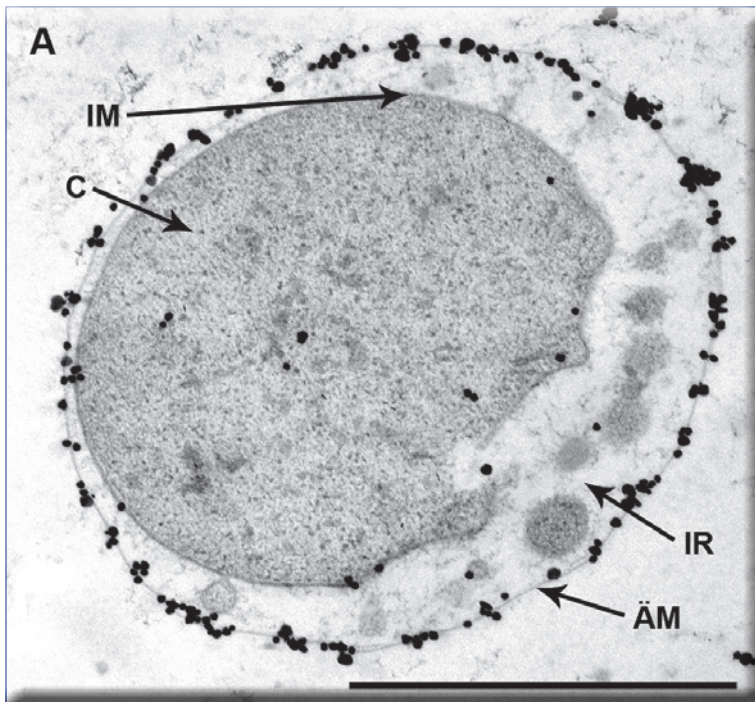
SKL10-24: Unnötigen Stress vermeiden

Datum: 17.5.2010
 Ort: Ausbildungszentrum UBS AG, Basel

Weitere Informationen finden Sie auf unserer Homepage:

www.sekulab.ch

Auch Prokaryoten trennen Energieproduktion ab Organismen ohne Zellkern sind komplexer als bislang angenommen



Elektronenmikroskopische Darstellung einer *Ignicoccus hospitalis* Zelle. Die schwarzen Markierungen zeigen die Lage der Enzym-Komplexe (ATP-Synthase) in der äußeren Membran (ÄM) von *Ignicoccus hospitalis* (erreicht durch spezifische Antikörpermarkierung), Ultradünnschnitt, Maßstab: 1/1000 mm, (C = Cytoplasma; IM = innere Membran, ÄM = äußere Membran; IR = Intermembranraum; Abb.: Uni Regensburg / Huber).

Zum ersten Mal konnte jetzt für einen Prokaryoten eine räumliche Trennung von Energiegewinnung und anderen zellulären Prozessen – wie zum Beispiel der Biosynthese von Proteinen und Nukleinsäuren – nachgewiesen werden.

Höhere Zellen zeichnen sich durch eine räumliche Trennung wichtiger zellulärer Funktionen aus. Sie haben einen Zellkern, der das Erbgut enthält, ein Cytoplasma, in dem die Informationsverarbeitung sowie die Proteinsynthese abläuft und Organellen wie Mitochondrien, in denen die Energieproduktion der Zellen stattfindet. Demgegenüber sind Prokaryoten (zumeist einzellige Organismen ohne Zellkern) einfacher aufgebaut: ein Cytoplasma, in dem all diese Funktionen ver-

einigt sind, ist von der schützenden cytoplasmatischen Membran umschlossen. Einige Bakterien haben darüber hinaus eine zweite äußere Membran, die die Zellen vor Umwelteinflüssen schützt. Der sich daraus ergebende Zwischenraum (Periplasma) gilt aber in der Regel als reaktionsarmer Bereich und entspricht eher dem Milieu des umgebenden Lebensraums als dem des Zellinneren.

Vor einigen Jahren wurde am Institut für Biochemie, Genetik und Mikrobiologie der Universität Regensburg das Archaeon (Urbakterium) *Ignicoccus hospitalis* („gastliche Feuerkugel“) aus einem untermeerischen Vulkangebiet um Island isoliert. Durch eine optimale Wachstumstemperatur von 90 Grad Celsius und der Verwertung von Schwefel, Wasserstoff und Kohlendioxid ist es bestens an solche urtümlichen Biotope angepasst. Als Besonderheit verfügt *Ignicoccus hospitalis* als einziges Archaeon über zwei Membranen und über einen ungewöhnlich großen Intermembranraum, über dessen Funktion bislang nur spekuliert wurde.

Jetzt hat eine Gruppe von Wissenschaftlern der Universität Regensburg um Reinhard

Rachel in Zusammenarbeit mit Volker Müller von der Goethe Universität Frankfurt am Main die Entdeckung gemacht, dass bei diesem Mikroorganismus die äußerste Membran der Ort der Energieproduktion ist. Im Rahmen ihrer Untersuchungen konnten die Forscher nachweisen, dass sich bei *Ignicoccus* die für die Energiegewinnung maßgeblichen Enzyme und Enzymkomplexe in dieser Membran und nicht etwa in der inneren Cytoplasmamembran befinden. Zudem zeigten die Experimente eindeutig, dass die innere Membran die DNA umschließt.

Zum ersten Mal konnte damit für einen Prokaryoten eine räumliche Trennung von Energiegewinnung und anderen zellulären Prozessen – wie zum Beispiel der Biosynthese von Proteinen und Nukleinsäuren – nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse werfen zahlreiche weiterführende Fragen auf. So dürfte die Form der Kommunikation zwischen den beiden Zellbestandteilen sowie Überlegungen zur allgemeinen Definition einer cytoplasmatischen Membran im Zentrum künftiger Arbeiten stehen. Möglicherweise, so die Forscher, stellt *Ignicoccus* sogar einen Vorläufer auf dem Weg zu den höheren Organismen (Eukaryonten) dar, bei denen zahlreiche membranumhüllte Organellen die unterschiedlichen Aufgaben (Energiegewinnung, Informationsweitergabe) in den Zellen übernommen haben.

(Publikation: Ulf Küper, Carolin Meyer, Volker Müller, Reinhard Rachel, Harald Huber, „Energized outer membrane and spatial separation of metabolic processes in the hyperthermophilic Archaeon *Ignicoccus hospitalis*“ (PNAS, electronic edition, Feb. 2010).

Gleiten ohne zu zerstören Konkurrierende Phänomene bei Scherprozessen

Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich und der französischen Hochschule École normale supérieure de Lyon haben erstmals experimentell nachweisen können, wie ein mikroskopischer „Gleitprozess“ zu stabileren Flüssigkeiten führt. Mit diesen Erkenntnissen kann jetzt das Fließverhalten von komplexen Flüssigkeiten besser vorhergesagt werden.

Starke Scherkräfte verursachen Spannung in der Flüssigkeit, etwa weil ineinander verzahnte Polymerketten aneinander reiben. Zwei Phänomene können der Spannung entgegenwirken: einerseits die Entmischung der Flüssigkeit in unterschiedlich dickflüssige Schichten, andererseits ein Gleiten der Flüssigkeit über ausreichend glatte Gefäßwände. Es ist jetzt erstmals experimentell gelungen, anschaulich zu zeigen, wie diese beiden Phänomene miteinander konkurrieren.

Die Forscher aus Jülich und Lyon nutzten für ihre Experimente so genannte Scherzellen, die aus zwei ineinandersteckenden Zylindern bestehen. Zwischen die rotierenden Wände des Zylinders brachten sie eine Tensid-Wasser-Mischung, die einem Shampoo ähnelt. Um die mikroskopischen Vorgänge in der Flüssigkeit zu verstehen, verfolgten die Forscher kontinuierlich die Fließgeschwindigkeit der Suspension an verschiedenen Positionen zwischen den Wänden mit Hilfe eines Ultraschallmessgeräts.

Oberhalb einer gewissen Fließgeschwindigkeit trennte sich die Suspension in zwei Schichten unterschiedlicher Viskosität auf, die mit verschiedener Geschwindigkeit fließen. Dies konnten die Forscher verhindern, indem sie die Wände der Scherzelle glätteten. Sie sahen, dass dann bei der genau gleichen Fließgeschwindigkeit wie

zuvor die Suspension gewissermaßen über die glatten Wände gleiten kann. Gleichzeitig wiesen die Forscher durch Kraftmessungen nach, dass sich dabei die Spannung in der Flüssigkeit abbaut, die durch den Scherfluss verursacht wird. Wenn das Gleiten durch raue Wände schwieriger wird, findet der Spannungsabbau stattdessen durch die Auftrennung der Flüssigkeit statt. Dieser Zusammenhang zwischen beiden Prozessen war bisher nur vermutet worden und birgt Verbesserungspotenzial für die Herstellung von Kunststoffen und Emulsionen. Alltägliche Produkte wie Shampoos und Plastik bestehen aus höchst komplexen Zutaten, etwa Polymeren und langkettigen Molekülen. Zu hoher Druck oder zu starkes Rühren bei der Produktion trennen oftmals Flüssigkeiten wieder aus der Mischung ab.

Experimente mit Scherzellen (Bild) zeigen, dass bei starken Scherkräften die Entmischung komplexer Flüssigkeiten damit konkurriert, dass die Flüssigkeit an der Gefäßwand entlanggleitet. Dieses Gleiten passiert bevorzugt bei glatten Gefäßwänden. Die Forscher konnten nachweisen, dass beim Gleiten ein lokaler Spannungsabbau in der Nähe der Wände stattfindet (Foto: Forschungszentrum Jülich).



Krankheiten:

Mechanismen und Möglichkeiten

- Die Deutsche Krebshilfe fördert jetzt ein Forschungsprojekt mit dem Ziel, eine **Impfung gegen Helicobacter pylori** zu entwickeln. Jedes Jahr erkranken fast 19 000 Menschen in Deutschland neu an Magenkrebs. 90 Prozent dieser Karzinome sind auf eine Infektion mit diesem Bakterium zurückzuführen.
- Zwei große internationale Studien haben sieben neue genetische Varianten gefunden, die einen Einfluss auf die Glukoseregulation im menschlichen Organismus haben und mit einem erhöhten **Risiko für Typ-2-Diabetes** assoziiert sind. Man kennt nun fast zwanzig neue Positionen genetischer Variation, die mit der Glukoseregulation assoziiert sind.
- In einer Studie, die im Rahmen des Nationalen Genomforschungsnetzes durchgeführt wurde, zeigen Wissenschaftler erstmals, dass die beiden **Parkinson-assoziierten Proteine** PINK1 und Parkin gemeinsam die Entsorgung geschädigter Mitochondrien steuern und wie sie das tun. Die Vermutung: Eine Störung dieses Entsorgungsmechanismus könnte entscheidend an der Entstehung der Parkinson-Erkrankung beteiligt sein.
- An der RWTH Aachen hat man **Brustkrebsmarker** entdeckt, die zukünftig möglicherweise einer größeren Patientinnengruppe die Chemotherapie ersparen können. Patientinnen mit Nodal-negativem Mammakarzinom, bei denen das Tumorsuppressorgen ITIH5 noch im Gewebe nachgewiesen werden kann, haben demnach ein geringes Rückfall-Risiko und daher eine sehr gute Prognose.
- Jetzt wurde die entscheidende Funktion des viralen BZLF1 Proteins bei der Vermehrung des **Epstein-Barr-Virus** (EBV) identifiziert: Es aktiviert die Gene des EBV, die für die Vermehrung der Viruspartikel essenziell sind. EBV ist ein Vertreter der Herpes-Viren und kann auch Tumoren auslösen.
- Eine einzige Erbgutveränderung ist die genetische Ursache der sehr seltenen **Bewegungsstörung ADSD** (Autosomal-Dominante Striatale Degeneration). Gleichzeitig sind alle Menschen krank, die von der Veränderung auf diesem Gen, nämlich PDE8B, betroffen sind.
- Der Vergleich von über 500 000 Teilabschnitten des menschlichen Erbguts brachte Wissenschaftler der Universität Bonn auf die richtige Spur: Bestimmte Genvarianten auf Chromosom 10 und 17 kommen bei Menschen mit **Lippen-Kiefer-Gaumenspalten** deutlich häufiger vor als bei Kontrollpersonen.
- Es ist nun gelungen, eine neue genetische Ursache für die Kombination aus **Herzfehlern und Kleinwuchs** zu entdecken. Forscher konnten nachweisen, dass spezifische Veränderungen in dem Gen NRAS, das bisher nur als Tumor-Gen bekannt war, für das Noonan-Syndrom verantwortlich sein können.

Zehn Mal Ehre, Geld und Forschungsfreiheit Leibniz-Preise 2010 – ausgewählt aus 170 Vorschlägen

Eine Wissenschaftlerin und neun Wissenschaftler wurden aus 170 Vorschlägen ausgewählt, und erhalten für ihre Leistung in der Forschung den „Förderpreis im Gottfried Wilhelm Leibniz-Programm“ für das Jahr 2010.

Verliehen werden die Leibniz-Preise am 15. März 2010 in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften in Berlin. Dann feiert die DFG und mit ihr die Wissenschaft in Deutschland zugleich das 25-jährige Jubiläum des Leibniz-Programms.

Der Preis bringt seinen Trägern weltweites Renommee, ein Preisgeld von bis zu 2,5 Millionen Euro und die Freiheit, dieses Geld in den kommenden sieben Jahren ganz nach ihren eigenen Vorstellungen und ohne bürokratischen Aufwand für ihre wissenschaftliche Arbeit zu verwenden.

Die Träger des Leibniz-Preises 2010 im Kurzporträt:

Prof. Dr. Frank Neese (41; Theoretische Chemie, Universität Bonn) ist einer der weltweit führenden theoretischen Chemiker. Er verbindet in seinen Forschungen die Bioanorganische und die Theoretische Chemie. An erster Stelle ist die Beschreibung der Elektronenzustände großer, biologisch relevanter und komplex aufgebauter Metalloproteine zu nennen. Für diese hat Neese ein quantenchemisches Programm entwickelt, mit dem Molekülberechnungen hundertmal schneller als zuvor erfolgen können. Zudem ermöglicht das Programm eine Interpretation von Spektren, die bis vor kurzem noch als undenkbar galt. Das Programm hat sich schnell weltweit durchgesetzt und wird bereits von Tausenden von Anwendern in der Chemie, Biologie, Pharmazie und den Materialwissenschaften genutzt.

Prof. Dr. Peter Fratzl (51; Biomaterialien, Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächen-

forschung, Potsdam) beschäftigt sich mit den mechanischen Eigenschaften natürlicher Materialien wie Knochen und Pflanzen. Er entwickelt neue biomimetische und bioinspirierte Werkstoffe, die biologische Strukturen oder Prozesse nachahmen. Die Forschungen hierzu liefern wichtige Erkenntnisse zur Behandlung von erkranktem Knochengewebe und insbesondere zur Osteoporose.

Prof. Dr. Petra Schwille (41; Biophysik, Technische Universität Dresden) hat mit ihren Arbeiten sowohl die Entwicklung als auch die Anwendung der Fluoreszenzspektroskopie zur Lösung von Fragen der Zellbiologie vorangetrieben. Dabei beschäftigte sie sich vor allem mit der Fluoreszenzkorrelationspektroskopie (FCS), einer der elegantesten nichtinvasiven Methoden, um molekulare Vorgänge in biologischen Systemen zu erfassen. Durch die Kombination der FCS mit Zweiphotonanregungen gelangen ihr neue Einblicke in zelluläre Mechanismen.

Prof. Dr. Jan Born (51; Neuroendokrinologie/Schlafforschung, Universität zu Lübeck) untersucht vor allem, wie im Schlaf Gedächtnis gebildet wird. Dabei konnte er zeigen, dass im Schlaf nicht nur Gedächtnis gefestigt wird, sondern auch kognitive Prozesse wie Problemlösungsstrategien stattfinden.

Prof. Dr. Christoph Klein (45; Kinderheilkunde/Pädiatrische Onkologie, Medizinische Hochschule Hannover) hat verschiedene Gendefekte identifiziert, die schwere und oft tödliche Erkrankungen des Immunsystems auslösen. Bedeutsam ist seine Entdeckung, dass ein Defekt in der Glucose-6-phosphatase dazu führt, dass von Geburt an zu wenig oder gar keine der zu den weißen Blutkörperchen gehörenden neutrophilen Granulozyten im Blut zu finden sind.

Prof. Dr. Stefan Treue (45; Kognitive Neurowissenschaften

an Primaten, Deutsches Primatenzentrum, Göttingen) wird für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Aufmerksamkeitsforschung ausgezeichnet. Die Ergebnisse seiner Arbeiten haben einen starken Einfluss auf große Teile der Hirnforschung. Und angesichts der stark zunehmenden psychischen Aufmerksamkeitsstörungen haben Treues Arbeiten über die Grundlagenforschung hinaus auch eine klinische Relevanz.

Prof. Dr. Ulman Lindenberger (48; Entwicklungspsychologie, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin) ist einer der international führenden Köpfe der kognitiven Altersforschung. So konnte Lindenberger nachweisen, wie sehr das geistige Leistungsniveau älterer Menschen nicht durch natürliche Vorgaben wie das Alter festgelegt wird, sondern durch eigenes Handeln verändert und damit auch verbessert werden kann.

Prof. Dr. Joachim Weickert (44; Bildverarbeitung/Informatik, Universität des Saarlandes) befasst sich mit der Entwicklung mathematisch fundierter Verfahren zur Bildanalyse, die darauf abzielen, unvollständige oder verrauschte Bilddaten zu verbessern und das Originalbild zu rekonstruieren. Angewendet werden solche Verfahren in der medizinischen Bildgebung, der geowissenschaftlichen Bildaufbereitung oder der computergestützten Qualitätskontrolle in der Industrie.

Prof. Dr. Roman Inderst (39; Volkswirtschaftslehre, Universität Frankfurt/Main) arbeitet auf mehreren Teilgebieten der Wirtschaftswissenschaften, denen er jeweils deutliche Impulse geben konnte.

Prof. Dr. Jürgen Osterhammel (57; Neuere und Neueste Geschichte, Universität Konstanz) hat entscheidend dazu beigetragen, die deutsche Geschichtswissenschaft für welthistorische Themen und Fragestellungen zu öffnen.



...hat jetzt ein neues Zuhause, mit 400 qm Verkaufsfläche, Schulungsraum, reichlich Parkplätzen...

Eure Tauchprofis mit der besonderen Expertise im Tech-Diving!

Bestellservice: www.deepstop.de

Deepstop GmbH
(vormals PhantaSea Tauchen & Reisen)
Duisburgerstr. 4 (gegenüber Pfitzenmeier)
D-68723 Schwetzingen
www.deepstop.de sowie www.deepstop.com

Öffnungszeiten:
Montag - Freitag 10.00 - 12.30 Uhr und 15.00 - 19.00 Uhr
Mittwoch nur 10.00 - 12.30 Uhr
Samstag 09.00 - 14.00 Uhr

Zu Fuß von der Tauchbasis zu einem der schönsten Hausriffe am Roten Meer – hier ist es möglich, im

diving
EL FLAMENCO
SOUTH RED SEA - EGYPT

Das PADI 5 Star Gold Palm Resort
– inmitten des 4 Sterne Flamenco Beach Resort
– bietet aber auch Bus- oder Bootstouren u.a. mit dem Tauchboot MS Esther.

Details unter www.diving.de



Das Online-Magazin für Labor und Analytik

25.02.2008 Kontakt Abo's Werbung Service Referenzen Profil FAQ AGB Impressum DE EN

Suche: Sitemap Profisuche

Das Online-Magazin für Labor und Analytik

Aktuelles und Neues

- ANALYTIK NewsFlash
- Produktneuheiten
- Labor Nachrichten
- Labor Stellenmarkt
- Labor Veranstaltungen
- Diskussionsforum
- Biete/Suche
- Webseite des Monats

Labor Branchenbuch

- Hersteller, Händler
- Laboratorien
- Sonstiges

Analytik Weblinks

- Analysentechniken
- Qualitätssicherung
- Arbeitsicherheit
- Fachliteratur
- Laborsoftware
- Sonstiges

Ihr Ansprechpartner

Dr. Torsten Beyer

Labor Partnerseiten

- LabFirms.de
- LabCrawler.com
- LaborShop.de
- Chemiker.info
- Chemie-Datenbanken

ANALYTIK NewsFlash Extra: Februar 2008 Archiv ANALYTIK NewsFlash abonnieren Inserieren

Monatlicher Newsletter mit Meldungen, Fachartikeln, Produktneuheiten, Veranstaltungen, Linktips u.v.m.

- Produktneuheiten:** a1 envirotech, Berghof, Gilson, LAUDA DR. R. WOBSE, Metrohm, Retsch, Sartorius
- Fachbeiträge:** Lichtstreuung und Universelle Kalibration - Einsatzmöglichkeiten und Grenzen Zweidimensionale kapillarelektrophoretische Methoden: Sehr geringe Matrixempfindlichkeit
- Veranstaltungen:** Dr. Schömer | QMBalance, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen, Sartorius,
- Webseite des Monats:** CS-Chromatographie Service GmbH

→ ANALYTIK NewsFlash Extra lesen

Labor Produktneuheiten alle ANALYTIK NewsFlash abonnieren RSS-Feed Laborprodukt inserieren

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

- MS Spezialitäten für mobile oder besonders schnelle MS-Messungen**
Das Constellation CT-1128 ist ein mobiles GC/MS System auf der Basis eines Agilent 5975 Quadrupol. Bei einer Größe von nur 39x42x66 cm (HxTxB) und einem Gewicht von nur 34 kg besitzt das System alles...
- Sicheres Wägen toxischer, pulverförmiger Substanzen im Labor: Wägekabine SWC - denn Sicherheit geht vor**
Aktive Forschung und Entwicklung in der pharmazeutischen und chemischen Industrie erzeugen immer effektivere Medikamente und Zubereitungen. Für Forscher und Labormitarbeiter bedeutet dies jedoch eine...
- Gilson's neue einzigartige Purification Plattform!**
Profitieren Sie von Gilson's neuer einzigartiger Purification Plattform die allen Ihren analytischen und präparativen HPLC-Anwendungen gerecht wird! Gilson's neue Detektionslösungen (171 und 172 DAD)...
- Reduzieren Sie Ihr Probenvolumen mit CentriVap - kontrolliert heizen bis +100°C und kühlen bis -4°C**
Heizen und Kühlen in einem Gerät, das geht nur mit dem CentriVap von Labconco. Temperieren Sie Ihre Proben während des Einengens zwischen -4°C und +100°C mit individuell anpassbarem Temperaturprogramm...
- Bis zu 20 Proben gleichzeitig zerkleinern und homogenisieren: Die neue Schwingmühle MM 400**
Die neue Schwingmühle MM 400 von RETSCH ist das ideale Gerät für die schnelle und effiziente Homogenisierung kleiner Probenmengen im Labor. Sie zerkleinert unterschiedlichste Materialien wie z.B. Tab...

→ alle Produktneuheiten → Chromatographie → Spektroskopie → Probenvorbereitung

© 2000-2008 Dr. Beyer Internet-Beratung Kontakt Link vorschlagen Abo's Werbung AGB Impressum

Die Adresse für Analytik-Literatur

WILEY-VCH

Der CLB herzlichen Glückwunsch zum 60jährigen Bestehen!

Was Sie bei uns finden

- Verschiedene E-Mail-Newsletter
- Produktneuheiten
- Stellenmarkt
- Nachrichten und Fachbeiträge
- Veranstaltungskalender
- Diskussionsforum und Pinwand
- Laborbranchenbuch „LabFirms“
- Linksammlung und Suchmaschine

www.analytik-news.de

Besuchen Sie uns auf der Analytica, Halle B1, Stand 440

Analytische Chemie in bewährter Darstellung – Grundlagen, Methoden und Praxis

Georg Schwedt: *Analytische Chemie*; 542 Seiten; Wiley-VCH Verlag Weinheim, 2. Auflage 2008; ISBN 978-3-527-31206-1; 69,90 Euro.

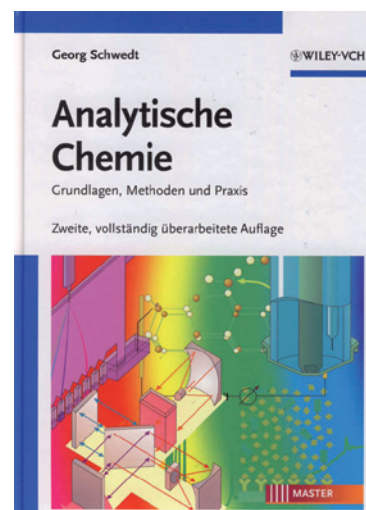
Die vorliegende Neuauflage dieses vielfach bewährten Lehrbuchs der Analytischen Chemie ist nicht nur vollständig überarbeitet, sondern durch die Erweiterungen um die Bereiche Bioanalytik, Lab-on-a-Chip-Technologie und Laser-Spektrometrie sowie die Aktualisierung der insgesamt 460 Literaturangaben auf den neuesten Stand dieses Fachgebiets gebracht worden. Im einzelnen umfaßt es nach jeweils einem Kapitel über die Grundlagen der Analytischen Chemie und die Probenvorbereitung je ein Kapitel über Chemische, Elektrochemische, Thermische sowie Radiochemische Analysemethoden (Kap. 3 bis 5 sowie Kap. 8).

Atomspetroskopische und Molekülspektroskopische Methoden sind eingehend in den Kapiteln 6 und 7 beschrieben. Das umfangreichste Kapitel bilden „Physikalisch-chemische Trennmethode“ in ihrer *Anwendung in der Analytik*; zum einen bei der Verteilung von Stoffen durch Adsorption, Ionenaustausch und Extraktion, zum anderen durch die vielfältigen chromatographischen und elektrophoretischen Trenn-

methoden. In dem abschließenden Kapitel 10 sind „Spezielle Methoden und Anwendungsgebiete“ zusammengestellt, wie chemische und biochemische Sensoren und die Automatisierung von Analyseverfahren. Das vorliegende Werk zeichnet sich durch 250 farbige Abbildungen und 160 übersichtliche Tabellen aus; zudem sind den einzelnen Kapiteln 370 Fragen und Aufgaben zur Lernkontrolle zugeordnet.

Ebenso wie der (auch im Wiley-VCH Verlag erschienenen) 3. Auflage des „Taschenatlas der Analytik“ (2007) ist auch dem Lehrbuch weite Verbreitung zu wünschen – bei den in erster Linie angesprochenen Studenten der Chemie im Master-Studiengang und bei den im Vorwort gleichermaßen genannten Interessenten aus den Material-, Umwelt- und Biowissenschaften.

Dr. Dieter Holzner



Biochemie – vielfarbig und praxisbezogen

Joachim Rassow, Karin Hauser, Roland Netzker, Rainer Deutzmann: *Biochemie*; 836 Seiten; Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2. aktualisierte Auflage 2008; ISBN 978-3-13-125352-1; 44,95 Euro.

Ausgerichtet an den Anforderungen vorklinischer Lehrveranstaltungen wurde dieses Lehrbuch der Biochemie in erster Linie für Studierende der Medizin geschrieben, wobei es zum einen zur vorlesungsbegleitenden Verwendung, zum anderen durch die in den Randspalten angeordneten Zusammenfassungen zur Prüfungsvorbereitung konzipiert ist (Duale Reihe). Aufgrund der Vielzahl an übersichtlich gestalteten farbigen Abbildungen (insgesamt 660) und Tabellen (50), wie auch nützlicher Merksätze und Exkurse, ist es auch Studierenden weiterer Fachrichtungen zu empfehlen.

Den Schwerpunkt im Teil A – **Biochemie des Energiestoffwechsels** (315 Seiten) – bilden nach den einführenden Kapiteln 1 bis 5 die Ausführungen zu den Bereichen „Entleerung der Energiespeicher“ (Kap. 6 bis 9) und „Auffüllung der Energiespeicher“ (Kap. 11 bis 14), gefolgt von dem umfangreichen Kapitel „Vitamine“. Hierbei lassen jedoch einige Textstellen die gerade zur Definition grundlegender Begriffe erforderliche Präzision vermissen, z.B. zur Struktur von Aminosäuren (statt des üblichen Begriffs „Seitenkette“ ist vom 4. Partner und der 4. Position am alpha-C-Atom die Rede), Peptiden und Proteinen (Seite 10) und die für „Peptide“ (Seite 60) gegebenen verwirrenden Definitionen.

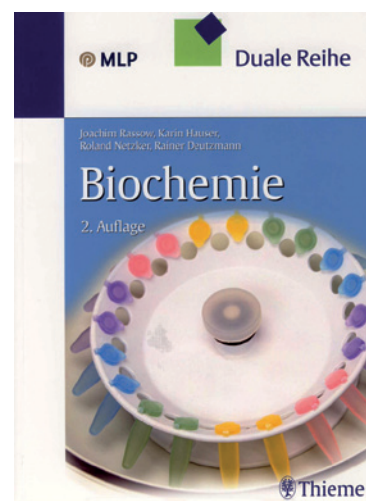
Der Teil B – **Molekulare Zellbiologie** (488 Seiten) – umfaßt nach einem Überblick über die Organisation der Zelle

(7 Kapitel) zunächst das Gebiet Molekulare Genetik (8 Kapitel, eines zur Gentechnik) sowie die Kapitel Zellzyklus und Apoptose. Hieran schließen sich die Gebiete an: Zelluläre Kommunikation (5 Kapitel, insbes. Hormone), Verteilung und Exkretion von Substanzen im Organismus (3 Kapitel) sowie der Organismus in seiner Umwelt (4 Kapitel).

Die Anschaulichkeit bestimmter Lehrinhalte wird durch Exkurse wie „Ungesättigte Fettsäuren als Schutz vor Atherosklerose“ und „Muskelkontraktion“ noch erhöht; ebenso wie die Bedeutung der Biochemie für die klinische Praxis durch als „klinisch“ bezeichnete Absätze hervorgehoben wird, wie zu Diabetes mellitus und Hyperthyreose.

Den Vorzügen dieses Lehrbuchs stehen einige Mängel in der Nomenklatur (wie Carboxyl und Sulfongruppe statt Sulfonsäuregruppe) und die mitunter inkonsequente Schreibweise von Fachausdrücken (c/k: Lactat, jedoch Laktatgärung; Galaktose, jedoch Lactose; Nukleosid, Nukletid) gegenüber.

Dr. Dieter Holzner



Hochentwickelte Fluoreszenzmikroskopie leicht gemacht



Mit dem neuen Komplettsystem für die Fluoreszenzmikroskopie FSX100 von Olympus kommen selbst in der Mikroskopie unerfahrene Anwender zu erstklassigen Forschungsaufnahmen. Beim FSX100 entfallen all die komplexen Schritte, die normalerweise für das Einrichten und den Gebrauch von Mehrkanalfluoreszenz-Mikroskopen erforderlich sind. So kann sich selbst ein Anwender ohne Vorkenntnisse in der Mikroskopie voll und ganz auf die Bilder und Daten konzentrieren.

Durch die Verbindung von hochqualitativer Mikroskopie- und Imaging-Hardware mit präziser Automation und modernster Software bietet das Olympus FSX100 einen verblüffend einfachen Workflow. In nur drei Schritten lassen sich hervorragende Bilder und Bildserien

generieren: Probe laden, Beobachtungsmethode sowie interessierende Bereiche (ROI) bestimmen, Bilder aufnehmen. Es ist so einfach, wie es klingt: Auflegen – Auswählen – Aufnehmen.

Zu den fortschrittlichen UIS2-Optiken im System gehört ein SAPO 40x-Objektiv (NA 0,95) und eine 0,4x-2,0x-Zoomoptik, wodurch ein Vergrößerungsbereich von 17x-80x zur Verfügung steht. Die drei vorinstallierten Fluoreszenzfilterwürfel – Ultraviolett- (360-370 nm), Blau- (460-495 nm) und Grün-Anregung (530-550 nm) – decken einen großen Bereich an Fluoreszenz-Farbstoffen ab. Ein leicht zu installierender, vorzentrierter Metallhalidbrenner mit einer Lebensdauer von 2.000 Stunden liefert die Fluoreszenzbeleuchtung, während ein hochstabiles LED-Beleuchtungssystem mit einer Lebensdauer von 16.000 Stunden für eine gleichbleibende Hellfeld- und Phasenkontrastbeleuchtung sorgt.

Alle Komponenten sind motorisiert und werden über die interaktive Software gesteuert. Funktionen wie Fokussierung, Belichtung, Einstellung der Systemkomponenten für korrekte Fluoreszenzdetektion und sogar Deckglasdickenkorrektur sind automatisiert. Daher braucht der Anwender das Mikroskop selbst bei komplexen Imagingprozessen wie Time-Lapse, Z-Stapel und der Aufnahme von Mosaikbildern („Stitching“) nicht ein einziges Mal anzufassen. Da das FSX100 alle Komponenten in einer kompakten und in sich geschlossenen Einheit enthält, lässt es sich leicht transportieren und genau

dort aufstellen, wo es gebraucht wird. Außerdem umschließt das Gehäuse den Tisch vollständig, sodass Dunkelkammerbedingungen und damit maximale Detektionsempfindlichkeit gegeben sind.

Die intuitiv zu bedienende Software führt den Anwender durch den gesamten Imagingprozess. Sobald der Objektträger oder die Kulturplatte auf dem Tisch platziert ist und der Anwender auf „Start“ geklickt hat, wird automatisch ein Übersichtsbild erstellt. Nachdem hierauf die interessanten Bereiche (ROI) ausgewählt wurden, zoomt das Mikroskop hinein, optimiert das Bild und präsentiert dem Anwender eine Reihe selbsterklärender Werkzeuge für das Imaging der Probe. Jetzt kann der Benutzer die automatisch optimierten Bilder aufzeichnen oder Einstellungen für Fokus, Belichtungszeit, Vergrößerung oder Tischposition manuell anpassen und sogar die Beobachtungsmethode mit einem einzigen Mausklick wechseln. Während der Bildaufnahme werden die dazugehörigen Daten und Metadaten in einer äußerst logischen Bilddatenbibliothek gespeichert. Dadurch wird es möglich, Einstellungen von bereits existierenden Aufnahmen wieder in das System zu laden und auf neue Proben anzuwenden, wodurch eine exzellente Versuchskonsistenz gewährleistet ist.

Olympus Deutschland GmbH
20097 Hamburg
Tel 040 23773 4612
Fax 040 230817
www.olympus.de

Erstmals zu sehen auf der Analytica Halle A2, Stand 311/412: Virtuelles Mikroskopiesystem VS110 von Olympus

Olympus hat sein äußerst erfolgreiches, virtuelles Mikroskopiesystem dotSlide weiter optimiert. Im neuen VS110 werden Mikroskopie und Imaging zu einer nahtlosen Einheit verschmolzen, um virtuelle Objektträger zu generieren, die eine exakte Kopie der realen Probe darstellen. Der Anwender kann die hochaufgelöste Aufnahme dann komplett als Übersichtsbild bei geringer Vergrößerung betrachten und analysieren, oder einzelne Details bei maximaler Vergrößerung untersuchen. Dazu braucht er

lediglich in die virtuelle Probe hinein-zuzoomen. Der Vorteil: Die elektronisch auf einem zentralen Server gespeicherten Proben können von Ansprechpartnern in aller Welt umgehend – und gleichzeitig – evaluiert werden. Das VS110 empfiehlt sich deshalb für die vielfältigsten Anwendungsbereiche, besonders aber für die Pathologie, die Forschung und für Ausbildungszwecke.

Virtuelle Mikroskopie mit dem VS110 bedeutet, Informationen von einem einzelnen Objektträger mehreren Personen in Echtzeit weltweit

zur Verfügung zu stellen. Alle Beteiligten sind in der Lage, dieselbe Probe zu besprechen und dabei den Ausschnitt und die Vergrößerung individuell zu bestimmen, ganz so, als säßen sie selbst direkt am Mikroskop. Diese Möglichkeit, auf komplette Objektträger bei hoher Vergrößerung und Auflösung virtuell zugreifen zu können, bietet für Pathologen, Forscher und Studenten in der Ausbildung entscheidende Vorteile bei der Diagnose, Analyse und der Bereitstellung von Proben – beispielsweise im Rahmen

von Online-Konferenzen. Die im VS110 zum Einsatz kommende Technologie zeichnet sich in allen klinischen Anwendungen und Ausbildungsbereichen durch eine besondere Flexibilität aus. Dem Anwender bieten sich damit weitaus interessantere Möglichkeiten im Vergleich zur herkömmlichen digitalen Mikroskopie und Telepathologie. Das betrifft sowohl die Größe und Auflösung der jeweiligen Aufnahmen, als auch die Zeit und den Ort für die Besprechung mit den Kollegen. So kann zum Beispiel mit allen Funktionalitäten, die ein Mikroskop bietet, aus der Ferne auf die virtuellen Objektträger zugegriffen werden, ohne dass dazu ein Mikroskop erforderlich ist – ideal beispielsweise für einen Tutor, der mit mehreren Studenten arbeitet. Hinzu kommt, dass sich auch Makro-Übersichtsbilder von Objektträgern betrachten und analysieren lassen, die so mit einem herkömmlichen Mikroskop nicht möglich sind.

Im Rahmen der Life-Science-Forschung bietet das VS110 einen exzellenten Durchsatz für eine umfassende Bildanalyse sowie hervorragende Mög-

lichkeiten für die Dokumentation von Gewebeschnitten, Zellkulturen und sogar Gewebe-Mikroarrays.

Alle Systemkomponenten des VS110 sind optimal aufeinander abgestimmt und ergeben zusammen ein vollautomatisches, flexibles Hochgeschwindigkeits-Scanning-System, das sich ganz einfach bedienen lässt. Damit ist sichergestellt, dass der Anwender mit minimalem Aufwand beste Ergebnisse bei allen Probenarten erzielt. Der Net Image Server SQL für das Olympus VS110 ist ein echtes Client-Server-basiertes Daten-Management- und Speichersystem, das speziell für die Mikroskopie entwickelt wurde. Zusammen mit der Plattform VS110 ermöglicht es dem Anwender stets klare Strukturen für ein einfaches Management und einen effizienten, gemeinsamen Umgang mit Bildern und Daten.

Olympus Deutschland GmbH
20097 Hamburg
Tel 040 23773 4612
Fax 040 230817
www.olympus.de



Eppendorf auf der Analytica Halle B1 Stand 301/402: Neue elektronische Pipette Eppendorf Xplorer

„Einfach besser pipettieren“ – Eppendorf präsentiert auf der Analytica 2010 eine Produktneuheit mit der neuen elektronischen Pipette Eppendorf Xplorer. Neue Standards in punkto Einfachheit, Präzision und Reproduzierbarkeit werden durch das intuitive Bedienkonzept und das ergonomische Design gesetzt.

Bei der Entwicklung der Eppendorf Xplorer hatte Eppendorf insbesondere Anwender im Blick, die komplexe oder lange Pipettiervorgänge handhaben müssen. Exakt einstellbare Parameter, maximal reproduzierbare Ergebnisse und ermüdungsfreies Arbeiten sind damit gegeben.

Am letzten Messetag beteiligt sich Eppendorf am jobvector Career Day. Es stehen die Personalverantwortlichen der Eppendorf AG zum ersten Kennen lernen und Gesprächen auf dem Eppendorf-Messestand zur Verfügung.

Weitere Highlights aus dem Pro-

duktportfolio von Eppendorf und New Brunswick erwarten Sie auf dem Messestand: Halle B1 Stand 301/402.

www.eppendorf.de/analytica



Neue Aufschlussmethode für Schwermetalle mit geringen Gehalten



CEM hat mit den drucklosen Mikrowellen-Aufschlussgeräten der Star Serie ein Aufschlußverfahren für Proben mit sehr geringen Schwermetallgehalten entwickelt. Hintergrund dieser neuen Aufschlußmethode ist die aktuelle Studie zur Nanopartikeln und hier speziell Nanosilber, welches in ganz vielen Lebensbereichen anzutreffen ist und deshalb analysiert werden muß.

Nanosilber wird nicht nur in der Medizin als wichtigstes Antibiotikum verwendet, sondern ist zudem das häufigste Nanomaterial in Alltagsprodukten. Eine Studie des Bundes für Umwelt und Naturschutz in Deutschland (BUND) hat nun nachgewiesen, dass dieser massive Gebrauch eine Gefahr für die Gesundheit von Menschen und Tieren darstellt.

Obwohl Nanosilber in unzähligen Alltagsprodukten zum Einsatz kommt, wissen die Verbraucher oft kaum, wo genau es überall eingesetzt wird. Nanosilber wird zum Beispiel als Zusatz von Farben und Kosmetika beigefügt und dient zur Beschichtung von Oberflächen. Genutzt wird vor allem die keimtötende Wirkung des Silbers: In Lebensmittelverpackungen soll es Obst und Gemüse auch nach langer Lagerung frisch halten, Computertastaturen keimfrei halten oder bei Socken und Unterwäsche unangenehme Gerüche hemmen. Weitere Produkte, in denen Nanosilber enthalten ist, sind unter anderem Kosmetika, Zahnbürsten, Wischtücher, Farben, Waschmaschinen, Kühlschränke, Staubsauger, Töpfe,

Türgriffe und Schuhe – also Alltagsgegenstände aus sämtlichen Lebensbereichen.

Die Problematik bei der Analyse:

Aufgrund der geringen Gehalte an Nanopartikeln muss eine Probeneinwaage von mehreren Gramm verwendet werden, um dann in der Aufschlußlösung mittels ICP-OES oder AAS die gewünschten Elemente wie Silber zu messen. Mit herkömmlichen Mikrowellen-Druckaufschlussgeräten können derart hohen Probeneinwaagen nicht realisiert werden. Somit bedient man sich eines drucklosen Mikrowellen-Aufschlussgerätes, welches ohne Probleme Proben von bis zu 10 g in kurzer Zeit zu lösen vermag.

Die fokussierte™ Mikrowellentechnik des STAR Plus-Systems ist weltweit einzigartig, um Proben für die Elementanalyse in offenen Gefäßen drucklos aufzuschließen. Kein anderes Produkt bietet die berührungslose patentierte Temperaturkontrolle in jeder Aufschlußkammer bei gleichzeitigem Aufschluß von verschiedensten Proben mit fokussierter™ Mikrowelle. Der hohe Automatisierungsgrad und die Fähigkeit, Proben mit großer Einwaage von mehreren Gramm aufzuschließen, erlaubt jedem Labor seine Anwendungsmöglichkeiten zu verbessern. Eine Kombination von automatischer Reagenzienzugabe sowie einer eingebauten Absaug- und Neutralisationseinheit bieten ein sicheres und sauberes Arbeitsumfeld, während der Analytiker für andere produktive Aufgaben Zeit findet. Völlig neu ist die Möglichkeit, Proben und Reagenzien automatisch bis zur Trockene abzuräumen und dann anschließend wieder mit Säure aufzunehmen.

Tagesseminar zum Thema „Peptide - von der Synthese bis zur Analyse“

2010 finden wieder unsere kostenlosen Praxis-Seminare zur mikrowellenunterstützten Peptid-Synthese und zur Analyse von Peptiden statt. Dabei stellen wir die Vorteile der Peptid-Synthese mit Mikrowellenunterstützung in Theorie und Praxis vor. Darüber hinaus bietet dieses Seminar eine Plattform

zum informativen Austausch.

Die Firma Varian Deutschland stellt neue Lösungen zum Aufreinigen der Peptide und zur Bestimmung der Peptide vor.

Seminartermine und Orte:

2. März 2010 Berlin
3. März 2010 Darmstadt
4. März 2010 Kamp-Lintfort (bei Duisburg)

Beginn ist jeweils um 8.30 Uhr und das Ende ist für ca. 15.00 Uhr geplant.

Das ausführliche Programm und die Anmeldung finden sie hier (pdf): http://www.cem.de/documents/seminare_kurse/Programm_Maerz2010_final.pdf.

Neue Termine für Anwenderkurse zur Mikrowellen-Aufschlußtechnik

Die CEM GmbH bietet für 2010 folgende Ausbildungs- und Anwenderkurse zur Mikrowellenaufschlußtechnik in den eigenen Firmenräumen in Kamp-Lintfort am Niederrhein an:

Im Rahmen dieser Kurse werden die Teilnehmer/innen in den theoretischen Grundlagen und insbesondere in der Methodenentwicklung für mikrowellenassistierte Aufschlüsse geschult. Bei den praktischen Übungen in kleinen Gruppen können die Teilnehmer/innen eigene Proben zum Seminar mitbringen, die dann anhand der individuellen Problemstellungen bearbeitet werden. Das Ziel dieser Anwenderkurse ist das eigenständige Entwickeln von Aufschlußmethoden.

Der Teilnehmerkreis richtet sich an Laboranten/innen, Ingenieure/innen, Chemiker/innen, etc. Der erste Seminartag beginnt um 13.30 Uhr, es kann also vorher die Anreise erfolgen. Am 2. Seminartag endet die Veranstaltung um 14.30 Uhr, so das anschließend die Heimfahrt angetreten werden kann.

Die Seminardaten des Jahres 2010

- 10.+11. August 2010
- 07.+08. Dezember 2010

CEM GmbH
Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9
47475 Kamp-Lintfort
Tel. 0 28 42 - 96 44 0
Fax 0 28 42 - 96 44 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 2010

Normale Arbeitsverhältnisse nehmen ab Schwache Lohnentwicklung – Frauen besonders betroffen

Die Zahl der traditionellen Beschäftigungsverhältnisse ist in Deutschland seit 2001 im internationalen Vergleich stark zurückgegangen. Dagegen nahm der Umfang von Teilzeitjobs und befristeter Beschäftigung deutlich zu. Dies zeigt eine Studie der Bertelsmann Stiftung, die gemeinsam mit dem Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit (IZA) erstellt wurde.

Das sogenannte Normalarbeitsverhältnis ist durch eine unbefristete Anstellung in Vollzeit (Arbeitszeit von 30 Stunden oder mehr) charakterisiert. Nach dieser Definition befanden sich im Jahr 2008 60,1 Prozent aller Beschäftigten im Alter zwischen 25 und 64 Jahren in einem Normalarbeitsverhältnis. Seit 2001 ist diese Form der traditionellen Beschäftigung um 4,6 Prozentpunkte zurückgegangen. Im internationalen Vergleich hatten nur Polen und die Niederlande sowie Luxemburg und Malta noch größere Rückgänge zu verzeichnen. Dagegen weisen viele mittel- und osteuropäische Länder, aber auch Großbritannien, Frankreich und Finnland eine Zunahme des Normalarbeitsverhältnisses auf.

Während in Deutschland in der Industrie traditionelle Beschäftigungsformen nach wie vor dominieren, sind diese im Dienstleistungssektor im Vergleich zu anderen Ländern deutlich weniger verbreitet. Hierzulande ist mit einer Quote von 53,2 Prozent nur gut jeder zweite Arbeitnehmer unbefristet und in Vollzeit beschäftigt.

Der Rückgang des Normalarbeitsverhältnisses ist mit einer schwachen Lohnentwicklung einhergegangen. Für Geringverdiener mit zwei Dritteln des Durchschnittseinkommens eines Arbeiters in der Industrie stiegen in Deutschland beispielsweise die Nettolöhne zwischen 2001 und 2008 lediglich um 1,6 Prozent. Der Durchschnitt in Europa lag dagegen bei 2,9 Prozent. Als Ursache werden neben einem über weite Strecken unterdurchschnittlichen Wirtschaftswachstum vor allem Struktureffekte gesehen, die durch die Schaffung von Teilzeitarbeit und marginalen Beschäftigungsverhältnissen entstehen. Die Zunahme niedrig entlohnter Arbeitsverhältnisse senkt die durchschnittlichen Verdienste und vermindert so auch die Zunahme der Nettoeinkommen.

Geringverdiener in Deutschland sind zudem überproportional von hohen Steuer- und Sozialabgaben betroffen und im internationalen Vergleich nach Dänemark am zweitstärksten belastet. Die marginale Belastung durch Steuern und Abgaben zuzüglich Transfers für Geringverdiener beträgt hierzulande 59 Prozent. Das bedeutet, dass von einem Euro, der brutto zusätzlich verdient wird, tatsächlich netto nur 41 Cent ausgezahlt werden. Der Rest verbleibt beim Staat in Form von höheren Steuern und Sozialabgaben bzw. geringeren Sozialtransfers. Im Vergleich dazu erhalten Durchschnittsverdiener immerhin 45 Cent und Arbeitnehmer mit höheren Einkommen sogar 56 Cent. In

dieser Hinsicht wirkt das deutsche Steuersystem regressiv, die Steuerbelastung nimmt bei zunehmendem Einkommen also prozentual ab.

Die Studie zeigt auch, dass das Normalarbeitsverhältnis bei Frauen stärker als bei Männern zurückgegangen ist, von 48 Prozent 2001 auf 43 Prozent 2008. Die Zunahme der Beschäftigung bei Frauen wurde demnach vor allem über Teilzeitarbeit erzielt.

GDCh-Arbeitsgruppe Berufliche Bildung

Am 5. November 2009 fand in Frankfurt/Main die konstituierende Sitzung der neuen GDCh-Arbeitsgruppe Berufliche Bildung statt. Diese Arbeitsgruppe hat sich gebildet, um den Bedürfnissen der Angehörigen nicht-akademischer Chemieberufe in der GDCh besser gerecht werden zu können. Zu der konstituierenden Sitzung waren ca. 50 Mitglieder nach Frankfurt gekommen, um über Aufgaben und Ziele der Arbeitsgruppe zu diskutieren, eine Geschäftsordnung zu entwerfen und einen Vorstand zu wählen.

Die AG sieht ihre Aufgaben in der Einbindung aller in weitestem Umfang an der nicht-tertiären, betrieblichen/dualen und schulischen Bildung im Sektor Chemie und angrenzenden Feldern interessierten Personen, in der Schaffung einer GDCh-Plattform zum Gedanken- und Erfahrungsaustausch, in der Vermittlung fachlicher Anregungen und inhaltlicher Weiterentwicklung der beruflichen Bildung im Sektor Chemie, in der Förderung des Fortbildungsangebots. Damit will die AG GDCh-Angebote für die Angehörigen der nicht-akademischen Chemieberufe entwickeln und fördern.

In den Vorstand der AG Berufliche Bildung wurden gewählt: Sigrid Pfiz, Stuttgart (Vorsitz); Hannes Pook, Braunschweig (stellv. Vorsitz); Matthias Nau, Idstein (Beisitzer); Bernhard Ruf, Stuttgart (Beisitzer).

Löslichkeit von Gasen – Grundlagen und Beispiele

Unter welchen Umständen die harmlose Luft Probleme bereiten kann

Die Titelseite dieser CLB verweist auf den Artikel über Algen. Sie weist aber mit ihrer Attraktivität auch darauf hin, warum es immer mehr Menschen auf sich nehmen, eingezwängt in Neoprenanzüge, belastet mit Blei und schwerem Gerät, die Welt unter Wasser zu erkunden. Dabei müssen sie wissen, wie sich Atemgase in ihrem Blut und den Geweben verhalten. Die Löslichkeit von Gas in Flüssigkeiten ist auch ein Themenbereich, in dem sich jeder Auszubildende in Physik, Chemie und Laborberufen auskennen sollte.

Lösung von Gasen in Flüssigkeiten heißt: An der Grenzfläche zwischen Gasen und Flüssigkeiten kommt es durch Diffusion zum Austausch von Gasmolekülen zwischen der Lösung und dem Gasraum. Kommt ein Gasgemisch in Kontakt mit einer Flüssigkeit, entscheiden Löslichkeit der Gaskomponenten (wie leicht gelangen ihre Moleküle zwischen die Moleküle der Flüssigkeit), die herrschende Temperatur sowie der Teildruck (Partialdruck) der Gaskomponenten über deren quantitative Lösung in der Flüssigkeit.

Partialdruck und Dalton'sches Gesetz

Der Partialdruck ist der Druck, der in einem Gasgemisch – etwa der Luft – einem bestimmten Gas zugeordnet werden kann. Der Partialdruck entspricht dabei dem Gesamtdruck, den die Komponente beim alleinigen Ausfüllen des gesamten Volumens ausüben würde. Vom Gasvolumen her betrachtet stellt sich die Situation zunächst so dar: Man denke sich eine ideale Gasmi-

schung aus n_1 mol der Gasart 1, n_2 mol der Gasart 2 usw. Sie haben alle die gleiche Temperatur und stehen unter dem gleichen Druck. Dann setzt sich das Volumen des gesamten Gases additiv aus den Volumina zusammen, die die einzelnen Gasarten einnehmen:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_k = n_1 v_1 + n_2 v_2 + \dots + n_k v_k$$

Anders ausgedrückt:

$$V = \sum_1^k n_i v_i$$

Ersetzt man unter dem Summenzeichen das molare Volumen durch das ideale Gasgesetz, das bekanntlich Druck, Volumen, Temperatur und Stoffmenge eines idealen Gases in Zusammenhang setzt:

$pV = nRT$, mit R als allgemeiner Gaskonstante und dem Wert $8,31441 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, dann erhält man folgende Gleichung:

$$V = \sum_1^k n_i \cdot \frac{RT}{p}$$

p ist dabei der Druck, unter dem die Gasmischung steht. Die Gleichung zeigt jetzt den Zusammenhang mit der Temperatur auf. Durch Multiplizieren mit p und Dividieren durch V folgt:

$$p = \sum_1^k n_i \cdot \frac{RT}{V} = \sum_1^k \frac{RT}{V/n_i} = \sum_1^k p_i$$

Der englische Physiker John Dalton formulierte die Gleichung zuerst. Das Dalton'sche Gesetz besagt, dass die Summe aller Partialdrücke p_i bei idealen Gasen gleich dem Gesamtdruck des Gemisches p ist.

Beim Lösen von Gasen in Flüssigkeiten ist also der Eintritt von Molekülen in die Lösung proportional dem Partialdruck des Gases, und der Austritt ist

proportional der Konzentration des Gases in der Lösung.

Henry'sches Gesetz

Mathematisch beschrieben hat das Löslichkeitsverhalten von Gasen in einer Flüssigkeit der englischen Chemiker William Henry (1775 - 1836). Sein Gesetz besagt, dass die Konzentration eines Gases in einer Flüssigkeit direkt proportional zum Partialdruck des entsprechenden Gases über der Flüssigkeit ist. Die Proportionalität wird durch die Henry-Konstante ausgedrückt. Die am häufigsten verwendete Schreibweise ist:

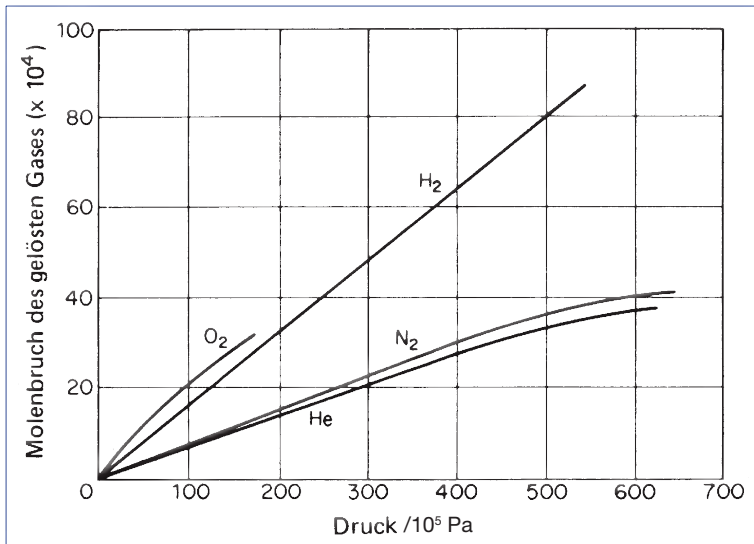
$$p = k_{\text{H,pc}} \cdot c_1$$

mit p : Partialdruck der Substanz, c_1 : Konzentration in der Lösung, $k_{\text{H,pc}}$: Henry-Konstante.

Das Henry'sche Gesetz gilt für verdünnte Lösungen, bei denen die Moleküle des Solvends (Gas) vollständig von Molekülen des Solvens umgeben sind, das heißt bei niedrigen Partialdrücken. Das Gesetz ist nur für kleine und mäßige Drücke anwendbar; für inerte Gase wie den Edelgasen wird es bis etwa 50 bar befolgt. Zu-

Bar, Pascal et al.

Zur Wiederholung: Druck ist Kraft pro Fläche. Die Maßeinheit ist daher Newton pro Quadratmeter, N/m^2 , die auch Pascal (abgekürzt Pa) genannt wird. Daneben gibt es die Einheit bar. $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$. Außer Kraft gesetzt ist die früher beliebte Bezeichnung atm für physikalische Atmosphäre, eben der Druck, den die Luftschichten der Atmosphäre auf Meeresniveau erzeugen. Immerhin leicht zu merken: Ein atm ist etwa ein bar, genau $1,01325 \text{ bar}$.



Die Abbildung zeigt die Löslichkeit von Gasen in Wasser bei 298,15 K als Funktion des Drucks. Man erkennt, dass wie vom Henry'schen Gesetz verlangt eine lineare Abhängigkeit besteht – zumindest bis etwa 100 bar bei H₂, He und N₂. Sauerstoff hat da allerdings schon Abweichungen. Auch bemerkenswert: die relativ hohe Löslichkeit von Wasserstoff gegenüber Helium. Tatsächlich ist Wasserstoff in unpolaren Lösungsmitteln wie CCl₄ oder Benzol viel weniger löslich (weniger als Stickstoff). Das lässt auf Wechselwirkungen vom Wasserstoff mit dem Wasser schließen.

dem darf das gelöste Teilchen nicht mit dem Lösungsmittel reagieren, wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid, welches zu Kohlensäure reagiert und dem Gleichgewicht entzogen wird.

In der Regel nimmt diese Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten mit steigender Temperatur ab, denn der Auflösungsprozess ist exotherm: Die Gasmoleküle, die aufeinander

vernachlässigbar geringe Kräfte ausüben, werden beim Auflösen von den Flüssigkeitsmolekülen stärker angezogen, was Energiegewinn und damit exothermer Reaktion entspricht. Man kann deshalb durch Erwärmen gelöste Gase aus Flüssigkeiten entfernen.

Vollständig aus der Lösung vertreiben lässt sich ein gelöstes Gas aber nur durch das Sieden der Flüssigkeit. Dann bildet die Flüssigkeit Blasen, mit denen das zuvor gelöste Gas vollständig ausgetrieben wird. In den Dampfblasen erreicht der Partialdruck des Lösungsmittels nämlich letztlich einhundert Prozent des Drucks.. Im Wasser gelöste Feststoffe wirken sich mindernd auf die Gaslöslichkeit aus. Deshalb ist beispielsweise in Meerwasser weniger Sauerstoff löslich als in Süßwasser.

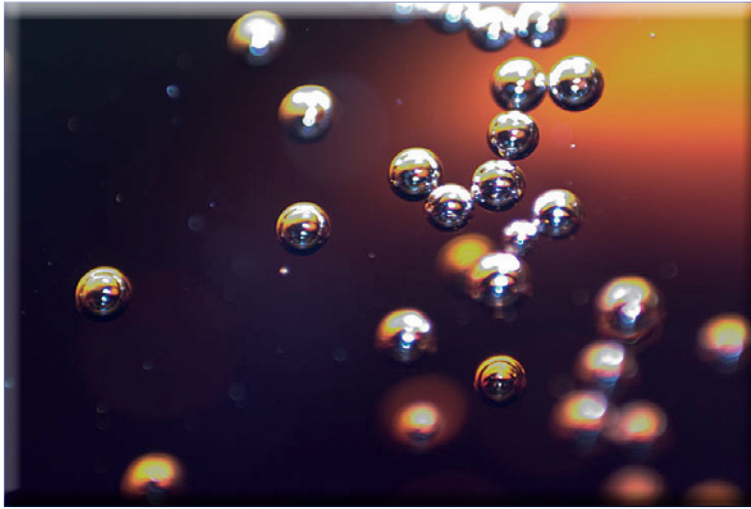
Eine Abweichung von der Proportionalität zwischen Gasdruck und Gleichgewichtskonzentration macht sich erst bei sehr hohen Drücken (im Vergleich zum Atmosphärendruck) bemerkbar.

Tabelle: Löslichkeit von Gasen in 1 Liter Wasser (in Gramm).

Gas	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C
O ₂	0,0694	0,0537	0,0434	0,0359	0,0308	0,0266	0,0227	0,013
N ₂	0,0294	0,023	0,0190	0,0162	0,0139	0,0122	0,0105	0,0066
H ₂	0,0019	0,0017	0,0016	0,0015	0,0014	0,0013	0,0012	0,0008
Cl ₂	14,6	9,972	7,293	5,723	4,59	3,925	3,925	2,227
CO ₂	3,346	2,318	1,688	1,257	0,973	0,761	0,576	-
CO	0,044	-	0,029	-	0,022	0,020	0,019	0,018
HCl	842	772	721	673	633	596	561	-
SO ₂	228	153,9	106,6	-	55,84	41,90	-	-
NH ₃	899	684	518	408	338	284	238	154
H ₂ S	7,188	5,232	3,974	-	2,555	2,143	1,832	1,411
C ₂ H ₆	0,1339	0,0890	0,0640	0,0491	0,0395	0,0333	0,0295	0,0247
C ₂ H ₄	0,285	0,204	0,154	0,113				
C ₂ H ₂	2,03	1,53	1,21	0,98				

Strippen von Gasen

Gase können einander auch aus der Lösung „verdrängen“. Dazu muss man die Lösung eines Gases A in Kontakt mit einem Gas B bringen, etwa durch sprudelnde Durchleitung. Es kommt dann zu einem Diffusionsvorgang zwischen den Blasen des Gases B und der Lösung des Gases A, bei der immer mehr B in Lösung geht und immer mehr A die Lösung verlässt. Die „Verdrängung“ hat also nichts mit unterschiedlicher Löslichkeit zu tun. In der Verfahrenstechnik heißt dieser Vorgang Strippen. Das Aussieden eines Gases aus seiner Lösung ist im Prinzip auch ein solcher Strippenvorgang. Die treibende Kraft hinter diesem Prozess ist, dass der Dampfdruck der aus der Flüssigkeit zu entfernenden Stoffe in der Flüssigkeit größer



Gasblasen in Flüssigkeit, hier: eine Makroaufnahme von Kohlendioxidblasen in Cola. CO_2 gehorcht aufgrund seines Verhaltens dem Wasser gegenüber dabei nicht dem Henry'schen Gesetz: Das Gas CO_2 ist im Vergleich zu O_2 und N_2 relativ gut löslich in Wasser und reagiert zu einem geringen Anteil (etwa 0,2 %, je nach Temperatur) zu Kohlensäure: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$. Das Gas CO_2 wird umgangssprachlich oft ungenau als Kohlensäure bezeichnet. Tatsächlich wird in der Wasserchemie gelöstes CO_2 mit der eigentlichen Säure H_2CO_3 üblicherweise als „freie Kohlensäure“ zusammengefasst.

als in dem Gas ist und daher ein Übertritt von der Flüssigkeit in das Gas erfolgt.

Strippen gehört zu den thermischen Trennverfahren bei der Abwasseraufbereitung. Dieses dient in erster Linie der Entfernung von Schwefelwasserstoff, Chlorkohlenwasserstoffen, Ammoniak oder Kohlendioxid. Beim Strippen werden verschiedene Gase in Verbindung mit Luft ins Abwasser geblasen, wodurch die im Wasser enthaltenen Stoffe in Abhängigkeit vom jeweiligen Dampfdruck in den gasförmigen Zustand umgewandelt werden.

Die Flüssigkeit wird im Gegenstrom, das heißt gegen die Fließrichtung des Gases, durch eine Strippskolonne (eine röhrenförmige Einrichtung mit Einbauten zur Verwirbelung der Strömung) geleitet. Im Anschluss daran können diese Stoffe leichter aus dem Abwasser entfernt werden. Das Strippen ist jedoch als ein nicht sonderlich wirtschaftliches Verfahren bekannt, sodass die Adsorption unter Umständen als effizientere Methode eingesetzt wird.

Strippen wird auch in der Erdölverarbeitung benutzt, um das seitlich an einer Kolonne abgezogene Produkt von leichteren Bestandteilen zu reinigen, etwa Kerosin vom leichtersiedenden Benzin.

Luft, Wasser, Blut...

Luft setzt sich bekanntlich zusammen aus 78,090 % Stickstoff, 20,950 % Sauerstoff, 0,927 % Argon, 0,039 % Kohlendioxid und weiteren Spurengasen (Neon, Helium, Methan, Krypton, Wasserstoff usw.). Die Menschen können damit gut leben; in großen Höhen jedoch wird die Luft zu dünn, uns fehlt der Sauerstoff. Und wenn wir Luft mit uns – komprimiert in Flaschen – herumschleppen und unter Wasser in Seen und Meeren bei höheren Umgebungsdrücken davon atmen, kann auch ein so harmloses Gas wie Stickstoff Probleme bereiten.

Die Hauptbestandteile unserer Atemluft, Stickstoff und Sauerstoff, führen unter den Bedingungen erhöhten Drucks beim Tauchen zu drei wesentlichen Problemen: Erstens

können Gasblasen im Blut entstehen: Unter Druck gelöster Stickstoff des Atemgases perlt aus, wie bei unter Druck abgefüllten, Kohlendioxid-haltigen Limonaden oder Wässern nach dem Öffnen der Flaschen. Zweitens wirkt Stickstoff unter höherem Druck narkotisierend, und drittens wirkt Sauerstoff toxisch auf den Organismus, bei noch etwas höherem Druck. Hier gehen wir hauptsächlich auf die auf Gaslöslichkeiten zurückzuführenden Probleme ein.

Nach dem Henry-Gesetz steht die Menge eines in Flüssigkeit gelösten Gases in direktem Verhältnis zum Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit. Deshalb diffundiert bei einem Tauchgang beispielsweise auf 30 Meter Tiefe entsprechend mehr Stickstoff durch die Alveolar- und Kapillarmembranen und löst sich im Blut; die Löslichkeit steigt mit dem Umgebungsdruck. Das stickstoffreichere Blut wird dann durch die Gefäße zu den verschiedenen Geweben im Körper transportiert. Auch in diesen Geweben löst sich mehr Stickstoff. Dekompressionsmodellen betrachten Gewebe mit vergleichbaren Stickstofflösungs-eigenschaften als Kompartimente. Die Stickstoffanreicherung in den Geweben (Aufsättigung) wie auch die spätere Abgabe des Stickstoffs beim Auftauchen (Entsättigung) geschieht mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, je nach Durchblutung der Gewebe. Das stark durchblutete Gehirn wird als „schnelles“ Gewebe bezeichnet, die weniger versorgten Gelenke und Knochen als „langsame“ Gewebe.

Als Halbwertszeit eines Gewebes bezeichnet man die Zeitdauer, in der ein Gewebe in einer bestimmten Tiefe bis zur Hälfte der aufgesättigt bzw. entsättigt wird. Während des Aufstieges entsättigen sich die Gewebe von dem Stickstoff, der über das Blut zur Lunge transportiert und abgeatmet

wird. Bei einem zu schnellen Aufstieg an die Oberfläche sinkt der Druck des umgebenden Wassers schneller ab, als es zur entsprechenden Entsättigung kommen kann. Blut und Gewebeflüssigkeit weisen dann eine Gasübersättigung auf. Der Stickstoff zusammen mit allen anderen gelösten Gasen entweicht aus dem Blut und bildet Blasen.

Die entstehenden Gasblasen können im Gewebe zu mechanischen Verletzungen führen und in Blutgefäßen eine Gasembolie bilden und somit eine lokale Unterbrechung der Blutversorgung verursachen.

Geschichte zu Deko-Problemen

Bereits 1670 hatte Robert Boyle festgestellt, dass sich Gase unter Druck in Flüssigkeit lösen und es bei plötzlicher Druckentlastung zu Gasblasen in der Flüssigkeit kommt. Dies führte den deutschen Felix Hoppe-Seyler 1857 dazu, seine Theorie der Gasblasenembolie als Ursache der Dekompressionskrankheiten aufzustellen. 1841 begannen nämlich französische Kohlebergarbeiter, in den ersten unter Druck stehenden Minen der Welt zu graben; da wurde man das erste Mal mit Deko-Problemen konfrontiert, die man wenig später auch als „Caissonkrankheit“ (Kastenkrankheit) bezeichnete. Dieser Begriff kommt von den Senkkästen, die ab 1870 vermehrt zur Herstellung von Gründungen für Brückenpfeiler eingesetzt wurden. Im Gegensatz zu den bis dahin üblichen Taucherglocken ermöglichten diese eine wesentlich längere Arbeitszeit, die in der Folge zu einem sprunghaften Ansteigen der Dekompressionskrankheit führte.

Die ersten systematischen Untersuchungen zur Dekompression wurden von Paul Bert, Physiologieprofessor in Paris, durchgeführt. In seinem 1878 erschienenen Lehrbuch für Tau-

cher wird das Zusammenwirken von Druck, Zeit und Luft dargestellt. Bert war auch der erste, der sich mit den Auswirkungen der verschiedenen Gase auf den Taucher befasste und neben der Rolle des Stickstoffs bei der Dekompressionskrankheit auch die gefährliche Rolle von reinem Sauerstoff unter Druck beschrieb. Bert beschrieb eine Dekompressionszeit von 20 Minuten pro Bar Druckentlastung. Diese Empfehlungen bildeten für zirka 30 Jahre die Grundlage für Taucherarbeiten.

Im Jahr 1905 untersuchte dann der schottische Physiologe John Scott Haldane die Auswirkungen der „schlechten Luft“ in Abwasserkanälen, Eisenbahntunneln und Kohlegruben auf den menschlichen Organismus. U.a. entdeckte er, dass die Atemregelung beim Menschen über die Kohlendioxid-Konzentration im Blut erfolgt, praktisch nicht über die Sauerstoffkonzentration.

Gewebemodelle, Tauchtabellen, Tauchcomputer

Haldane experimentierte als erstes mit Ziegen in einer Druckkammer, simulierte dort mit ihnen eine Tauchtiefe von etwa 60 Metern. Dabei stellte er fest, dass magere Ziegen weniger anfällig für die Dekokrankheit als fette sind. Dies führte ihn zu der Theorie der unterschiedlichen Gewebeklassen, welche unterschiedlich schnell auf- und absättigen. Auf Basis dieses vereinfachten Modelles des menschlichen Körpers be-



rechnete Haldane seine Dekotabellen, die er 1907 erstmals veröffentlichte, und die auf fünf Gewebetypen aufbaute. Die Tabellen von Haldane gingen, aufgrund eindeutiger Vorgaben des Auftraggebers, der britische Marine, nur bis 58 Meter.

Dieses Modell war wiederum für zirka 25 Jahre die Grundlage aller Forschungen. Ab 1935 erkannte man, dass dieses Modell nur für einen sehr eingeschränkten Tiefen- und Zeitbereich gilt und forschte an Verfeinerungen.

Nach 1945 haben die Tabellen der US Navy (1958) die weiteste Verbreitung gefunden. Diese benutzen sechs bis acht Gewebeklassen mit variablen Übersättigungsfaktoren für jede Dekostufe. 1983 erkannte der Schweizer Mediziner Albert Bühlmann, dass das Modell der parallelen Sättigung nicht mehr haltbar ist, da ja die Gewebe den Stickstoff nur an die umgebenden Gewebe abgeben können. Daraus entwickelte er ein Modell mit 16 Gewebeklassen (ZH-L16), welches aus linearen Differentialgleichungen besteht. Auch dies Modell ist nicht perfekt, berücksichtigt es doch nicht die Bildung von Mikrobläschen – wie das Modell von Max Hahn, das in verbesserter Version seit dem Jahr 2000 in Gebrauch ist („Deco 2000“). Zu

Nicht nur im Berufsleben: Taucher stehen immer unter Druck... Das erfordert vorausschauenden Umgang mit den Atemgasen (Foto: Kickuth).

Ende ist die Entwicklung noch nicht...

Allerdings gibt es mittlerweile Tauchcomputer, denen solche sicheren Modelle zugrunde liegen. Im Gegensatz zu einer Tauchtafel, deren Anwendung ein normiertes Tauchprofil erfordert, kann ein Tauchcomputer die Auftauchvorschrift für ein nahezu beliebiges vorangegangenes Tauchprofil errechnen. Adaptive Computer berücksichtigen auch die Kälte des umgebenden Wassers, „Jojo-Tauchgänge“ – solche mit wiederholten Auf- und Abtauchphasen, und zwar über die Anzahl der Richtungswechsel – sowie die Tauchbelastung über den Luftverbrauch. Allerdings lassen sich individuelle Risikofaktoren wie generelle Fitness, Fettleibigkeit, Alkohol- oder Nikotinkonsum etc. kaum in die Berechnung einbeziehen...

Mischgastauchen

Fortschrittliche Tauchcomputer können jedoch etwas anderes, mit dem man versucht, den Dekompressionsproblemen auszuweichen: Sie können die Wirkung von Atemgasgemischen berechnen, die sichereres oder tieferes Tauchen möglich machen sollen.

Vor- und auch Nachteile des Nitrox-Tauchens zeigt diese Tabelle: Sie gibt einen Nullzeit-Vergleich zwischen Luft, EAN 32 und EAN 36. Vorteile u.a.: In 36 und 40 Metern Tiefe verdoppeln sich die Nullzeiten bei EAN 32 gegenüber normaler Pressluft. *Bedeutet aber auch: Wegen des Paul-Bert-Effekts ist die maximale Tauchtiefe für dieses Gemisch überschritten (Tabelle: H. Drexler in Nitrox Diver Manual).

Tiefe in Meter	Luft NZ in min.	EAN 32 NZ in min.	EAN 36 NZ in min.
12	200	400+	400+
14	100	310+	400+
15	100	200	200
18	60	100	100
21	50	60	60
24	40	50	60
27	30	40	50
30	25	30	40
33	20	25	30
36	10	25	0*
40	10	20	0*

Nitrox

So setzt sich heute immer mehr Nitrox-Tauchen durch, wird teilweise ohne Mehrkosten in Tauchbasen angeboten. Der Name Nitrox setzt sich aus Nitrogen und Oxygen zusammen und bezieht sich auf Stickstoff-Sauerstoff-Gasmischungen, die eine unterschiedliche prozentuale Zusammensetzung gegenüber der normalen Luft haben. Üblich sind Gemische mit einem Anteil von 32 bzw. 36 Prozent Sauerstoff, auch als EAN 32 bzw. EAN 36 bezeichnet, für „enriched air nitrox“. Durch den geringeren Anteil an Stickstoff löst sich natürlich auch weniger N₂ in Blut und Geweben, man kann längere Zeit in bestimmten Tiefen tauchen, ohne beim Auftauchen Dekompressionspausen bei geringeren Wassertiefen machen zu müssen (Nullzeit-Tauchgänge), oder man macht einfach einen den Körper weniger belastenden Tauchgang.

Nun kann man den Sauerstoffanteil nicht grenzenlos im Atemgas hochsetzen. Irgendwann wird der nämlich giftig, es kommt zum Paul-Bert-Effekt (s.o.). Dabei handelt es sich um eine Vergiftung des Zentralen Nervensystems (ZNS) beim Atmen von hohen Sauerstoffkonzentrationen. Man hat festgestellt, dass es im Wasser bei Sauerstoff-Teildrücken oberhalb 1,6 bar (entspricht bei dem 21 % Sauerstoff-Anteil in der Luft an der Erdoberfläche einem Druck von 7,5 bar) innerhalb relativ kurzer Zeit ohne große Vorwarnung zu einer Vergiftung des ZNS kommt. Neben Tunnelblick und Ohrenklingeln ist dabei besonders gefährlich, dass Krampfanfällen auftreten, die man am besten mit denen der Epilepsie vergleichen kann. Auch Bewusstlosigkeit kann eintreten; tödliche Folgen des Tauchgangs sind bei der O₂-ZNS-Vergiftung nicht unwahr-

scheinlich. Von daher beträgt die maximale Tauchtiefe mit normaler Pressluft 66 Meter, entsprechend einem Sauerstoff-Partialdruck von 1,6 bar. Bei EAN 32 sind dies jedoch nur noch 40 Meter, bei EAN 36 nur noch 34 Meter!

Die Tiefengrenze fürs Sporttauchen mit normaler Pressluft liegt jedoch bei 40 Metern; Grund: Wird der Partialdruck von Stickstoff noch höher, wirkt das Gas narkotisch. Diese Narkose setzt nicht so schlagartig ein wie die O₂-ZNS-Vergiftung, ist aber nicht minder gefährlich. Mehr dazu später.

Trimix et al.

Will man besonders tief tauchen, muss also auch der Sauerstoffanteil im Atemgas zurückgedrängt werden. Das macht man, indem man der Gasmischung Stickstoff/Sauerstoff noch das Edelgas Helium beimischt; das nennt sich dann Trimix.

Trimix wird beim technischen Tauchen zum Erreichen großer Tiefen bis etwa 130 Metern. Durch die Zugabe von Helium im Atemgas wird der O₂- und N₂-Gehalt auf akzeptable Werte angepasst. Die negativen Effekte von Sauerstoff und Stickstoff (Stickstoffnarkose, Sauerstoffvergiftung des ZNS und Dekompressionskrankheiten) werden dadurch minimiert.

Es geht aber auch noch tiefer. Berufstaucher in der Schweiz dürfen nur mit Heliox tauchen, einem Helium-Sauerstoff-Gemisch ohne Stickstoff. Größere Tauchtiefen können auch durch Gemische wie Hydrox, das aus Wasserstoff (Hydrogenium) und Sauerstoff besteht, sowie Hydreliox – Wasserstoff, Helium und Sauerstoff – erreicht werden. Bisheriger Rekord: Am 20. November 1992 wurde mit dem „Hydra 10“ Experiment der Tiefenrekord auf 701 Meter erhöht. Dieser Re-

kordtauchgang im Druckkammersystem der Firma Comex, Marseille, dauerte 47 Tage und benutzte Hydrex als Atemgas. Bei einem Sauerstoffpartialdruck von 0,4 bar entsprach dies einer O_2 -Konzentration von etwas mehr als einem halben Prozent im Atemgas. Die übrigen Anteile verteilten sich zu jeweils knapp 50 Prozent auf Wasserstoff und Helium.

Um den ganzen Gaslöslichkeitsproblemen aus dem Wege zu gehen träumen Tief- und Atemforscher von Flüssigkeitsatmung, bei der die Lungen mit einer sauerstoffhaltigen Flüssigkeit gefüllt sind; Ungeborenen im Mutterleib haben ja Flüssigkeit in der Lunge. Man ist hier jedoch noch bei der Grundlagenforschung.

Leistung der Kiemenatmer

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang ist die Leistungsfähigkeit der Kiemen von Fischen. Der Partialdruck von Sauerstoff beträgt in der Luft 0,21228 bar. Nach der Gleichung für ideale Gase berechnet sich daraus die Sauerstoffkonzentration in der Luft bei Luftdruck auf Meereshöhe und bei einer Temperatur von 37 Grad Celsius auf 5,2 Millimol pro Liter, bei 20 Grad von rund 8 Millimol pro Liter. Andererseits ergibt sich nach dem Henry'schen Gesetz die Sauerstoffkonzentration in luftgesättigtem Wasser bei 25 Grad Celsius zu 0,25 Millimol pro Liter. Ein Lungenatmer hat also im gleichen Volumen eine 20 bis 30 mal größere Sauerstoffmenge zur Verfügung als ein Kiemenatmer.

Narkotische Wirkungen

Im Blut gelöster Stickstoff hat wie oben bereits angemerkt bei höheren Drücken auch narkotische Wirkung. Anästhesie und Narkose rufen bei höheren Drücken aber auch andere Gase hervor, auch solche, die chemisch inert sind,

etwa die Edelgase Krypton und Xenon. Versuche an Mäusen zeigen, dass bei hohen Drücken selbst Helium eine Narkose hervorrufen kann.

Frühe Versuche zur Deutung der Anästhesie durch Gase stammen von 1899 bzw. 1901. Die Pharmakologen Hans Meyer aus Marburg (1899) und Charles Ernest Overton aus Zürich entwickelten unabhängig voneinander die Hypothese, die aus Beobachtungen von Anästhetika an Kaulquappen und der Löslichkeit der Stoffe in Olivenöl stammte. Sie fanden einen direkten Zusammenhang zwischen der Löslichkeit eines Gases in Olivenöl und seiner narkotischen Wirksamkeit. Da die Membranen von Nervenzellen hauptsächlich aus Lipiden (das ist der Zusammenhang zum Olivenöl) und Proteinen bestehen, wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich die Gasmoleküle in den Membranen lösen und die Nervenleitung so irgendwie blockieren.

Obwohl sich auch die heute verwendeten Anästhetika gemäß der Meyer-Overton-Korrelation beschreiben lassen, lassen sich Theorien über die Wirkmechanismen von Anästhetika, die auf ihr beruhen, nicht mehr aufrechterhalten. Die Vorstellung eines einheitlichen Mechanismus wird heute als veraltet angesehen und vom Konzept der multiplen Wirkmechanismen und Wirkorte abgelöst. Neben der Membranmodulation nach Meyer-Overton stehen auch Wechselwirkungen mit hydrophoben Teilen von Ionenkanälen, die für die Reizweiterleitung verantwortlich sind, in der Diskussion. Spezifische Wechselwirkungen mit Zellmembranbestandteilen, wie etwa Rezeptoren (GABA-A-Rezeptor, 5-HT₃-Rezeptor, NMDA-Rezeptor, mACh-Rezeptor), werden ebenso diskutiert. *RK*

Aus der Bildungslandschaft

- Laut einer aktuellen Studie des Hochschulinformation-Systems (HIS) verzichtet fast ein Drittel der potenziellen Studenten in Deutschland aus Geldsorgen auf ein Hochschulstudium. Eine Alternative bietet in diesem Zusammenhang das **Studium an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg** (DHBW): Hier verdienen die Studierenden während ihres Studiums ein regelmäßiges Gehalt und erhalten mit ihrem Bachelor-Abschluss nicht nur einen akademischen Grad, sondern zu 90 Prozent auch eine Festanstellung.
- Jetzt kann man sich bei der Studienstiftung auch selbst um ein Stipendium bewerben. Damit gibt es erstmalig in der mehr als 80-jährigen Geschichte der Studienstiftung einen weiteren Zugangsweg, der das bisherige Vorschlagssystem ergänzt. Für die Selbstbewerbung wurde ein **Studierfähigkeitstest** von der ITB Consulting GmbH entwickelt. Die Anmeldung zum Test ist vom 5. Februar bis 5. März 2010 möglich (siehe www.studienstiftung.de/selbstbewerbung.html).
- Die Uni Würzburg bietet den neuen Bachelor-Studiengang **Mensch-Computer Systeme** an. Er ist auf sechs Semester angelegt und startet zum Sommersemester 2010. Zulassungsbeschränkungen gibt es nicht, die Online-Einschreibung startet am 1. März. Einen passenden Master-Studiengang bietet die Universität ab 2013 an.
- Zum kommenden Sommersemester 2010 kann der neue Masterstudiengang **Technische Biochemie** im Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften der Fachhochschule Lüneburg studiert werden. Zurzeit noch ohne Zulassungsbeschränkungen, können sich Interessierte bis zum 28.2.2010 bewerben.
- Das Projekt „Regio Chimica“ will den ersten **grenzüberschreitenden Bachelor-Studiengang in Chemie** der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der École Nationale de Chimie de Mulhouse/Université de Haute Alsace Mulhouse-Colmar (ENSCMu/UHA) einrichten (siehe www.regiochimica@uni-freiburg.de).
- Physiker zeichnen sich durch eine **hohe Berufsfähigkeit und Branchenflexibilität** aus, so eine Studie im Auftrag der DPG. Zwar ist die Mehrheit in einem naturwissenschaftlich-technischen Bereich tätig, doch nur etwa ein Viertel übt im engeren Sinne physikalische Tätigkeiten aus und arbeitet demnach im erlernten Beruf. Trotzdem sind Physikabsolventen mit ihrer Studienwahl überdurchschnittlich zufrieden: 87 Prozent würden das Fach wieder studieren.
- Jetzt wurde an der Universität Augsburg der **Bachelor-Studiengang „Physik“** und den dazu konsekutiven Master-Studiengang „Physik“ akkreditiert. Die Akkreditierung gilt zunächst für ein Jahr mit der Perspektive einer baldigen Verlängerung bis 2015. Es gelte, noch wenige Kritikpunkte der Gutachter etwa durch Belastung durch den doppelten Abiturjahrgang 2011 auszuräumen.

Elektrochemie (1) – In der Produktion

Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich

1 Wer entdeckte die Elektrolyse?

- A Michael Faraday.
- B Humphry Davy.
- C Alessandro Volta.
- D Robert Bunsen.
- E Walther Nernst.

2 Wieviel Pb scheidet sich ab bei einer zehnmütigen Schmelzflusselektrolyse von PbCl_2 mit einer Stromstärke von 4 A?

- A 2,6 mg.
- B 2,6 g.
- C 26 g.
- D 5,2 g.
- E 52 g.

3 Welche Aussage stimmt in Bezug auf die Zersetzungsspannung von jeweils 0,01 molarer H_2SO_4 , HCl und HNO_3 ?

- A Die Zersetzungsspannung von H_2SO_4 ist doppelt so groß wie die der anderen.
- B Bei der Zersetzungsspannung stoppt die Elektrolyse.
- C Bei der Zersetzungsspannung setzt die Elektrolyse ein.
- D Die Zersetzungsspannungen sind annähernd gleich groß.
- E Die Zersetzungsspannung von HCl ist am größten.

4 Welchen Stoff produziert die Industrie häufig per Elektrolyse?

- A Aluminium.
- B Schwefelsäure.
- C Natronlauge.
- D Chlor.
- E Wasserstoff.

5 Welche Aussage trifft auf eine Wasserelektrolyse zu?

- A Bei der Wasserelektrolyse wird Energie frei.
- B Die Wasserelektrolyse reichert Deuterium an.
- C Die Wasserelektrolyse ist eine Nebenreaktion der Chloralkalielektrolyse.
- D Bei der Wasserelektrolyse entstehen Säuren und Basen.
- E Die Wasserelektrolyse ist etwa seit dem Jahr 1900 bekannt.

6 Die Kolbe-Elektrolyse ...

- A entdeckte Hermann Kolbe bei der Elektrolyse von Kaliumacetat.
- B liefert Alkane.
- C erzeugt an der Kathode Kohlendioxid.
- D liefert langkettige Diester.
- E produziert Essigsäure.

7 Welche Metalle produziert die Industrie mit Schmelzelektrolyse?

- A Natrium.
- B Calcium.
- C Kalium.
- D Lithium.
- E Magnesium.

8 Der elektrische Strom bei der Schmelzflusselektrolyse ...

- A wirkt als Reduktionsmittel.
- B reduziert Kationen von unedlen Metallen.
- C oxidiert Edelmetalle.
- D ist ein Oxidationsmittel.
- E reduziert Edelmetallkationen.

9 Elektrolyt bei der Schmelzflusselektrolyse ist ...

- A eine wässrige Salzlösung der zu gewinnenden Metalle.
- B eine Salzschnmelze der zu gewinnenden Metalle.
- C destilliertes Wasser.
- D stets flüssiges Natriumfluorid.
- E eine Platinlösung.

10 Welche Temperaturangabe für Schmelzflusselektrolysen zur Metallgewinnung ist praktikabel?

- A Die Aluminiumherstellung mit Kryolith erfordert 960°C .
- B Für Natrium aus Natriumchlorid benötigt man ca. 1620°C
- C Für Magnesium aus Magnesiumchlorid und Zusätzen benötigt man ca. 370°C .
- D Für Natrium aus Natriumchlorid benötigt man ca. 620°C
- E Für Magnesium aus Magnesiumchlorid und Zusätzen benötigt man ca. 670°C .

11 Warum verwendet die Industrie heute eher das Downs-Verfahren

als das Castner-Verfahren zur Natriumgewinnung?

- A NaCl hat einen niedrigeren Schmelzpunkt als NaOH.
- B Die Na-Gewinnung aus NaOH erfordert mehr elektrische Energie als die aus NaCl.
- C Das Downs-Verfahren ist traditioneller.
- D Beim Castner-Verfahren entsteht Chlor.
- E Das Castner-Verfahren erfordert höhere Temperaturen.

12 Warum muss Eisenoxid aus dem aus Bauxit gewonnenen Aluminiumoxid vor der Schmelzflusselektrolyse abgetrennt werden?

- A Geschmolzenes Fe_2O_3 leitet den elektrischen Strom nicht.
- B Fe_2O_3 erhöht den Schmelzpunkt des eutektischen Gemischs aus $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ und Al_2O_3 .
- C Sonst scheidet sich Fe statt Al an der Kathode ab.
- D Fe_2O_3 erniedrigt die Energieausbeute der Elektrolyse.
- E Abgeschiedenes Fe erhöht die Dichte der Schmelze.

13 Von welchem Fremdstoff reinigt die elektrolytische Raffination Kupfer?

- A Zink.
- B Blei.
- C Silber.
- D Schwefel.
- E Eisen.

Lösungen zu Seite M80 (CLB 12/2009):

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

(Lösungen zu den Fragen hier finden Sie in CLB 02/2010 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
Am Kirchwald 6, D-69251 Gaiberg
Tel. 06223 9513 0, Fax: 06223 9513 19
www.gerbu.de, E-mail: gerbu@t-online.de

DEUTERIUMLAMPEN



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

DICHTUNGSSCHEIBEN AUS GUMMI MIT AUFVULKANISIERTER PTFE-FOLIE

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

FTIR-SPEKTROMETER-ZUBEHÖR



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

GEFRIERTROCKNER

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

GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN



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

HOHLKATHODENLAMPEN



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

KÜHL- UND TIEFKÜHLGERÄTE



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



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



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



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



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



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

Burgdorf, Knut

- Explosivstoffe: Erschaffen und zerstören 50
- Marine Naturstoffe als Quelle pharmakologisch aktiver Substanzen: Heilmittel aus den Weltmeeren296
- Herbizide: Heute Teil des integrierten Pflanzenschutzes426
- Chemie in der Hautpflege: Vom Lippenstift zum Faltenglätter456

Bützer, Peter

- Systemdynamische Interpretation der glykolytischen Oszillationen der Hefe: Phänomene, Modelle und Forderungen. 376

Fayyaz, Sara; Frenzel, Philipp; Köster, Martin; Kollmeier, Bettina; McIntyre, John; Meier, Kristina; Müller, Marius; Schmidt, Julia; Schmidt, Patrick; Somoza, Irene; Weber, Nikolaj; Weinert, Till; Ayesterán, José, Kopriwa, Nicole; Pfenning, Andreas

- Globale Herausforderungen: Wie können wir zukünftig ausreichend Energie nachhaltig bereitstellen?.....32

Fitzner, Uwe

- Das deutsche Arbeitnehmererfinderrecht: Umfangreiche Rechte und Pflichten für Arbeitgeber und Arbeitnehmer128

Hasenpusch, Wolfgang

- Die Chemie der Ethik und die Ethik der Chemie24
- Organisatorische Bionik: Erfolg in komplexen Systemen88
- Nitrile: Am Anfang steht das Acetonitril... und das wurde plötzlich knapp 136
- Viren und Bakterien: Noroviren, Legionellen und Co168
- Technische Keramik: Mehr als Steine und Erden208
- Kohlendioxid als Treibhausgas: Einsparpotenziale durch neue chemische und technische Prozesse – und anderes

- Verhalten262
- Bambus: Das Riesengras der Regenwälder340
- Blume des Jahres 2009 – Cichorium: Inhalte, Nutzen und Mythen der Wegwarte384
- Glufosinat: Herbizid zwischen Segen und Fluch470

Heitzmann, Udo

- Thallium-Messung mittels Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS): Probleme bei den Analysenverfahren288

Holfeld, Martin; Wiskamp, Volker

- Missbrauch von Pharmazeutika: Hirndoping als Unterrichtsthema183

Kässer, Mechthild

- Verwandlungskünstler Grippevirus: Auf dem Weg zu einer universellen Impfung gegen alle Arten von Influenza146
- Umwandlung von Körperzellen zu heilenden pluripotenten Zellen: Zurück zu den Anfängen176

von Kieckebusch-Gück, Annette

- Stammzelltherapien: Ersatz menschlicher Organe als Ziel40
- Margarine und trans-Fettsäuren: Die Mischung macht's416
- Übertragung vom Tier auf den Menschen: Welche Gefahr stellen Zoonosen dar?466

Montilla, Elyana Cuevas; Hillebrand, Silke; Winterhalter, Peter

- Gegenstromverteilungschromatographie: Präparative Isolierung von acylierten Anthocyanen aus Gemüse248

Obendrauf, Viktor

- Von Apfeln bis Zyklon B: Monographisches zu HCN und KCN: Sparkling Cyanide – Blausäure322

Pinski, Peter

- Jugend Forscht 2009: Theoretische Chemie: Polarisierung, Charge-Transfer

- und semiempirische molekulare Simulationen308

Rickhoff, Helen, Fichtner, Wolfgang; Schubert, Ulf; Novalin, Senad

- Präparative Chromatographie: Isolierung von Isoflavonen aus Okara216

Schwedt, Georg

- Aus der Technologiegeschichte des Glockengießens: Das Glockenmuseum Apolda und Schillers Lied von der Glocke 64
- Historische Experimente zur Nanotechnik: Von kolloidalem Gold und nanodünner Silber102
- Zu Besuch in Hamburgs Speicherstadt: Kaffee, Gewürze & Consorten186
- Entdeckung von Indium und Germanium: Chemiegeschichte in Freiberg/Sachsen256
- Über 80 Jahre vor der DNA-Strukturaufklärung durch Watson/Crick/Wilkins: Die Entdeckung der DNA im Tübinger Schlosslaboratorium348
- Pflanzenchemie im Experiment, Teil 3: Immergrüne Pflanzen: Efeu, Buchs- und Lebensbaum68
- Teil 4: Frühblüher: Märzveilchen, Forsythie und Echtes Lungenkraut150
- Teil 5: Pflanzenfarbstoffe: Erntezeit – Obst und Gemüse von grün bis rot352

Soiné-Stark, Christiane

- MOFs – Multifunktionell und umweltfreundlich: Den Poren auf der Spur94

Wintersperger, Karen; Rott, Lucas

- Jugend forscht: Maßgeschneiderte optische Eigenschaften: Die Plasmonenresonanz von Nanogoldpartikeln390

Rubriken

Aktuelles Ereignis

- 107, 234, 356, 434, 479

Bezugsquellenverzeichnis

79, 119, 159, 199, 239, 279, 367, 407, 447, 487

F & E im Bild

3, 83, 123, 163, 203, 243, 283, 371, 411, 451

Forschung und Technik

70, 112, 236, 360, 438, 480

Förderungen / Preise

7, 87, 127, 167, 207, 247, 375

Literatur

75, 116, 155, 197, 237, 275, 363, 445, 484

Neue Produkte

77, 117, 156, 198, 238, 277, 365, 404, 446, 486

Personalien

6, 86, 126, 166, 206, 246, 287, 374, 414, 454

Umfeld Wissenschaft

72, 362, 483

Umschau

152, 190, 270, 474

Unternehmen

4, 84, 124, 164, 204, 244, 284, 372, 412, 452

CLB-Memory

Bulmahn, Maren

Entsorgung von Chemikalien M10
 Hasenpusch, Wolfgang
 Der Westerwald hält auch für
 Chemiestudenten Ziele bereit M55

Hoer, Renate

Nachweis von Organophosphat-
 Nervengiften M63

Merzyn, Gottfried

Analyse von Unterrichtsinhalten und
 -methoden M18

Kees, Tim

Leben aus dem Baukasten M2

Kickuth, Rolf

Systembiologie und synthetische Biologie
 – eine kleine Übersicht M5
 Sauerstoffbindemittel aus Eisenpulver
 und Metalljodid/-bromid M23
 Das Prinzip der Kernresonanz M26

Schenk, Katharina

Mikroskopie in Forschung und Lehre
 M50

Aus der Bildungslandschaft

M39, M47, M63, M71, M79

Lebensmittelanalytik

Schweitzer Studie zu Nanotechnik im
 Lebensmittelbereich M14
 BVL zieht positive Bilanz zu Acrylamid in
 Lebensmitteln M17
 DKFZ mit neuer Studie zu heterogenen
 Aromaten beim Essen M25
 44. Kulmbacher Woche zur
 Fleischforschung M38
 Schnelltest für Allergie auslösende Stoffe
 in Lebensmitteln M60
 Beta-Carotin zu Unrecht in Negativ-
 Schlagzeilen M68
 Lebensmittelüberwachung im Jahr 2008
 in Deutschland M70
 Optimierungspotenzial und Alternativen
 zur Aseptik M75
 BVL: Zwei Berichte zu Rückständen in
 Lebensmitteln tierischen Ursprungs
 M76

Nützliche Ratgeber

Gefahrstoffdaten zu DDR-Produkten
 M1

Chemie und Energie

EU-Projekt RESOLIVE verwandelt
 Olivenreste in Energie M36
 Motorsegler Antares DLR-H2 – ein
 Experiment zur Energiewende M42
 Elektroautos nur „grün“ mit erneuer-
 barer Energie M58

Organische Chemie

Naturidentische Düfte aus dem
 Chemielabor M340

Fragen zur Wissensvertiefung

Die häufigsten Polymere M8
 Polyamide – Struktur, Eigenschaften,
 Herstellung M16
 Biopolymere und Biokunststoffe M24
 Kernresonanzspektroskopie (NMR)
 M32
 Metallische Werkstoffe : Eisen M40
 Nichteisenmetalle M48
 Metallurgie M56
 Keramische Werkstoffe M64
 Der Werkstoff Glas M72
 Nanowissenschaft M80

Schule, Ausbildung, Studium

Nationale Referenzstelle für Qualität in
 der beruflichen Bildung M1
 Carolin Vogt als Studienbotschafterin in
 Baden-Württemberg M9
 Aufbaustudium „Analytik und
 Spektroskopie“ neuer Kurs ab 5.10.2009

M37

5-Euro-Business-Wettbewerb M49

Bachelor revolutioniert die Gesellschaft.
 M65

Biotechnica Studienpreis 2009 M66

Auszeichnung für BTA-Auszubildende
 M67

Heidelberger Studenten punkten beim
 Wettbewerb IGEM 2009 M74

Umfrage zum Bologna-Prozess M79

Sicherheit

BfR-Symposium zu Krebs- und
 Allergierisiken durch Haarfärbemittel
 M69

Umwelt

Gefahr für Reetdächer im Fokus der
 Forschung M7
 Fresenius-Konferenz „Behaviour of
 Pesticides in Air, Soil and Water“
 M46
 Studie zu Aufkommen von RFIDs im
 Abfall M61
 51 Jahre nach dem letzten
 Atombombentest M78

Vorschriften, Richtlinien

Persistente organische Schadstoffe (POP)
 M39
 Betriebssicherheitsverordnung ändert
 sich zum Jahreswechsel M73

Vermischtes

Hans-Böckler-Stiftung ermittelt
 Urlaubsgeld in 22 Wirtschaftszweigen ...
 M33
 lohnspiegel.de: Monatseinkommen von
 Technikern M41
 Kohlendioxid-Abscheidung und -Speiche-
 rung (CCS) M44
 Positionspapier von DFG, acatech und
 Leopoldina zu Synthetischer Biologie
 M52
 Mikrowellentechnik in der Chemie
 M54
 Bildungsbarometer: Die Parteien
 verlieren ihre Bildungskompetenz
 M57
 SPECTARIS zeichnet
 Nachwuchsforscherin mit dem
 „Laborbären“ aus M73

Jahresregister

3D-Moleküle.....	361
3P-Initiative	27
5-Euro-Business-Wettbewerb	M49

A

Abfall.....	294
Abfallprodukte, organische	35
Abwasseranalytik.....	291
Aceton.....	M10
Acetonitril.....	136
Achema.....	226
Achsenverhältnis.....	398
Ackerfläche.....	34
Acrylamid.....	M17
Acrylnitril.....	137
Acyclovir.....	297
Aerophysinin-1.....	301
Aesculin.....	388
Agent Orange.....	427
AHA.....	459
Airbag.....	61
Akku.....	37
Aktivkohle	20
Alkalimetalle	M11
n-Alkylhalogenide.....	137
n-Alkylnitrile.....	139
Allergierisiko.....	M69
alpha-Hydroxysäuren.....	459
Aluminiumnitrid.....	214
Aluminiumoxid	212
Alzheimer, A.....	350
Amaretto.....	327
Amine, heterozyklische aromatische	M25
Aminosäuren, Bindungsstärke von	70
Amitraz.....	M71
Ammoniumchlorid	62
Ammoniumnitratextrakt	293
Ammonoxidation.....	137
Amygdalin.....	326
Andasol.....	270
Andrussow-Verfahren	333
ANFO-Sprengstoffe	52
Anlagenbau	230
Anobiiden.....	328
Anthocyane, acetylierte	248
Anthocyane.....	354
Anthocyanidine	249
Anti-Age-Creme.....	459
Antibiotikaresistenz.....	296
Antioxidans.....	463
Apfelkerne	327
Arbeitgeber.....	129
Arbeitnehmer.....	129
Arbeitnehmererfinderrecht.....	128
Arbeitsklima.....	30
Argentationschromatographie	421
Argyrodit.....	258
Aroma-Chemikalien.....	M34
Aromaten, heterogene.....	M25
Aromen.....	M34
Arterienverkalkung.....	416
Arzneipflanze	385
Aseptik	M75

Astaxanthin.....	463
Atomabsorptionsspektrophotometrie	288
Atombombentest.....	M78
Atomkerne.....	476
Atomstromaustieg.....	270
ATP	326
Aurum potabile	103
Auxin.....	428
Avery, O.T.....	350
Avogadrosches Gesetz.....	18
AZT	297

B

Bachelor	M65
Backwaren	424
Bakterien.....	168
Bakteriengenom.....	M6
Bakteriologie.....	172
Ballistit	57
Bambus.....	340
Bambusrohre	342
Bambussprossen	347
BASF	107
BASTA.....	471
Bauteile, optische	401
BBod-SchV	294
Begasung	329
Benzonitril.....	143
Berg- und Hüttenwesen.....	257
Bergakademie Freiberg.....	256
Bergbau	55
Bergbau	62
Berliner Blau.....	105
Berliner Blau.....	324
Berufs-Ethik.....	28
Berufskrankheit	467
Beta-Carotin.....	M68
Betriebshygiene	M70
Betriebssicherheitsverordnung	M73
Betriebswirtschaft	24
Bienenwachs.....	458
Bildgebung, medizinische.....	195
Bildung, berufliche.....	M1
Bildungsbarometer.....	M57
Bildungsbarometer.....	M79
Biochip	M38
Bioenergie	M36
Biogas.....	M36
Biokeramik	215
Biokraftstoffe	34
Biokybernetik	90
Biologie, synthetische	M2
Biologie, synthetische	M74
Biomasse	33
Bionik-Koffer.....	234
Bionik, organisatorische	88
Biopiraterie.....	304
Biostoffe	168
Biotechnica-Studienpreis.....	M66
Biotechnologie.....	356
Bismut	482
Bittermandel-Geruch.....	325
Bittermandeln.....	327
Blastema-Zellen.....	360
Blattgold	337
Blaufarbenwerk Pfannenstiel	259

Blausäure.....	322
Bleiazid.....	56
Bleichung	418
Blitzlichtpulver	14
Blitzwürfel.....	16
Blockbuster.....	285
BMA-Verfahren.....	333
Bodenuntersuchung.....	293
Bogenlampe.....	16
Bologna-Prozess	M79
Borcarbid.....	214
Borrelien	115
Botox.....	465
Böttger, J.F.	209
Botulismus-Toxin	465
Boudouard-Gleichgewicht	268
Brennstoffzelle.....	M42
Brennstoffzellenauto	94
Bromnitrat	114
Bromthymolblau.....	21
BTA-Auszubildende.....	M67
BtL-Diesel.....	34
Buchsbaum.....	69
Businessplan.....	356
Butter.....	416
BVL	M17
BVT	215

C

Calciumcarbonat.....	436
Candelilla-Wachs.....	458
Capnocytophaga.....	468
Carotine	353
Carotinoide.....	150
Cassius 'scher Goldpurpur.....	103
Catenierung.....	96
CCC	248
CCS.....	M44
Celtec.....	M43
Charge-Transfer	308
Chemie-Kartelle	25
Chemie, ethische.....	24
Chemie, supramolekulare.....	94
Chemiegeschichte.....	256
Chemiemärkte	107
Chemietechniker	M41
Chemieunterricht	M18
Chemikalien, Entsorgung von.....	M10
Chilesalpeter	57
Chimeric Vaccines	147
Chlor.....	12
Chlorcyclohexan	435
Chlorknallgas, elektrolytisch erzeugtes....	16
Chlorknallgas.....	8
Chlorophyll.....	68
Chlorophylle.....	352
Cholesterin.....	416
Christie, Agatha	324
Chromatogramme	222
Chromatographie, präparative.....	216
Chromatographiesäulen.....	224
Ciba.....	109
Cichorium	384
cis-Bindung	421
Citral.....	M34
Citrat.....	392

Cluster	95
Clusterbildung	391
CO ₂ -Emissionen	264
CO ₂ -Lagerung	264
CO ₂ -Minderungsmaßnahmen	269
CO ₂ -Umsetzungen	268
CO ₂ -Zertifikate	36
Cochenille-Schildlaus	457
Computersimulation	72
Controller	24
Cordierit	209
Cryptotethia crypta	297
Cumarin	387
Cyanid-Laugerei	331
Cyanid	323
Cyanidin-Derivate	253
Cyanobakterien	298
Cyanose	324
Cyanwasserstoff	330
Cyclododecanon	452
Cyclopentanon	452
Cytochrom-c-Oxydase	325
D	
DDR-Produkte	M1
Delphinidin	386
Denkmuster	89
Depression	46
Derivatisierung	421
Desinfektionsmaßnahmen	171
Desinfektionsmittel	170
Desodorierung	418
Diabetestherapie	45
Diätmargarine	422
Diatomeen	53
Dibromfluorescein	458
Dichte-Anomalie	212
Dichtefunktionaltheorie	309
Dichtemodellierung	316
Dickdarmkrebs	M25
Dicyanoaurat	337
Diensterfindung	129
Dihydroxyaceton	463
Dimethyloxazoline	422
Dinitrophenol	427
Discodermolid	303
Dissoziationsenergie	10
Dissoziationsenergie	312
Dissoziationsverhalten	315
Distickstoffmonoxid	452
Diuron	429
DNA	348
Doppelbindung	419
Doppelbrechung	402
Dörner, Dietrich	93
Drei-Felder-Optimum	27
Düngemittel	51
Dynamit	53
Dysidea herbacea	298
E	
E. coli-Bakterien	175
ecopolicy	92
Ecteinascidin 743	302
Efeu	68
Einfluss-Matrix	92
Einheiten, atomare	309
Eisen-Schwefel-Welt	321
Eisen	476
Eisenpulver	M23
Ekzem, seborrhoisches	460
Elektroautos	M58
Elektrolyse	11
Elektrolyse	258
Elektrolyse	37
Elektronen	310
Elektronenblitzgerät	13
Elektronendichte	312
Elektronenkorrelation	311
Elektroroller	M59
Elemente, Entstehung der	474
Ellipsoiden	396
Emission	290
Endophyten	482
Energie, kinetische	314
Energiebedarf	153
Energiedichte	38
Energien, erneuerbare	M58
Energiepflanzen	33
Energieträger, fossile	32
Energieversorgung, nachhaltige	32
Energiewandlung	33
Ensembleladung	315
Entsäuerung	418
Entschleimung	418
Entwicklungshilfe	88
EPIC-Studie	M25
EpiDex-Technik	42
Episome	181
Erdgas	110
Erdnussallergie	M60
Erfinder	128
Erfindungsmeldung	130
Ernährungswissenschaft	416
Ersatzkaffee	386
Erythromycin	174
Erythrose	463
Escherischia-coli-Bakterien	M3
Ethik-Controlling	24
Ethik-Management-Struktur	24
Ethylcarbammat	327
Euler-Lagrange-Gleichung	318
Euphorbia Antisyphilitica	458
Experiment, historisches	8
Explosivstoffe, Geschichte der	50
Extinktion	400
Extraktion	418
F	
Fachdidaktik	22
Fachkräftemangel	231
Fahrzeuggatterien	152
Faktor 4	28
Farbfilter	401
Fast-Food	424
Fayencen	208
Fehler	93
Fermi-Geschwindigkeit	394
Feststoffanalytik	292
Fetthärtung	419
Fettkonsum	424
Fettsäuren	418
Flavonoide	150
Fleischforschung	M38
Flimmerhärschen	328
Fluoreszenzmikroskopie	M50
Fluoxetin	184
Forstwirtschaft, nachhaltige	345
Forsythie	151
Fotochemie	9
Fraktionierung, semi-präparative	223
Fraktionierung	419
FT-NMR	M28
Functional Food	216
Funktion, dielektrische	394
Fusionen	285
G	
Galvanik	331
Gap-Analyse	30
Garching-Reaktor	192
Gärung, alkoholische	376
Gaschromatographie	422
Gasspeicherung	97
GC-MS-Analytik	422
Gefahrensymbole	M12
Gefahrstoffverordnung	171
Gegenstromverteilungschromatographie	248
Gehirnforschung	194
Gehirnstammzellen	113
Gemüse	353
Gen-Schere	180
Genfährten	179
Genargeting	41
Gentransfer	42
Germanium	256
Gerüstverbindungen, poröse	94
Getränkproduktion	M75
Gewässerschutz	M47
Gewebeersatz	45
Gewinn-Orientierung, nachhaltige	24
Gewürze	186
GHS	M62
Gichtgase	267
Glas-Eudiometer	13
Gliazellen	48
Global Compact	26
Glockenbronze	64
Glockengießen	64
Glockenmuseum Apolda	64
Glufosinat	470
Glycerin	418
Glycerintrinitrat	53
Glycolsäure	460
Glycolsäure	465
Glykolyse	376
Glyphosat	431
Gmelin, C.G.	349
Gold-Elektrolyte	331
Gold, kolloidales	102
Goldförderung	330
Goldkolloide	403
Goldmessing	104
Goldrubinglas	103
Goldsäure	391
Grand Prix Chimique	434

Graphitrohren, längsbeheizter.....	294
GreenBox	354
Grillen.....	M25
Grippevirus.....	146
Grubensalpeter.....	57
Grünalgen.....	480

H

Haarfärbemittel.....	M69
Halbleiter, organischer.....	71
Hämagglutinin.....	146
Hartree-Fock-Verfahren.....	310
Hausbockkäfer.....	328
Haustiere.....	467
Haut.....	456
Hautaufheller.....	465
Hautpflege.....	456
HCl-Nebel.....	14
HCN.....	322
Hefe.....	376
Heilmittel.....	296
Helicobacter.....	468
Helium.....	474
Henckel, J.F.....	257
Herausforderung, globale.....	32
Herbizide.....	426
Herbizide.....	470
Herbizidklassen.....	426
Herstellung, großtechnische.....	304
Herzinfarkt.....	416
Herz-Kreislaufkrankungen.....	420
Hexa-nitro-iso-Wurtzitan.....	56
Hexansäuredinitril.....	332
Hexogen.....	55
Higgins-Modell.....	377
Hippocampus.....	47
Hirn-Doping.....	183
Hoppe-Seyler, F.....	348
HPLC-Analytik.....	137
HSCCC.....	249
Hüfner, G. von.....	349
Hüftgelenk, künstliches.....	112
Humanressourcen.....	25
Hupki-Mäuse.....	42
Hydrogenasen.....	480
Hygiene.....	168
Hygiene.....	466
Hypochlorit.....	17

I

ICP-MS.....	112
Idea-Bank.....	16
iGEM.....	M3
IGEM.....	M74
Immunsystem.....	146
Impfstoffe, Geschichte der.....	148
Impfstoffe.....	146
Imprägnierung.....	96
Indium.....	256
Infektionen.....	466
Influenza A.....	146
Influenza-Impfung.....	146
Informationsverarbeitung.....	89
Infrarot-Spektrometer.....	114
Infrarot-Spektroskopie.....	421

Ingenieurs-Ethik.....	26
Initialsprengstoffe.....	56
Innovationen.....	358
Instant Chemistry.....	18
Insulin.....	70
Intelligenz, evolutionäre.....	89
Interpenetration.....	95
Inulin.....	386
iPS-Zellen.....	44
ipSZellen.....	178
IRMOF.....	97
Isoflavone.....	216
Isoflavonoide.....	218
Isoxazolin-Alkaloide.....	301
ITER.....	273
IVU-Richtlinie.....	26

J

Jenner, Edward.....	149
Jugend forscht.....	390

K

Kaffee.....	186
Kaliumchlorat.....	59
Karmin-Farbstoff.....	457
Karotte.....	252
Katalysatoren.....	31
Katalyse.....	98
KCN.....	322
Kegelschnecken, marine.....	302
Kennzeichnungspflicht.....	M15
Keramik, Geschichte der.....	208
Keramik, technische.....	208
Keramik, technische.....	M55
Kernenergie.....	33
Kernfusion.....	273
Kernfusion.....	477
Kernresonanz.....	M26
Kernresonanzspektren.....	M29
Kernspintomographie.....	M31
Kerntransfer, somatischer.....	47
Kerntransfer-technik.....	177
Key Performance Indicator.....	25
Kieselgur.....	53
Klimaschutz.....	263
Klonen, therapeutisches.....	177
Klonschaf Dolly.....	176
Knallgasprobe.....	20
Knallgasvoltmeter.....	10
Knock-out-Mäuse.....	43
Kohlekraftwerke.....	273
Kohlendioxid.....	262
Kohlendioxid.....	M44
Kohlenstoff-Kreislauf, globaler.....	262
Kohlenstoff-Nanoröhren.....	153
Kohlenstoffnitrid.....	71
Kohn-Sham-Verfahren.....	313
Kompetenz-Modell.....	29
Konfektionierung.....	419
Königswasserextrakt.....	293
Korrelationsfunktionale.....	314
Kosmetika.....	456
Kraftfelder.....	309
Kraftstoff-Ersparnis.....	267
Kraftstoff-Verbrauch.....	266

Kraftstoffe, biogene.....	33
Kraftwerke.....	M45
Krebsstammzellen.....	45
Kreuzimmunisierung.....	147
Kristalle, photonische.....	402
Krönitz Enzyklopädie.....	66
Krönitz, Johann Georg.....	66
Kryo-Elektronen-Tomographie.....	115
Kugelform.....	398
Kulturpflanzen.....	439

L

Lachgas.....	453
Lactucin.....	387
Ladungen, fluktuierende.....	314
Landwirtschaft.....	426
Lanolin.....	458
Laplace-Gleichung.....	395
Larmor-Beziehung.....	M27
Laserrastermikroskop, mobiles.....	481
Lay, Rupert.....	29
LDL-Cholesterinspiegel.....	419
Lebensbaum.....	68
Lebensmittel-Rückstände.....	M76
Lebensmittel.....	34
Lebensmittel.....	M14
Lebensmittel.....	M17
Lebensmittelallergien.....	M60
Lebensmittelüberwachung.....	M70
Leberkrebs.....	236
Leberzirrhose.....	M5
Legionärskrankheit.....	173
Legionellen.....	168
Leitstrukturen.....	296
Lernkurve.....	36
Leuchtbakterien.....	M49
Leuchtpurgeschosse.....	61
Leukämie.....	41
Li-Ionen-Akku.....	153
Licht, gefärbt.....	20
Lichtschutzfaktor.....	462
Lied von der Glocke.....	65
Lignin.....	341
Linker.....	95
Liposomen.....	461
Lippenstift.....	456
Lithium-Ionen-Zelle.....	152
Lohnspegel.....	M41
Lösungsmittel.....	136
Lotka-Volterra-Gleichung.....	378
Low-Cost-Design.....	8
Low-cost-Kanone.....	336
LSRCCC.....	250
Lungenkraut, echtes.....	150
Lycopin.....	354

M

M2-Impfstoffe.....	148
Magnesiumoxid.....	211
Magnetfeld, statisches.....	194
Maillard-Reaktion.....	463
Maillard-Reaktion.....	M17
Management-Ethik.....	29
Mantelabhebeverfahren.....	65
Manzamin A.....	300

Margarine.....	416	Nitroglycerin.....	52	Phäophytin.....	69
Marikultur.....	304	Nitroverbindungen.....	50	Pharmaindustrie.....	285
Marzipan.....	327	NMR-Spektrometer.....	M27	Pharmaka.....	99
Masse.....	475	NMR-Tomografie.....	M26	Phenoether.....	428
Mäuse, chimäre.....	42	Nobel, Alfred.....	50	Phenoxy-carbonsäure.....	428
MEA.....	M42	Noroviren.....	168	Phenylharnstoff-Herbizide.....	429
Medizin, regenerative.....	360	NRKP.....	M76	Phosphinothricin.....	431
Melanin.....	461	Nuclein.....	348	Phosphinothricin.....	470
Melanom.....	464	Nucleoside.....	297	Phosphoenolpyruvat.....	432
Melanotan.....	464	Nuklearmedizin.....	190	Phosphor.....	474
Membranporen.....	440	O		Photosynthese.....	263
Membrantransport.....	440	Obst.....	353	Photosynthese.....	352
Messverfahren.....	291	Oct4.....	179	Photovoltaik.....	271
Metal Organic Frameworks.....	94	Öffentlichkeitsarbeit.....	M52	Photovoltaik.....	35
Metallabrieb.....	112	Okadainsäure.....	299	Physikunterricht.....	M18
Metallverbindungen.....	60	Okara.....	216	Phytoöstrogene.....	217
Methämoglobin.....	326	Öko-Check.....	27	Piracetam.....	185
Methylphenidat.....	183	Öko-Effizienz-Analyse.....	27	Planung, betriebswirtschaftliche.....	91
Mg-Permanganat-Blitz.....	14	Ökologie, chemische.....	302	Plasmide.....	181
Microscale-Version.....	17	Ökologie.....	432	Plasmonen.....	103
Miescher, J.F.....	348	Ökotoxizität.....	M46	Plasmonenresonanz.....	390
Mikroorganismen, künstliche.....	M6	Öle, pflanzliche.....	417	Pluripotenz.....	40
Mikrophotoreaktor.....	228	Oleine.....	419	Pocken.....	149
Mikroreaktoren.....	226	Olivenverarbeitung.....	M36	Polarisation.....	308
Mikrowellentechnik.....	M54	Onnamid A.....	299	Polarisierbarkeit.....	395
Milchsäure.....	460	Orbitale.....	311	Polymethylmethacrylat.....	459
Milchsäuremessung.....	236	Organersatz.....	40	Polyvinylalkohol.....	401
Missbildungen.....	429	Organophosphate.....	M63	POP.....	M39
Mitochondrium.....	326	Oszillation, chemische.....	376	Porzellan.....	209
Mittelstand.....	358	Oxid-Keramik.....	211	Potential, externes.....	317
Modafinil.....	183	Oxidation durch Chlor.....	19	Projektionsmanometer.....	15
Modifizier.....	292	Oxyfuel-Verbrennungsverfahren.....	M44	Prokaryonten.....	298
MOFs.....	94	Ozonabbau.....	114	Promotoren.....	M74
Mohs-Härte.....	214	P		Prostaglandine.....	297
Molybdän.....	191	Palladium-Nanopartikel.....	227	Proteindesign.....	70
Monochlorpropandiol.....	424	Palladium.....	294	Proteinforschung.....	438
Motorsegler Antares.....	M42	Pandemie.....	147	Protonen-Schalter.....	442
MRT-PET.....	194	para-Phenylendiamin.....	M69	Protonenresonanz.....	M26
Mullit.....	209	Parabolrinnen-Kraftwerk.....	271	Prüfröhrchen.....	333
Mutationen.....	70	Paracetamol.....	435	Prussic Acid.....	324
N		Partikelherstellung.....	391	Pseudoalogenid-Ionen.....	324
Nabelschnurblut.....	41	Patent.....	129	Pseudopterosin C.....	302
Nachhaltigkeit.....	24	Patentanmeldung.....	132	Pumpspeicherkraftwerke.....	274
Nachhaltigkeit.....	91	PCB.....	M38	Purpurmais.....	253
Nachhaltigkeits-Fonds.....	27	PCR.....	M60	Pyridoacridin-Alkaloide.....	300
Nagekäfer.....	328	Permittivität.....	395	Pyrotechnika.....	60
Nano-Goldpartikeln.....	390	Personalwirtschaft.....	25	Q	
Nanochemie.....	102	Pestizide.....	M46	QTPIE-Modell.....	320
Nanotechnik.....	M14	PET-Flaschen.....	M75	Quantenbatterie.....	154
Natriumhydrid.....	M11	PET.....	190	Quantenchemie.....	309
Natriumnitrat.....	62	Pflanzen, Basta-resistente.....	431	Quantenmechanik.....	309
Naturstoffe, marine.....	296	Pflanzen, immergrüne.....	68	Quarzglasrohr.....	15
Naturwissenschaften.....	M18	Pflanzenchemie.....	150	Quecksilber.....	M12
Nernst'sche Reaktionskette.....	9	Pflanzenchemie.....	352	Querschnittslähmung.....	46
Nervengifte.....	M63	Pflanzenfarbstoffe.....	150	R	
Nervenzellen.....	113	Pflanzenfarbstoffe.....	352	Radikale.....	463
Netheler Gedenkmünze.....	234	Pflanzenhormon.....	428	Radioaktivität.....	M78
Neuraminidase.....	146	Pflanzeninhaltsstoffe.....	248	Radionuklid-Generator.....	191
Neuro-Enhancer.....	185	Pflanzenmetabolismus.....	482	Radiopharmaka.....	190
Neurogenese, adulte.....	46	Pflanzenschutz, integrierter.....	426	Radiopharmaka.....	236
Neurotransmitter.....	184	Pflanzenschutzmittel.....	M46	Raffination.....	418
Nichtoxid-Keramik.....	213	Pflanzenstoffe, sekundäre.....	217	REACH-CLP-Helpdesk.....	M62
Nitrile, aromatische.....	142	Pflanzenstoffwechsel.....	427	Reagenzgläser.....	14
Nitrile.....	136				
Nitrocellulose.....	52				

Reaktion, fotolytische.....	10	Sensortechnik.....	194	TEM-Messung.....	398
Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten ...	380	Sicherheitshinweise	12	Terrorismus	55
Reaktionskinetik	9	Silberspiegel	106	Tetrachlor-Dibenzodioxin	429
Reaktom-Array	438	Silikat-Keramik.....	209	Tetrazen	56
Reaktoren	190	Silizium-Solarzellen.....	36	Thallium-Halogenid	290
Recht, deutsches.....	128	Silizium	36	Thallium-Messung.....	288
Recycling	M61	Siliziumcarbid.....	213	Thallium, Vorkommen von	288
Reetdächer	M7	Siliziumnitrid.....	213	Thalliumsalze	289
Referenzstelle, nationale.....	M1	Simulation, molekulare	308	Theopederin A.....	299
Regelkreis.....	90	Simulation	378	Theoretische Chemie	308
Reich, F.	257	Singuletsauerstoff.....	463	Therapieresistenz.....	45
Rekombination, homologe.....	43	Sintervorgang	210	Thujon.....	68
Relaxation.....	M27	Slater-Determinante.....	311	Tiefsee-Injektion	265
Reprogrammierung	48	SOHIO-Verfahren	136	Tiefsee.....	298
Reprogrammierungsgene.....	179	Sojabohnen.....	217	Titandioxid	459
Resistenz	169	Solarthermie.....	270	Titration, komplexometrische.....	435
Resistenzen	432	Sonderforschungsbereiche	483	Tolbutamid	430
Resonanzfrequenz.....	394	Sonnenblumenöl.....	420	Tollens-Reagenz	106
Resonanzwellen	393	Sonnencreme	461	Ton.....	208
Responsible Care	25	Sonneneinstrahlung, globale	35	Toxoplasmose	466
Retroviren.....	178	Sonnenenergienutzung, thermosolare	35	trans-Fettsäuren.....	416
Rezession	108	Speicherstadt Hamburg.....	186	Transparency International.....	26
RFIDs	M61	Speichertechnologien.....	274	Transposonen	181
Rhodopsin.....	442	Sperrflüssigkeit	14	Treibhauseffekt.....	263
Ribosomen.....	440	Spin-Spin-Kopplung.....	M30	Treibhausgase	262
Riese, roter.....	476	Spin.....	309	Treibhausgasemissionen.....	M59
Rotfluoreszenz	69	Sprengelatine.....	54	Treibmittel.....	57
Rotkohl.....	253	Sprengstoffe	50	Trennvorgänge.....	98
Rückkopplung, molekulare	376	Stammzellendifferenzierung	44	Tretionin	461
Rückkopplung.....	90	Stammzellen, adulte	178	Triazin-Herbizide	430
Rücksteuerung, kybernetische.....	90	Stammzellen, adulte	40	Trichloropropan	441
S					
Saarbrücker Formel.....	25	Stammzellen, embryonale	176	Triglyceride, mittelkettige	419
Salmonellen.....	175	Stammzellen, embryonale	40	Trinitrotoluol/TNT	51
Salpetersäure.....	50	Stammzellentherapie	40	Tübinger Schlosslaboratorium	348
Salzpaare, inverse	62	Stammzellregister	49	Tumoren.....	47
Salzsäure	11	Stauosporinderivate	300	Tumorstammzellen	45
Sauerstoff.....	14	Stearine.....	419	Tunnelbau	61
Sauerstoffbindemittel.....	M23	Steatit	209	Tunnelproteine	441
Schalter, molekulare	442	Sterne	474	Turkevich-Methode.....	390
Scherbenzusammensetzung	209	Stöchiometrie	12	Tyrosinasen.....	465
Schießbaumwolle.....	54	Stoffwechselrhythmik	376	U	
Schimmelpilze	M71	Strahlung.....	478	Übernahmen.....	285
Schlossberger, J.E.	349	Stratosphärenchemie	114	Umbelliferon	388
Schmuckherstellung.....	104	Stromgestehungskosten	36	Umesterung.....	418
Schramm, G.F.	350	Studienbotschafter.....	M9	Umweltbelastung.....	290
Schrödingergleichung	309	Substanzen, pharmakologisch aktive.....	296	Universalmodifizier.....	294
Schulchemie.....	322	Sulfonylharnstoff-Herbizide	430	Unternehmen, zukunftsfähige	24
Schullexperimente, nanochemische	105	Supercaps.....	153	Unterrichtsanalyse	M18
Schulfach Ethik.....	28	Supernova	474	Unterrichtsgestaltung.....	M19
Schusswaffen.....	52	Supraleiter.....	289	Unterrichtsreform.....	M20
Schutzrechtaufgabe	132	Synthetische Biologie	M52	Uranidin	301
Schutzrechtsanmeldung.....	131	Synthetische Mikrobiologie.....	362	Urlaubsgeld	M33
Schwämme	300	Systembiologie.....	M5	UV-Filter.....	462
Schwarzpulver	51	Systemdynamik.....	378	UV-Spektroskopie	435
Schwefelsäure	18	Systeme, komplexe	88	UV-Strahlen	461
Schwefelsäure	59	Systeme, vernetzte	89	V	
Schweinegrippe	466	Systemmanagement	90	Vaccensäure.....	424
Seescheide	300	Sythese, quantitative.....	17	Valproinsäure.....	180
Seigerofen	211	T			
Sekundenkleber.....	332	T-Zellen	148	Vaporware	152
Selbstbräuner	463	Tafelmessing.....	104	Varianten.....	147
Semtex	55	TAL-Effektoren.....	439	Veilchen	150
Sensoren	M63	Taxiphyllin.....	347	Vektoren	181
Sensorik	99	Technetium	190	Venter, Craig	M6
		Technologien, regenerative	32		

Verbraucherschutz.....	472	Weißfäulepilze.....	M7	Zichorie.....	384
Vergütung.....	133	Wellenfunktionen.....	310	Zigarettenrauch.....	328
Verpackungen.....	M14	Weltenergieserven.....	33	Zink-Granalien.....	19
Vester, Frederic.....	92	Werkstoffe, tonkeramische.....	209	Zirkonoxid.....	212
Vietnamkrieg.....	429	Wettersprengstoffe.....	62	Zoonosen.....	466
Viren.....	168	WHO.....	146	Zünder.....	58
Virusbekämpfung.....	169	Windenergie.....	271	Zündhölzer.....	58
Visual Computing.....	361	Winkler, C.A.....	258	Zündhütchen.....	58
Vitamin A.....	460	Winterisierung.....	418	Zündmittel, chemische.....	59
Vitamin A.....	M68	Wirkungsgrad.....	37	Zündmittel, elektrische.....	59
Volkswagenstiftung.....	72	Wirt-Gast-Chemie.....	94	Zündschnüre.....	58
Volumenkonstanz.....	21	Wirtschaften, ethisches.....	24	Zweistrahl-Spektrometer.....	393
Volumetrie.....	13	Wirtschaftlichkeit.....	30	Zwerg, weißer.....	476
		WRAP-Initiative.....	27	Zyankali.....	322
		WRRL.....	M46	Zyklon B.....	330
				Zyklotron.....	193
W		X			
Wachsausschmelzverfahren.....	65	XAD-7-Extrakte.....	254		
Wachstumsfaktor.....	44	Xanthomonas.....	439		
Wackenroder, W.F.....	353	Xanthophyll.....	68		
Warburg, O.H.....	325	Xanthophylle.....	353		
Wasabi-Erdnüsse.....	M23				
Wasserstoff-Produktion.....	480	Z			
Wasserstoff.....	12	Zellendifferenzierung.....	40		
Wasserstoff.....	37	Zellen, pluripotente.....	176		
Wasserstoffperoxid.....	M10	Zellstoffwechsel.....	438		
Wasserstoffspeicher.....	98				
Wasserstoffspeicherung.....	37				
Wegwarte.....	384				

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. Heinz-Martin Kuß, Duisburg,
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, Diekholzen;
Dr. Annette von Kieckebusch-Gück, Liestal (CH);
Prof. Dr. Röbbbe Wünschiers, Quedlinburg.

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

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

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

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

CLB erscheint monatlich.
© 2010 Agentur und Verlag Rubikon
Rolf Kickuth

Bezugspreise:
CLB Chemie in Labor und Biotechnik
mit der Beilage „CLB-MEMORY“. Einzel-
heft – außerhalb des Abonnements
– 13,00 Euro, im persönlichen Abonne-
ment jährlich 104,00 Euro zuzüglich Ver-
sandkosten; ermäßigter Preis für Schüler,
Studenten und Auszubildende (nur ge-
gen Vorlage der Bescheinigung) jährlich
79,45 Euro zuzüglich Versandkosten,
inkl. 7% MWSt. Ausland sowie Firmen-
bzw. Bibliothekenabonnements auf An-
frage. Bezug durch den Buchhandel und
den Verlag. Das Abonnement verlängert
sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls
nicht 8 Wochen vor Ende des Bezugsjah-
res Kündigung 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 Buchbesprechungs-exemplare kann
keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



Vor zehn Jahren bewertete die CLB-Redaktion und -Herausgeberschaft diese Entwicklungen der Jahre ab 1950 als besonders wichtig.

50 Jahre CLB: Fortschritte in Chemie, Analytik, Biotechnik

Der Jubiläumsaufsatz

Die CLB-Redaktion hatte sich vorgenommen, zum Jubiläum einen Beitrag über die wichtigsten Innovationen in Chemie und Biotechnik während der letzten fünf Jahrzehnte zu veröffentlichen. Sie hat die neun Herausgeber einige Entwicklungen aus diesem Zeitraum zusammengefasst, dies könnten neue Analysemethoden, Materialien, Verfahren oder Geräteentwicklungen sein. Nach dem Eingang der Meldungen ergab sich eine Liste mit 49 unterschiedlichen Innovationen. Analytische Themen herrschen in der Liste vor, aber insgesamt ist sie doch recht heterogen, weil die Herausgeber auf verschiedenen Gebieten arbeiten. Einige Meldungen kamen mehrmals vor. An acht wichtige Entwicklungen der letzten 50 Jahre soll hier erinnert werden. Über alle Themen hat CLB berichtet, meistens mehrfach.

Desoxyribonukleinsäure

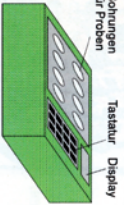
Die DNS oder DNA, wie heute meistens wegen desoxythionucleic acid abgekürzt wird, ist kein bestimmtes Molekül, sondern eine Molekularart und existiert in unendlich vielen Variationen in unterschiedlichen Lebewesen. In ihr kommen unter anderem zwei Purinbasen (Adenin und Guanin) und zwei Pyrimidinbasen (Thymin und Cytosin) vor. Drei Jahre nach der Gründung von CLB klärten Watson und Crick den Aufbau der DNA als Doppelhelix. Ein A steht immer einem T und ein G einem C gegenüber. Die beiden Forscher erhielten 1962 zusammen mit Wilkins den Nobelpreis für Medizin. Darüber berichtete CLB im Dezemberheft 1962.



Polymerase Chain Reaction

Die Polymerase-Ketten-Reaktion, PCR, wurde Mitte der Achtzigerjahre von dem Amerikaner Kary Mullis entwickelt. Er griff dabei eine Idee des Biochemikers Khorana auf, der bereits 1971 den Gedanken einer wiederholten DNA-Polymerisation publiziert hatte. Mit der PCR können Abschnitte der DNA vervielfältigt werden; hierbei spielt das Enzym DNA-Polymerase eine Rolle. CLB berichtete 1990 über die PCR, nachdem Mullis und Erlich auf der „Analytica“ den Preis „Biochemische Analytik“ erhalten hatten.

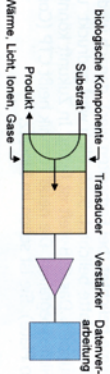
Die PCR wäre sicher ohne die Fortschritte in der Geräteschicht nicht möglich geworden. Die Reaktions-schritte laufen im Thermocycler nur ab, wenn bestimmte Zeiten und Temperaturen genau eingehalten werden.



Die PCR ist eine der wichtigsten Methoden geworden. Als molekularbiologische Nachweismethode und für die molekulare Diagnostik spielt sie eine große Rolle.

Biosensoren

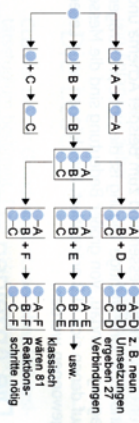
Der Begriff Biosensor taucht in CLB zuerst 1985 auf und gehört von da ab zu den immer wieder vorkommenden Stichwörtern in fast jedem CLB-Jahrgang. Der erste Bericht in CLB war ein mit „Biosensoren und Biosonde“ überschriebenes Referat über einen Beitrag in „Trends in Analytical Chemistry“ von 1984. Nachdem Anfang des vergangenen Jahres in CLB beschrieben wurde, welche Bedeutung Biosensoren in der Lebensmittelanalytik haben, war Ende 1999 zu lesen, dass sich der Verbund „Sensorik in der Biotechnologie“ auf der „Biotechnica“ vorgestellt hat. Eine enorme Entwicklung in nur 15 Jahren!



Die Empfindlichkeit von Biosensoren reicht je nach Anwendung von 10^{-2} mol/l (Glucose) bis 10^{-10} mol/l (Antibiotika). Bei Biochips sitzt der Messfühler direkt auf dem elektronischen Element.

Kombinatorische Chemie

Die kombinatorische Chemie oder kombinatorische Synthese begann Ende der 80er Jahre mit dem Aufbau von Peptidbibliotheken. Jeder, der je eine klassische Synthese durchgeführt hat, ist fasziniert von dieser neuen Methode. Kein Wunder, dass mehrere CLB-Herausgeber sie auf ihre Liste der wichtigsten Innovationen gesetzt haben.



Das kombinatorische Prinzip besteht darin, aus einem gegebenen Satz von nur wenigen Synthesebausteinen modular zusammengesetzte Moleküle in allen möglichen Kombinationen zu kreieren. Im Schema wird das Mix-and-Split-Verfahren gezeigt, das polymere Träger verwendet und erst 1991 eingeführt wurde. Auch bei der kombinatorischen Synthese haben die Gerätehersteller wichtige Beiträge geleistet. Das Verfahren findet Anwendung sowohl in der Hochschulforschung als auch in der Industrie, vor allem bei der Wirkstoffforschung.

50 Jahre CLB

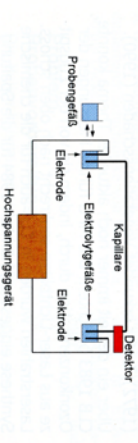
Rastertunnelmikroskop

Vor 1986 wussten wohl die meisten Chemiker und vermutlich auch viele Physiker nicht, was ein Rastertunnelmikroskop ist. Das änderte sich aber am Ende des Jahres, als die Nobelpreise verliehen wurden. Der Physik-Nobelpreis 1986 ging zur einen Hälfte an Ernst Ruska für die Entwicklung des Elektronenmikroskops und zur anderen Hälfte gemeinsam an den Schweizer Heinrich Rohrer und den Deutschen Gerd Binnig für die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops. Die Zahl der deutschen Physiknobelpreisträger erhöhte sich in diesem Jahr um 2 auf 18. CLB berichtete dank des Autors Dr. J. Burmeister bereits im Monat der Verleihung des Preises über das Mikroskop.

Im Gegensatz zum Elektronenmikroskop arbeitet das Rastertunnelmikroskop (RTM) nicht mit freien Elektronen, sondern mit den Leitungselektronen des Festkörpers. Der Name wurde von dem Phänomen des Elektronentunnels abgeleitet. Mit dem RTM sind einzelne Atome erfassbar und darstellbar. So haben Wissenschaftler am Fritz-Haber-Institut der MPG den Ablauf der Reaktion zwischen Sauerstoff-Atomen und Kohlenstoffmonoxid-Molekülen an einer Platin-Oberfläche beobachtet und die Reaktionsgeschwindigkeit durch Abzählen der verschwindenden Sauerstoff-Atome ermittelt (CLB-Heft 9/1998).

Kapillarelektrophorese

„Neuentwicklungen halten die Elektrophorese jung“ war das erste Auftauchen dieser neuen Analysemethode in CLB im Jahre 1990 übergeschrieben. Möglicherweise war das etwas spät, denn einige Monate vorher machte ein Gerätehersteller in einer Anzeige darauf aufmerksam, dass die Kapillarelektrophorese eine kraftvolle neue Technik ist, die sich durch verschiedene Argumente von bisherigen Methoden abhebt. 1995 erschien dann in CLB ein dreiteiliger Übersichtsartikel. Am Anfang wies der Autor Prof. Bachmann darauf hin, dass die Techniken schon seit Jahrzehnten bekannt sind, die analytische Anwendung mit kommerziellen Geräten aber erst in den letzten Jahren erfolgte.

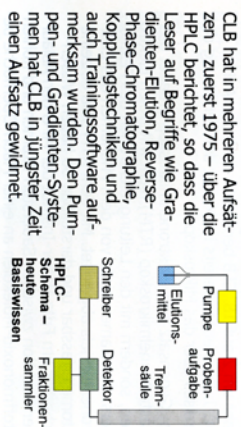


1997 erhielten die CLB-Leser in einem Tagungsbericht den Hinweis von Prof. Engelhardt, dass sich die Kapillarelektrophorese eher zu einer Ergänzungsmethode und nicht als Alternative zur HPLC entwickeln dürfte. Ein Jahr später zeigte dieser Autor, dass sich Kapillaren aus Polymeren gut anstelle von Kapillaren aus Quarzglas einsetzen lassen.

50 Jahre CLB

HPLC

Eine Idee mag plötzlich da sein, aber die Umsetzung zu einer Anwendung vollzieht sich über eine gewisse Zeit, die Umsetzung zu einer analytischen Methode oft über viele Jahre, und meist sind auch mehrere Forscher beteiligt. So ist es auch bei der Chromatographie mit ihren vielen Variationen. Die analytische Chromatographie beginnt mit dem berühmten Vortrag von Tswett 1903, die Hochdruckflüssigkeitschromatographie geht auf Arbeiten mehrerer Forscher Mitte der Sechzigerjahre zurück.



Laser in Physik und Chemie

In einem Bericht über „Analytik auf der Achterna“ von 1964 taucht der Begriff Laserstrahlen das erste Mal in CLB auf. Als Vorteil bei einem Spektralanalyse-Gerät wurde herausgestellt, dass der Laserstrahl nur alle Elemente, unabhängig von ihrem Bindungszustand, verdampfen kann. Zu dieser Zeit gab es Maser und Laser. 1965 erschien in CLB ein dreiteiliger Aufsatz, in dem die Grundlagen und Anwendungen ausführlich dargestellt wurden – das war und für fünf Jahre, nachdem der erste Laser funktioniert hatte.

In den Folgejahren berichtete CLB immer wieder über Laser-Anwendungen; z. B. gab es 1969 neun, 1970 sechs Berichte. Insgesamt gesehen waren die physikalischen Anwendungen in der Überzahl. Rückblickend sind folgende Themen nennenswert: Das Licht eines Lasers beschleunigt das Pflanzenwachstum (1971); Schönheitsfehler in Diamanten lassen sich korrigieren (1972); Laser erkundet Vegetationsstrahlen (1990). Über ein derzeit immer noch aktuelles Thema konnte CLB 1983 berichten: Die MPG führte Messungen der Ozonkonzentration durch, indem sie von der Zugspitze aus Laser-Lichtblitze senkrecht nach oben schoss. Laserstrahlen wurden in CLB auch für die chemische Synthese eingesetzt, nämlich 1984 für die Spaltung von Dichlorethan zur Gewinnung von Vinylchlorid. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass Laserstrahlen in der Analytik große Bedeutung erlangt haben. Im vergangenen Jahr kamen in CLB vor: Laser-Scanning-Mikroskopie, Laserbeugungs-Spektrometrie, Laser-induzierte Plasmaspektroskopie und Laser-Strahllicht-Partikelanalyse.



Eppendorf – Tools for life

Weltweit ist Eppendorf einer der führenden Anbieter für Systeme im gesamten Arbeitsprozess der Life-Science-Forschung und der Industrie.

In den Laboren rund um die Welt ist Eppendorf-Qualität sprichwörtlich. Seit mehr als 60 Jahren steht die Marke für innovative und leistungsfähige Produkte.

Der CLB
Herzlichen Glückwunsch
zum 60. Geburtstag!

Produktportfolio

- Pipettieren und Dispensieren
- Automatisiertes Pipettieren
- Probenvorbereitung: Temperieren und Mischen
- Zentrifugation, Vakuum-Konzentration
- PCR, Realtime-PCR
- Photometrie
- Zelltechnologie
- Kunststoff-Einmalartikel

Mehr Informationen finden Sie unter www.eppendorf.de

eppendorf
— Deutschland —