

# CLB

*Chemie in Labor und Biotechnik*

Analytik

Biotechnik

Optimierte Prozesse

Komplexe Materialien

Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie

Aus- und Weiterbildung

- Zündhölzer
- Kork
- Chemie für Wissenschaftsjournalisten (1)

Das Dezimalsystem ist eine unserer kulturellen Normierungen. Es ist heute das weltweit verbreitetste Zahlensystem und stammt ursprünglich aus Indien. Vermutlich hat das Dezimalsystem seinen Ursprung im Umstand, dass der Mensch zehn Finger hat, die als Rechenhilfe dienen konnten. Mathematisch gesehen wäre das Duodezimalsystem zur Basis 12 praktischer, da die Zahl 12 durch die Zahlen 2, 3, 4 und 6 teilbar ist. Die Sumerer und Babylonier, bei denen sich das Stellenwertsystem zum ersten Mal nachweisen lässt, haben sogar ein 60er-System benutzt, das zusätzlich auch noch die restfreie Teilung durch 5 ermöglicht. Nicht zufällig ist noch heute das Dutzend eine Handelseinheit, und es wird der Tag in 2 mal 12 Stunden à 60 Minuten à 60 Sekunden eingeteilt. In der Computertechnik verwendet man bekanntlich das Dualsystem, weil man physikalisch am einfachsten zwischen Strom leitenden und nicht leitenden Zuständen unterscheiden kann.

Unsere Dezimalsystem-Kultur lässt uns Jahresangaben besonders erwähnenswert erscheinen, die 10 bzw. ein Vielfaches davon beinhalten. In dieser CLB gibt es daher die Erinnerung an zwei Chemiker: Friedrich Wöhler, der vor 210 Jahren geboren wurde (siehe CLB-Artikel aus dem Jahre 1951 nebenan), sowie Joseph Louis Gay-Lussac. Er starb vor 160 Jahren (siehe CLB-Artikel aus dem Jahre 1950 auf Umschlagseite 3).

## Chemie FÜR LABOR UND BETRIEB

Die neue verständliche Monatschrift

Nr. 2

Frankfurt a. M., Februar 1951

2. Jahrgang

### Friedrich Wöhler

Von Prof. Rudolf Winderlich, Oldenburg.

Der Versuch, über alle erwähnswerten Arbeiten *Friedrich Wöhlers* gebührend zu berichten, ist nach den Worten *Aug. Wilb. Hofmanns* „gleichbedeutend mit dem Entschlusse, ein Kompendium der Chemie zu schreiben“, denn *Wöhler* war der letzte große Chemiker, der sich auf allen Gebieten seines Faches erfolgreich betätigt hat. Am 31. 7. 1800 in Eschersheim bei Frankfurt a. M. geboren, ist er unter günstigen Verhältnissen aufgewachsen. Er hat schon als Knabe Mineralien gesammelt und mit wahrer Leidenschaft chemisch experimentiert. Rückschauend auf die Vergangenheit hat *Liebig* ihm am 27. 6. 1870 auf Grund alter Briefe aus *Wöhlers* Jugendtagen geschrieben: „In diesem Brief liegt Deine ganze Laufbahn als Chemiker klar aufgezeigt. Dein ganzes Denken dreht sich um Experimente, wie dies bei Jünglingen von gleichem Alter sonst nicht der Fall ist.“ Trotzdem hat *Wöhler* während seines Studiums keine chemische Vorlesung gehört, *Leopold Gmelin* hatte ihm davon abgeraten, weil solche Vorträge für ihn nur Zeitverlust bedeutet hätten, aber er erlaubte ihm, in seinem Laboratorium zu arbeiten. Nach Abschluß seines Studiums der Medizin — 2. 9. 1823 Dr. med. — ging *Wöhler* nach Stockholm zum Altmeister *Berzelius*, der sein väterlicher Freund wurde. *Berzelius* unterwies den Lernbegierigen zunächst in quantitativen Mineralanalysen, dann ließ er ihn Präparate herstellen und schließlich organische Stoffe untersuchen, insbesondere die Cyansäure, die später für *Wöhler* eine schicksalhafte Rolle spielte; er ermöglichte ihm auch den Besuch berühmter Mineralvorkommen, Erzgruben und Hüttenwerke.

Nach seiner Rückkehr aus Schweden wurde *Wöhler* als Lehrer der Chemie an die städtische Gewerbeschule nach Berlin berufen, an die

66

Friedrich Wöhler

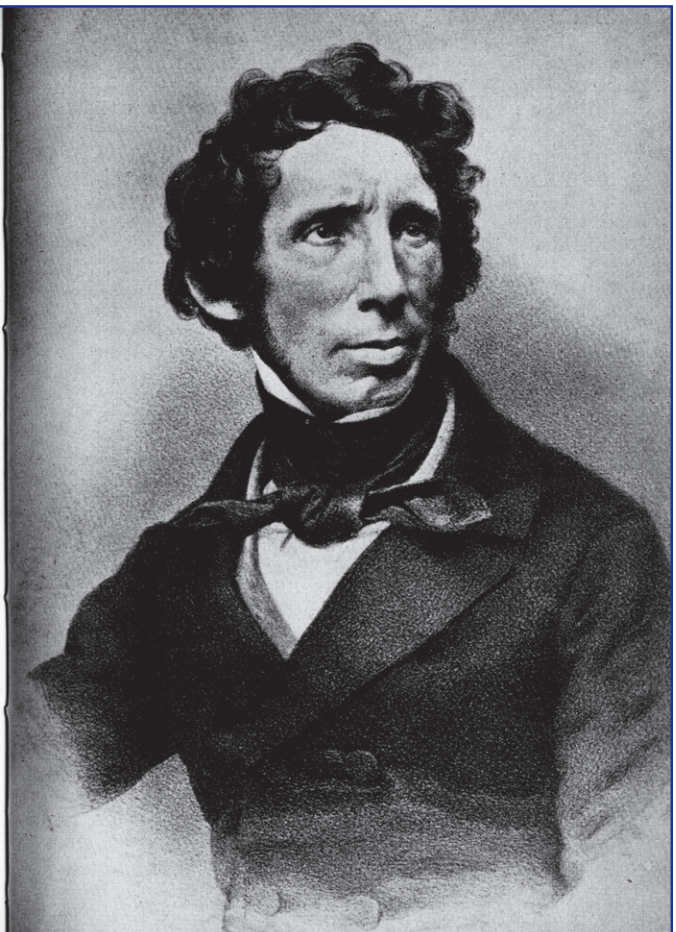
spätere Friedrich-Werdersche Oberrealschule. Dort hat er 1827 als erster das Aluminiummetall durch Reduktion seines Chlorids mit Kalium in solchen Mengen dargestellt, daß er seine wesentlichen Eigenschaften bestimmen und viele seiner Verbindungen genau untersuchen konnte. Nach demselben Verfahren hat er anschließend auch elementares Beryllium und Yttrium gewonnen. Im folgenden Jahre meldete er an *Berzelius*, daß er „Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren nötig zu haben.“ *Berzelius* antwortete voll Humor: „Aluminium und künstlicher Harnstoff werden als Edelsteine in Ihren Lorbeerkränzen eingeflochten werden.“ Tatsächlich haben diese beiden Entdeckungen in stärkstem Maße die Wirtschaft und die wissenschaftliche Denkweise



Harnstoff. Originalpräparat von Wöhler. Glasschale mit Glasdeckel, der mit Siegelack aufgeklebt ist. Das Präparat stammt aus den ersten synthetischen Darstellungen und wurde von Wöhler 1828 Heinrich Emanuel Merck, dem Gründer der Chem. Fabrik E. Merck, Darmstadt, geschenkt. (Photo E. Merck, Darmstadt)

gewandelt: Das silberglänzende Aluminium hat eine neue Epoche eingeleitet, die man entsprechend den altüberkommenen Namen Steinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit als Leichtmetallzeit benennen kann. Die Harnstoffsynthese hat den eingewurzelten Glauben erschüttert, daß organische Stoffe nur in lebendigen Körpern durch eine Lebenskraft, aber niemals in Retorten der Chemiker erzeugt werden könnten. In seiner vorsichtigen Schlußweise schrieb *Wöhler* in *Poggendorffs Annalen*, daß die bemerkenswerte, durchaus unerwartete Harnstoffsynthese „ein Beispiel von der künstlichen Erzeugung eines organischen und zwar sogenannten animalischen Stoffes aus unorganischen Stoffen darbietet.“ Er hatte also die Tragweite seines Fundes erkannt, während alle früheren organischen Synthesen niemals als solche angesehen und gedeutet worden waren. Damit traten zum ersten Male bewußt erstrebte organische Synthesen in den Bereich der Möglichkeit.

Zu nebenstehendem Bild: Friedrich Wöhler, 1800–1882. Nach einer Lithographie (Photo Deutsches Museum München).



Fortsetzung auf Umschlagseite 3

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

jetzt gibt es künstliches Leben auf der Erde, oder? Selbst der nüchterne Spiegel berichtete am 21. Mai online: „Die Menschheit kann jetzt Leben schaffen. Wissenschaftler um Craig Venter haben einen künstlichen Organismus erzeugt: am Computer konstruiert, im Labor erweckt. Ist der Mann ein Konkurrent Gottes?“ Und die Bild-Zeitung titelte online: „Genforscher erschafft erstes künstliches Lebewesen – Hier spielt Craig Venter Gott – und der Vatikan schwankt zwischen Jubel und Entsetzen“.



Bei soviel in großen Lettern gegossenem Geschwätz freut man sich doch, dass es jetzt fundierte Studiengänge für Wissenschaftsjournalismus gibt. In welcher Form sich dabei am besten Chemie vermitteln lässt beschreibt Prof. Volker Wiskamp ausführlich in der CLB, in dieser Ausgabe im ersten Teil ab Seite 272.

Aber zu dem „künstlichen Organismus“ möchte ich doch noch zwei Anmerkungen machen. Zum Einen: Ganz so künstlich ist der Organismus ja nicht. Zwar gelang es Venter, ein komplettes *Mycoplasma mycoides*-Genom aus kurzen Teilsequenzen zusammenzubauen, die zuvor in einer Synthesemaschine hergestellt worden waren. Dann verpflanzten die Forscher das synthetisierte *Mycoplasma*-Genom mit rund einer Million Basenpaaren in eine verwandte Bakterienart, *Mycoplasma capricolum*. Dort brachten sie es zum „booten“, wie Venter es in Analogie zur Computertechnik ausdrückte, also zu einem Start der Selbstvermehrung des neuen Genoms mit Hilfe der Mechanismen der alten Zellhülle. Die Aktivität des ursprünglichen Genoms von *Mycoplasma capricolum* wurde vollständig von der Aktivität des künstlich hergestellten *Mycoplasma mycoides*-Genoms verdrängt; nach einigen Zellteilungen waren alle Spuren des Empfängerbakteriums verschwunden. Entsprechend der Kennzeichnung in der Lebensmittelchemie nenne ich das neue Bakterium „naturidentisch“. Das Genom entsprach einem natürlichen, auch wenn es von Computern und Synthesemaschinen zusammengesetzt wurde, und erst in einem „gemachten Bett“ entwickelte es seine Aktivität, in der Hülle eines alten, natürlichen Bakteriums. Von einem künstlichen Organismus kann also nicht die Rede sein – ohne damit die forschungsorientierte Leistung Venters in Frage stellen zu wollen, der übrigens mit seinen Kollegen zur Identifizierung des neuen Genoms darin ihre Namen, einige Zitate

und eine Webadresse für alle, denen es gelingt, den Code zu dechiffrieren, mit eincodierte.

Und zweitens: Selbst wenn es einmal einen komplett künstlichen Organismus gibt – auf den Weg dahin ist Venter zweifellos ein gutes Stück weiter gekommen – kann man von künstlich eigentlich nur im Sinne von Können und Kunstfertigkeit sprechen. Die Menschen sind ja nur ein Evolutionsbeschleuniger. Durch diese Organismen *Homo sapiens* ist es der Natur erstmals in umfangreicher Weise gelungen, Informationsweitergaben nicht molekular zu organisieren, durch Sprache, Schrift, Internet... Damit erreicht die Evolution eine neue Stufe von Genesis-Optionen, die durchaus zu Robotern mit Bewusstsein und der Fähigkeit zur Replikation führen können. Der Mensch selbst nutzt in seinen Forschungen allerdings nur Mechanismen, die intrinsisch in der Materie und der sie beeinflussenden Physik vorhanden sind, beispielsweise Prozesse der Selbstorganisation. Das hat man nicht geschaffen, das liefert die Natur selbst.

Dennoch: Der Fortschritt in der heutigen Biologie in Verbindung mit Analyse- und Synthesegeräten und Computern verläuft rasant. Vielleicht liest man ja bald in Rostock die Webadresse aus dem Venter'schen Bakterium heraus. Durch die Anschaffung eines „Illumina Genome Analyzers“, eines Hochdurchsatz-Sequenzierautomaten, kann dort im Forschungsverbund „Phänomics“ des Leibniz-Instituts für Nutztierbiologie (FBN) in Dummerstorf und der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät (AUF) der Universität Rostock in nur einer Woche ein fast vollständiger Überblick über die Zusammensetzung eines Genoms von Nutztieren, darunter Schweine, Rinder, Schafe, gegeben werden. Das Genom-Lesegerät kann in einer Sequenzierzelle gegenwärtig etwa 140-170 Millionen DNA-Stücke von jeweils 2 x 75 Basenpaar Länge lesen. Dies entspricht ca. 25 Milliarden Basenpaaren in etwa einer Woche, praktisch jeden Tag die Menge eines menschlichen Genoms.

Ich bin zuversichtlich, die CLB schafft es trotz solcher enormer Fortschritte, weiterhin interessante Überblicke über die laufenden Entwicklungen zu geben,

Ihr

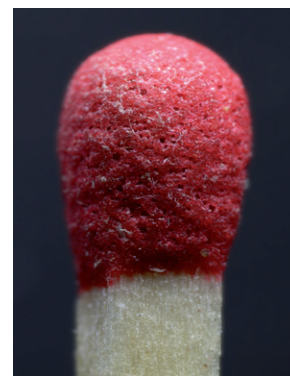
# INHALT

## Aufsätze

|  |     |
|--|-----|
| Mit Köpfchen und Reibfläche<br>Microscale-Experimente mit Zündhölzern _____                                    | 240 |
| Kork – ein Isolations-Material der Natur<br>Ein nachwachsender Rohstoff gerät unverschuldet in Misskredit ____ | 256 |

## Rubriken

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Editorial _____                | 233   |
| Impressum _____                | 235   |
| F & E im Bild _____            | 235   |
| Unternehmen _____              | 236   |
| Personalia _____               | 238   |
| Förderungen / Preise _____     | 239   |
| <br>                           |       |
| Forschung und Technik _____    | 264   |
| Umfeld Wissenschaft _____      | 266   |
| Literatur _____                | 268   |
| Der neueste Stand _____        | 269   |
| Bezugsquellenverzeichnis _____ | 279   |
| CLB-Geschichte _____           | U1/U3 |



**Zum Titelbild:**  
Die Makroaufnahme zeigt gut die poröse Struktur des Zündkopfes eines Streichholzes (siehe den Artikel ab Seite 240; Foto: Marco Bernardini).

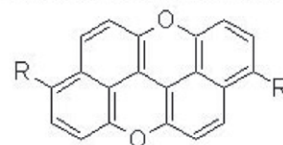
## Erreichen & Erhalten

|   |     |
|---|-----|
| Math-Bridge ersetzt den persönlichen Tutor<br>Online-Mathekurse erleichtern europaweit den Studieneinstieg _____      | 271 |
| Chemie für Wissenschaftsjournalisten<br>Teil 1: Grundlagen der Chemie /<br>Erster Anwendungsbereich: Automobile _____ | 272 |
| Prüfungsfragen für Chemielaboranten<br>Beispiele zu der Buchvorstellung auf Seite 268 _____                           | 278 |



## Bildschirm auf der Rolle

Ein klobiger Klotz ist Apples hochgelobtes iPad, sieht man die neueste Entwicklung von Sony: Am Rande der „Display-Week“ in Seattle zeigte der japanische Elektronik-Konzern am 27. Mai ein selbstleuchtendes, 80 Mikrometer dünnes OLED-Bildschirmchen (OLED = organische Leuchtdioden), das von organischen Dünnschichttransistoren (OTFT, organic thin film transistors) angesteuert wurde. Die Sensation: Der flexible Schirm mit einer Diagonalen von 10,4 Zentimetern wurde im laufenden Betrieb ständig von einer Achse auf- und abgerollt; auch mehr als 1000 Rollvorgänge sollen kein deutliches Nachlassen des Schirms hervorrufen. Dabei hielt er einen Biegeradius von 4 Millimetern aus. Der Bildschirm hat laut Sony bei 16,7 Millionen Farben und einer feinen Auflösung von 121 dpi (432 x 240 Bildpunkte insgesamt) eine maximale Leuchtdichte von 100 Candela pro Quadratmeter. Ein besonderer Fortschritt liegt nach Angaben von Sony in der Entwicklung eines neuen Dünnschichttransistorsubstrats aus einem peri-Xanthenoxanthen- (PXX-) Derivat (siehe Strukturformel). Es soll stabil gegen Sauerstoff, Feuchtigkeit, Licht und Hitze sein und bei höheren Strömen schneller arbeiten als OTFTs aus bisher verwendeten Pentacen-Derivaten (Bildschirmfotos von der Sony-Website).



## Impressum

**CLB**  
Chemie in Labor und Biotechnik

**Verlag:**  
Agentur & Verlag Rubikon  
für technische und wissenschaftliche  
Fachinformation – Rolf Kickuth  
Anschrift:  
CLB, Agentur & Verlag Rubikon  
Bammentaler Straße 6–8  
69251 Gaiberg bei Heidelberg  
Deutschland  
E-Mail: redaktion@clb.de

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

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

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

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

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

**Anzeigenservice:**  
Natalia Bajramovic  
CLB, Agentur & Verlag Rubikon  
Bammentaler Straße 6–8  
69251 Gaiberg bei Heidelberg  
Telefon (0 62 23) 97 07 43  
Fax (0 62 23) 97 07 41  
E-Mail: service@clb.de

**Abonnentenbetreuung:**  
Natalia Bajramovic  
E-Mail: service@clb.de

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

CLB erscheint monatlich.  
© 2010 Agentur und Verlag Rubikon  
Rolf Kickuth

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

Erfüllungsort ist Heidelberg. Mitglieder des VBTA, des VCÖ sowie des VDC erhalten 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 Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar.

Für die Rückgabe unverlangt eingesandter Buchbesprechungsexemplare kann keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



NACHRICHTEN & NOTIZEN

**Cognis** wird wohl von der BASF übernommen. Das meldete jedenfalls exklusiv die Financial Times Deutschland online am 1. Juni. Kaufpreis und Konditionen der Übernahme der alten Chemiesparte von Henkel stünden fest. Ein Preis sei noch nicht zu erfahren gewesen; die FTD schätzt ihn auf 3 bis 3,5 Milliarden Euro. Stimmt diese Information, wäre das die zweite große Chemieübernahme dieses Jahres. Im März hatte Merck Darmstadt angekündigt, die US-Gesellschaft Millipore für 5,9 Milliarden Euro zu übernehmen.

**Lanxess** startete Mitte Mai den Bau einer ersten Produktionsstätte in Russland. In Dschersinsk/Region Nishni Nowgorod wird das Tochterunternehmen Rhein Chemie zukünftig Kautschukchemikalien für die Märkte in Russland und der GUS produzieren. Die Fertigstellung ist für Anfang 2011 vorgesehen. Mittelfristig schafft Rhein Chemie 50 neue Arbeitsplätze am Standort.

**Die ItN Nanovation AG** hat einen Großauftrag eines Kunden aus Saudi-Arabien für ihre nanokeramischen Flachfiltermembransysteme, CFM-Systeme, erhalten. Diese Membranen werden als Vorfilter für Umkehrosomemembranen zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. Mit diesem Erstauftrag werden in einem Teilbereich der Anlage 14000 m<sup>3</sup>/Tag Brunnenwasser mit unseren Membranen vorfiltriert. Später ist die Gesamtausstattung der Anlage mit ungleich höherer Kapazität geplant. Der Auftrag hat in der ersten Ausbaustufe ein Volumen von knapp 0,4 Millionen Euro.

**Eppendorf** und das europäische molekularbiologische Labor (European Molecular Biology Laboratory; EMBL) erweitern ihre Zusammenarbeit im Bereich der weiterführenden Ausbildung für Wissenschaftler. Eppendorf trägt zur Ausstattung der gänzlich neuen Ausbildungslabore mit Geräten und Verbrauchsmaterialien bei. Zusätzlich wird das Hamburger Biotech-Unternehmen verschiedene Trainingslehrgänge und labororientierte Kurse im ATC durchführen.

**PricewaterhouseCoopers-Studie:** Die Transaktionen in der Chemieindustrie haben angesichts einer anziehenden Konjunktur im ersten Quartal 2010 wieder zugenommen. Mit insgesamt 260 angekündigten Übernahmen ist die Zahl der Fusionen und Übernahmen in der Chemiebranche auf dem Markt für Mergers & Acquisitions im ersten Quartal 2010 um 15 Prozent höher ausgefallen als im entsprechenden Quartal 2009. Das Gesamtvolumen hat sich mit 22 Milliarden US-Dollar gegenüber dem Vorjahresquartal (13 Milliarden US-Dollar) sogar um 70 Prozent gesteigert.

**WITec**, ein Hersteller von nano-analytischen Mikroskopsystemen, expandiert weiter im asiatisch-pazifischen Raum. Die Firma aus Ulm eröffnet eine neue Niederlassung in Singapur.

**Biomonitoring von Chemikalien**  
**BMU und VCI kooperieren – 5 Stoffe zunächst**

**Das Bundesumweltministerium (BMU) und der Verband der Chemischen Industrie (VCI) haben eine Kooperation gestartet, um die Kenntnisse über Stoffe, die vom menschlichen Organismus aufgenommen werden, zu verbessern.**

Im Zentrum stehen dabei Stoffe, denen die Bevölkerung möglicherweise vermehrt ausgesetzt ist oder die eine besondere Gesundheitsrelevanz haben können, aber bislang im menschlichen Körper nicht messbar sind. In den nächsten zehn Jahren sollen so für bis zu fünfzig gemeinsam ausgewählte Stoffe oder Stoffgruppen geeignete Analysemethoden entwickelt werden, die dann in geeigneten Untersuchungen zur Anwendung gebracht werden. Die Kooperation soll zunächst in einer dreijährigen Pilotphase erprobt werden.

Für die Methodenentwicklung der Nachweisverfahren hat der VCI die Verantwortung übernommen. Für die Anwendung der Methoden in geeigneten Untersuchungen liegt die Verantwortung beim BMU, das hier eng mit dem Umweltbundesamt zusammenarbeitet.

Human-Biomonitoring ist für den gesundheitsbezogenen Umweltschutz ein zentrales Informations- und Kontrollinstrument. Die Daten können als Frühwarnsystem für bisher nicht erkannte Belastungen dienen. Ob der Nachweis eines Stoffes mit einer gesundheitlichen Belastung einhergeht, bedarf einer Risikobewertung, die zum Beispiel medizinische und toxikologische Erkenntnisse heranzieht. Human-Biomonitoring liefert außerdem wissenschaftlich fundierte Daten darüber, ob Verbote oder Beschränkungen bedenklicher Stoffe tatsächlich zu einem Rückgang der Belastung in der Bevölkerung geführt haben.

Im Rahmen des Projekts sind als Auftakt von VCI und BMU die ersten fünf Stoffe festgelegt worden, für die eine Messmethode entwickelt werden soll. Sie finden als Weichmacher, Flammenschutzmittel, Kunststoffstabilisator und als Additiv in Treib- und Schmierstoffen Verwendung. Konkret handelt es sich um die Stoffe DINCH, DPHP, HBCDD, 2,2',6,6'-Tetra-tert-butyl-4,4'-methyldiphenol und Dodecylphenol.

**2009 15 % weniger Kunststoff**  
**Nie dagewesener Einbruch – 2010 ermutigend**

**Die globale Finanz- und Wirtschaftskrise hat auch die Kunststoffherzeuger in Deutschland getroffen. Gemäß der Zahlen, die PlasticsEurope Mitte Mai in Frankfurt vorlegte, wurden 2009 in Deutschland 17 Millionen Tonnen Kunststoff produziert, 15 Prozent weniger als im Vorjahr.**

Einen derartigen Produktionseinbruch hat es nie zuvor gegeben. Auch der Umsatz ging mit minus 23,2 Prozent erheblich zurück. Er betrug 17,5 Milliarden Euro und wurde zu 39 Prozent im Inland und zu 61 Prozent im Ausland er-

zielt. Der Export verlor in der Menge 2009 gegenüber dem Vorjahr 16,7 Prozent, dem Wert nach gar 23,9 Prozent. Der Import ging mit minus 14,2 Prozent in der Menge und minus 28,1 Prozent im Wert ebenfalls stark zurück. Der Exportüberschuss lag bei rund 3,7 Millionen Tonnen und 6,3 Milliarden Euro.

Wie der Vorsitzende von PlasticsEurope Deutschland e.V., Dr. Günter Hilken, erläuterte, war die Entwicklung im ersten und im bisherigen zweiten Quartal des laufenden Jahres für die Kunststoffherzeuger sehr ermutigend.

## 2009 Minus bei Pflanzenschutz und Düngemittel Aber Branchenverband IVA blickt langfristig positiv in die Zukunft

**D**ie deutsche Pflanzenschutz- und Düngemittel-Industrie hat 2009 das rasante Wachstumstempo der Vorjahre nicht halten können. Die Einbußen fielen jedoch vor dem Hintergrund der weltweiten wirtschaftlichen Abschwächung weniger gravierend aus als in anderen Wirtschaftsbereichen. Die Branche blickt bei der Vorlage ihres Jahresberichts Anfang Mai angesichts langfristig steigender Nachfrage nach Agrarprodukten positiv in die Zukunft.

Der Nettoinlandsumsatz der im Industrieverband Agrar e. V. (IVA) zusammengeschlossenen deutschen Pflanzenschutz-Hersteller betrug im Jahr 2009 1,262 Milliarden Euro, was einem Rückgang von 8,4 Prozent gegenüber dem Rekordjahr 2008 (1,377 Mrd.) entspricht. Die Exporterlöse fielen um 1,3 Prozent auf 2,975 Milliarden Euro. Daraus ergeben sich ein Gesamtumsatz von 4,237 Milliarden Euro und ein Rückgang von 3,5 Prozent gegenüber dem Vorjahr (4,391 Mrd.). Der Weltmarkt für Pflanzenschutzmittel ist 2009 gegenüber dem Vorjahr um 4,6 Prozent geschrumpft auf ein Gesamtvolumen von 27,1 Milliarden Euro, wobei die nach wie vor hohe Nachfrage aus dem asiatischen Raum stabilisierend wirkte.

Die Ursachen für den leichten Rückgang sind nicht allein im wirtschaftlichen Umfeld zu sehen, sondern hängen auch mit dem witterungsbedingt sparsameren Betriebsmitteleinsatz in der Landwirtschaft im Jahr 2009 zusammen. So ist etwa der Markt für Herbizide (Unkrautbekämpfungsmittel) um 13,9 Prozent auf 538 Millionen Euro zurückgegangen. Der Markt für Getreideherbizide litt unter einem späten Saisonstart und der hohen Vorbehandlungsrate im Herbst des Vorjahres. Der Markt für Fungizide (Pilzbekämpfungsmittel) ging um 3,2 Prozent auf 511 Millionen Euro zurück. Der Verkauf von

Insektiziden fiel um 3,5 Prozent auf 139 Millionen Euro, und die Verkäufe der sonstigen Pflanzenschutzmittel sind um 7,5 Prozent auf 74 Millionen Euro zurückgegangen.

### Der Markt für Mineraldünger

Nach einem Boom bei Mineraldüngern im Jahr 2008 brachen die Absätze 2009 in Folge der Wirtschaftskrise und sinkender Preise auf den Agrarmärkten dramatisch ein. Im Düngjahr 2008/09 (Juli - Juni) sank in Deutschland der Absatz an Stickstoffdünger um 14 Prozent auf 1,55 Millionen Tonnen Stickstoff (N), an Phosphat um 45 Prozent auf 174 000 Tonnen  $P_2O_5$ , an Kalidüngern um 65 Prozent auf 179 000 Tonnen  $K_2O$ ; der Absatz an Kalkdüngern stieg leicht auf 2,24 Millionen Tonnen CaO (plus 1 Prozent).

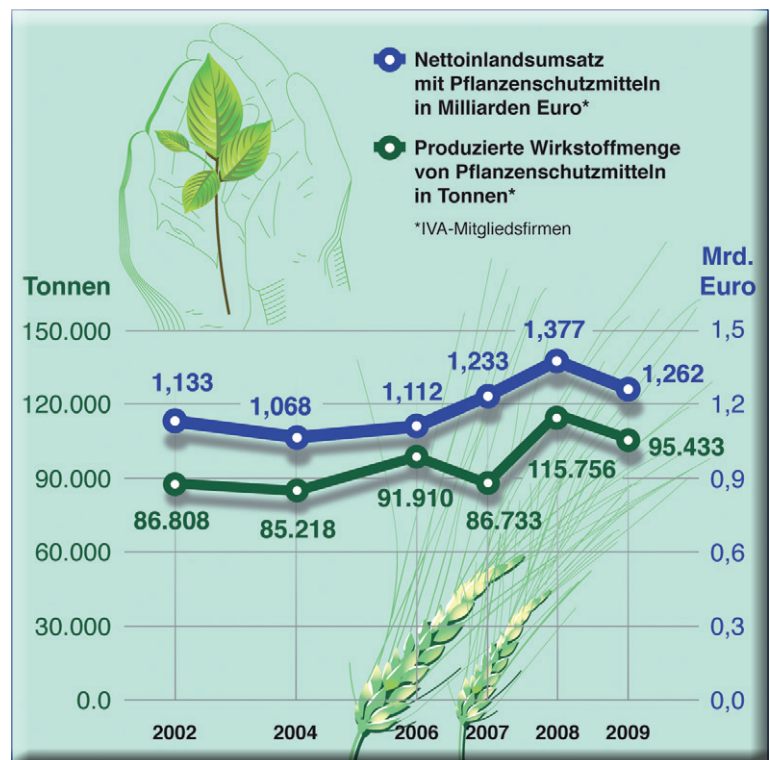
Dementsprechend sank der Umsatz von 3,991 Milliarden Euro im Rekordjahr 2008 auf 2,091 Milliarden Euro in 2009, was einem Rückgang von knapp 48 Prozent entspricht. Damit ist etwa wieder das Niveau des Jahres 2006, d. h. vor Beginn der Boomphase, erreicht. Der Exportumsatz ist weniger stark zurückgegangen als der Inlandsumsatz.

Der Stickstoffabsatz in der laufenden Düngesaison 2009/10 bis einschließlich März bewegt sich leicht über dem Vorjahresniveau. Nach den großen Verschiebungen der Marktanteile der verschiedenen N- Düngersorten im Vorjahr haben

sich mit Ausnahme der NPK-Dünger im Großen und Ganzen wieder die alten Relationen eingestellt. Harnstoff hat die im letzten Jahr preisbedingt auf Kosten von Kalkamonsalpeter (KAS) gewonnenen Marktanteile wieder verloren. Die KAS-Ablieferungen liegen bis Ende März leicht über dem mehrjährigen Mittel.

„Insgesamt kann in der laufenden Saison von einem Stickstoffverbrauch in Höhe von etwa 1,7 Millionen Tonnen N ausgegangen werden, was um rund 6 Prozent unter dem langjährigen Mittel von 1,8 Millionen Tonnen N liegt. Der Absatz von Phosphat- und Kalidüngern wird nach dem starken Rückgang in der vorherigen Düngesaison wieder spürbar anziehen. Damit langfristig keine Verarmung der Böden erfolgt, werden die unterlassenen Düngungsmaßnahmen mit Phosphat und Kali in der nächsten Saison sicherlich nachgeholt“, sagte Prof. Dr. Hermann Kuhlmann, Vorsitzender des Fachbereichs Pflanzenernährung im IVA.

Der Pflanzenschutzmarkt in Deutschland (Quelle: ogs/Industrieverband Agrar e.V. (IVA)).

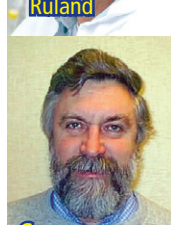


**BASF** **Dr. Kurt Bock** (51) wurde als Nachfolger von Dr. Jürgen Hambrecht zum neuen Vorstandsvorsitzenden der BASF gewählt. Kurt Bock ist seit 1985 in verschiedenen Funktionen bei der BASF tätig. Über die Nachfolgebesetzungen im Vorstand der BASF SE wird der Aufsichtsrat zu Beginn des Jahres 2011 entscheiden.

**ELEXOPHARM** Die ElexoPharm GmbH ernannte **Prof. Dr. Jürgen Engel** zum Vorsitzenden des Aufsichtsrats. Er wird ElexoPharm in allen strategischen Fragen beraten. Prof. Engel ist zur Zeit Präsident und CEO bei Aeterna Zentaris Inc. in Quebec City (Canada), in Warren (New Jersey/USA) und Frankfurt, sowie Honorarprofessor an den Universitäten Regensburg und Dresden.

**GfHF** Im Rahmen der 5. Jahrestagung in Hannover wählte die Gesellschaft für Hochschulforschung (GfHF) für die nächsten zwei Jahre **Prof. Dr. Margret Bülow-Schramm**, Diplom-Soziologin und habilitierte Erziehungswissenschaftlerin vom Zentrum für Hochschul- und Weiterbildung der Universität Hamburg, zur Vorstandsvorsitzenden. Der 2006 gegründeten Gesellschaft gehören über 200 Hochschulforscherinnen und -forscher an, darunter zur Hälfte Nachwuchskräfte.

**PANATECS** Der Wirtschaftsingenieur **Rainer Baule**, Mitglied des Vorstands der Fresenius SE und Vorsitzender des Vorstands der Fresenius Kabi AG, wurde in den Beirat der PANATECS GmbH berufen. Baule hatte seit 1979 verschiedene leitende Funktionen in Deutschland und den USA bei der Carl Zeiss Gruppe in Oberkochen inne, zuletzt als Unternehmensbereichsleiter und Mitglied der Zeiss Gruppenleitung. Baule wird seine Tätigkeit zusammen mit dem Vorsitzenden G. Steffen, ZFHN Zukunftsfonds Beteiligungs-GmbH, und dem stellvertretenden Vorsitzenden, Prof. Dr. G.A.Müller, Universitätsmedizin Göttingen ausüben.



## EHRUNGEN

Die European Molecular Biology Organization (EMBO) ehrte **Jason W. Chin** vom Medical Research Council's Laboratory of Molecular Biology (MRC-LMB) mit der **EMBO Gold Medal 2010**. Chin erhielt den mit 10 000 Euro dotierten Preis für seine Arbeiten zur Reprogrammierung des genetischen Codes mit Designer-Aminosäuren. Mit dieser Methode können Forscher die Funktion von Zellproteinen mit hoher Präzision charakterisieren und kontrollieren.

**Prof. Dr. Jürgen Ruland**, Leiter des Instituts für Molekulare Immunologie am Klinikum rechts der Isar der TU München, hat den mit 10 000 Euro dotierten **Wilhelm-Warner-Preis 2009** der gleichnamigen Stiftung erhalten. Ruland wurde für seine Forschungsarbeiten zur molekularen Pathogenese von malignen Lymphomen ausgezeichnet. Er konnte Mechanismen aufklären, die bei den MALT-Lymphomen das Wachstum der Tumorzellen fördern. Weiterhin gelang es ihm, wesentliche Überlebenssignale bei aggressiven Lymphomen zu unterbrechen.

Im Rahmen des Bionik-Wirtschaftsforums erhielten die Nachwuchswissenschaftler **Markus Hollermann** (26 J., Ankum) und **Felix Förster** (23 J., Berlin) für ihre Arbeit an der Hochschule Bremen den mit 10 000 Euro dotierten **„internationalen Bionic-Award 2010“**. Der Nachwuchspreis wurde zum zweiten Mal von der Schauenburg-Stiftung im Stifterverband für die deutsche Wissenschaft in Kooperation mit dem VDI Verein Deutscher Ingenieure und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) verliehen. Die beiden Forscher wurden für ihre Entwicklung bioinspirierter Befestigungssy-

steme ausgezeichnet. Sie nahmen sich die Zecke zum Vorbild, um einen Dübel zu entwickeln, der in der Wand noch stärker und effizienter befestigt werden kann.

Der **Emil von Behring-Preis 2010** geht an den Virologen **Prof. Dr. Hans-Dieter Klenk**, den langjährigen Leiter des Instituts für Virologie und Direktor des Zentrums für Hygiene und Mikrobiologie an der Philipps-Universität Marburg. Der Preis ist mit einem Preisgeld von 25 000 Euro verbunden, gestiftet vom Marburger Impfstoffhersteller Novartis-Behring. Klenk's Untersuchungen haben zu einem grundlegenden Verständnis der viralen Mechanismen geführt, die Entstehung und Verlauf von Influenzaerkrankungen beeinflussen.

**Dr. Sven Diederichs** (33), Leiter der Helmholtz-Hochschul-Gruppe „Molekulare RNA-Biologie und Krebs“, gewann den diesjährigen **„Karl-Freudenberg-Preis“** der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Diederichs, der am Deutschen Krebsforschungszentrum und dem Pathologischen Institut der Universität Heidelberg forscht, wurde mit dem Preis in Höhe von 6000 Euro für seine interdisziplinären Arbeiten über Ribonukleinsäuren (genauer: miRNAs) geehrt.

Der **Paul-Bunge-Preis** der Hans-R.-Jenemann-Stiftung wird seit 1993 jährlich für Arbeiten zur Geschichte wissenschaftlicher Instrumente verliehen, gestiftet von der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Deutschen Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie (DBG). In diesem Jahr wurde der Psychologe **Dr. Henning Schmidgen** (45) vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin mit dem Bunge-Preis ausgezeichnet. Die Stiftung würdigte damit seine Buchpublikation „Die Helmholtz-Kurven. Auf der Spur der verlorenen Zeit“ sowie seinen maßgeblichen Beitrag zur Einrichtung des Internetprojekts „Virtual Laboratory“.



Der Physiker **Prof. Dr. Vitalyi Gusev** wurde mit dem **Gay-Lussac Humboldt-Preis** der Alexander-von-Humboldt Stiftung ausgezeichnet. Der mit 60 000 Euro dotierte deutsch-französische Wissenschaftspreis würdigt Gusevs Lebenswerk im Bereich der Akustik und unterstreicht seine Mittlerrolle in der deutsch-französischen Zusammenarbeit. Verbunden mit dem Preis ist die Möglichkeit, ein Forschungsjahr im Partnerland zu verbringen. Vitalyi Gusev wird seinen Forschungsaufenthalt ab Juli 2010 an der Universität Konstanz am Fachbereich Physik verbringen. Gusev ist Professor an der Universität Maine/Le Mans und Mitglied des „Institut Universitaire de France“. Seine Forschungsgebiete sind photothermische/photoakustische Phänomene, Ultraschall im Pikosekunden-Bereich und nichtlineare akustische Phänomene. Bekannt wurde er als Verfasser des Standardlehrbuches in der Photoakustik.

Der Quantenphysiker **Markus Aspelmeyer** von der Universität Wien erhält den deutschen **Friedrich Wilhelm Bessel-Forschungspreis** der Alexander von Humboldt Stiftung. Er wird für seine wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der experimentellen Quantenoptik und Quanteninformation, insbesondere für seine Pionierarbeiten zur Quanten-Opto-Mechanik, ausgezeichnet. Der Friedrich Wilhelm Bessel-Forschungspreis wird jährlich von der deutschen Alexander von Humboldt-Stiftung an vielversprechende ForscherInnenpersönlichkeiten aus dem Ausland verliehen. Der mit 45 000 Euro dotierte Preis beinhaltet die Einladung, selbst gewählte Forschungsvorhaben in Deutschland in Kooperation mit FachkollegInnen durchzuführen. Die offizielle Verleihung der Friedrich Wilhelm Bessel-Forschungspreise findet im Juni im Rahmen der Jahrestagung der Alexander von Humboldt-Stiftung in Berlin statt. Insgesamt vergibt die Stiftung jährlich bis zu 25 der begehrten Auszeichnungen.

## Innovationen in der Lebensmitteltechnik

Um Lebensmittelwissenschaft und -industrie besser zu vernetzen und technologische Innovationen zu fördern, lobt das Exzellenznetzwerk „HighTech Europe“ den europäischen „Food Processing Implementation Award“ aus. Ziel der Auszeichnung ist es, für klein- und mittelständische Unternehmen in der Lebensmittelindustrie Anreize zu schaffen, innovatives Know-how zu übernehmen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Dabei werden Innovationen berücksichtigt, die aus den Bereichen Biotechnologie, Nanotechnologie sowie aus der Informations- und

Kommunikationstechnologie stammen und die für Verbesserungen der Lebensmittelqualität und von Verarbeitungsprozessen angewendet werden können. Insbesondere werden Neuerungen berücksichtigt, die aus fach- und branchenübergreifenden Bemühungen resultieren. Der Award wird alle zwei Jahre vergeben, das erste Mal während der EFFoST-EHEDG Konferenz in Dublin zwischen dem 10. und 12. November 2010. Bewerbungsschluss ist der **15. August 2010**. Weitere Informationen finden Sie auch unter [www.hightech-europe.de](http://www.hightech-europe.de).

## Forschung zur Senkung des Bluthochdrucks

Forschungsförderung im Bereich Bluthochdruck (Hypertonie) ist angesichts der hohen Prävalenz der Hypertonie und der stetig wachsenden Inzidenz dringend notwendig. In Deutschland sind 30 Millionen Menschen betroffen. Neue Strategien für Prävention und Therapie sind erforderlich. Mit der Auslobung der Wissenschaftspreise möchten die Deutsche Hochdruckliga e.V. DHL - Deutsche Hypertonie Gesellschaft und die Deutsche Hypertonie Stiftung (DHS) einen Anreiz für das Forschungsengagement im Bereich der Hypertensiologie schaffen und herausragende wissenschaftliche Leistungen honorieren. Die Bewerbungsfrist für die Preise endet am **27. Oktober 2010**: Der mit 10 000 Euro dotierte Franz-Gross-Wissenschaftspreis wird für

besondere Verdienste auf dem Gebiet der Hochdruckforschung verliehen. Die Verleihung erfolgt auf Beschluss des Vorstands. Eine Bewerbung ist für diesen Ehrenpreis nicht möglich. Der mit 7500 Euro dotierte Dieter Klaus-Förderpreis für die Hochdruckforschung zeichnet eine noch nicht veröffentlichte Arbeit auf dem Gebiet der experimentellen, der klinischen oder der epidemiologischen Hochdruckforschung aus. Bewerben können sich Wissenschaftler/innen aus Europa bis zum 40. Lebensjahr. Mit dem „Dr. Adalbert Buding“ Preis der „Stiftung zur finanziellen Förderung der Forschung auf dem Gebiet des Bluthochdrucks“ werden unveröffentlichte Arbeiten ausgezeichnet, die neue Erkenntnisse auf dem Gebiet des Bluthochdrucks zum Gegenstand haben.

## Nachwuchswissenschaftler in der Krebsforschung

Der mit 10 000 Euro dotierte Förderpreis der Walther und Christine Richtzenhain-Stiftung zeichnet richtungweisende Arbeiten auf dem Gebiet der translationalen Krebsforschung aus. Es werden wissenschaftliche Arbeiten aus Forschungsinstituten der Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt, die in den Jahren 2008/2009 veröffentlicht oder zur Veröffentli-

chung angenommen wurden. Der Schwerpunkt soll auf dem erfolgreichen Transfer von Forschungsergebnissen in klinische Anwendung liegen. Bevorzugt werden Bewerbungen von Nachwuchswissenschaftlern. Bewerbungen sind bis zum **30. Juni 2010** einzureichen. Weiteres unter [www.dkfz.de/de/presse/pressemitteilungen/2010/images/Richtzenhain.jpg](http://www.dkfz.de/de/presse/pressemitteilungen/2010/images/Richtzenhain.jpg).

# Mit Köpfchen und Reibfläche

## Microscale-Experimente mit Zündhölzern

Viktor Obendrauf, Graz

Zu den vielen kleinen – heute wie üblich völlig unbeachteten – chemisch-technischen Errungenschaften des Alltags zählt wohl auch die Möglichkeit, ohne nennenswerte Anstrengung Feuer machen zu können. Dabei liegen die Ursprünge, ohne Muskelkraft, ohne Feuerstein und Zunder oder andere aufwändige und teure Hilfsmittel zu einem wärmenden Feuer zu kommen, noch gar nicht so lange zurück. Verfolgt man die Entwicklung diverser Zündhilfen hin bis zu den heute gebräuchlichen Sicherheitszündern, so merkt man bald, dass das Thema Zünd- und Streichhölzer nicht nur aus chemie- oder kulturhistorischer Sicht recht ergiebig ist. Insbesondere für den Chemieunterricht bieten sich etliche Möglichkeiten, am Aufflammen eines gewöhnlichen Streichholzes chemische Gesetzmäßigkeiten und Kontexte an einem klassischen Produkt der täglichen Erlebniswelt der Lernenden zu diskutieren – solange nicht seitens der Behörden bzw. der Schulverwaltung aus „Sicherheitsgründen“ eine generelle Ächtung von rotem Phosphor und Kaliumchlorat (völlig unabhängig von der Dosis...) verordnet wird.

### Soziokultureller Prolog

Selbst Fächer verbindende (literarisch-ethische) Dimensionen tun sich auf: „Das kleine Mädchen mit den Schwefelhölzern“, das bekannte „Märchen“ von Hans Christian Andersen (dänischer Dichter, 1805 – 1875), wurde mehrfach künstlerisch bearbeitet. Unter anderem diente Andersens gesellschaftskritische Erzählung auch als Vorlage für ein Lied des Komponisten Victor Holländer (1866 – 1940):

#### 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.



Die halbe kalte Sylvesternacht,  
Hat draußen ein Mägdelein zugebracht,  
Muß hungrig, müd' auf der Straße stehn.  
Kein einz'ges Holz hat verkauft sie heut,  
Grausam eilten vorbei die Leut;  
Vor Angst wagt sie nicht nach Hause zu gehn.  
Aus allen Fenstern strahlt Lichterglanz  
In der Neujahrsnacht,  
Köstliche Düfte erfüllen ganz ihren Sinn  
Mit Zaubermacht.  
Ein Schwefelhölzchen schnell,  
Das wärmt mich auf der Stell.  
Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
Warm und hell ist es anzusehn,  
Die Flamme wächst immer höher an.  
Wie ich daran mich doch wärmen kann.  
Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
Warm und hell ist es anzusehn,  
Doch plötzlich das leuchtende Feuer verschwand,  
Das Hölzchen war ausgebrannt.

Ein zweites Hölzchen nahm sie zur Hand,  
Strich es an der Mauerwand,  
Da brannt's wie Gas und wie Kerzenschein.  
Die Mauer schien wie ein Flor so weich,  
Ach, ihr schien's wie im Märchenreich,  
Voll Neugier steckt sie das Köpfchen hinein.  
Die Kleine schaut in ein Zimmerlein  
In der Neujahrsnacht,  
Drinne stand wohl ein Tisch gar fein  
Voll der wunderschönen Pracht;  
Gedeckt ganz blendend weiß,  
Voll Gänsebraten und Speis:  
Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
Warm und hell ist es anzusehn,  
Die Gans mit Messer und Gabel drin  
Watschelt direkt zum Mädchen hin.  
Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
Warm und hell ist es anzusehn,  
Doch plötzlich die Gans und das Feuer verschwand,  
Das Hölzchen war ausgebrannt.

Das dritte Hölzchen, noch brannt es kaum,  
Da saß sie unterm Weihnachtsbaum,  
Der strahlte hell unterm Kerzenschein.

Die Sternlein schimmern am Himmelstor,  
 Sieh, im Glanze steht mild davor  
 Und freundlich ihr liebes Großmütterlein.  
 Großmütterlein, nimm mich auf zu dir  
 In der Neujahrsnacht,  
 All meine Hölzchen verbrenn ich hier,  
 Sieh die goldne Lichterpracht.  
 Mein liebes Großmütterlein,  
 Führ mich zum Himmel hinein.  
 Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
 Warm und hell ist es anzusehn,  
 Großmütterchen nahm sie in ihren Arm,  
 O wie war ihr so wohl und so warm.  
 Ritsch, ritsch, wie brennt es so schön,  
 Warm und hell ist es anzusehn,  
 Verschwunden der Hunger, die Kälte und Not,  
 Am Neujahrstag fand man sie tot.

Tatsächlich lässt sich gerade an der Entwicklung der Zündholzfabrikation das trostlose Schicksal vieler Arbeiterfamilien im 19. Jahrhundert mitverfolgen. Vor allem in ihren Anfängen war die Erzeugung von Zündhölzern mit sehr viel Handarbeit verbunden. Traurige Fakten dazu finden sich z. B. in [1].

Wenn man die noch verbliebenen Standorte von bedeutenden Zündholz-Produzenten (Indien, Pakistan, China...) auflistet, wird man das beklemmende Gefühl nicht los, dass insbesondere das schändliche Elend der Kinderarbeit einfach in „abgelegene“ Teile unserer heilen Welt verlagert wurde. Trotz der Automatisierung der Produktion waren zumindest bis vor wenigen Jahren in Südindien noch mehr als 200 000 Arbeiter mit der Erzeugung von handgemachten Streichhölzern beschäftigt [2]. Und es gibt eine Reihe von Hinweisen, dass dabei auch Kinder zwischen 7 und 14 ganztägig Schwerstarbeit leisten [3, 4, 5].

### Hölzchen mit Geschichte

In Hans Christian Andersens Text ist von *Schwefelhölzern* die Rede, die sich offensichtlich an jeder rauhen Reibfläche entzündet haben. Tatsächlich gab es solche Überallzünder (strike anywhere matches) auch schon bevor der toxikologisch und sicherheitstechnisch äußerst problematische weiße Phosphor in diversen Zündholzköpfchen verarbeitet wurde.

Unterschiedliche Rezepturen bei den Zündmassen in den Zündholzköpfchen, verschiedene Bezeichnungen (Schwefelhölzer, Phosphorhölzer, Chlorathölzer, Reibhölzer, Tunkhölzer, Schwedenhölzer...) und parallele Entwicklungen in diversen Ländern führten dazu, dass in der Literatur (z.B. [6-8]) teilweise divergierende Hinweise zu finden sind, wer nun wo welchen Typ an Zündhölzern zuerst erfunden oder am Markt eingeführt hat bzw. wer nun als eigentlicher „Erfinder“ der heute gängigen Zündhölzer anzusehen ist.

„Zündhölzer“ im weiteren Sinne waren bereits im antiken Rom bekannt. Es handelte sich um dünne Holzstäbchen, dessen Ende in flüssigen Schwefel getaucht worden war. Diese Hölzchen entzündeten sich nicht selbst sondern nur an heißen Flächen (z. B. heißen Schürhaken, glühende Asche etc.). Noch im 18. Jahrhundert gab es in den meisten Küchen eine Schachtel mit derartigen „Schwefelhölzern“, um ein fast erloschenes Feuer wieder anzufachen.

Die Geschichte der selbstentzündlichen Streichhölzer begann jedoch erst nach der Entdeckung des weißen Phosphors durch Henning Brand um 1670. Bereits Robert Boyle entzündete in Schwefel getränkte Hölzchen mit weißem Phosphor [2]; beschrieben hat diese Methode Boyle's Schüler und Assistent Hanckwitz im Jahre 1680 [2, 9]. Selbst nachdem Scheele im Jahr 1774 eine praktikable Möglichkeit gefunden hatte, weißen Phosphor aus Knochen herzustellen, fanden derartige Zündhilfen nur bei sehr betuchten Zeitgenossen einige Verbreitung. So gab es im Jahr 1786 in Paris und London (in Italien erfundene) „Schwefelhölzchen“ zu kaufen, die sich entzündeten, nachdem man diese Hölzchen an weißem Phosphor und anschließend an einem Korkstopfen gerieben hatte. Der Korkstopfen gehörte zu einem Fläschchen, an dessen Innenwand der weiße Phosphor aufgebracht war [10].

Mit der Entdeckung des Kaliumchlorats durch Berthollet um 1786 begann die Entwicklung der Chlorathölzer. Bei den „Tunkhölzern“ nutzte man die Tatsache, dass sich eine Mischung aus Kaliumchlorat, Zucker, Schwefel und Gummi arabicum in Kontakt mit konz. Schwefelsäure entzündete (Jean Louis Chancel's Tunkfeuerzeuge, *briquets oxygènes*, 1805). In einer Berliner Fabrik waren im Jahr 1825 immerhin 400 Arbeiter damit beschäftigt, derartige Chlorathölzer mit der Markenbezeichnung „Eupyrion Feuerstoffe“ herzustellen. Auch die „Prometheus-Hölzer“ von Samuel Jones, die 1829 erstmals in London angeboten wurden, funktionierten nach dem gleichen Prinzip: Eine kleine, ca. 1 cm lange hermetisch verschlossene Glasampulle mit konz. Schwefelsäure war mit Papier umwickelt, das an einem Ende mit Kaliumchlorat, Schwefel und Zucker imprägniert war. Wurde das Glasröhrchen mit einer Zange zerdrückt, kam die Säure mit der Imprägnierung in Kontakt und das Papier entzündete sich [1].

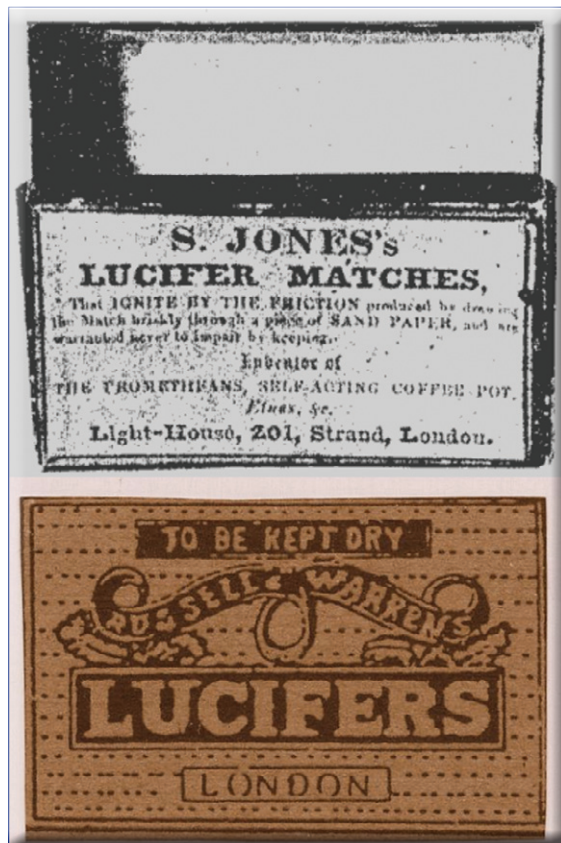
Die ersten (noch phosphorfreien) Streichhölzer im heutigen Sinn entwickelte der englische Apotheker John Walker im Jahr 1826. Bei der Herstellung einer Zündmasse für Munitions-Zündhütchen tropfte versehentlich eine Mischung aus 50% Antimonsulfid und Kaliumchlorat auf den Boden. Walker, der auch die bislang üblichen Chlorat-Tunkhölzer herstellte, untersuchte die eingetrocknete Mischung näher und stellte fest, dass sich die Masse durch Reiben an einer rauhen Oberfläche entzündete und so als Zündholzköpfchen fungieren konnte. Die von Walker konzipierten Streichhölzer wurden von Michael

Faraday in seinen berühmten Vorlesungen im Jahr 1828 vorgestellt. Ein Jahr später wurden diese Hölzer von Samuel Jones, der wahrscheinlich Faraday's Vorlesung miterleben durfte, als „Lucifers“ auf den Markt gebracht (Abbildung 1). Der Name „Lucifers“ wurde bald für alle selbstentzündlichen Hölzchen verwendet.

Anfänglich bestanden die Lucifer-Köpfchen aus gleichen Mengen an Kaliumchlorat, Antimonsulfid und Leim. Diese originalen „Lucifers“ hatten jedoch einen gravierenden Nachteil: Beim Entzünden der Köpfchen zerfielen diese nicht selten sofort in brennende Fragmente, das Hölzchen selbst jedoch fing nicht Feuer.

Um die Übertragung der Flamme auf das Hölzchen zu verbessern, wurden die Hölzchen bald mit Schwefel getränkt („Watt's Chlorate Lucifer Matches“). Eine typische Zusammensetzung der Köpfchen dieser ersten, auf intensiver Reibung basierenden Streichhölzer findet man in [2]: 24,6% Antimonsulfid, 27,6% Kaliumchlorat, 6,5% Schwefel, 5,6% Eisen(III)oxid, 35,7% Gummi arabicum. Die für das Entzünden der Köpfchen notwendige Reibungswärme wurde z. B. dadurch erzeugt, indem man die präparierten Holzspäne rasch durch ein zusammengefaltetes Stückchen Glas- oder Sandpapier zog [11].

Abbildung 1: „Lucifers“ – ein Name für alle selbstentzündlichen Hölzchen (Quelle: <http://www.eastern-trading-post.de/streichhoelzerluziferspreisroschachtel-p-351.html>).



Die Zündung erfolgte aufgrund der Zusammensetzung stets mit einem kleinen Knall.

1831 warben die damaligen Streichholzproduzenten (Samuel Jones, G.F. Watt und einige kleinere Mitbewerber) in den Londoner Tageszeitungen erbittert um die Gunst der Käufer, was die Nachfrage nach den praktischen Hölzchen enorm steigerte. Schließlich schlossen sich Jones und Watt mit Richard Bell zur bekannten Firma Bell Match Co. zusammen und begannen mit der Streichholzproduktion im großen Maßstab. Die bis dahin verwendeten Holzspäne wurden durch robustere Stäbchen ersetzt, so dass man die von Bell Match Co. schließlich blau gefärbten Köpfchen an allen möglichen rauhen Flächen anreiben konnte (anywhere strike matches). Die Marke Blue Bell sollte sich tatsächlich 150 Jahre lang am Markt halten.

Die erstmalige Verwendung von phosphorhaltigen Zündholzköpfchen scheint unklar [1].

Nach einigen offensichtlich wenig erfolgreichen Versuchen im frühen 19. Jahrhundert, mit Phosphor imprägnierte und trotzdem lagerfähige Schwefelhölzer herzustellen, verarbeitete wahrscheinlich Charles Sauria, Chemiestudent in Frankreich, im Jahr 1830 erstmals weißen Phosphor (Abbildung 2) in den Reibholzköpfchen.[1,2]. Sauria's Zündmasse bestand ursprünglich aus Schwefel, Antimonsulfid, Kaliumchlorat, Phosphor und Gummi arabicum. Das Rezept wurde nicht patentiert, sodass sich bald weitere „Erfinder“ einstellten: In [11] liest man, dass Joh. Friedrich Kammerer im Jahre 1832 seine ersten Streichhölzer mit phosphorhaltiger blauer Zündmasse vorgestellt hat. Nach [1] soll Jakob F. Kammerer im Jahr 1833 mit einer eigenen Phosphorzündholz-Produktion begonnen haben. In [6] findet man den Hinweis, dass J. F. Kammerer im Jahr 1834 in Ludwigsburg eine Fabrik zur industriellen Erzeugung von Phosphorhölzern errichtet hat. Im gleichen Jahr (1834) ließen Stephan Römer gemeinsam mit J. Siegel in Wien ein Phosphorzündholz patentieren [1]. Nach [11] wurden die Zündhölzer von den Wiener Fabrikanten Römer, Sigl und Preshel schon 1833 in den Handel gebracht.

Wenn man den Angaben in [1] Glauben schenkt, soll Österreich angeblich stolz auf die älteste Streichholzfabrik der Welt sein. Gemeint ist die Gründung einer Fabrik in der „Zündholzstadt“ Schüttenhofen, dem heutigen Sušice. Die lokale Geschichtsschreibung in dieser nun zu Tschechien gehörigen Stadt besagt jedoch, dass Vojtech Scheinost in Schüttenhofen erst 1839 mit der fabrikmäßigen Erzeugung von Zündhölzern begonnen hat.

Unabhängig von den bisher genannten Produzenten wird im Zusammenhang mit der Erfindung der ersten Phosphorhölzer in der Literatur immer wieder der ungarische Student B. Irinyi genannt, der seine Erfindung im Jahr 1836 vorgestellt haben soll [1]. Im gleichen Jahr wurde auch das erste einschlägige Patent in Amerika erteilt.

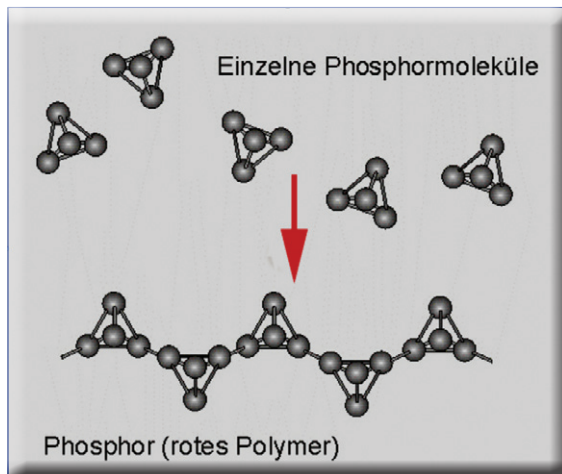


Abbildung 2: Struktur von weißem Phosphor  $P_4$  (Bindungswinkel  $60^\circ$ ); Struktur von rotem Phosphor (Ausschnitt; die Struktur ist noch zusätzlich in Ebenen vernetzt).

Nach einem englischen Pionier der Raketentechnik (William Congreve) wurde die neue – wie sich bald herausstellen sollte – sehr problematische Generation an Zündhölzern Congreve-Hölzer genannt. Der Name „Lucifers“ hielt sich jedoch auch hartnäckig für die Phosphorhölzer. Die Zündmasse eines typischen Congreve-Holzes enthielt 20 % weißen Phosphor (!), 15 % Schwefel, 30 % Kaliumchlorat, 10 % Kreide und 25 % Klebstoff [1]. Während sich die Kaliumchlorat/Antimonsulfid-Zündhölzer meist nur durch intensive Reibung zwischen gefaltetem Sandpapier entzünden ließen, konnten die Phosphorzünder als echte „Überallzünder“ fast an jeder rauhen Fläche entflammt werden. Es gibt Berichte, denen zufolge die ersten Phosphorzündhölzer bereits beim Schütteln der Schachtel Feuer fingen. Häuser brannten ab, weil eine Streichholzschachtel auf der Fensterbank durch Sonneneinstrahlung in Flammen aufging. B. Irinyi empfahl 1836 die Zugabe von Bleidioxid zur Zündmasse, um die phosphorhaltigen Köpfchen weniger sensitiv zu machen. Der relativ große Anteil an Klebstoff in der Zündmasse war verantwortlich dafür, dass der weiße Phosphor in der Mischung gegen eine Oxidation durch Luftsauerstoff einigermaßen geschützt vorlag. Leider blieb damit auch in gealterten Hölzchen die potentielle Toxizität des weißen Phosphors erhalten. Immer wieder starben Kinder, die an den Hölzchen lutschten.

Mit derartigen Mengen an weißem Phosphor in handelsüblichen Streichhölzern war natürlich auch dem Missbrauch (Giftmorde, Abtreibungen) Tür und Tor geöffnet. Bis sich herumgesprochen hatte, dass selbst geringe Mengen Phosphor in den Opfern einfach nachzuweisen sind.

1837 ersetzte der Wiener Fabrikant Preshel das Kaliumchlorat durch Bleidioxid. Ab 1840 wurde ein billigeres Gemenge aus Bleidioxid, Bleinitrat und Mennige verwendet. Böttger fand eine noch kostengünstigere Komposition aus 9 Teilen Phosphor, 14 Teilen Salpeter, 16 Teilen Braunstein und 16 Teilen

arabischen Gummi. Die Preshelsche bzw. Böttgersche Zündmasse (ohne Kaliumchlorat) soll der Zündwarenfabrikation zu einem gewaltigen Aufschwung verholfen haben [11].

Schon 1839 verwendete Moldenhauer in seiner Fabrik in Darmstadt anstelle des nicht gerade billigen Gummi arabicum normalen Leim, wodurch die Fabrikate nicht nur billiger, sondern auch beständiger gegen Feuchtigkeit wurden. Moldenhauers Zündmasse bestand aus 1 Teil Phosphor, 2 Teilen Salpeter, 0,5 Teilen Antimonsulfid, 2 Teilen Leim, etwas gebranntem Magnesiumoxid und Eisenoxid. Preshel nahm 1843 als Ersatz für Gummi arabicum nicht Leim sondern Dextrin. Ab 1840 wurden die Köpfchen in der Preshelschen Fabrik zum Schutz gegen Feuchtigkeit mit Harzfirnis überzogen, wodurch auch der unangenehme Geruch nach Phosphor (!) beseitigt werden konnte [11].

Um die Hölzchen selbst leichter entflammbar zu machen, wurden diese erhitzt und in verflüssigtes Paraffin getaucht, das sich auf diese Weise gut ins Holz saugen konnte. Eine Imprägnierung mit Ammoniumdihydrogenphosphat machte die Anwendung sicherer, weil dadurch das unerwünschte Nachglimmen des organischen Materials verhindert werden konnte. Auch heute noch sind die Hölzchen (häufig aus dem Stamm der Zitterpappel gewonnen) auf diese Weise konditioniert.

Im Lauf der Zeit erkannte man, dass der weiße Phosphor im Köpfchen besser nicht als Brennstoff, sondern nur als Zündstoff fungieren sollte und dafür eigentlich schon geringe Mengen an Phosphor reichten. Trotzdem waren die Gefahren infolge der großen akuten und chronischen Toxizität des weißen Phosphors nicht gebannt.

Vor allem die gravierenden gesundheitlichen Probleme, mit denen die Arbeiter(innen) in den Zündholzfabriken durch die Verarbeitung des sehr giftigen weißen Phosphors konfrontiert waren, brachten die Phosphorhölzchen immer mehr in Verruf. Insbesondere die „Eintaucher“, die die Hölzchen in die geschmolzene Zündmasse tauchen mussten, waren davon betroffen. In schlecht belüfteten Fabriken fand man in 100 Liter Raumluft bis zu 0,12 mg an flüchtigem, elementarem Phosphor [1]. Die Leidensgeschichten über äußerst schmerzhaftes Phosphornekrosen des Kieferknochens („phossy jaw“) und die latente Gefahr der Selbstentzündung der Zündhölzer führten schließlich dazu, dass die Erzeugung der phosphorhaltigen Überallzünder sukzessive verboten wurde (in Finnland im Jahr 1872, Dänemark 1874, Schweden 1879, Schweiz 1881, Frankreich 1897, Holland 1901). In Deutschland wurde 1903 ein Gesetz verabschiedet, das die Produktion von Zündwaren mit weißem Phosphor ab 1907 und deren Verkauf ab 1908 untersagte [1]. Im Berner Abkommen (1906) verpflichteten sich die meisten Länder der Welt, die Erzeugung bzw. den Verkauf von Phosphorhölzern zu verbieten, ob-



Abbildung 3: Zündholzschachtel aus Jönköping (Quelle: [http://www.tradera.com/Sakerhetstandstickor-Jonkoping-auktion\\_107454063#pic](http://www.tradera.com/Sakerhetstandstickor-Jonkoping-auktion_107454063#pic)).

wohl die Phosphornekrose durch entsprechende Vorsichtsmaßnahmen in den Zündholzfabriken an Bedeutung verlor. In den USA bewirkte man 1913 mit einer hohen Besteuerung die Stilllegung der einschlägigen Produktion. Indien und Japan setzten das Berner Abkommen erst 1919 um. China schloss sich bezeichnenderweise erst im Jahr 1925 an.

Die Geschichte der heutigen Sicherheitszündhölzer begann eigentlich mit einem Rezept zur Gewinnung von einigermaßen sauberem roten Phosphor durch den Direktor der österreichischen Münzanstalt Anton von Schrötter im Jahr 1848 [2, 9]. Schrötter erhielt roten Phosphor durch mehrtägiges Erhitzen von weißem Phosphor unter Luftabschluss; ähnlich wird roter Phosphor auch heute noch bei 270 bis 300°C im technischen Maßstab hergestellt [14] (Molekulares Geschehen s. Abbildung 2).

Abbildung 4: Handelsübliche Überallzündhölzer, deren Zündholzköpfchen u.a. das ungiftige Tetraphosphortrisulfid enthalten.



Roter amorpher Phosphor (Abbildung 2), eine der ungiftigen, allotropen Formen des weißen Phosphors, musste schon vor 1848 zumindest in geringen Mengen verfügbar gewesen sein. Denn die Literatur [2,6,9] ist sich ziemlich einig, dass der Stockholmer Chemieprofessor und Schüler von Berzelius, Gustav Erik Pasch erstmals bereits im Jahr 1844 beschrieben hat, wie Zündholzköpfchen mit einer reaktionsträge ausgelegten Chlorat/Antimonsulfid-Mischung nur mehr an einer mit rotem Phosphor präparierten Reibfläche entzündet werden können. In [11] wird die Erfindung dieser Sicherheitszünder ins Jahr 1848 verlegt und Böttger zugeschrieben.

Die erste Fabrik, die derartige Sicherheitszünder herstellte, war J. Bagge in Stockholm. Die noch stark schwankende Qualität des roten Phosphors machte das Produkt jedoch nicht wirklich anwendungssicher. Erst als 1849 Arthur Albright in Birmingham einen Vortrag von Schrötter hörte und das Verfahren zur Herstellung von rotem Phosphor nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit weiter perfektionierte, konnten von der Firma Albright&Wilson die ersten einigermaßen funktionssicheren Sicherheitszünder auf der Weltausstellung 1851 in London vorgestellt werden [6]. Die Gebrüder Lundström in Jönköping (Swedish Match Company), die ebenfalls den roten Phosphor aus der Albright&Wilson'schen Produktion verarbeiteten, konnten erstmals auch einen kommerziellen Erfolg mit der neuen Generation an Zündern (Schwedenhölzer) für sich buchen (Abbildung 3). 1858 erwarb die Firma Bryant&May die britische Lizenz für diese Sicherheitszünder. Die Nachfrage hielt sich aber sehr in Grenzen, weil die Bevölkerung weltweit noch immer die phosphorhaltigen Überallzünder bevorzugte.

Obwohl die Erzeugung bzw. Verwendung der gefährlicheren Phosphorhölzer ab 1872 (siehe oben) von immer mehr Ländern untersagt wurde, folgten auch Bryant&May den Gesetzen von Angebot und Nachfrage und stellten ab 1880 neben den Sicherheitshölzern wieder vorwiegend Phosphorhölzer her. So verkaufte die englische Firma zu Beginn des 20. Jahrhunderts jährlich 60 Milliarden Streichhölzer, wobei sechs Mal so viele phosphorhaltige Überallzünder als Sicherheitszünder ihre Abnehmer fanden [1].

Der Ausstieg aus der Phosphorhölzer-Produktion wurde schließlich durch die Erfindung einer neuen Generation von Überallzündern doch etwas erleichtert und beschleunigt: Die französischen Chemiker Henri Savène und Emil Davin Cahen hatten im Jahr 1898 die so genannten Sesquisulfid-Hölzer entwickelt, wobei als Ersatz für den weißen Phosphor leicht entzündliches aber ungiftiges Phosphorsesquisulfid (Tetraphosphortrisulfid  $P_4S_3$ ) verwendet wird (Abbildung 4). Diese Verbindung, die aus rotem Phosphor bzw. Schwefel durch Zusammenschmelzen der Elemente unter Schutzgas auch im Schulversuch herstellbar ist [12], hat einen Schmelzpunkt von 173°C [9].



Abbildung 5: Durch das Bindemittel Gelatine erhalten die Köpfchen die typisch schaumige Konsistenz.

Eine Rezeptur zur Herstellung der Zündköpfchenmasse für die Sesquisulfid-Hölzchen findet sich in [10]: 20% Kaliumchlorat, 9% Tetraphosphortrisulfid, 14% Glaspulver, 11% Eisen(III)oxid (Abbildung 6), 7% Zinkoxid, 10% Leim, 29% Wasser.

Käuflich kann man heute derartige „strike-anywhere matches“ praktisch nur mehr in outdoor- und adventure-stores [13] erwerben.

### Für Köpfchen und Reibfläche

Als primärer Sauerstoffspender in den Köpfchen von Sicherheitszündern hat sich Kaliumchlorat am besten bewährt (Abbildung 7), wobei für die brennbaren Komponenten des Köpfchens zumindest 15% an überschüssigem Oxidationsmittel einkalkuliert sind, um eine sichere Funktion zu gewährleisten [2]. Typische Zusammensetzungen von Zündholzköpfchen (ohne Spurenkomponenten) sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Abbildung 6: Schwarze und braune Köpfchen enthalten Eisen(III)oxid, das beim Abbrand teilweise zu magnetisierbarem  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Magnetit) reagiert. Mit einem starken Nd-Magnet lässt sich diese Magnetisierbarkeit gut nachweisen. Mit anders gefärbten (z.B. roten) Zündholzköpfchen gelingt das Experiment nicht. (WORBS M.: Du, Papa, warum sind Streichhölzer magnetisch? PdN-PhiS 4/58 (2009), Seiten 45-46).



Die charakteristischen Eigenschaften des Bindemittels (techn. Gelatine) spielen in der Herstellung und Funktion der Zündhölzer eine entscheidende Rolle. Einerseits erhält die Zündmasse durch eine gezielte Konditionierung des Bindemittels nach dem maschinellen Tauchvorgang beim Trocknen ihre passende Form. Andererseits bekommt die Masse durch die Gelatine eine gezielt zu steuernde, schaumige Konsistenz (Abbildung 5). Die daraus resultierenden winzigen Bläschen im fertigen Zündholzköpfchen sind mit entscheidend für die richtige Ausbreitungsgeschwindigkeit des Abbrandes. Der Gehalt an Zinkoxid beeinflusst ebenfalls die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Reaktionszone im aufflammenden Köpfchen, wobei auch die Partikelgröße dieser Komponente eine Steuerfunktion besitzt.

Das in geringer Menge häufig enthaltene Kaliumdichromat ist selbst ein kräftiges Oxidationsmittel; vor allem senkt es aber die Zersetzungstemperatur von Kaliumchlorat. Wahrscheinlich ist das Chromat auch an einer komplexen Vernetzungsreaktion des Bindemittels beteiligt, wodurch die Köpfchen unempfindlicher gegen Feuchtigkeit und in erster Näherung wasserunlöslich werden. Mangandioxid (in dunkel gefärbten Köpfchen) senkt wie Chromat als Katalysator die Zersetzungstemperatur von Kaliumchlorat.

Mit hochporösem Kieselgur wird die gewünschte Dichte der Zündmasse eingestellt. Außerdem können an der riesigen Oberfläche dieser Komponente diverse Abbrandprodukte adsorbiert werden. Das Glaspulver bindet die als erhärtete Schmelze vorliegenden Komponenten und sorgt für entsprechende Reibung beim Anreiben.

Die Reibfläche von Sicherheitszündern enthält häufig ebenfalls Glaspulver. Die wichtigste Komponente in der Reibfläche ist jedoch roter Phosphor, der häufig mit Tonerde chemisch stabilisiert ist. Als

Tabelle 1 [2]: Typische Zusammensetzungen von Zündholzköpfchen (ohne Spurenkomponenten).

| Komponente<br>(Massen %) | Farbe des Köpfchens |       |        |
|--------------------------|---------------------|-------|--------|
|                          | schwarz             | braun | andere |
| Kaliumchlorat            | 52,0                | 52,0  | 53,5   |
| Schwefel                 | 4,0                 | 4,0   | 5,0    |
| Kaliumdichromat          | 1,0                 | 1,0   | 1,0    |
| Techn. Gelatine          | 10,0                | 10,0  | 10,0   |
| Zinkoxid                 | 4,5                 | 4,5   | 6,0    |
| Eisen(III)oxid           | 4,0                 | 5,0   |        |
| Mangandioxid             | 4,0                 | 4,0   |        |
| Glaspulver               | 16,7                | 15,8  | 20,3   |
| Kieselgur                | 3,5                 | 3,5   | 3,5    |
| Kohlenstoff              | 0,1                 |       |        |



Abbildung 7: Beim elektronischen „Einfrieren“ des Aufflammens lässt sich der hohe K-Gehalt (über 50% Kaliumchlorat siehe Tabelle 1) an der teilweisen violetten Flamme gut erkennen.

Bindemittel für dieses Gemisch kann technische Gelatine verwendet werden, wobei neuere Techniken zum Aufdrucken der Reibfläche auf spezielle Kunstharze angewiesen sind [2].

### Wie die Köpfchen zünden

Der Zündvorgang beim Anreiben von Sicherheitszündhölzern an der Reibfläche (mit rotem Phosphor) wird in mehreren chemiedidaktischen Publikationen ([6] S. 168) damit begründet, dass sich durch die Reibungswärme geringe Mengen an rotem Phosphor in weißen Phosphor umwandeln, was auch durch ein typisches Phosphorglühen an der Luft (Chemolumineszenz) zu erkennen sei [6]. Dieser Vorgang soll zusammen mit der Erwärmung beim Reiben die weitere Oxidation auslösen, wodurch die notwendige Zündenergie für die Entzündung des Köpfchens freigesetzt wird.

Mehrere zum Teil erst kürzlich erschienene Experimentalbücher ([16] S. 255; [17] S. 149) bieten dazu auch einen Freihandversuch mit Streichhölzern und Streichholzschachtel an: Man streicht im völlig verdunkelten Raum mit einem Zündholz locker über die Reibfläche einer Zündholzschachtel, so dass das Köpfchen gerade nicht entflammt. Dabei sollte man auf der Reibfläche die typische Chemolumineszenz sehen, die durch an der Luft oxidierenden weißen Phosphor zustandekommt. Der Verfasser dieses Beitrages konnte unter den beschriebenen Umständen dieses (kalte) Nachleuchten selbst bei völliger Dunkelheit auch nach der in [16] vorgeschlagenen fünfminütigen Adaptionsphase der Augen nicht beobachten. Selbst heftigstes Reiben mit zusammengefaltetem Schleifpapier führte auf der Reibfläche zu keiner Chemolumineszenz. Offensichtlich reicht die Reibungswärme allein unter diesen Bedingungen nicht aus, um den roten Phosphor zu depolymerisieren und in weißen Phosphor umzuwandeln. Nur bei sanftem Reiben mit dem chlorathaltigen Zündholz-

Köpfchen sind winzige Funken (!) zu sehen, die jedoch mit dem kalten Leuchten von weißem Phosphor nicht ident sind.

Nach [14] erfolgt die Umwandlung von weißem Phosphor in roten amorphen Phosphor durch Lichtquanten bzw. durch Erhitzen auf ca. 300°C. Die reversible Zersetzung von hoch komplexen roten Phosphor (amorph) in monomolekularen weißen Phosphor geschieht am Schmelzpunkt – unter Ausschluss von Luftsauerstoff – bei etwa 600°C ([14] S. 619). Beim leichten Anreiben der Reibfläche dürfte diese Temperatur rein physikalisch wohl nicht erreicht werden.

Kurzfristig erfolgreicher bei der Depolymerisation von rotem Phosphor auf Zündholzschachteln durch bloße Reibungswärme war der Verfasser dieses Beitrags nur mit wesentlich drastischeren Mitteln, nämlich mit einer bei voller Drehzahl betriebenen elektrischen Feile (siehe Abschnitt *Experimente*). Nur unter diesen Bedingungen konnte neben bereits auftretenden kleinen Funken von verbrennendem Phosphor (Entzündungstemperatur von rotem Phosphor = ca. 260°C) auch ein deutliches, kaltes Nachleuchten (Chemolumineszenz) beobachtet werden. Zusätzlich macht sich dabei auch der charakteristische Geruch nach den Folgeprodukten von monomolekularem Phosphor an (feuchter) Luft bemerkbar.

Tatsächlich gibt es in der chemiedidaktischen Literatur auch eine Reihe von Beispielen, wo durch starkes Erhitzen einer abgeschabten Reibflächenprobe in einem Reagenzglas weißer Phosphor generiert wird, der dann im Dunkeln bei Luftzutritt am kalten Licht der Chemolumineszenz erkannt werden kann ([16] S. 255, [18] S. 166, [19] S. 293). Zur Depolymerisation von reinem rotem Phosphor zu weißem Phosphor unter drastischen Bedingungen in einem Reagenzglas mittels Bunsenbrenner siehe auch: [31] S. 102.

Offensichtlich kann der Start des Zündvorganges beim Anreiben eines Sicherheitszündholzes nicht ausschließlich mit der reibungsbedingten Bildung von weißem Phosphor erklärt werden. Tatsächlich wird die Zündung z. B. in [2] als komplexes physikalisches und chemisches Phänomen bezeichnet, wobei die innige Koexistenz von Kaliumchlorat und rotem Phosphor in der Startphase der Festkörperreaktion unverzichtbar ist. In einem ersten Schritt reagiert roter Phosphor und Kaliumchlorat unter Freisetzung von Wärme (siehe analoge Erklärungen bei [9], [19] S. 293, [20] S. 125, [21] S. 431, [25] S. 65). Dass trockener, roter Phosphor in Kontakt mit Kaliumchlorat bereits bei einer sehr geringen Dosis an Reibungswärme reagieren kann, lässt sich zwischen zwei Fingern demonstrieren (siehe „feuriges Fingerschnippen“ [26] bzw. Abschnitt *Experimente*). Als auslösende Faktoren werden neben katalytischen Effekten Druck und eine punktuell hohe Reibungswärme (transient hot spots) diskutiert [7].



Bei der primären Reaktion entsteht unter anderem Tetraphosphordecaoxid  $P_4O_{10}$  (weiße Rauchspuren) mit einer unvergleichlich hohen Bildungsenthalpie, die mit der Bildung der sehr starken Einfach- und Doppelbindungen zwischen Phosphor und Sauerstoff im  $P_4O_{10}$  erklärbar ist. Die Bildungsenthalpie von  $P_4O_{10}$  aus rotem Phosphor und Sauerstoff beträgt:

$$\Delta H_f(P_4H_{10}) = -2.984 \text{ kJ/Mol};$$

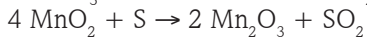
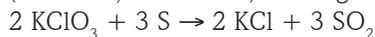
$$(\Delta H_f(P_{\text{rot}}) = -18 \text{ kJ/mol})$$

Die Bildungsenthalpie von  $P_4O_{10}$  aus weißem Phosphor und Sauerstoff wäre nur sehr wenig höher;

$$(\Delta H_f(P_{\text{weiß}}) = 0 \text{ [30] S.100-101}).$$

Zum Vergleich: Die Bildungsenthalpie bei der Bildung von Wasserdampf aus den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff (heftige Knallgasreaktion) beträgt nur:  $\Delta H_f(H_2O) = -242 \text{ kJ/Mol}$ .

Selbst geringste Mengen an verbrennendem roten Phosphor können somit lokal am Köpfchen bereits beträchtliche Energiemengen freisetzen, wodurch in einem zweiten Schritt weitere Reaktionen zwischen Kaliumchlorat (bzw. Mangandioxid, Kaliumdichromat) und oxidierbaren Stoffen im Zündholzköpfchen (Schwefel, Klebstoff...) in Gang kommen [2]:



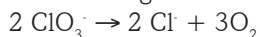
In [6] wird im Zusammenhang mit den Reaktionsmechanismen eine thermische, nicht katalysierte Zersetzung von Kaliumchlorat diskutiert, wobei Kaliumchlorat (ohne katalytischen Einfluss) bei etwa  $400^\circ\text{C}$  zuerst in Chlorid und Perchlorat disproportionieren soll:



Erst bei noch stärkerem Erhitzen ( $500^\circ\text{C}$ ) soll das Perchlorat in Chlorid und Sauerstoff zerfallen:



Zündholzköpfchen enthalten jedoch Katalysatoren (z. B.  $\text{MnO}_2$ ). In Gegenwart von  $\text{MnO}_2$  z.B. tritt die Sauerstoffentwicklung aus Kaliumchlorat schon bei  $150^\circ\text{C}$  ein, ohne dass es zu der oben erwähnten Disproportionierung kommt [21] S. 46. Nach [14] (S. 1117) soll diese direkte Zersetzung von Kaliumchlorat in Gegenwart von  $\text{MnO}_2$  (deutlich unter dem Schmelzpunkt!) ohne Disproportionierung bereits bei  $70^\circ\text{C}$  beginnen:



Selbstverständlich kennt man auch in der experimentellen Schulchemie diese katalytische Generierung von Sauerstoff aus Kaliumchlorat schon sehr lange. In [29] (S. 16) wird diese Reaktion noch als praktikable Methode zur präparativen Gewinnung von Sauerstoff beschrieben (auch [22] S. 133, [23] S. 53, [24] S.315 bzw. Abschnitt *Experimente*). Die



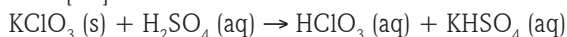
Abbildung 8: Romer Tunkhölzchen (Wien 1831).

Freisetzung von Sauerstoff im Zündholzköpfchen beginnt demzufolge bei wesentlich tieferer Temperatur, als in der (fachdidaktischen) Literatur mitunter angenommen.

Im Vollbrand erreicht die Flammentemperatur eines deflagrierenden Zündholzköpfchens nach [2] letztlich aber doch beachtliche  $1350\text{-}1950^\circ\text{C}$ !

### Tunkhölzchenchemie

Die beschriebenen historischen Tunkhölzchen (Abbildung 8) mit Kaliumchlorat, Schwefel, Zucker und Gummi Arabicum entzünden sich in Kontakt mit Schwefelsäure, weil Kaliumchlorat mit Schwefelsäure (nicht Salzsäure!) hochreaktives Chlordioxid bildet, wodurch das organische Material entzündet wird [27]:



Die gebildete Chlorsäure disproportioniert in Chlordioxid und Perchlorsäure, wobei das gebildete Wasser durch Schwefelsäure aus dem Gleichgewicht entzogen wird:



Die Herstellung von Tunkzündhölzchen ist in [29] S. 122 beschrieben (siehe auch Abschnitt *Experimente*).

Die Reaktion mit geringen Mengen an reinem Kaliumchlorat und Schwefelsäure (ohne sonstige Komponenten) kann infolge der Chlordioxidbildung auch im Schulversuch sogar so gestaltet werden, dass es zu kleinen Explosionen kommt [28]. Chlordioxid ist ein gelbes Gas mit durchdringendem Geruch, das äußerst explosiv ist und schon bei leichtem Erwärmen auf  $45^\circ\text{C}$  unter Bildung von Chlor und Sauerstoff detoniert ([21] S.273).

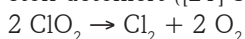


Abbildung 9:  
Nachweis von  
Chlorat in Zünd-  
hölzköpfchen  
mit HCl conc.:  
Das gebildete  
Chlor reagiert mit  
Kaliumiodid in  
einem Wattestäb-  
chen zu Iod.

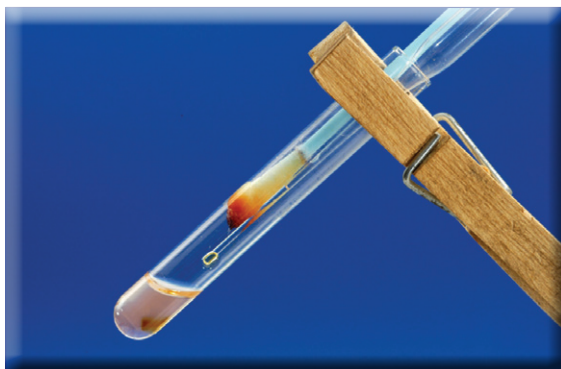


Abbildung 10:  
„Fingerflash“ –  
etwa 3 mg  
getrockneter  
roter Phosphor  
reagieren mit  
einem großen  
Überschuss an  
 $\text{KClO}_3$  – ein  
Modellversuch.



Abbildung 11:  
Nachweis von  
rotem P in der  
Reibfläche durch  
Reaktion mit  
wenig  $\text{KClO}_3$  auf  
Schlag.



Versetzt man Kaliumchlorat (oder kaliumchlorat-haltige Zündhölzer) nicht mit Schwefelsäure sondern mit Salzsäure, so entsteht in einer Komproportionierung vorwiegend Chlor, das am Geruch oder mit KI-Papier bzw. -Wattestäbchen gut erkennbar ist (unspezifischer Chloratnachweis, Abbildung 9):

$$6\text{H}^+(\text{aq}) + \text{ClO}_3^-(\text{aq}) + 5\text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow 3\text{Cl}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}$$

### Experimente zum Thema Zündhölzchen

Es gibt in der chemiedidaktischen Literatur eine Reihe von Vorschlägen, möglichst originalgetreue Sicherheitszündhölzchen, Überallzünder oder Tunkzünder selbst herzustellen ([7] S. 44-45; [8] S. 36-38; [20] S. 124; [32] S. 186.

Die Schwierigkeit bei selbst modellierten Sicherheitszündern besteht darin, dass die Zündmasse nach dem Aufbringen der wässrigen Paste auf das Hölzchen

einige Tage lang getrocknet werden muss und dann häufig nicht so gut haftet, dass ein Anreiben an einer Reibfläche zum Erfolg führt. Die passende Konditionierung des Bindemittels erweist sich viel schwieriger als aus der Literatur ersichtlich. Um Frustrationen bei den Lernenden zu vermeiden, wird im Folgenden auf eine Beschreibung derartiger Präparationen verzichtet. Stoffliche Hintergrundinformationen zum Thema chemische Zündhilfen bzw. chemische Gesetzmäßigkeiten am Beispiel Zündhölzer lassen sich auch „anders herum“ diskutieren, indem man z. B. in einfachen analytischen Nachweisen einzelne Komponenten von handelsüblichen Zündhölzern verifiziert oder mit den reinen Stoffen entsprechende Modellversuche durchführt. Da man es bei den Zündhölzchen mit relativ geringen Mengen an Ausgangsmaterial zu tun hat bzw. die pyrotechnischen Modellgemische äußerst brisant sein können, bietet sich das Arbeiten im Microscale-Maßstab förmlich an, wobei wasserlösliche, salzartige Komponenten auch durch Kristallisation unter der Stereolupe thematisiert werden können [33].

#### Finger-Flash – ein Modellversuch zum Anreiben von Sicherheitszündern

*Material:* Kaliumchlorat (pulv.), Phosphor (rot, staubtrocken), Spatel, Fliese

*Durchführung:* siehe [26], S. 4-6 bzw. [38]

*Hinweis:* Roter Phosphor oxidiert bei schlechter Lagerung langsam zu Tetraphosphordekaoxid, so dass das hygroskopische Pulver feucht wird. Es bildet sich Phosphorsäure, die mit Indikatorpapier leicht nachweisbar ist. Für das „Feurige Fingerschnippen“ (Abbildung 10) muss der rote Phosphor jedoch völlig trocken sein, damit die wohldosierte Umsetzung zwischen den Fingern möglichst blitzartig erfolgt. (genaue Anweisungen und Sicherheitshinweise dazu siehe [26] S. 4). Zum Trocknen suspendiert man den feuchten, aber wasserunlöslichen roten Phosphor am besten in viel Wasser, filtriert und wäscht säurefrei. Der im Filter verbleibende Phosphor ist nach einigen Stunden der Trocknung an der Luft staubig trocken und kann in einem gut verschließbaren Gefäß gelagert werden. Die Trocknung mit Ether, wie in [34] angeregt, liefert bei größerem Gefahrenpotential weniger gute Resultate.

#### Roter Phosphor in der Reibfläche von Zündhölzschachteln

##### Nachweis durch direkte Umsetzung mit Kaliumchlorat (Instant Chemistry!)

*Material:* Kaliumchlorat, Zündhölzschachtel, Spatel, Hammer, kleiner Amboss (z. B. kombiniert mit Schraubstock – Baumarktware) oder Vorschlaghammer, Schutzbrille

*Durchführung:* Eine Zündhölzschachtel wird so zerlegt, dass man die Reibfläche flach auf eine mas-



Abbildung 12: Die spitze Flamme eines Lötbrenners eignet sich besonders gut, um aus Pasteurpipetten Mini-Reagenzgläser zu fabrizieren.

sive stählerne Unterlage (Amboss, Schraubstock, Schienenstück, Vorschlaghammer) legen kann. Auf der Reibfläche wird eine Spatelspitze Kaliumchlorat positioniert. Bereits durch relativ leichtes Hämmern auf das Salz wird die Reaktion zwischen den Phosphorspuren und Kaliumchlorat (Knall und Blitz) ausgelöst (Abbildung 11).

*Hinweis:* Für das Funktionieren des Experimentes ist es wichtig, dass die Reibfläche durchgehend beschichtet ist. Reibflächen mit stark reduziertem P-Anteil (aufgeprägte, gitterähnliche Muster) können zu Frustrationen führen. Die Reibfläche der Schachtel muss in einfacher Schicht flach auf der Unterlage liegen (Schachtel zerlegen! Hammer nicht verkannten!). Schutzbrille nicht vergessen!

#### Mit der Powerfeile zur Phosphoreszenz

*Material:* Zündholzschachtel, elektrische Feile (z. B. Powerfeile von Black&Decker), Stativ, Klemme, Schutzbrille

*Durchführung:* In einem vollkommen (!) abgedunkelten Raum wird die durchgehend beschichtete Reibfläche einer Zündholzschachtel mit einer elektrischen Feile mit fein gekörntem Schleifband bei voller Drehzahl und geringem Anpressdruck angeschliffen. Neben kleinen Funken durch verbrennenden Phosphor sieht man ein Nachleuchten auf der angeschliffenen Fläche, wenn die Feile nach wenigen Sekunden wieder von der Reibfläche abgehoben wird.

*Hinweis:* Die Streichholzschachtel wird am besten mittels Stativ und Klemme fixiert. Bei zu starkem Anpressen des laufenden Schleifbandes an die Reibfläche nützt sich diese sehr rasch ab, so dass das Nachleuchten nur sehr eingeschränkt beobachtet werden kann.

#### Ein selbstentzündliches Wattestäbchen

*Material:* Zündholzschachtel mit kompakt beschichteter Reibfläche, Kältespray (z.B. 75 Super, Spraydose Aerosol 200mL, Conrad Online-Shop Best. Nr. 800554-62), Pasteurpipette (z.B. Fortuna Nr. 3.525,

Länge 15 cm), Mikroflamm-Brenner (Proxxon, siehe Conrad-Onlineshop [37]), Wattestäbchen, (Labor)-Messer mit feinem Wellenschliff, Spatel (gekehlt), keramische Fliese

*Durchführung:* Aus der Pasteurpipette wird ein passendes Mini-Reagenzglas hergestellt, indem man die Spitze der Pipette mittels Mikrobrenner direkt an der Verjüngung abtrennt und das Röhrchen an dieser Stelle zuschmilzt (Abbildung 12).

Von der Reibfläche einer Zündholzschachtel wird roter Phosphor mittels Messer locker abgeschabt und auf einer keramischen Fliese gesammelt. Das Abschaben hat so zu erfolgen, dass möglichst wenig (Cellulose-)Substanz von der Schachtel selbst mitgerieben wird.

Nach der Vorbereitung des Probenmaterials wird die Luft aus dem Mini-Reagenzglas mittels Kältespray verdrängt. Das dem Kältespray beige packte Kunststoffröhrchen als Spraykopfverlängerung stellt dabei eine sehr effiziente Hilfe dar. Die pulverförmige Probe (gesammelt von einer halben Reibfläche) wird in das Mini-Reagenzglas transferiert. Danach muss sogleich ein Wattestäbchen so im Mini-Reagenzglas positioniert werden, dass es bei Bedarf gerade noch herausgezogen werden kann.

Nun wird die phosphorhaltige Probe mittels Mikrobrenner im fast waagrecht gehaltenen Röhrchen stark erhitzt, bis der rote Phosphor depolymerisiert und quasi sublimiert, was an einer gelb-orangen Zone im Röhrchen erkennbar ist. Das FKW des Kältesprays wirkt dabei als Schutzgas, sodass der gebildete weiße Phosphor in der Hitze nicht wieder vorzeitig oxidieren kann (Abbildung 13).

Sobald der Phosphor (durch Fächeln mit dem Mikrobrenner) das Wattestäbchen erreicht hat, was an einer leichten Gelb- bzw. Braunfärbung an der Kuppe des Watteköpfchens ersichtlich ist, wird die Wärmezufuhr unterbrochen.

Abbildung 13: Von der Reibfläche abgeriebener roter Phosphor wird im Mini-Reagenzglas erhitzt. Das Röhrchen wurde zuvor mit Kältespray als Schutzgas (inertes Tetrafluorethan) gespült, damit der depolymerisierte Phosphor nicht vorzeitig im erhitzten Röhrchen mit Sauerstoff aus der Luft reagieren kann. Am Wattestäbchen kann sich weißer P anreichern.





Abbildung 14: Beim langsamen Herausziehen des Wattestäbchens sieht man bereits weißes Phosphoroxid.

Abbildung 15: Der weiße Phosphor auf dem Wattestäbchen entzündet sich an der Luft sofort bzw. innerhalb von Sekunden.



Man hält das Röhrchen am kalten Mittelteil und zieht dann langsam am Wattestäbchen (Abbildung 14). Sofort macht sich noch im Röhrchen weißer Rauch bemerkbar, weil die Spitze des mit weißem Phosphor kontaminierten Stäbchens mit eingedrungener Luft in Kontakt kommt.

Zieht man das Wattestäbchen nun rasch zur Gänze aus dem Röhrchen heraus, so entflammt die Spitze des Stäbchens sofort bzw. innerhalb einer Sekunde (Abbildung 15). Wenn die beschriebenen Versuchsbedingungen eingehalten werden, gelingt das Entflammen des generierten, fein verteilten Phosphors immer.

*Hinweise:* Lässt man das Wattestäbchen länger im Minireagenzglas und beobachtet den sich bildenden Rauch (Phosphoroxid) im Röhrchen, so entflammt das Köpfchen des Wattestäbchens beim vollständigen Herausziehen nicht mehr sondern wird nur schwarz. Selbst fabrizierte Mini-Reagenzgläser haben sich für dieses Experiment in Bezug auf Durchmesser, Wandstärke und Länge viel besser bewährt als handelsübliche Minireagenzgläser (z.B. 10/75). Wattestäbchen passen eben viel besser in enge Pasteurpipetten, die durch die geringe Glaswandstärke auch viel rascher erhitzt und abgekühlt werden können als vergleichbare Reagenzgläser. Vorsicht! Sowohl das Innere des Röhrchens als auch das Wattestäbchen sind nach dem Versuch mit hoch-

giftigem weißem Phosphor kontaminiert! Die fein verteilten Rückstände am Wattestäbchen sind an der Luft zwar bald oxidiert, die Reste im Röhrchen benötigen etwas mehr Zeit (Geruchsprobe!). Aus Gründen der Sicherheit lagert man sowohl Röhrchen als auch das Wattestäbchen eine Zeitlang (einen Tag) auf einer feuerfesten Unterlage, bevor beides der Restmüllfraktion überantwortet werden kann.

Durch die geringen Mengen an umgesetztem Material reduziert sich das Gefahrenpotenzial im Mikromaßstab a priori auf ein Minimum. Im Übrigen geht der Verfasser dieses Experimentes trotzdem davon aus, dass alle KollegInnen, die das „Selbstentzündliche Wattestäbchen“ in ihr Versuchsprogramm aufnehmen möchten, mit den einschlägigen Sicherheitsvorschriften bezüglich Phosphor vertraut sind.

Der weiße Rauch im Pasteurpipetten-Röhrchen lässt sich mit wenig Wasser in ein normales Reagenzglas transferieren, wo dann Phosphorsäure bzw. Phosphat nachgewiesen werden können (siehe Versuch *Nachweis von Phosphoroxid bzw. Phosphat im Abbrand von modernen Überallzündern*).

#### Kaliumchlorat im Zündholzköpfchen

#### Modellversuch zur katalytischen Zersetzung von Kaliumchlorat

*Material:* Reagenzglas Fiolax (16/160), Reagenzglashalter, Schaschlik-Spießchen, Feuerzeug, Teelicht, Kaliumchlorat, Braunstein techn. (mind. 80%ig).

**Durchführung:** Man füllt in das Reagenzglas etwa 0,5 cm hoch Kaliumchlorat, setzt ungefähr die gleiche Menge an Braunsteinpulver zu und mischt durch Schütteln.

Dieses Gemisch wird nun über einem kleinen Teelicht erhitzt. Die Wärme des Teelichts reicht aus, dass nach kurzer Zeit über dem schwarzen Gemisch mittels glimmendem Holzspan Sauerstoff als Zersetzungsprodukt nachgewiesen werden kann. Der Holzspan flammt auf (Abbildung 16).

Abbildung 16: Braunstein fungiert als Katalysator: Chlorat liefert bereits bei niedriger Temperatur Sauerstoff, der mit der Glimmspanprobe nachweisbar ist.



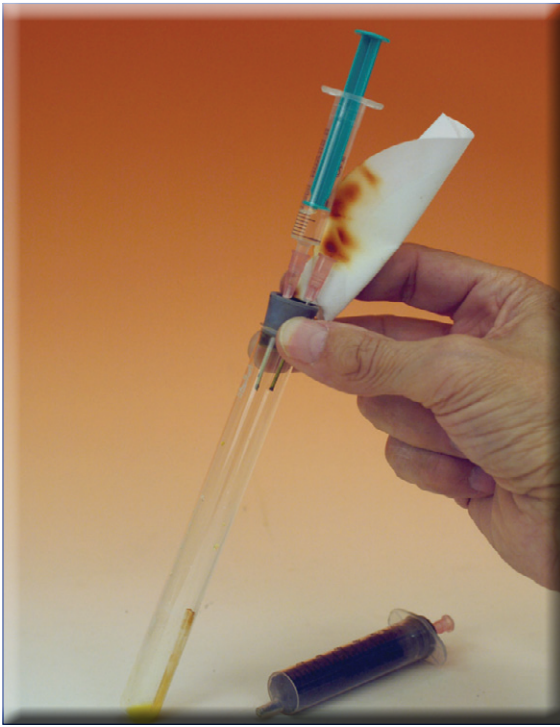


Abbildung 17: Salzsäure liefert mit Zündhölzköpfchen Chlor, das auf KI-Papier zu braunem Iod reagiert.

*Hinweis:* Zum Vergleich sollte reines Kaliumchlorat über einem Teelicht erwärmt werden. Die Bildung von Sauerstoff kann unter den Bedingungen nicht beobachtet werden. Nur wenn Kaliumchlorat mittels Laborbrenner geschmolzen wird, macht sich die stark oxidative Wirkung bemerkbar (Stichwort: brummendes Gummibärchen...).

Das Reaktionsprodukt Kaliumchlorid lässt sich nach Beendigung der Reaktion leicht auswaschen, durch Filtration vom unverbrauchten Katalysator abtrennen und mit Silbernitrat nachweisen (auch Versuch *Nachweis von Chlorid im Abbrand*)

#### Die violette Flamme beim Aufflammen der Hölzchen

*Material:* Reagenzglas Fiolax (16/160), Bunsenbrenner, Zündhölzchen

*Durchführung:* 3 Zündhölzchen werden mit dem Köpfchen voran in ein Reagenzglas geworfen. Nun wird mit dem Brenner von außen erhitzt, bis die Köpfchen entflammen. Während des Aufflammens macht sich für Sekunden auch die violette Flammenfärbung des Kaliums bemerkbar.

*Hinweis:* Die Hölzchen selbst beginnen unter diesen Bedingungen nur selten zu brennen (Hitze-stau, und deshalb rascherer Abbrand der Köpfchen!). Deshalb sind die violetten Anteile der Flamme im Reagenzglas meist besser zu sehen, als beim Entflammen eines Streichholzes direkt an der Luft. Nur ein Digital-Bild vom Aufflammen zeigt hier das Violett (Abbildung 7).

Nach Entfernen der Hölzchen kann der Rückstand im Reagenzglas teilweise in wenig dest. Wasser angelöst und für die Versuche *Nachweis von Chlorid im Abbrand* bzw. *Braunstein in braun-schwarzen Köpfchen* verwendet werden.

Die endgültige Reinigung des Reagenzglases gestaltet sich weniger mühsam, wenn man sofort nach Beendigung des Experimentes etwas Tensid-Lösung zusetzt und diese mindestens einen Tag lang auf die Rückstände an der Reagenzglaswand einwirken lässt.

Bei Verwendung eines kleinen Reagenzglases (10/75 mm) lässt sich das weiße Reaktionsprodukt an der Reagenzglaswand (hauptsächlich KCl) nach dem Entflammen eines Köpfchens auch an einem ausgeglühten, angefeuchteten Magnesia-Stäbchen so anreichern, dass eine klassische Prüfung auf Kalium durch Färbung der Bunsenflamme ebenfalls möglich ist.

#### Gewinnung von Chlor aus Zündhölzern

*Material:* Zündhölzchen, Messer, Spatel, Minigantwickler n.O. bestehend aus: Reagenzglas Fiolax (16/160), Weichgummistopfen Verneret 18D mit 2 integrierten (abgestumpften) Kanülen 1,2/40 mm, 2mL-Spritze (innen durch Aufrauhern der Wand mit Eisenwolle schwergängig gemacht), Aktivkohleröhrchen bestehend aus: 10mL-Spritzenkörper ohne Spritzenstempel (gefüllt mit Aktivkohle 2,5 mm gekörnt, verschlossen mit Weichgummistopfen 18D mit 1 integrierten (abgestumpften) Kanüle 1,2/40 mm. (z. B. auch [35]), Salzsäure conc., Kaliumiodid-Lösung (5%ig), NaOH-Lösung (10%ig), Filterpapier

*Durchführung:* Die Masse zweier Zündhölzköpfchen wird mittels Messer sorgfältig von den Hölzchen geschabt und in das Reagenzglas transferiert. Das Reagenzglas wird mit dem Gummistopfen verschlossen, auf eine Kanüle im Stopfen wird das Aktivkohleröhrchen, auf die zweite Kanüle eine 2mL-Spritze (mit etwa 0,5 mL HCl conc.) aufgesetzt.

Durch Drücken des Spritzenstempels wird das Probenmaterial mit der Salzsäure in Kontakt gebracht. Sofort beginnt eine Gasentwicklung, wobei das gelblich grüne Chlor über dem Reaktionsgemisch nach kurzem Schütteln gut erkennbar wird.

Entfernt man kurzfristig das Aktivkohleröhrchen von der Kanüle und hält ein mit Kaliumiodid-Lösung imprägniertes Filterpapier über die Öffnung, so sieht man sofort die oxidative Bildung von Iod (braun) aus Iodid (Nachweis von Chlor; Abbildung 17).

*Hinweis:* Um überschüssiges Chlor im Reagenzglas ohne Geruchsbelästigung zu entsorgen, setzt man mittels 20mL-Spritze durch die Kanüle Natronlauge zu bis der Gasraum im Reagenzglas fast zur Gänze mit Flüssigkeit gefüllt ist bzw. elementares Chlor als wasserlösliches Hypochlorit gebunden wurde.

#### Nachweis von Chlorid im Abbrand

*Material:* Reagenzglas mit Reaktionsprodukten aus Versuch *Die violette Flamme beim Aufflammen der*



Abbildung 18: Braunstein in den schwarz-braunen Köpfen wirkt als Katalysator bei der Zersetzung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  zu  $\text{O}_2$ .

*Hölzchen*, sauberes Reagenzglas, dest. Wasser, Salpetersäure conc., Silbernitrat-Lösung (ca. 10%ig), Ammoniak-Lösung (25%ig).

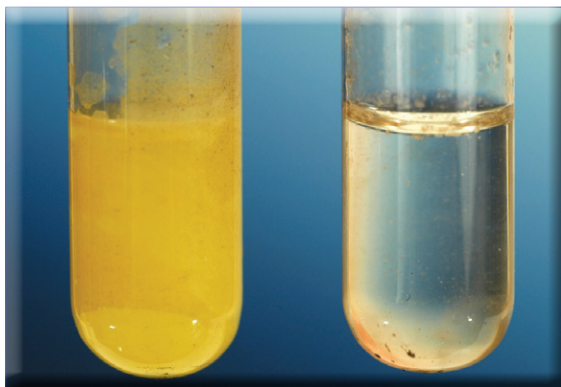
*Durchführung:* Das Reagenzglas mit den Reaktionsprodukten aus Versuch *Die violette Flamme beim Aufflammen der Hölzchen* wird ca. 3 cm hoch mit dest. Wasser beschickt. Durch intensives Schütteln wird der Belag an der Reagenzglaswand ausgelugt. Die wässrige Fraktion wird in ein sauberes Reagenzglas überführt und mit einigen Tropfen Salpetersäure bzw. Silbernitrat-Lösung versetzt. Es zeigt sich die charakteristische Bildung von Silberchlorid, ein Niederschlag, der in konz. Ammoniak-Lösung löslich ist.

*Hinweis:* Trotz der geringen Mengen gilt: Mit Ammoniak versetzte Silbernitrat-Lösungen dürfen nicht längere Zeit stehen bleiben. Explosionsgefährliches Silbernitrid ( $\text{Ag}_3\text{N}$ ) könnte sich bilden. Man säuert die Lösung wieder mit Salpetersäure etwas an und sammelt die Fraktion im Behälter für Schwermetalle oder zementiert das Silber zuvor mit Eisenpulver.

#### Braunstein in braun-schwarzen Köpfchen

*Material:* Reagenzglas Fiolax 16/160, Zündhölzer mit dunkelbraunen oder schwarzen Köpfchen, Wasserstoffperoxid (30%ig)

Abbildung 19: Nachweis des Oxidationsproduktes Phosphat mittels Ammoniummolybdat.



*Durchführung:* Das Reagenzglas wird ca. 2 cm hoch mit Wasserstoffperoxid beschickt. Drei Zündhölzchen werden mit dem braunen (bzw. schwärzlichen) Köpfchen voran ins Reagenzglas gesteckt. Innerhalb einer Minute sieht man auch ohne Erwärmung an den Köpfchen winzige Gasbläschen haften. Nach kurzer Zeit beginnen die Köpfchen teilweise zu zerfallen, die Gasentwicklung wird immer stärker, Braunstein bzw. auch andere katalytisch wirkende Stoffe führen zur Zersetzung von Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff (Abbildung 18).

*Hinweis:* Nicht alle braun gefärbten Zündholzköpfchen enthalten Braunstein. Durch einen direkten Vergleich verschiedener Hölzchen im gleichen Ansatz werden unterschiedliche Gehalte an katalytisch wirkenden Stoffen erkennbar.

#### Nachweis von Phosphoroxid im Abbrand von modernen Überallzündern

*Material:* Überallzündler (Bezugsquelle z. B. [13]), 2 Reagenzgläser Fiolax 16/160, dest. Wasser, Messer, Salpetersäure conc., frisch zubereitete Ammoniummolybdat-Lösung (5%ig), Universalindikatorpapier, Pinzette, Mikrobrenner

*Durchführung:* Drei Überallzündhölzchen werden mit dem Köpfchen voran in ein Reagenzglas befördert. Das Reagenzglas wird mittels Brenner von außen erhitzt, bis die Köpfchen entflammen. Man wartet, bis sich der weiße Rauch großteils abgesetzt hat, lässt die nicht angebrannten Hölzchen aus dem Reagenzglas gleiten und hält mittels Pinzette ein Stück Universalindikatorpapier in die Schwaden. Die intensive Rotfärbung deutet auf eine starke Säure hin. Der Rückstand im Reagenzglas wird ca. 2 cm hoch mit Wasser versetzt und unter Erwärmung ausgelugt. Die Extraktionslösung transferiert man in ein sauberes Reagenzglas, versetzt mit einigen Tropfen Salpetersäure bzw. Ammoniummolybdat-Lösung und erhitzt. Es entsteht zuerst eine intensiv gelb

Abbildung 20: Das Gemisch aus Staubzucker und Kaliumchlorat auf dem Wattestäbchen entzündet sich beim ersten Kontakt mit Schwefelsäure.



gefärbte Lösung aus der sich noch beim Erhitzen, stärker beim Abkühlen ein charakteristischer gelber Niederschlag (unlösliches Dodecamolybdato-phosphat  $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$ ) abscheidet (Abbildung 19).

*Hinweis:* Ein direkter Vergleich mit normalen Zündhölzern zeigt, dass nur die Zündmasse von Überallzündern eine Phosphorverbindung ( $\text{P}_4\text{S}_3$ ) enthält, weil nur beim Abbrand von Überallzündern Tetraphosphordecaoxid entsteht, das mit Wasser zu Phosphorsäure bzw. Phosphationen reagiert. Das Reagenzglas, in dem die Zündholzköpfchen entflammt wurden, lässt sich besser reinigen, wenn man den wasserunlöslichen Rückstand mindestens einen Tag mit einer konzentrierten Tensidlösung stehen lässt.

#### Historische Tunkhölzchen – ein neuer Modellversuch

*Material:* Kaliumchlorat (fein gepulvert), Staubzucker (fein gepulvert), Pentan, Schwefelsäure konz. Keramische Fliese, Hühnerfeder, Papierblatt, Waage (Genauigkeit mind. 0,1 g), Porzellanschale, Schutzbrille, Schutzkleidung, Schutzhandschuh

*Durchführung:* 0,3 g fein kristallines Kaliumchlorat und 0,3 g fein gepulverter Staubzucker werden mittels Vogel- oder Hühnerfeder auf einem Blatt Papier sorgfältig gemischt (sicherheitshalber feuerfeste Unterlage verwenden, Schutzbrille nicht vergessen!). Um das Gefahrenpotential möglichst gering zu halten, wird das fertige Gemisch noch in mehrere kleine Portionen geteilt.

Eine kleine Porzellanschale wird mit ca. 1-2 Tropfen Schwefelsäure konz. beschickt und auf ei-

Abbildung 21: Kaliumchlorat reagiert mit Schwefelsäure zu thermisch leicht zersetzlichem Chlordioxid.



ner feuerfesten Unterlage (Fliese) abgestellt. Nun taucht man ein Wattestäbchen in Pentan und wälzt das durchtränkte Köpfchen in einer kleinen Portion Chlorat/Staubzucker-Mischung, so dass das Wattestäbchen partiell aber deutlich sichtbar belegt wird. Man wartet etwa eine halbe Minute bis der Großteil des Pentans verdunstet ist und taucht das so präparierte Wattestäbchen in die vorbereitete Schwefelsäure, wo es augenblicklich zu brennen beginnt (Abbildung 20).

*Hinweis:* Selbst die sehr geringen Mengen an Chlorat auf dem Wattestäbchen führen in Kontakt mit der Säure zu einer heftigen Reaktion, wodurch winzige Schwefelsäuretröpfchen in einem Umkreis von etwa 10 cm verspritzt werden können. Schutzbrille, Schutzhandschuh, Schutzkleidung sind unerlässlich! Nicht benötigtes Chlorat/Zucker-Gemisch wird – wie die geringe Menge an verunreinigter Schwefelsäure – am besten mit viel Wasser entsorgt.

#### Bildung von Chlordioxid aus reinem Chlorat und Schwefelsäure

*Material:* Kaliumchlorat, Schwefelsäure konz., Reagenzglas Fiolax 16/160, Stativ, Klemme, Muffe, Spatel, 2mL-Spritze, Waage (Genauigkeit mind. 0,1g), Abzug, Schutzscheibe

*Durchführung:* Das Reagenzglas wird mit 0,2 g Kaliumchlorat beschickt, mittels Klemme und Stativ in einem Winkel von ca. 45° eingespannt und im untersten Bereich mittels Teelicht leicht erwärmt. Nun wird die 2mL-Spritze, in der sich ca. 0,5 ml Schwefelsäure befinden, ins Reagenzglas geschoben. Durch vorsichtiges Drücken des Spritzenstempels lässt man langsam zwei Tropfen Säure ins Reagenzglas fließen und nützt die Wegzeit der Tropfen, um sich in Sicherheit zu bringen. Sobald die Säure das Kaliumchlorat erreicht hat, gibt es kleine Verpuffungen, da das gebildete Chlordioxid bereits bei geringer Erwärmung unter Bildung von Chlor und Sauerstoff explodiert (Abbildung 21).

*Hinweis:* Durch das Erwärmen des Reagenzglases vor Zusatz der Säure können größere Mengen an explosivem Chlordioxid erst gar nicht entstehen. Es wird dringend davor abgeraten, auf das Teelicht zu verzichten und die Zersetzung von generiertem Chlordioxid durch nachträgliches Erwärmen mit einem Brenner zu provozieren. Trotzdem ist das Experiment in einem Abzug hinter einer Schutzscheibe auszuführen, weil man immer mit dem Bersten des Reagenzglases rechnen muss.

#### Entzündungstemperatur von Zündholzköpfchen

*Material:* Low-Cost-Multimeter mit NiCrNi-Drahtfühler (z.B. Voltcraft VC-150, Conrad-Electronic Best.Nr. 124402-05) [39], 2 Pasteurpipetten (z.B. Fortuna Nr. 3.525, Länge 15 cm), Reagenzglas Fiolax 16/160, Reagenzglashalter, Microflam-Brenner (Proxxon, siehe Conrad-Online-Shop [37]), Pinzette,

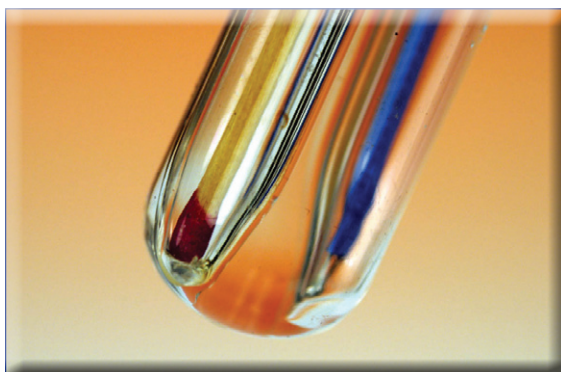


Abbildung 22: Das Low-Cost-Multimeter mit Ni-Cr-Ni-Fühler im Minireagenzglas als perfekter Ersatz für ein Glasthermometer.

Pfeifenputzer, feuerfeste Unterlage (Fliese), Siliconöl (hochsiedend).

Durchführung: Die zwei Pasteurpipetten werden durch Abschmelzen des verengten Teils zu Mini-Reagenzgläsern umfunktioniert (auch Versuch *Ein selbstentzündliches Wattestäbchen*). In eines dieser Röhrchen wird der NiCrNi-Temperaturfühler so weit eingeschoben, dass dieser mit dem Boden des Glasgefäßes Kontakt hat. Mit einer einfachen Schlaufe in der Drahtzuführung ist der Fühler im Röhrchen so verklemmbar, dass ein unbeabsichtigtes Herausziehen des Drahtes verhindert wird. Man erhält auf diese Weise ein sehr rasch ansprechendes, chemikalienresistentes „Glasthermometer“ mit digitaler Anzeige (auch: [36]; Abbildung 22).

Abbildung 23: Zündholzköpfchen und NiCrNi-Temperaturfühler in den Mini-Reagenzgläsern befinden sich im Ölbad auf gleicher Höhe und werden gleichzeitig erwärmt.



Das zweite Mini-Reagenzglas dient zur Aufnahme des Zündholzes (Köpfchen nach unten).

Beide Mini-Reagenzgläser lässt man in das Fiolax-Reagenzglas gleiten, in das etwa 2 cm hoch Siliconöl gefüllt wurde. Fühlerspitze und Zündholzköpfchen müssen sich im Ölbad auf gleicher Höhe befinden (Abbildung 23).

Das improvisierte Mini-Heizbad wird nun mittels Brenner vorsichtig erwärmt, wobei die abgelesene Temperatur am Multimeter ziemlich genau der Innentemperatur des zweiten Röhrchens entspricht, in dem sich das zu untersuchende Zündhölzchen befindet.

Sobald das Köpfchen entflammt, wird die Temperatur am Multimeter abgelesen. Handelsübliche Köpfchen von Sicherheitszündern entflammen (auch in Abhängigkeit von der Aufheizzeit) häufig erst bei Temperaturen von etwas über 200°C. Nach Beendigung des Experimentes lassen sich die beiden Mini-Reagenzgläser am einfachsten mit einer Pinzette aus dem Ölbad entfernen.

Hinweis: Das Mini-Reagenzglas, in dem das Zündholz entflammt wird, kann mittels Pfeifenputzer und Tensid grob so gereinigt werden, dass es mehrfach verwendbar ist.

## Ausblick

Die vorgestellte Palette an Versuchen zeigt, dass man sich dem Thema „Zündholzer“ experimentell nähern kann, ohne dass Reibflächen und (zu) langsam trocknende Köpfchen mit systembedingt hohen Versagerquoten fabriziert werden müssen.

Abgesehen davon, dass man im Microscale-Maßstab ausgehend von einem alltäglichen Konsumartikel relativ problemlos in die heikle aber interessante Welt des weißen Phosphors aber auch zum elementaren Chlor gelangen kann, lassen sich in kleinsten Mengen Modellreaktionen planen, mit denen eine Fülle von phänomenologischen Aspekten im Zusammenhang mit den Begriffen „Stoffmischung, Stofftrennung, Reinstoff, Analyse, Verbindung, Element, Redox- und Protolysereaktionen, Katalyse, Energetik usw. diskutiert werden können. Dabei besitzen die angeführten Versuchsbeispiele nur exemplarischen Charakter, weil potentiell zeitaufwändige Aktivitäten bewusst ausgespart blieben. Für jene Kolleginnen und Kollegen, die keinen weißen Phosphor lagern dürfen oder vielleicht wegen besoldungsrechtlicher Neuerungen (Abwertung des Kustodiaten) auch nicht mehr verwalten wollen, eröffnet die vorgeschlagene Microscale-Methodik ausgesprochen ressourcenschonende Möglichkeiten, aus rotem Phosphor jederzeit so viel von der giftigen allotropen Form zu generieren, dass die wesentlichsten Eigenschaften (Phosphoreszenz, Selbstentzündlichkeit) einprägsam demonstriert werden können.

CLB



## Literatur

- [1] J. EMSLEY: Phosphor – ein Element auf Leben und Tod, Wiley-VCH, Weinheim, 2001, S. 63-122
- [2] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fifth Completely Revised Edition, VCH, Vol A16, 1990, p. 168
- [3] O. TAUSIG: Nur Zucker zum Frühstück. In: Konsument, Oktoberheft 2002, Verein für Konsumenteninformation, Wien, S. 40-41
- [4] <http://www.afcio.org/issues/jobseconomy/globaleconomy/children/> (Stand: 09.04.2010)
- [5] K. BALES: Ware Mensch – die neue Sklaverei. In: Spektrum der Wissenschaft 10/2002, Spektrum der Wissenschaft, Verlagsges.mBH. Heidelberg, S. 24-32
- [6] A. BÜHLER, E. GRAF: Streichholz und Streichholzschachtel – vom Bedeutungswandel eines chemischen Apparates. In: Chemie in der Schule 47 (2000), Heft 3, S. 165-171
- [7] T.M.BRAUN, S. KRÄMER: Zündhölzer. PdN-Ch 46, (1997), Heft 3, S. 44-45
- [8] J. SPERNAL: Herstellung von Zündhölzern. NiU-Ch, Ausgabe 2/95 (Heft 27), S. 36-38
- [9] J. FALBE, M.REGITZ (Hrsg.): CD Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag, 1995
- [10] <http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2001/osullivan/index.htm> (Stand: 09.04.2010)
- [11] A. BUJARD: Zündwaren, G.J. Göschen'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig 1910 (Reprint 2002)
- [12] F. BUKATSCH, W. GLÖCKNER (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, Studienausgabe 1977, Bd. 2, S. 165
- [13] [http://www.sportprofishop.de/Relags\\_Ueberallzuender.htm](http://www.sportprofishop.de/Relags_Ueberallzuender.htm) (Stand: 09.04.2010)
- [14] N. GREENWOOD, A. EARNSHAW: Chemie der Elemente, VCH Weinheim 1990,
- [15] J. TIEDEMANN: Die großtechnische Herstellung von Phosphor. In: PdN-Ch 41, (1992), Heft 1, S. 4ff
- [16] K. FREYTAG, V. SCHARF, T. EBERHARD (Hrsg.): Handbuch des Chemieunterrichts, Sekundarbereich I, Band 2: Stoffe-Elemente-Periodensystem, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln 2001, S. 255
- [17] K. HÄUSLER, H. RAMPF, R. REICHEL: Experimente für den Chemieunterricht, Oldenburg Verlag GmbH, München 1991, S. 149
- [18] H. KEUNE, H. BOECK (Hrsg.): Chemische Schulexperimente, Bd.1 Anorganische Chemie, Volk und Wissen Verlag GmbH&Co, Berlin 1998
- [19] H. RAAF: Chemie des Alltags, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1985
- [20] J. REISS: Alltagschemie im Unterricht, 5. Aufl., Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, 1998, S. 124
- [21] A.F. HOLLEMAN, E.WIBERG: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Walter de Gruyter, Berlin, New York 1976
- [22] F. BUKATSCH, W. GLÖCKNER (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie, Studienausgabe, Bd. 1, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, 1977
- [23] F. BUKATSCH, W. GLÖCKNER (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie, Studienausgabe, Bd. 2, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, 1977, S. 55
- [24] W.GIÖCKNER, W. JANSEN, R.G. WEISSEHORN (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Chemie, Sekundarbereich II, Band 2, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, 1996
- [25] F. HEMMELMAYR, R. RIEDER: Lehrbuch der Anorganischen Chemie für die V. Klassen der Realgymnasien, Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1931
- [26] V. OBENDRAUF: Chemie und Edutainment I - Feuer und Flamme. In: Chem.Sch. (Salzbg.) 12 (1997) Nr. 1, S. 1-11
- [27] F. BUKATSCH, W. GLÖCKNER (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie, Aulis-Verlag Deubner&CO KG, Köln, 1977, Bd. 2, S. 55
- [28] H. STAPF: Chemische Schulversuche, Teil 1 (Nichtmetalle), Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/M 1976, S. 92
- [29] F. BRANDSTÄTTER: Chemische Schulversuche (Hrsg. L. Sternhagen), Franz Deuticke, Wien, 1950, S. 122
- [30] B.Z. SHAKHASHIRI: Chemical Demonstrations, Vol 1., The University of Wisconsin Press, 1983
- [31] P.KRAL, W.RENTSCH, H.WEISSEL: Einfache chemische Experimente für Schule und Ausbildung, 2. Aufl., Ernst Klett Verlag, Stuttgart/Dresden 1993
- [32] H. KEUNE (Hrsg.): Chemische Schulexperimente, Bd.3, Anorg. Chemie 2. Teil, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/M. 1988
- [33] C. SCHMELZ: Mikroskopische Identifizierung von Kristallen im Unterricht. In: PdN-Ch 48, (1999), Heft 1, S. 20-22
- [34] F.R.KREISZL, O. KRÄTZ: Feuer und Flamme, Schall und Rauch, Verlag Wiley-VCH, Weinheim 1999, S. 108
- [35] V. OBENDRAUF: Experimente mit Gasen im Minimaßstab. In: ChiuZ, 30 (1996), Nr. 3, S.118-125
- [36] V. OBENDRAUF: Siedetemperaturen unter die Lupe genommen. In: PdN-Ch 49 (2000) Heft 5, S. 2-4
- [37] [http://www.conrad.de/ce/de/product/828688/MICRO-FLAMM-BRENNER-MFBE-PROXXON/SHOP\\_AREA\\_17585](http://www.conrad.de/ce/de/product/828688/MICRO-FLAMM-BRENNER-MFBE-PROXXON/SHOP_AREA_17585) (Stand: 09.04.2010)
- [38] V. OBENDRAUF: Chemie und Etuainment I (Feuer und Flamme). Siehe: <http://schulen.eduhi.at/chemie/edutain1.htm> (Stand: 09.04.2010)
- [39] <http://www.conrad.de/ce/de/product/124402/?insert=05&insertNoDeeplink&productname=Volcraft-VC150-DMM> (Stand: 09.04.2010)

# Kork – ein Isolations-Material der Natur

Ein nachwachsender Rohstoff gerät unverschuldet in Misskredit

Wolfgang Hasenpusch, Universität Siegen

Im gesamten westlichen Mittelmeerraum liegt die Heimat der Korkeiche. Alle zehn Jahre können die Korkbauern die dicke Rinde der Korkeiche ernten. Obwohl der Kork mittlerweile viele Anwendungsgebiete für sich entdecken konnte, fallen noch etwa 70 % der Wertschöpfung auf die Flaschenkorken. Gerade in diesem Bereich aber erwuchs die Konkurrenz durch korkenfreie Kron- und Schraubverschlüsse sowie durch Glasverschlüsse mit Dichtungsring. Dem Korken wurde die Hauptschuld an Geschmacks- und Geruchsveränderungen gegeben, wenn nicht nur der Sommelier, sondern auch Weinkenner Veränderungen beim Verkosten wahrnahmen. Dabei sind es die Pestizide, die sich in den Rinden der Korkeiche aber auch an den Reben festsetzen und in kleinsten Konzentrationen Geschmack beeinflussend wirken. Als Isolations-Material und stimmungsvolle Wandverkleidung genießt das Kork-Material weite Beachtung.

## Kork als nachwachsendes Natur-Material

Korkeichen wachsen im westlichen Mittelmeerraum, vor allem aber in Spanien und Portugal. In Portugal stellt der Korkanbau eine der wichtigsten Einnahmequellen dar: 750 000 Hektar nehmen die natürlichen und angebauten Korkeichen-Bestände dort ein.

Korkeichen (*Quercus suber*) stellen geringe Ansprüche an die Bodenbeschaffenheit, im Mittel-

meerraum fehlt ihnen allerdings die Winterhärte. Das Laub der nordafrikanischen Korkeiche verbleibt üblicherweise auch in der kälteren Jahreszeit am Baum. Jedoch können kalte Winter zur völligen Entlaubung führen. Die spanische Korkeiche, *Quercus occidentalis* trägt nur im Sommer ihr Laub.

Man findet die bis zwei Meter tief wurzelnden Korkeichen im Atlasgebirge Nordafrikas bis in Höhen von 2000 m. Die Bäume erreichen Höhen von 25 m mit Stammdurchmessern bis zu 90 cm. Selten trifft man auf Korkeichen, die ein Alter von 400 Jahren aufweisen. Ihre lederartigen wechselständigen Blätter der maximalen Abmessung von 4 x 5 cm variieren in der gezahnten Form von rundlich und oval bis zu lanzettlich-oval.

Während seines Lebens kann ein einzelner freistehender Baum bis zu 200 kg Kork aus seiner Rinde liefern. Je Hektar sind das etwa 200 bis 500 kg. Das Kambrium der bei jungen Bäumen glatten Rinde bildet schon früh eine längsrissige graubraune Korkschicht, die zu einer Dicke von drei bis fünf Zentimetern anwächst [1].

Die Korkernte durch behutsames Abtrennen der Baumrinde (Abbildungen 1 bis 3) kann erst nach 12 bis 20 Jahren bei einem Stammdurchmesser von 20 bis 30 cm beginnen und dann alle 9 bis 12 Jahre wiederholt werden. Der qualitativ beste Kork entsteht nach der zweiten bis vierten Ernte. Er weist nur wenige Risse auf und ist elastischer als die ersten Korkernten.

Von der Korkeiche lässt sich auch die Rinde zur Gewinnung von Gerbstoffen nutzen, die sie zu etwa 12 % enthält. Schließlich dienen auch die Eicheln als Zufütterung in der Schweinemast. Der einzelne Baum kann im Jahr davon 15 bis 30 kg abwerfen.

Heute befindet sich etwa 60 % der Kork-Wirtschaft in der Hand der Portugiesen, gefolgt von den Spaniern. Seit 1927 stieg die portugiesische Kork-Produktion von 16 000 t auf mehr als das Zehnfache an.

Im Einzelnen wachsen auf einer Fläche von rund 700 000 ha in Portugal etwa 180 000 t Kork (60% der Weltproduktion). Die Spanier ernten auf 450 000 ha in guten Jahren 90 000 t Kork (25%) und die Algerier kommen auf der

### 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.



gleichen Fläche zu etwa 25 000 t Kork (10%). Geringe Mengen (jeweils etwa 5%) fallen auch in Marokko, Frankreich und Italien an. Im Jahre 2000 schwankte der Preis für guten Flaschenkork zwischen umgerechnet 3,00 und 3,50 Euro, wie in Ullmann´s Enzyklopädie nachzulesen ist.

### Kork – Eigenschaften und Zusammensetzung eines nachhaltigen Materials

Der Zellstruktur und der chemischen Zusammensetzung des Korks sind die hohe Elastizität und die guten Wärme dämmenden Eigenschaften zu verdanken. Die Wärmeleitfähigkeit von Rohkork beträgt 0,045 bis 0,050 W/mK. Die Dichte schwankt zwischen 0,10 und 0,25 g/cm<sup>3</sup>. Dabei besitzt Kork eine hohe Festigkeit und einen hohen Abnutzungswiderstand. Seine Temperaturbeständigkeit reicht bis zu 100°C.

Die hexagonalen Mikrozellen des Korks haben eine Abmessung von 10 bis 45 µm Länge und 20 µm einer Sechseckseite. Die Wanddicke beträgt 1 bis 2 µm. Die Zellwände sind aus fünf Schichten aufgebaut: zwei bestehen aus Zellulose, zwei aus undurchlässigem Suberin und Wachs sowie einer Schicht aus Lignin, die der Zelle Struktur und Festigkeit verleiht.

Abbildung 2: Halbgeschälte Rinde der Korkeiche.

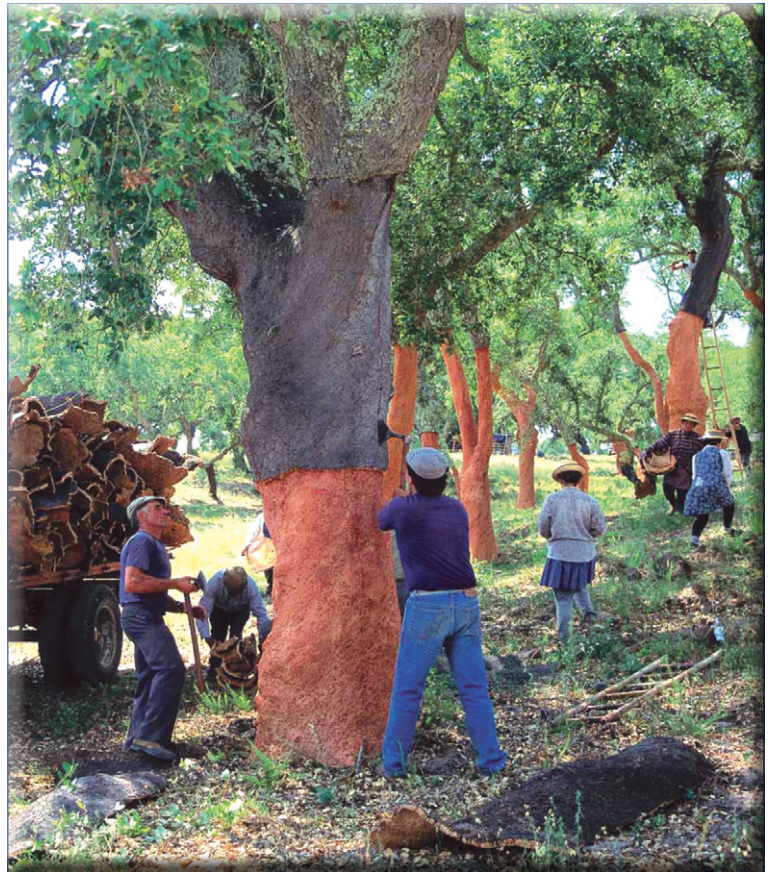


Abbildung 1: Kork-Ernte.

Dank der Hitzebeständigkeit seiner Korkrinde überstehen die Korkeichen mitunter sogar Waldbrände und kommen mit geringem Schaden davon. Sie werden versuchsweise sogar in Eukalyptuswäldern als Waldbrand-Barrieren eingesetzt.

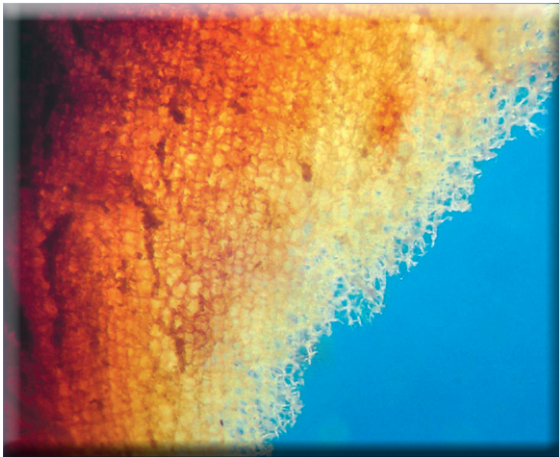
Kork ist verrottungs- und fäulnisfest.

Das Naturmaterial enthält 30 bis 42 Millionen Zellen auf einen Kubikzentimeter und ist zu 89 % mit Gas gefüllt. Die Dichte des luftfreien Anteils beträgt etwa 480 bis 520 kg je Kubikmeter.

Abbildung 3: Kork-Lagerung.



Abbildung 4:  
Mikroskopauf-  
nahme von Kork  
(200-fach).



Bei Erwärmung sinkt die Dichte durch Volumen-Vergrößerung. Diese Eigenschaft nutzt man bei der Herstellung von „Expandiertem Kork“ durch Erhitzen unter Luftausschluss auf 200°C. Dabei verliert der Kork seine Fettsäuren und Korkwachs, auf denen sich Mikroorganismen vermehren könnten. Die Elastizität jedoch bleibt erhalten. Das maximale Volumen, eine Verdoppelung, erreicht Kork beim Erhitzen auf 250°C.

Abbildung 4 zeigt eine Dünnschnitt-Aufnahme unter dem Lichtmikroskop und Abbildung 5 zwei Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen eines Korkschnittes.

Kork ist nicht hygroskopisch, und seine geschlossenen Zellen lassen keine Flüssigkeiten durchdringen. Gegen Meerwasser, Öle und verdünnte Säuren ist Kork beständig. Konzentrierte Mineralsäuren, Halogene, Wasserstoffperoxid, Ammoniak-Lösung, ätherische Öle sowie halogenierte Kohlenwasserstoffe greifen ihn an.

So entsteht unter anderem durch Umsetzung von Kork mit konzentrierter Salpetersäure die

„Korksäure“,  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$ , auch Octandisäure, Suberinsäure oder früher 1,6-Hexandicarbonsäure genannt.

Die Zusammensetzung des Korks wird in der Fachliteratur (zum Beispiel Ullmann´s Enzyklopädie) mit folgenden Daten angegeben [2]:

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Suberin                       | 33,0 bis 55,0 %             |
| Lignin                        | 12,6 bis 30,0 %             |
| Polysaccharide                | 12,0 bis 20,0 % (Zellulose) |
| Wachse                        | 3,5 bis 7,9 %               |
| Tannine<br>und andere Phenole | 6,0 bis 7,0 %               |

Suberin wurde als Polyester mit langkettigen Fettsäuren, Glycerin und verknüpften Phenolen analysiert (Abbildung 6). Es ist in allen Lösungsmitteln unlöslich, kann aber durch alkalische Hydrolyse und katalysierte Umesterung zerlegt werden. Abbildung 7 zeigt den Trennungsgang, für die Gewinnung der Kork-Bestandteile als Rohstoffe für Chemie und Pharmazie.

Im Rahmen seiner Promotionsarbeit beschäftigte sich der Schweizer Chemiker Georg Klaus Stockar bereits 1948 mit der „Chemie des Korks“, wie auch der Titel seiner Doktor-Arbeit lautet [3].

So lassen sich die Karbonsäuren des Korks durch alkalischen Aufschluss herauslösen und durch ihre unterschiedliche Löslichkeit über fraktioniertes Aussalzen oder über Blei- wie auch Magnesiumsalze trennen, nachdem das Korkwachs mit organischen Lösungsmitteln und die Gerbstoffe mit heißem Wasser entzogen wurden. Dieser verseifbare Rest stellt das Suberin dar, aus dem sich folgende Stoffe gewinnen lassen:

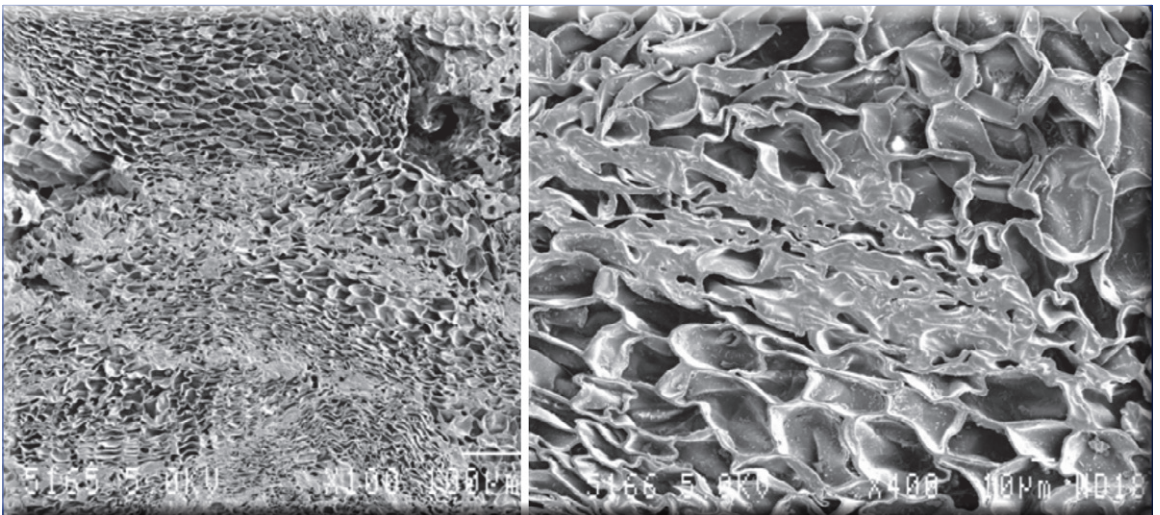


Abbildung 5:  
Rasterelektronenmikroskop-  
Aufnahmen eines  
Kork-Schnitts.

|                |           |  |                |
|----------------|-----------|--|----------------|
| Phellonsäure   | M = 384,6 | C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>3</sub> | Smp. = 96°C    |
| Ricinolsäure   | M = 298,5 | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>3</sub> | Smp. = 5,5°C   |
| Phloionsäure   | M = 250,5 | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>6</sub> | Smp. = 124°C   |
| Phloionolsäure | M = 236,4 | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>5</sub> | Smp. = 104°C   |
| Suberolsäure   | M = 442,7 | C <sub>26</sub> H <sub>50</sub> O <sub>5</sub> | Smp. = 28-32°C |
| Stearinsäure   | M = 284,5 | C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> | Smp. = 69-71°C |

Bei der Trennung der Dicarbonsäuren kann die nachlassende Löslichkeit mit zunehmendem Molekulargewicht genutzt werden (Abbildung 8).

Bei der trockenen Destillation des Korks bei 200 bis 400°C entstehen neutral reagierende Teer-Massen, aus denen sich unter anderem Benzol, Toluol, Naphtalin, Anthracen und substituierte Phenole abtrennen lassen.

### Der traditionelle Flaschenkork

Der bekannte Name „Kork“ entstammt dem lateinischen Begriff cortex = Baumrinde. Der Flaschenkork ist jedoch ausschließlich das Produkt der Korkeichenrinde. Schon die Griechen und Römer nutzten Korkverschlüsse für ihre Flaschen und Rohre. Über Jahrtausende galt der Flaschenkork als das ideale Verschlussmaterial für Wein- und später auch für Sektflaschen (Abbildung 9). Am befeuchteten Korken liegender Weinflaschen kann keine Luft eindringen, aber der Weinstein, das gut auskristallisierende Kaliumhydrogentartrat, KOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH, sammelt sich zusammen mit Kalziumtartrat zunächst am Korken. In reifen Weinen liegt der Weinstein anfangs übersättigt vor. Denn er löst sich in reinem Wasser bei 15°C nur zu 0,42 %, bei 100°C zu 7,0 %. In Alkohol ist der Weinstein völlig unlöslich, so dass die Löslichkeit noch entsprechend herabgesetzt wird.

Nur etwa 10 % der gesamten Rohkorkproduktion werden zur Herstellung von Flaschenkorken eingesetzt. Das macht jedoch schon 40 % der industriellen Produkte aus. 100 kg Rohkork sind notwendig, um 20 bis 30 kg Flaschenkorken herzustellen [4].

Naturkorken haben einen Verkaufswert um die 46 Euro je Kilo. Weltweit kommen jährlich mehr als 15 Milliarden Flaschenkorken auf den Markt. Seit dem Jahre 2000 driften Weinproduktionsmengen und Flaschenkorken-Markt auseinander: trotz steigender Weinmengen sank die Anzahl der Verschluss-Korken um 18 %.

Vor einigen Jahren geriet der Kork mehr und mehr in die Kritik, da er über das Einnisten von Pilzen (*Penicillium roquefortii*) in das Korkmaterial wie auch über Pestizid-Einsatz in den Korkeichen-Wäldern und das Bleichen der Fla-

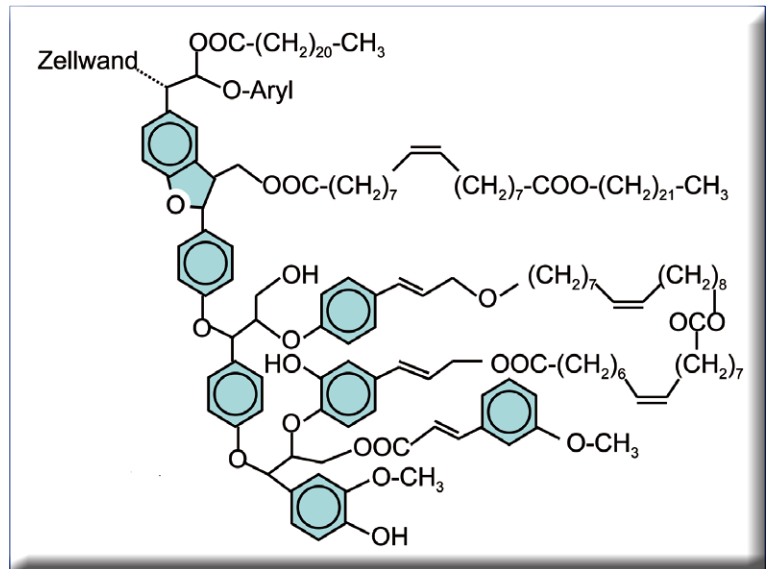


Abbildung 6: Schematische Strukturformel des Kork-Suberins.

Abbildung 7: Trennungsgang des Korks nach G. K. Stockar (1948).

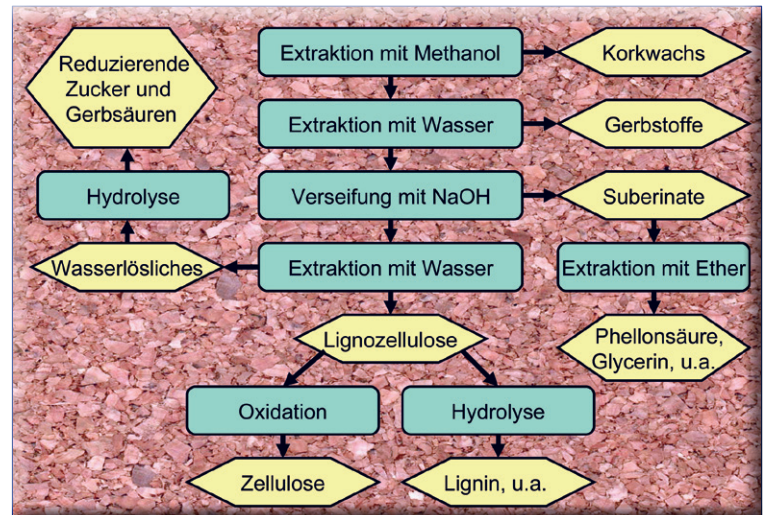
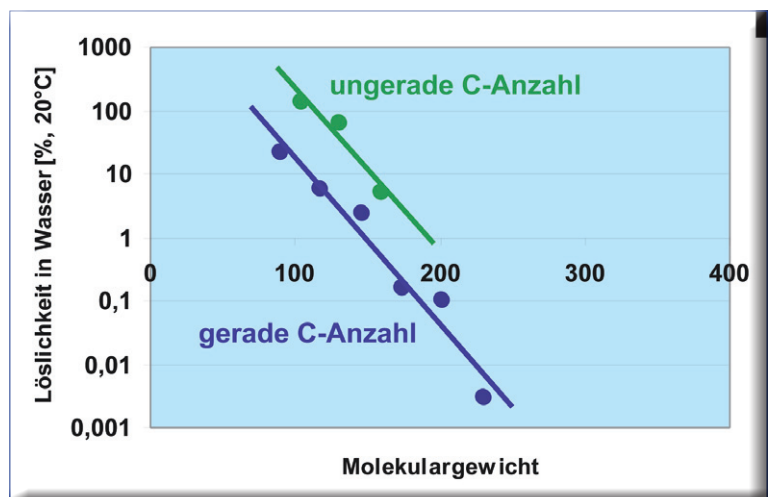


Abbildung 8: Logarithmisch linear sinkende Löslichkeit der n-Dicarbonsäuren mit steigendem Molekulargewicht.



schenkorken mit Chlor Spuren von Trichlorphenol oder Trichloranisol enthält, Verbindungen die bereits in geringsten Mengen auf den Geschmack negativ einwirken.

Über thermische Nachbehandlungen mit Wasserdampf sind die aromatischen Chlorverbindungen aus den Flaschenkorken zu entfernen. Auf diese Operationen haben die Flaschenkorkproduzenten aber solange verzichtet, dass sich eine Reihe von Alternativen auch für hochpreisige Weinflaschen etablieren konnte. Neben dem Schraubverschluss bewährte sich vor allem der Glasverschluss. Hierbei handelt es sich um einen gegossenen Glasstopfen mit einem profilierten Dichtungsring (Abbildung 10).

Er ist im Vergleich zum Flaschenkorken teurer und nur bei kostbaren Weinen zu finden. Die Winzer sind es jedoch leid, sich mit den Diskussionen um unzureichend nachbehandelte Flaschenkorken auseinandersetzen zu müssen. Denn sie haben für die nachhaltige Qualität ihrer empfindlichen Produkte schließlich geradezustehen.

Alternative Flaschenverschlüsse aus Metall, Kunststoff und Glas machten 2006 bereits 20 % des Weltmarktes bei Weinverschlüssen aus. In den USA verkaufte ein Hersteller alleine 1,2 Milliarden Kunststoffstopfen.

### Aromatische CKW

Chlorphenole und Chloranisole sind in der öffentlichen Diskussion lange Zeit hauptsächlich mit dem Korkgeschmack von Weinen in Verbindung gebracht worden.

Dabei sind sie auch in Fertighäusern mitunter in sehr hohen Konzentrationen zu riechen [5]. Insbesondere lässt sich das als Molekül symmetrisch aufgebaute 2,4,6-Trichloranisol

(Abbildung 11) schon in geringsten Konzentrationen als schimmelig-muffig riechen und schmecken. Die Geruchsschwelle wurde mit kaum vorstellbarem 0,006 Nanogramm je Liter [6], entsprechend Mikrogramm je Kubikmeter oder 6 Gramm auf einen Kubikkilometer ermittelt: oder eine winzige Messerspitze mit kaum sichtbarem 2,4,6-Trichloranisol-Puder in einer Eissport-Halle oder grob: die Menge eines Würfelzuckers im Bodensee.

Unsymmetrische Trichloranisole (2,3,6-TCA und 2,3,4-TCA) riechen zwar ähnlich schimmelig-muffig aber erst bei etwa einem Nanogramm je Liter. Eine ähnliche Geruchsschwelle wurde für 2,3,4,6-Tetrachloranisol ermittelt.

Als einen der Entstehungspfade von 2,4,6-Trichloranisol wird in der Literatur die mikrobielle Umsetzung von Chlorphenolderivaten aus Holzschutzmitteln, Herbiziden und Insektiziden diskutiert [7].

Auch die Kontamination von Korkeichen-Rinden durch die Abgase der häufigen Waldbrände werden ins Feld geführt: das in den Brandgasen enthaltene 2,4,6-Trichlorphenol (Xn; N) ist für Mikroorganismen toxisch und wird mikrobiologisch in das weniger giftige 2,4,6-Trichloranisol (Xn) durch Methylierung umgewandelt.

Die Siedepunkte der Chlorphenole und Chloranisole von der Monochlor- bis zur Pentachlor-Verbindung steigen mit dem Molekulargewicht an, wie in Abbildung 13 ersichtlich ist. Dabei zeigt sich, dass die so intensiv unangenehm riechenden Trichlor-Verbindungen hohe Siedepunkte über 200°C und demnach nur sehr geringen Dampfdruck bei Raum- oder gar Kellertemperatur aufweisen.

Aus einem Flaschenkorken diffundiert der 2,4,6-TCA-Geruch bereits innerhalb weniger Tage in den Wein, und fällt der geübten Nase eines Weinprüfers bereits als unangenehm verfälschtes Aroma auf.

Bromphenole führen zu dem gleichen muffigen Geruch. Aber auch andere Verbindungen, wie beispielsweise 1-Octen-3-ol,  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}(\text{OH})-\text{C}_5\text{H}_{11}$ , mit einem Pilzgeruch sind für einen „Korkton“ verantwortlich [8].

### Anwendungen von Kork

Neben der Hauptanwendung des Korkmaterials für Stopfen und Flaschenkorken findet es vor allem zur Wärme- und Schalldämmung sowie für weitere technische Einsätze seine Anwendung. So beispielsweise für Verbundwerkstoffe, Schuhsohlen und Boden- oder Wandbelege. Schon im Altertum diente Kork in der Fischerei als Schwimmer für Netze. Aus dem vorzeitlichen China, vor 5000 Jahren, sind bereits Fischer-Bojen aus Kork bekannt.

Abbildung 9: Kork, die Krone guter Weine.



Vor einigen Jahrzehnten wäre niemand auf die Idee gekommen, das Korkmaterial aus Flaschenstopfen und Dämm-Material wieder nach Gebrauch und Einsatz zurückzugewinnen.

75 % der Wein- und Sektkorken sowie auch Dämmmaterial aus Kork fallen als Sekundärkork an, werden zu Granulat gehäckselt und stehen für eine weite Palette an Produkten als Ausgangsmaterial zur Verfügung, zum Beispiel für Granulat-Dämmstoffe oder Leichtlehm-Bausteine.

In dem badischen Ort Kehl, in dem 1991 eine zentrale Verarbeitungs- und Sammelstelle für Flaschenkorken gegründet wurde, kamen bereits 1998 an die 3000 m<sup>3</sup> Kork zusammen, entsprechend 120 Millionen Flaschenkorken [9].

Allein in Deutschland befinden sich über zwei Millionen Fachwerkhäuser und mehr als 100 000 massive Lehmbauten in einem sanierungsbedürftigen Zustand, für den Korklehm-Bausteine sinnvolle, ökologisch nachhaltige Dienste leisten können. Kork-Lehmfüllmassen haben sich bei Außenwand-Zwischenschichten und Deckenfüllungen bewährt. Diese Naturstoff-Mischungen lassen sich mit üblichen Estrichpumpen transportieren. Rohdichten sind mit Sand zwischen 0,3 und 0,8 kg/l einstellbar und erzielen damit gute Schallschutzwerte bei gleichzeitig guter Wärmedämmung.

Korkschrot lässt sich auch ohne Bindemittel bei höheren Temperaturen zusammenbacken, da das Korkwachs als Binder fungiert. Nach dem Abkühlen entsteht eine feste Platte oder Formteil aus dem so genannten „Backkork“.

### Zukunft des Korks

Traditionelle Korkproduzenten sehen sich verstärkt Medienkampagnen von wirtschaftlich mächtigen Produzenten alternativer Flaschenverschlüsse gegenüber.

Oft sind andere Ursachen an der Beeinträchtigung des Weingeschmacks verantwortlich als die 2,4,6-Trichloranisol-Reste aus den Korkverschlüssen der Weinflaschen.

Verschiedene Reinigungs-Verfahren der Flaschenkorken, wie Wasserdampf- oder Enzymbehandlungen sollen Trichloranisol-Spuren völlig entfernen.

Auch die Vernichtungsmethoden der Korkeichen-Schädlinge werden überdacht, um Chlorphenole von der Korkrinde fernzuhalten.

Für Korkfußböden sichern zwei Prüfsiegel die hohe Material-Qualität. Flaschenkorken müssen sich analoger Qualitätssicherungen unterziehen, auch wenn diese Überwachungen wieder Aufwand und Kosten verursachen.

Über 95 % der portugiesischen Korkeichen-Wälder befinden sich im Besitz privatwirtschaft-

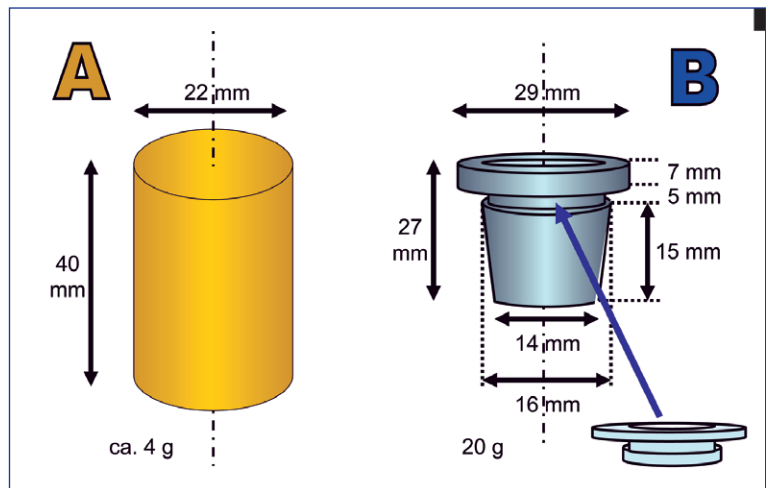


Abbildung 10: Weinflaschen-Verschlüsse: Korkstopfen (A) und Glasstopfen mit Dichtungsring (B).

Abbildung 11: Strukturformeln von 2,4,6-Trichlorphenol (A) und 2,4,6-Trichloranisol (B).

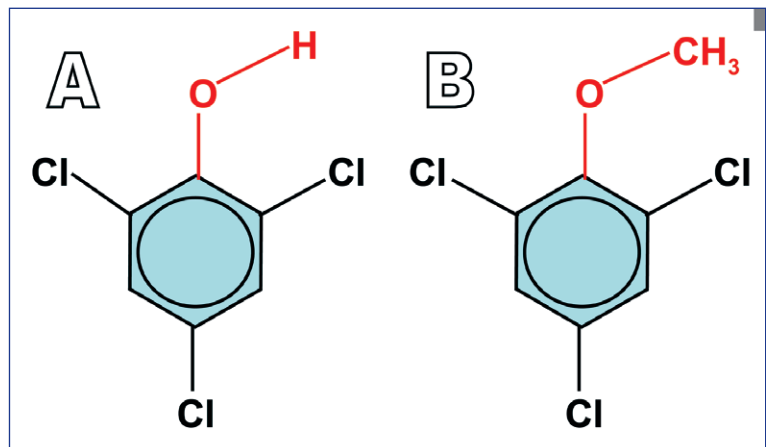
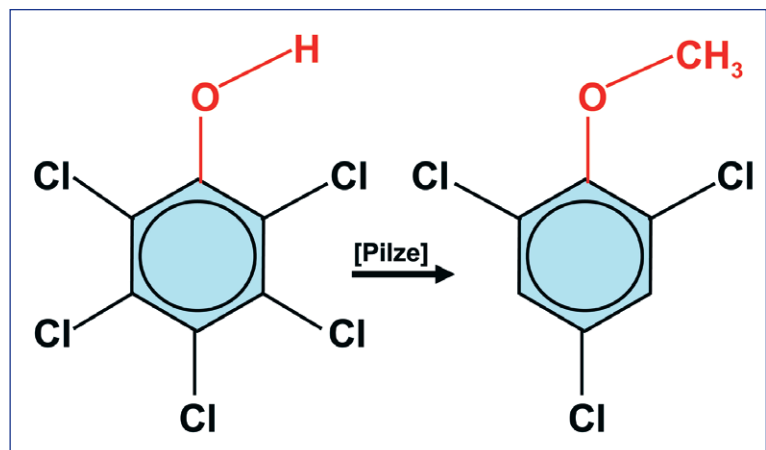


Abbildung 12: Biochemische Umwandlung von Pentachlorphenol zu 2,4,6-Trichloranisol durch Pilze in der Korkrinde.



licher Unternehmen. Der Korkexport ist ein wesentlicher Stützpfiler portugiesischer Volkswirtschaft. 2004 belief sich die Ausfuhrmenge auf über 150 000 t, entsprechend etwa 900 Mio. Euro, also 6 Euro/kg.

In Portugal leben mehr als 28 000 Familien direkt von den Korkeichen und weitere Portugiesen finden in den 900 Kork verarbeitenden Unternehmen, zu zwei Dritteln im Alentejo-Gebiet, ihren Arbeitgeber. Insgesamt sind es mehr als 100 000 Menschen, denen die Korkeichen-Wälder zur Lebensgrundlage dienen.

Der WWF ist über die schleichende Substitution des nachhaltigen Naturstoffs Kork besorgt: neben dem Kork-Ersatz durch andere Materialien, setzen Forstwirtschaft mit schnell wachsenden Eukalyptusbäumen, alljährliche Feuersbrünste sowie die Immobilien-Industrie der Korkwirtschaft kräftig zu und entziehen ihr die Grundlagen.

Auf dem hiesigen Markt versucht der Deutsche Kork-Verband e. V. [10] seit 1997 mit einem Qualitätssicherungs-Konzept für Korkböden ebenso wie mit dem Kork-Logo (Abbildung 14) die Akzeptanz zu steigern. So dürfen beispielsweise die Granulatbinder keine Monomere mehr enthalten, Schwermetalle sind ebenso tabu, wie Pestizide und Flammschutzmittel.

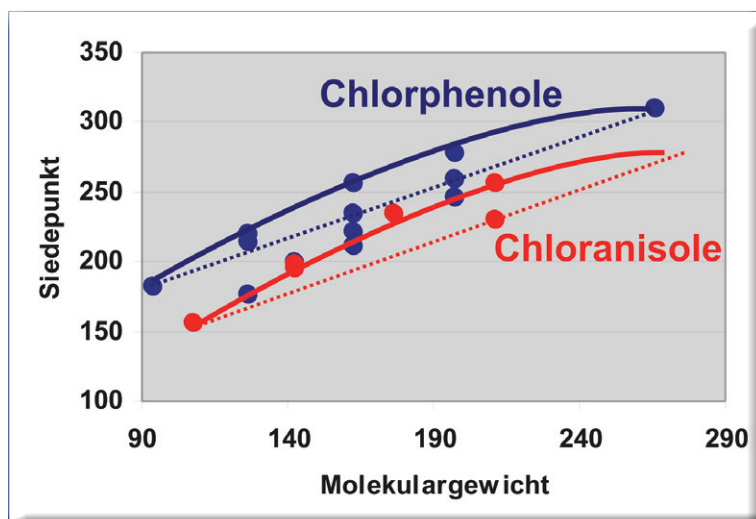
Der Verband arbeitet aber auch im Rahmen von Forschungsaufträgen an der Verbesserung von Kork-Verarbeitungsmethoden und Einsatzmöglichkeiten dieses nachhaltigen Naturmaterials.

CLB



Abbildung 14: Oberfläche einer Korkgranulat-Platte mit Logo des Deutschen Kork-Verbandes e. V.

Abbildung 13: Siedepunkte der Chlorphenole und Chloranisole.



#### Literatur:

- [1] „Korkeiche“, <http://de.wikipedia.org/wiki/Korkeiche>
- [2] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 9, 6th Ed. (2003)
- [3] Stockar, G. K., „Über die Chemie des Korks“, Promotionsarbeit, ETH Zürich (1948)
- [4] „Was ist Kork?“, <http://www.korken.ch/wasistkork.htm>
- [5] Binder, M., H. Oberland und W. Maraun, „Schadstoffe in Fertighäusern – Chloranisole“, IfAU-Studie, Institut für Angewandte Umweltforschung e. V., 61440 Oberursel, T.: 06171-74213; oberland@ifau.org
- [6] Illy, E., „Von der Bohne bis zum Espresso“, Spektrum der Wissenschaft, Mai (2003) 82 - 87
- [7] „2,4,6-Trichloranisole“: <http://de.wikipedia.org/wiki/2,4,6-Trichloranisole>
- [8] „Korkton“: <http://de.wikipedia.org/wiki/Korkton> und <http://www.verschlusssache-wein.de/>
- [9] Schillberg, Klaus und Heinz Knieriemen, „Bauen und Sanieren mit Lehm – Kork, Hanf und Schilf in modernen Lehmbautechniken“, AT Verlag, Aarau, Schweiz (2001)
- [10] Deutscher Kork-Verband e. V., 33602 Bielefeld, T.: 0521-1369740, [info@kork.de](mailto:info@kork.de), [www.kork.de](http://www.kork.de) und [www.korkboden.de](http://www.korkboden.de)



Wir haben jetzt die ultimativen Sicherheitszündhölzer entwickelt. Sie verfügen über einen personalisierten Zündmechanismus. Nur wenn der Fingerabdruck-Scanner eines jeden Zündholzes den Besitzer eindeutig identifiziert, lassen sie sich zünden.



# Pflanzen 1: Wie Pflanzen Infektionen bemerken

## Hunderte von Frühwarnsystemen gegen Eindringlinge

**K**leinste Bruchstücke von Bakterien reichen aus, um bei Pflanzen eine Abwehrreaktion gegen die Schädlinge auszulösen. Forscher von den Universitäten Würzburg und Basel beschreiben jetzt molekulare Details dieser Reaktion.

In der freien Natur ist das Leben der Pflanzen ständig in Gefahr: Ungünstige Umweltbedingungen wie anhaltende Trockenheit oder Schadstoffe in Atmosphäre, Boden und Wasser bedrohen sie. Außerdem lauern ständig angriffslustige Pilze, Bakterien und Viren.

Kalzium – einen Anionen-Kanal in der Membran.

Gleichzeitig zeigten die Baseler, dass die Erregung der Membran an den Zellkern weitergeleitet wird und das Immunsystem stimuliert: Die Pflanze aktiviert Abwehrgene, baut antimikrobielle Substanzen und Enzyme zusammen und überschüttet damit die eingedrungenen Bakterien.

Um die Verbreitung der Mikroben zu verhindern, begehen – quasi als letzte Instanz – rund um den Infektionsherd ganze Gruppen von Zellen den Opfertod. Zurück bleiben braune Flecken und mikroskopisch kleine „Narben“ als Zeugen der gelungenen Schädlingsabwehr.

Was aber, wenn die Pflanze das Flagellin übersieht, das bei vielen Bakterien vorkommt? Kein ganz so großes Problem: Die Pflanze identifiziert Eindringlinge gleichzeitig über verschiedene Rezeptoren – so nimmt sie einen typischen Fingerabdruck von den jeweiligen Erregern.

Das angeborene Immunsystem der Pflanzen besteht aus Hunderten solcher Frühwarnsysteme. Dazu gehören auch solche vom PEPR1/2 Typus, die pflanzeigene Peptide aus dem Zellinneren erkennen. Sobald Mikroben eine Pflanzenzelle verletzen, gelangen diese Peptide an die Oberflächenrezeptoren umgebender Zellen und signalisieren Gefahr.

Aus ihren Untersuchungen schließt die deutsch-schweizerische Forschungsallianz: Die unterschiedlichen Gefahrensignale, die von diesen Rezeptoren erkannt werden, werden über den gleichen Anionen-Kanal in ein elektrisches Signal übersetzt.

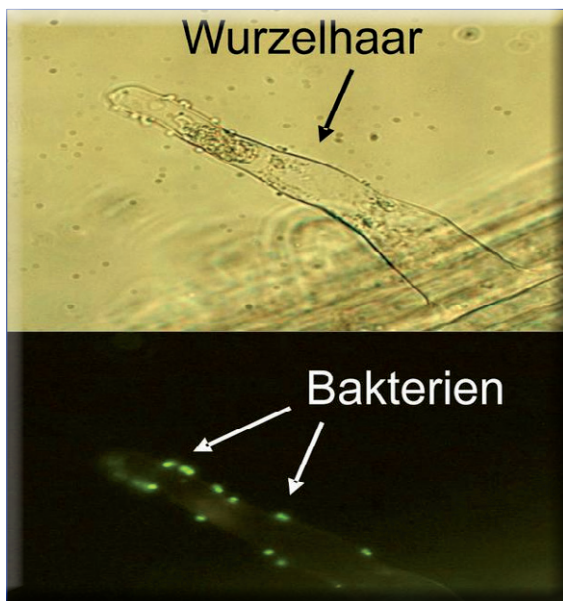
Gegenwärtig sind die Forscher dabei, das Gen für diesen zentralen Ionenkanal aufzuspüren. Man hat zwei Genfamilien gefunden, die Anionen-Kanäle codieren.

Forscher um Prof. Thomas Boller aus Basel und die Würzburger Arbeitsgruppe um den Biophysiker Proff Rainer Hedrich und den Molekularbiologen Dr. Dirk Becker zeigten nun, wie Pflanzen mit ihrem angeborenen Immunsystem potentielle Krankheitserreger in die Schranken weisen. Erforscht haben sie dieses Phänomen mit Bakterien vom Typ *Pseudomonas* und mit der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand). *Pseudomonas*-Bakterien können bei Pflanzen Fäulnis und andere Schäden hervorrufen.

Auf das Bakterium *Pseudomonas* fiel die Wahl nicht von ungefähr: Die Baseler identifizierten in der Hüllmembran von Pflanzenzellen einen Rezeptor (FLS2). Er erkennt noch in verschwindend kleinen Mengen Bruchstücke der bakteriellen Fortbewegungsorgane, der Flagellen.

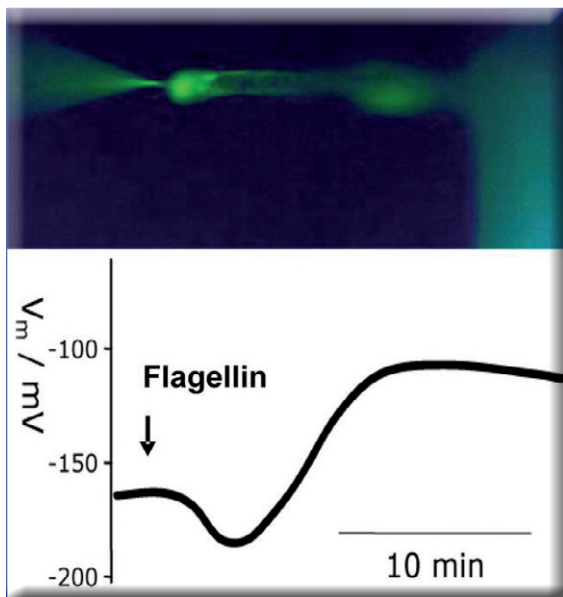
### Elektrische Erregung durch Bakterien-Bruchstücke

Aus Basel bekamen die Würzburger eine 22 Aminosäuren lange Peptidkette (Flg22) aus dem Flagellen-Baustein Flagellin und dazu Rezeptor-Mutanten von *Arabidopsis*. Mit diesem Material stellten sie fest, dass das Bakterien-Peptid die Pflanzenzellen elektrisch erregt: Etwa eine Minute, nachdem sie den Pflanzen das Bakterien-Bruchstück verabreicht hatten, stellten sie einen Anstieg der Kalzium-Konzentration zusammen mit einer zehn Minuten anhaltenden Depolarisation der Membran fest. Der Flagellin-Rezeptor aktiviert – abhängig von



Wurzelhaar einer Pflanze mit angreifenden Bakterien (unteres Bild, grün; Fotos: Uni Würzburg).

Eine Mikroelektrode misst die elektrische Erregung einer Wurzelzelle, nachdem diese in Kontakt mit Flagellin gekommen ist, dem Bruchstück eines Bakteriums. Etwa eine Minute nach dem Kontakt steigt die Kalzium-Konzentration, die Membran wird für etwa zehn Minuten depolarisiert.



## Pflanzen 2: Bei Sex Abwehrproteine Neues über die pflanzliche Befruchtung

**Pflanzen und Tiere haben seit ihrer Entstehung vielfältige Formen von Abwehrmechanismen entwickelt, um sich gegen Krankheitserreger zu wehren. Proteine haben in diesem ständigen Wettkampf zwischen Bakterien und Pilzen auf der einen und Pflanzen und Tieren auf der anderen Seite eine bedeutende Rolle gespielt. So entwickelte sich beispielsweise eine ganze Reihe von Abwehrproteinen (Defensine und Defensin-ähnliche Proteine) zu einem essentiellen Bestandteil des pflanzlichen Immunsystems. Dass solche Proteine für Pflanzen auch eine wichtige Rolle beim Sex bzw. bei der Befruchtung spielen, haben nun Regensburger Wissenschaftler herausgefunden.**

Das Forscherteam um Prof. Thomas Dresselhaus vom Regensburger Zentrum für Biochemie und Biophysik konnte dies über Untersuchungen an der Nutzpflanze Mais nachweisen. Eine besondere Form von Abwehrproteinen, ZmES1-4 Defensine, werden demnach vom Eiapparat der Pflanze ausgeschüttet und öffnen Kalium-Ionen-Kanäle beim männlichen Geschlechtspartner, wodurch die männlichen Spermazellen explosionsartig freigesetzt werden. Erst hierdurch kann es anschließend zu einer Befruchtung kommen. Die Ergebnisse der Regensburger Forscher versprechen neuartige Anwendungsmöglichkeiten, um die Barrieren zwischen derzeit noch nicht kreuzbaren Nutzpflanzen zu überwinden.

### Defensine in der Pflanzenwelt und im Tierreich

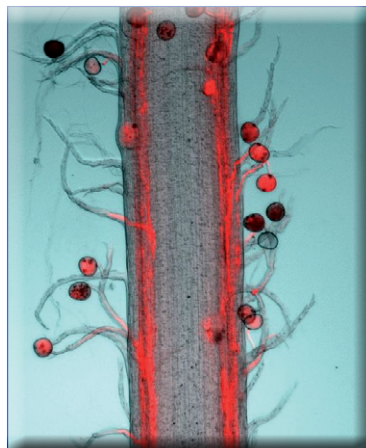
Mit Ausnahme der hoch entwickelten Säugetiere benötigen Pflanzen und Tiere Defensine zur Abwehr von verschiedenen Krankheitserregern. Bei Tieren werden Defensine aber auch für die Abwehr von höheren Organismen oder für den Beutefang benutzt. Einige bekannte tierische Defensin-ähnliche Proteine sind als

Toxine in den Giften von Schlangen, Skorpionen, Meeresschnecken und sogar der Honigbiene bekannt.

Eine völlig neue Beobachtung ist die Rolle der Proteine beim Sex. In den 1990er Jahren wurden erstmals Defensin-ähnliche Proteine in den männlichen Geschlechtsorganen der Ratte beschrieben. Die Funktion ist allerdings bis heute nicht bekannt. Pflanzen erzeugen ebenfalls sehr viele Varianten von Defensinen in den jeweiligen männlichen und weiblichen Geschlechtsorganen. Bis vor kurzem ging man lediglich davon aus, dass diese Proteine die Geschlechtszellen und den sich nach der Befruchtung entwickelnden Samen vor Krankheitserregern schützen.

Die neuen Forschungsergebnisse deuten an, dass bereits die ersten Landpflanzen vor etwa 470 Millionen Jahren und gerade auch die Blütenpflanzen, die vor etwa 170 Millionen Jahren entstanden sind, Mechanismen der Krankheitsabwehr benutzt und angepasst haben, um unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten zwischen männlichen und weiblichen Geschlechtspartnern zu entwickeln und dabei Spermazellen zur Befruchtung zu entlassen.

Pollenschläuche von Mais (rot gefärbt) wachsen zum Transport der unbeweglichen männlichen Spermazellen zum weiblichen Eiapparat, um dort die Spermazellen zur Befruchtung zu entlassen (Foto: Uni Regensburg).



### Krankheiten: Mechanismen und Möglichkeiten

- Tübinger Wissenschaftler vom Interfakultären Institut für Zellbiologie (IFIZ) entwickeln den weltweit ersten **therapeutischen Impfstoff zur Behandlung von Leberkrebs**. Die Entwicklung des Impfstoffs wird vom BMBF mit mehr als einer Million Euro unterstützt. Der Beginn der klinischen Prüfung ist frühestens für die zweite Jahreshälfte 2012 vorgesehen.

- Ein Auslöser der **Mukoviszidose (zystische Fibrose)** ist die fehlerhafte Regulation des Hitzeschockproteins Hsp90 durch das Partnerprotein Aha1. Den Mechanismus dieser Reaktion haben nun Wissenschaftler der Technischen Universität München (TUM) aufgeklärt. Hsp90 ist ein Chaperon (siehe CLB 01-02/2010). Hsp90 ist ein aus zwei identischen Untereinheiten symmetrisch zusammengesetztes Protein. Man weiß, dass die Erkrankung durch die Wechselwirkung zwischen Hsp90 und einem Partnerprotein namens Aha1 wesentlich verstärkt wird. Dies geschieht unsymmetrisch, fanden die Forscher.

- Bei zu dickem Blut sammeln sich Proteine an und lassen die Ader verstopfen; es kommt zur Thrombose. Wenn die Ansammlung zu stark abgebaut wird, kann eine Bluterkrankheit vorliegen, bei der es zu unkontrollierten Blutungen kommt. Den Ausgleich schafft bei gesundem Blut ein Protein, der „Von-Willebrand-Faktor“ (VWF). Dieses Protein schwimmt neutral im Blutfluss mit und wird aktiv, wenn ein Blutgefäß verletzt ist und Blut austritt. Mit dem Computer gelang es Forschern am Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS), eine „**Sollbruchstelle**“ im VWF-Faktor zu entdecken und den Vorgang des Schneidens nachzuvollziehen, welches nach dem Blutstopp notwendig ist, um eine Verstopfung zu vermeiden.

- Das als „Todesbote“ bekannte **Signalmolekül CD95L löst nach Rückenmarksverletzungen** im verletzten Gewebe eine Entzündung aus und verhindert dadurch die Heilung. Dies veröffentlichten Wissenschaftler aus dem Deutschen Krebsforschungszentrum. Schalten die Forscher bei Mäusen CD95L aus, heilt das verletzte Rückenmark, und die Tiere erlangen bessere Beweglichkeit zurück.

- 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.

- Wissenschaftler aus dem Deutschen Krebsforschungszentrum wiesen zum ersten Mal nach, dass **bösartige Hirntumoren direkt aus Hirn-Stammzellen** entstehen. Das Protein Tlx sorgt im erwachsenen Gehirn dafür, dass aus Gewebe-Stammzellen neue Nervenzellen entstehen. Zuviel Tlx regt bei Mäusen die Bildung bösartiger Hirntumoren aus Hirn-Stammzellen an. Auch beim Glioblastom, dem bösartigsten Hirntumor des Menschen, spielt Tlx eine Rolle. Mit Tlx ist daher erstmalig ein möglicher Angriffspunkt für zielgerichtete Therapien gegen das gefährliche Glioblastom entdeckt.

## DFG richtet zwölf weitere Graduiertenkollegs ein Attraktive Promotionsbedingungen und innovative Modelle

**Z**ur weiteren Stärkung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Deutschland richtet die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) zwölf neue Graduiertenkollegs ein. Dies wurde jetzt vom zuständigen Bewilligungsausschuss in Bonn beschlossen. Die neuen Graduiertenkollegs bieten Doktorandinnen und Doktoranden die Chance, in einem strukturierten Forschungs- und Qualifizierungsprogramm auf hohem fachlichem Niveau zu promovieren.

Zwei der neuen Graduiertenkollegs – ein lebenswissenschaftliches in Erlangen-Nürnberg und ein wirtschaftswissenschaftliches in Bonn – haben für ihre jeweiligen Wissenschaftsbereiche innovative Modelle für einen „Fast track“ entwickelt. Durch diesen sollen hervorragende Bachelor-Absolventen einen raschen qualitativ hochwertigen Zugang zum Promotionsstudium erhalten.

Nunmehr können für Doktorandinnen und Doktoranden in allen Disziplinen neben Stipendien auch Stellen finanziert werden, wenn die nationale und internationale Wettbewerbssituation innerhalb und außerhalb des Wissenschaftssystems dies erfordert. Dies bringt neben den in der europäischen Forschercharta geforderten attraktiven Finanzierungsbedingungen auch einen angemessenen Sozialversicherungsschutz mit sich.

Drei der neuen Einrichtungen sind Internationale Graduiertenkollegs, die eng mit ausländischen Universitäten in Frankreich und Indien kooperieren.

Die neuen Promotionsprogramme werden in der ersten Förderperiode von viereinhalb Jahren von der DFG mit einer Summe von insgesamt rund 45 Millionen Euro (inklusive einer Programmpauschale für indirekte Kosten der Projekte) gefördert. Zusätzlich zu den zwölf Einrichtungen stimmte der Bewilligungsausschuss

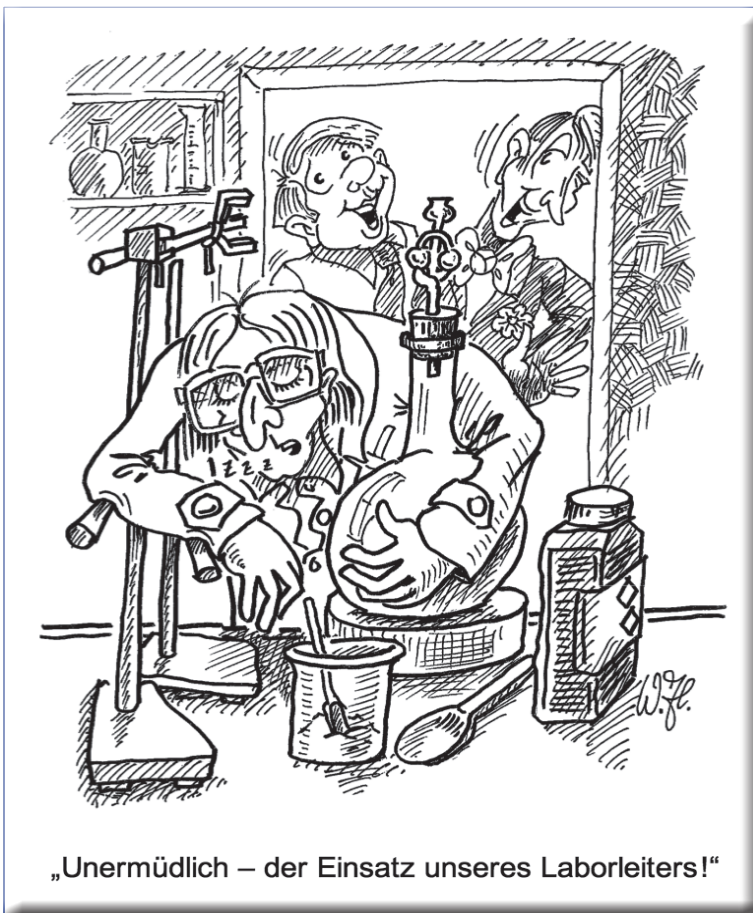
auch der Verlängerung von 19 Graduiertenkollegs zu. Die DFG fördert zurzeit 219 Graduiertenkollegs, davon 55 Internationale Kollegs.

Die neuen Graduiertenkollegs (GRK) im Einzelnen (in alphabetischer Reihenfolge der Sprecherhochschulen):  
Das in der Mathematik angesiedelte GRK 1632 **„Experimentelle und konstruktive Algebra“** verfolgt die grundlegende Idee, „repräsentativen Agenten“, welches die Komplexität der Realität auf ein Minimum reduziert und in weiten Teilen der Wirtschaftswissenschaften

rimenteller Ebene zu untersuchen (Sprecherhochschule: RWTH Aachen; Sprecherin: Prof. Gabriele Nebe).  
Multichromophore Systeme umfassend zu bearbeiten, ist Ziel des GRK 1640 **„Fotophysik synthetischer und biologischer multichromophorer Systeme“**. Solche Systeme spielen zum Beispiel eine wichtige Rolle bei der Fotosynthese, der Entwicklung von organischen Solarzellen oder in der allgemeinen molekularen Elektronik. Neben der Anwendungsrelevanz sind diese Systeme auch deswegen interessant, weil sie Erkenntnisse zu fundamentalen Fragestellungen aus Physik und Chemie der kondensierten Materie erlauben. Um systematische Fortschritte auf diesem Gebiet zu erzielen, sollen Konzepte, Erfahrungen und methodisches Wissen aus Physik und Chemie kombiniert werden (Sprecherhochschule: Universität Bayreuth; Sprecher: Prof. Jürgen Köhler).

Die Projekte des Internationalen GRK 1673 **„Functional Molecular Infection Epidemiology“** befassen sich mit den Faktoren, die die Ausprägung und die geografische Verbreitung von Infektionskrankheiten bestimmen. Im Fokus der gemeinsamen Einrichtung der FU Berlin und der University of Hyderabad stehen dabei die Bereiche „Wirt-Pathogen-Genomik“ und „Analyse genetischer Wirtsvariationen“. Die vergleichende Analyse von Infektionskrankheiten in Deutschland und Indien soll Hinweise auf Pathogen- und Wirtsfaktoren geben, die das Krankheitsgeschehen beeinflussen (Sprecherhochschule: Freie Universität Berlin; Sprecher: Prof. Lothar H. Wieler; Kooperationspartner: University of Hyderabad, Indien).

Das zentrale Forschungsziel des GRK 1707 **„Heterogenität, Risiko und Dynamik in ökonomischen Systemen“** ist die Überwindung des vereinfachenden Paradigmas des „repräsentativen Agenten“, welches die Komplexität der Realität auf ein Minimum reduziert und in weiten Teilen der Wirtschaftswissenschaften



„Unermüdetlich – der Einsatz unseres Laborleiters!“

die Grundlage für theoretische und empirische Modellbildung ist (Sprecherhochschule: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn; Sprecher: Prof. Jürgen von Hagen).

Wie sieht die Zukunft in der Materialforschung aus? In Forschung und Lehre stellt die „Weiche Materie“ ein wachsendes Fachgebiet dar, das Chemiker, Physiker und Ingenieure gleichermaßen fasziniert. Grund hierfür sind die erstaunlichen Eigenschaften weicher Materialien – etwa deren Fähigkeit, auf äußere Reize zu reagieren. Bei der Herstellung von innovativen Materialien werden diese bereits genutzt; dabei entstehen jedoch komplexe Systeme. Das Internationale GRK 1642 „**Weiche Materie: Von molekularen Kräften zu neuen Materialien**“ befasst sich mit der Herausforderung, die Synergien zwischen den steuernden Faktoren zu verstehen, sodass deren Einfluss auf die Materialeigenschaften kontrollierbar wird (Sprecherhochschule: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Sprecher: Prof. Günter Reiter; Kooperationspartner: Université de Strasbourg, Frankreich).

Lösungen für Skalenprobleme entwickeln, die in wissenschaftlich und öffentlich relevanten Feldern auftreten – das will das GRK 1644 „**Skalenprobleme in der Statistik**“ erreichen (Sprecherhochschule: Georg-August-Universität Göttingen; Sprecher: Prof. Martin Schlather).

Das Internationale GRK 1627 „**Virtual Materials and Structures and their Validation**“ will ein Forum für Forschung und Entwicklung der neuesten Methoden im Bereich von numerischen Simulationsverfahren, von virtuellen Experimenten und ihrer Validierung schaffen. Die beteiligten Forscherinnen und Forscher aus Frankreich und Deutschland reagieren damit auf den hohen Forschungsbedarf, um robuste und zuverlässige Berechnungswerkzeuge für die Durchführung virtueller Experimente von Materialien und Strukturen zu entwickeln zu können (Sprecherhochschule: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover; Sprecher: Prof.-Ing. Peter Wriggers; Kooperationspartner: Ecole Normale Supérieure de Cachan, Frankreich).

Unter dem Motto „doing space while doing gender“ will das GRK 1599 „**Dynamiken von Raum und Geschlecht: entdecken – erobern – erfinden – erzählen**“ die wechselseitigen Bezüge von Raum und Geschlechterkonstitutionen in aktuellen und historischen Gesellschaften inner- und außerhalb Europas untersuchen (Sprecherhochschule: Universität Kassel, Georg-August-Universität Göttingen; Sprecherinnen: Prof. Rebekka Habermas, Göttingen/Prof. Renate Dürr, Kassel).

Das GRK 1608 „**Selbst-Bildungen – Praktiken der Subjektivierung in historischer und interdisziplinärer Perspektive**“ befasst sich mit einer Frage, die nicht erst im Internet-Zeitalter von großer Relevanz ist: Wie wird ein Subjekt zum Subjekt? (Sprecherhochschule: Carl von Ossietzky Universität Oldenburg; Sprecher: Prof. Thomas Alkemeyer).

Das Forschungsprogramm des GRK 1660 „**Schlüsselsignale der Adaptiven Immunantwort**“ will durch die molekulare Analyse von drei zentralen Zellpopulationen grundlegende Beiträge zum Verständnis der adaptiven Immunantwort unter physiologischen, aber auch pathophysiologischen Bedingungen liefern. Das Hauptziel ist die Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf dem Gebiet der adaptiven Immunität (Sprecherhochschule: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Sprecher: Prof. Hans-Martin Jäck).

Das GRK 1539 „**Sichtbarkeit und Sichtbarmachung. Hybride Formen des Bildwissens**“ befasst sich mit dem Zusammenspiel von Bild und Wissen, das eines der Kernthemen gegenwärtiger Forschung darstellt (Sprecherhochschule: Universität Potsdam; Sprecher: Prof. Dieter Mersch).

Aktuelle Entwicklungen in der Arithmetik und der Analysis sind von einem zunehmenden Gebrauch geometrischer Sprache und Methoden geprägt. Der Schwerpunkt des GRK 1692 „**Curvature, Cycles and Cohomology**“ soll auf der Entwicklung und Vermittlung gemeinsamer geometrischer, analytischer und topologischer Aspekte liegen (Sprecherhochschule: Universität Regensburg; Sprecher: Prof. Ulrich Bunke).

## Neue Forschungseinrichtungen

- **Technologie-Zentren in Würzburg:** Mit 4,23 Millionen Euro fördert die Europäische Union den Aufbau von zwei Technologie-Zentren an der Universität Würzburg. Die neuen Einrichtungen befassen sich mit Nanotechnologien und mit ultrahochauflösender Analytik. Untergebracht werden die neuen Zentren in der Nähe des Physikalischen Instituts auf dem Hubland-Campus in einem Neubau. Baubeginn soll im Jahr 2011 sein.

- **Richtfest am Reinraum-Erweiterungsbau des IPHT Institut für Photonische Technologien:** Der IPHT-Reinraum wird gemeinschaftlich mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena (u.a. Institut für Angewandte Physik) genutzt. Er wird zu einem der modernsten seiner Art in Thüringen ausgebaut.

- **Die Universität Köln erhält ein neues Massenspektrometer,** dessen Kernstück ein 6-Megavolt-Teilchenbeschleuniger ist. Die letzten Komponenten des Systems wurden am 18. Mai am Institut für Kernphysik angeliefert. Für die Beschaffung des Geräts stellte die Forschungsgemeinschaft 5,5 Millionen Euro zur Verfügung. Das neue Zentrum für Beschleuniger-Massenspektrometrie „CologneAMS“ an der Universität wird als zentrale deutsche Einrichtung der Wissenschaftsgemeinschaft ab 2011 zur Verfügung stehen. Neben wissenschaftlichen Fragestellungen auf den Gebieten der nuklearen Astrophysik, Medizin und Pharmakologie werden Geo- und Umweltwissenschaftler die neuen Messmöglichkeiten in der experimentellen Grundlagenforschung nutzen.

- **Industrielle Biotechnologie:** Am 30. April 2010 wurde vor dem Gebäude 13 (Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften) der Fachhochschule Lübeck der Grundstein für das erste „Centrum Industrielle Biotechnologie“ (CIB) in Schleswig-Holstein gelegt.

- **Das Institut für Solarforschung (SF)** wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) initiiert und arbeitet sehr eng mit dem Solar-Institut Jülich der Fachhochschule Aachen zusammen. Eine entsprechende Vereinbarung über die Zusammenarbeit und Unterstützung durch das Land Nordrhein-Westfalen wurde Anfang Mai unterzeichnet. Das Land fördert den Aufbau des Instituts in den kommenden fünf Jahren mit insgesamt 27 Millionen Euro.

- **Den Zugang zur Cochrane Library** fördern für akademische Einrichtungen die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Zentralbibliothek Medizin (ZB Med). Über 4000 systematische Übersichtsarbeiten und über 600 000 Studienreports der patientennahen klinischen Forschung für die Gesundheitsforschung und -versorgung werden so zugänglich gemacht. DFG und ZB Med stellen bis 2019 eine Basisfinanzierung für die Cochrane Library bereit. Damit wird interessierten Institutionen der Zugang zur Datenbank zu einem sehr viel moderateren Preis ermöglicht. Bisher haben sich 47 Institutionen dieser Zugangsmöglichkeit angeschlossen.

## Prüfungsfragen und Fachbegriffe für Chemielaboranten



Katzer, Kuhn, Lamm: Prüfungsbuch für Chemielaboranten; 380 Seiten, mit farbigen Abbildungen; ISBN 978-3-7782-1630-9; 21,00 Euro.

Meißner/Schnitger/Weber: Fachbegriffe für Chemielaboranten; 180 Seiten; ISBN 978-3-7782-1631-6; 9,80 Euro. Jeweils Holland+Josenhans Verlag, Stuttgart 2010.

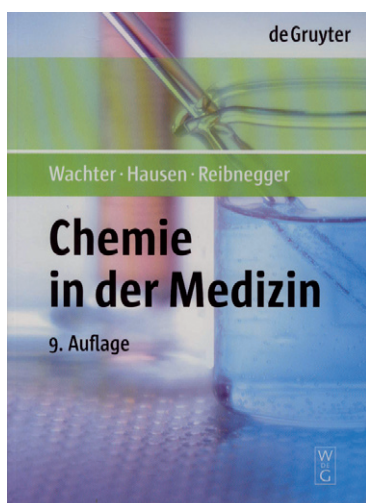
Gleich zwei Taschenbücher für Chemielaboranten bringt der Holland+Josenhans Verlag in Stuttgart auf den Markt. Das Prüfungsbuch für Chemielaboranten umfasst die prüfungsrelevanten Themen mit Ausnahme der biochemischen Lernfelder. Ausschlaggebend für den Inhalt ist der bundesweit gültige „Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Chemielaborantin/Chemielaborant“. Der Inhalt besteht aus den Bereichen Präparative Chemie, Allgemeine und Analytische Chemie sowie aus Wahlqualifikationen (Verfahrenstechnik, Chromatographie, Spektroskopie, Probenahme sowie Qualitätsmanagement).

Das Buch ist ein reines Fragen-/Antworten-Buch. Zusammenfassende Einführungen in die

verschiedenen Themenbereiche gibt es nicht. Nur Stöchiometrie und Chemisches Rechnen sind gegliedert in einen Formelteil und in Lösungswegen. Ansonsten hat das Buch eine vom Layout her klare und aufwändige Unterteilung in links: fettgedruckten Fragen; rechts: konzentrierten Antworten, unterstützt durch zahlreiche Grafiken. Dies ist in einer kurzen Besprechung nur schwer darzustellen. Die CLB hat daher in dieser Ausgabe ihre Fragenseite mit Beispielen aus diesem Buch gestaltet (s.S. 278). Das Buch ist mit 380 Seiten ziemlich umfangreich. Wer alle Fragen durcharbeitet hat eine gute Ausgangsbasis für die entsprechenden Prüfungen.

Das Buch „Fachbegriffe für Chemielaboranten“ ist eine Art Ergänzung zu o.g. Buch. Es folgt demselben Layout: links ein Begriff, rechts die Erläuterung dazu. Es werden theoretische Grundlagen der allgemeinen, anorganischen und organischen Chemie behandelt, dazu praktische Durchführungen: Arbeitsprozesse, Analysenverfahren, Qualitätssicherung, und dann folgen noch Begriffe aus berufsübergeordneten Themen wie Responsible Care und Organisationsstrukturen. Bei solch einem Buch drängt sich der Vergleich mit Wikipedia auf. In vielen Fällen kann der schnelle Klick in Wikipedia da auch mithalten, selbst bei Abkürzungen wie „ATEX“. Das Fachbegriffe-Buch bringt aber bei etlichen Begriffen mehr semantischen Zusammenhang mit, Beispiele: technisch-hygienischer Umweltschutz; volumenproportionale Probenahme; neutral reagierendes Salz. Zudem hat es gegenüber Wikipedia den Vorteil der Konzentration auf den Chemielaborantenbereich, 180 Seiten lang, leider ohne auflockernde Abbildungen. *Rolf Kickuth*

## Eine problemorientierte Einführung in die Chemie



Helmut Wachter, Arno Hausen, Gilbert Reibnegger: Chemie in der Medizin; 437 Seiten; Verlag Walter de Gruyter, Berlin; 9. Aufl. 2008; ISBN 978-3-11-019063-; 29,95 Euro.

In der auf ein problemorientiertes Konzept abgestellten 9. Auflage des Lehrbuchs mit dem neuen Titel „Chemie in der Medizin“ beginnen die 12 Kapitel mit der Beschreibung eines aus der klinischen Praxis ausgewählten Falles und entsprechenden Fragen. Die erforderlichen Grundlagen werden durch „Lehrziele“ aufgezeigt. Zur Veranschaulichung der Lehrinhalte dienen 227 meist mehrfarbige Abbildungen und 44 Tabellen sowie Merksätze, Aufgaben und Übungsbeispiele, denen am Schluss der Kapitel die Auflösung zu der jeweiligen Fallbeschreibung folgt.

Dem Wunsch von Studierenden nach einer überschaubaren und in sich geschlossenen Darstellung der Lehrinhalte kommen die Kapitel „Allgemeine Grundlagen stofflicher Systeme“ sowie „Säuren, Basen und Blutgase“, mit den Unterkapiteln „Grundlagen der Thermodynamik“ und „Das Chemische Gleichgewicht“, sowie „Lösungs- und Fällungsgleichgewichte“ und „Grundlagen der Kinetik“ (Kap.1, 2, 4 und 5) ebenso entgegen wie der abschließende Teil des Lehrbuchs mit den Kapiteln Kohlenhydrate / Aminosäuren, Peptide und Proteine / Nucleinsäuren/ Lipide und Biomembranen / Vitamine und Coenzyme sowie Kohlensäure-Derivate (Kap.7 bis 12).

Dagegen zeigen die Kapitel 3 „Oxidation, Reduktion und die zelluläre Produktion von Energie“ (mit 59 Seiten) und 6 „Ein Streifzug durch das Periodensystem der Elemente“ (mit 44 Seiten), dass es **nicht** „didaktisch“ zielführend ist, im Hinblick auf die *Aufeinanderfolge und Zuordnung* von Lehrinhalten auf einen *systematischen* Aufbau zu verzichten, wie er beispielsweise

durch die Art, Anzahl und Anordnung funktioneller Gruppen in organischen Verbindungen bestimmt wird. Im Vorwort hält sich der Autor G.R. zugute, die „altherwürdige“ Sequenz chemischer Stoffgebiete unbekümmert auf den Kopf gestellt zu haben. So enthält bereits Kapitel 3 ab Seite 151 Beschreibungen des Verlaufs der Glycolyse, des Citrat-Zyklus und der Atmungskette. Zum Verständnis zahlreicher Formeln und Reaktionsgleichungen fehlen aus den *vorangegangenen Kapiteln* jegliche Voraussetzungen. Die „Grundlagen der Orga-

nischen Chemie“ beginnen erstmals in Kapitel 6.3 auf Seite 255.

Für Studierende mit Kenntnis bestimmter Zusammenhänge liegt hier jedoch ein Lehrbuch vor, das im Hinblick auf die zahlreichen farbigen Abbildungen und den Service des Verlags de Gruyter, für eine Reihe von Berechnungen unter [www.chemie-degruyter.de](http://www.chemie-degruyter.de) Online-Berechnungsmodule zu diesem Lehrbuch zur Verfügung zu stellen, zu einem sehr günstigen Preis erhältlich ist. Dr. Dieter Holzner

## Eine Vielfalt an Naturstoffen und ihre Biosynthese

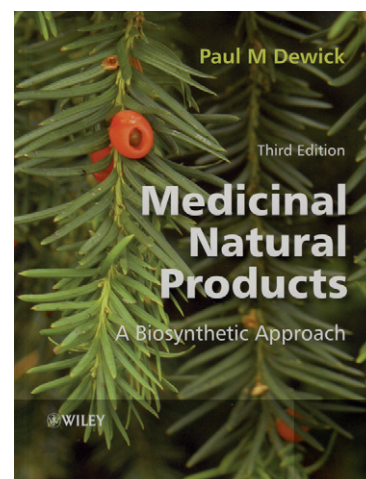
Paul M. Dewick: *Medicinal Natural Products – A Biosynthetic Approach*, 539 Seiten; John Wiley & Son; 3. Aufl. 2009; ISBN 978-0-470-74167-2; 42,90 Euro.

Dieses Lehrbuch beschreibt eine Vielzahl und Vielfalt an Naturstoffen aus pflanzlichen, tierischen und mikrobiellen Organismen sowie die medizinische Anwendung solcher Verbindungen. Der gesamte Aufbau dieses Buches orientiert sich an der Biosynthese dieser Naturstoffe und umfaßt nach einer Einführung die Kapitel: (2) Sekundärstoffwechsel: Die Ausgangs- und Zwischenprodukte (Building Blocks) und die den Biosynthesewegen zugrunde liegenden Reaktionsmechanismen als „Schlüssel“ zum Verständnis (32 Seiten); 3) Von Acetyl-Coenzym A ausgehende Stoffwechselwege zu Fettsäuren und Polyketiden (97 Seiten), wie Prostaglandine; Makrolid-Antibiotika (wie Erythromycine); Rifamycine; Statine; Cannabinoide und Tetracycline; (4) Der Shikimat-Weg zu aromatischen Aminosäuren und Phenylpropanoiden, wie Folsäure; Flavonoide; Vitamin E; (5) Die Mevalonat- und Methylerythritol-phosphat Stoffwechselwege zu Terpenoiden und Steroiden (124 Seiten), wie Cholesterol; Vitamin D; Digitalis-Glycoside; Gallensäuren; Corticosteroide und weitere Steroid-Hormone; Vitamin A; (6) Alkaloide (110 Seiten), z.B. aus Belladonna, Coca-Blättern und Tabak, ferner Catecholamine, Morphin, Coffein; (7) Peptide, Proteine und andere aus Aminosäuren aufgebaute Naturstoffe (64 Seiten),

einschließlich der durch nicht-ribosomale Peptid-Biosynthese gebildeten Peptid-Antibiotika (Penicilline, Cephalosporine); (8) Kohlenhydrate (24 Seiten), Vitamin C; Aminoglycosid-Antibiotika; Lincomycin.

Die Beschreibung des Verlaufs der jeweiligen Synthesen durch Strukturformeln, Reaktionsmechanismen und insbes. durch die übersichtliche Darstellung der einzelnen Reaktionsschritte in den (insgesamt 538) Figuren wird durch nähere Angaben in herausgehobenen Textstellen ergänzt. Diese 101 „Boxes“ enthalten Angaben über Ausgangsmaterialien zur Gewinnung der Naturstoffe, Hauptbestandteile und Verfahren zur Isolierung der gewünschten Substanzen sowie zur Anwendung der Wirkstoffe und deren Wirkungsweise und gegebenenfalls zu halbsynthetischen Derivaten. Am Schluss jedes Kapitels findet man eine Zusammenstellung weiterführender Literatur.

Den angesprochenen Zielgruppen: Studenten der Pharmazie (Pharmakognosie im Hinblick auf die „Boxes“ über wichtige Pflanzen), Medizinischen Chemie und Biochemie ist diese lehrreiche Neuauflage besonders zu empfehlen. Dr. Dieter Holzner



## Der neueste Stand – aktuelle Informationen zu früheren CLB-Artikeln

### „Dornröschen“ als Werkzeug für „Knock out-Ratten“

Zu CLB 04/2010, 150-155:  
Springende Gene: „PiggyBac“,  
„Dornröschen“ und Co.

Zsuzsanna Izsvák und Zoltán Ivics vom Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin haben zusammen mit Kent Hamra von der Southwestern University in Dallas mit springenden Genen (Transposone) eine alternative Methode entwickelt, mit der sie Gene, deren Funktion sie untersuchen wollen, in Ratten ausschalten (engl. to knock out) können. Ratten sind für die Erforschung einiger Erkrankungen des Menschen, wie zum Beispiel Herz-Kreislauf-Krankheiten, besser geeignet als Mäuse, bei denen es leichter gelingt, „Knock out“-

Varianten zu erzeugen. Für Knock out-Ratten nutzen die Forscher das von ihnen generierte springende Gen „Dornröschen“. Sie fügten das Transposon in das Erbgut von Spermiovorläuferzellen von Ratten ein und implantierten diese veränderten Vorläuferzellen dann anderen männlichen Ratten, wo sie sich zu Samenzellen entwickelten. Die Nachkommen dieser Ratten weisen die Genausschaltung auf. Das Transposon „Dornröschen“ bringt sich nur ein einziges Mal in ein Genom ein, was für die Zuordnung eines inaktivierten oder veränderten Gens zu einem Krankheitsbild sehr wichtig ist.

# CLB

Chemie in Labor und Biotechnik

Die beliebten Fragen aus dem CLB-Memory gibt es auch als Buch (244 Seiten mit ca. 80 Abbildungen; ISBN 3-9810449-0-8). Hier stehen Antworten und ausführliche Erläuterungen dazu. Die Themen werden zudem durch einen geschichtlichen Rückblick und Randinformationen in einen Gesamtzusammenhang eingeordnet. Karikaturen von Ans de Bruin lockern die harte Arbeit beim Lösen der Fragen auf.

Preis je Buch: 24,50 Euro incl. MWSt. und Versand.

## Alles Repetito – oder was???

Maren Bulmahn • Rolf Kickuth

Dieses Buch gibt Einblicke in die Chemie und angrenzende Naturwissenschaften in Form von Einführungen in verschiedene Gebiete, Fragen und den dazugehörigen Antworten. Es wendet sich an alle, die Grundlagenwissen festigen wollen. Oberstufenschüler mit Schwerpunkt Chemie/Naturwissenschaften, Auszubildende, Schüler an technischen Fachschulen und auch Studenten in den ersten Semestern von Chemie und Biologie, insbesondere auch in den Bachelor-Studiengängen, können Geleertes wiederholen und vertiefen, aber auch Neues erfahren. Wer seit Jahren im Labor steht, dem macht es Spaß, sein Wissen kurzweilig zu überprüfen und auf dem neuesten Stand zu halten. So haben es die CLB-Leser berichtet, die diese Art von Fragen aus der Zeitschrift kennen. Über 100 Abbildungen und Tabellen erleichtern das Verständnis des Textes; gelegentlich unterbricht ein Comic den Ernst des Stoffes.

ISBN 3-9810449-0-8



9 783981 044904

Bulmahn  
Kickuth

Alles Repetito – oder was???

Rubikon

## Alles Repetito – oder was???

fragt der Bachelor die Laborantin



Maren Bulmahn • Rolf Kickuth

### Abo-Bestellcoupon

JA, ich möchte die CLB abonnieren. Ich erhalte als persönlicher Abonnent die CLB zunächst für ein Jahr (= 12 Ausgaben) zum Preis von 104,00 Euro zzgl. Versandkosten (Inland: 13,60 Euro, Ausland: 24,40 Euro). Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn es nicht bis acht Wochen vor Ende des Bezugsjahres gekündigt wird.

Datum / 1. Unterschrift

Name / Vorname

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

Straße / Postfach

Land / PLZ / Ort

Datum / 2. Unterschrift

Telefon oder e-Mail

FAX-Hotline: 06223-9707-41

Für 104,00 Euro pro Jahr (incl. 7 % MWSt., zzgl. Versandkosten) erhalten Sie als persönlicher Abonnent monatlich die CLB mit dem MEMORY-Teil (Firmen- und Bibliothekenabos mit Sonderpreis; siehe [www.clb.de](http://www.clb.de)).

Dazu als Abogeschenk das CLB-Buch  
Alles Repetito – oder was???



# 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)

Juni 2010

## Math-Bridge ersetzt den persönlichen Tutor Online-Mathekurse erleichtern europaweit den Studieneinstieg

In dem von der Europäischen Union geförderten Projekt Math-Bridge werden Brückenkurse aus verschiedenen Ländern auf einer Internet-Plattform zusammengeführt und in mehreren Sprachen angeboten.

Die Zahl der Studienabbrecher in den Ingenieurwissenschaften ist hoch. Eine Hürde ist für viele die Mathematik, die in diesen Studiengängen anders oder schneller gelehrt wird, als viele es von der Schule kennen. Um diese Lücke zu schließen, werden Mathe-Brückenkurse angeboten, mit denen Studenten eigenständig den fehlenden Unterrichtsstoff aufarbeiten können.

Wer Mathe-Aufgaben nicht versteht, hätte gern einen Tutor, der mit Rat zur Seite steht. Neue E-Learning-Systeme bieten dies auf virtuelle Weise: Lernende können Übungsaufgaben am Computer selbstständig bearbeiten und erhalten von dem System Rückmeldungen. So passt sich auch die Internet-Plattform Math-Bridge ([www.math-bridge.org](http://www.math-bridge.org)) dem Lernenden an, indem es die Lerninhalte seinem Kenntnisstand und der gewählten Studienrichtung zuordnet. Dafür werden Inhalte von Mathe-Brückenkursen aus unterschiedlichen Ländern nicht nur sprachlich und inhaltlich, sondern auch in ihrer Klassifikation aufeinander abgestimmt. Nutzer können dadurch auf eine breite Palette an mathematischen Definitionen und Erläuterungen, aber auch auf

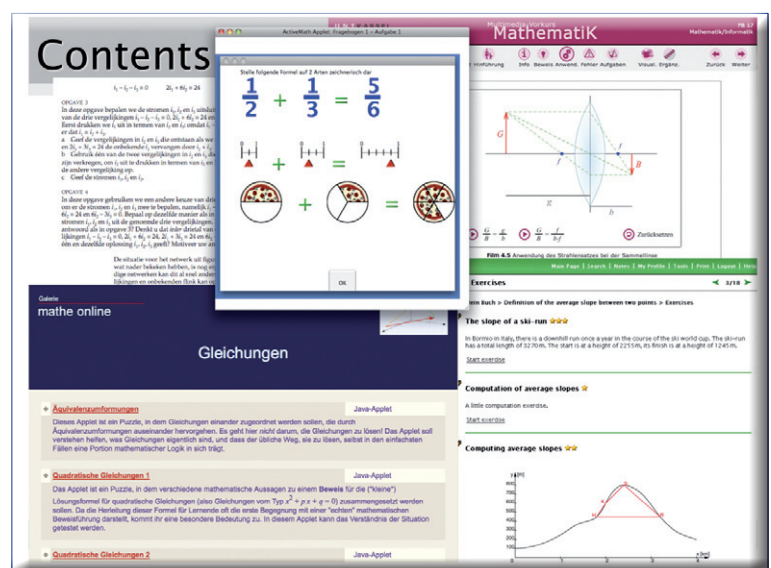
eine Vielzahl von Übungsaufgaben zurückgreifen.

### Werkzeuge für Lehrer

An der Universität des Saarlandes und am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken wurden für Math-Bridge Werkzeuge entwickelt, mit denen Lehrer europaweit gemeinsam Inhalte für die Plattform erstellen können. So kann jeder die Übungsaufgaben ergänzen und diese mit schon bestehenden Inhalten verknüpfen. Das System erkennt dann automatisch Übersetzungslücken oder Widersprüche in der Verknüpfung, zum Beispiel bei den mathematischen Definitionen. Auch werden die Autoren darauf hingewiesen, wenn bestimmte Aufgaben fehlen, die die Anwender zum Lösen eines Problems kennen müssten. Die Forscher und Entwickler in Saarbrücken halfen auch dabei mit, die vielen Inhalte aus schon bestehenden Brückenkursen zu konvertieren und in das einheitliche, international einsetzbare System zu übertragen. Das vor einem Jahr ge-

startete Math-Bridge-Projekt wird mit 1,8 Millionen Euro von der Europäischen Union gefördert. Bisher wurden schon existierende Mathematik-Brückenkurse aus Deutschland, Finnland, den Niederlanden und Österreich zusammengeführt. Die Kurse sind personalisiert und werden in den Sprachen Spanisch, Deutsch, Englisch, Finnisch, Französisch, Holländisch und Ungarisch angeboten. In dem interdisziplinären Projekt arbeiten Informatiker, Mathematiker und Pädagogen der Universität des Saarlandes, des DFKI, verschiedener europäischer Universitäten und Firmen zusammen. Math-Bridge wird von Dr. Erica Melis und Dr. Andrey Girenko am DFKI koordiniert. Von Seiten der Saar-Universität arbeiten Prof. Jörg Siekmann und Dr. Christoph Igel am Projekt mit.

Auszug aus der Math-Bridge-Präsentation von Koordinatorin Dr. Erica Melis.



# Chemie für Wissenschaftsjournalisten

## Teil 1: Grundlagen der Chemie / Erster Anwendungsbereich: Automobile

Prof. Dr. Volker Wiskamp, Hochschule Darmstadt

**S**eit dem Wintersemester 2005/2006 gibt es an der Hochschule Darmstadt einen Bachelor-Studiengang „Wissenschaftsjournalismus“. Etwa 20 pro Jahr zugelassene Studierende werden in sechs Semestern dazu befähigt, aktuelle Themen aus Wissenschaft und Technik zu recherchieren und anschaulich für eine breite Öffentlichkeit darzustellen. Das Studium verknüpft Theorie und Praxis des Journalismus und ein gesellschaftswissenschaftliches Basiswissen mit einer breiten naturwissenschaftlichen Grundausbildung in Physik, Chemie, Biologie/Biotechnologie und Humanbiologie. Nach ihrem Studienabschluss werden die Wissenschaftsjournalisten für Zeitungen oder Zeitschriften, Online-Medien, Radio oder Fernsehen sowie in der Öffentlichkeitsarbeit in Hochschulen, Forschungseinrichtungen oder in Unternehmen tätig. Dieser zweiteilige Artikel stellt die Lehrinhalte für Chemie vor.

Für das Fach Chemie wurde folgendes Lehrkonzept entwickelt: Nach einem einsemestrigen seminaristischen Unterricht, der durch einen erheblichen Anteil Selbststudium ergänzt wird, und einem viertägigen Praktikum beherrschen die Studierenden den Lernstoff, der in etwa dem eines anspruchs-

vollen Chemie-Grundkurs der gymnasialen Oberstufe entspricht. Auf dieses solide Basiswissen aufbauend werden im zweiten Semester mit den Studierenden solche Themen aus dem weiten Bereich der Chemie erarbeitet, über die sie in ihrem späteren Berufsleben mit hoher Wahrscheinlichkeit recherchieren und referieren werden, beispielsweise Ökologische Chemie, Nanotechnologie, Medikamente, Drogen und Doping. Als Lehrmaterial werden dazu auch Artikel aus populärwissenschaftlichen Journalen und Zeitungen verwendet. Am Ende ihrer Chemie-Ausbildung können die angehenden Wissenschaftsjournalisten aus dem Stegreif Kurzreferate zu den behandelten Schwerpunktthemen halten und sind dazu befähigt, sich in diese und andere Themen zu vertiefen.

### Erstes Semester: Grundlagen der Chemie

Die meisten Studierenden haben während ihrer Oberstufenzeit keinen Chemieunterricht besucht; Mittelstufenkenntnisse sind weitgehend verdrängt. Dem muss Rechnung getragen werden. Folglich wurde es als Ziel erklärt, dass die Studierenden am Ende ihres ersten Fachsemesters den Stoff beherrschen, der üblicherweise

in einem anspruchsvollen Chemie-Grundkurs bis zum Abitur vermittelt wird.

*Arni* hat ein Lehrbuch „Verständliche Chemie für Basisunterricht und Selbststudium“ [1] geschrieben, das auch für die Grundausbildung von Wissenschaftsjournalisten besonders geeignet ist und deshalb als zentrales Lehrmaterial im ersten Semester ausgewählt wurde. Der seminaristische Unterricht, der vier Semesterwochenstunden umfasst, folgt den 168 halbseitigen Lernschritten des Buches, ergänzt durch eine weitgehend englischsprachige Power-Point-Präsentation. Das englischsprachige Begleitmaterial dient der Förderung des Fachenglischen, denn Wissenschaftsjournalisten müssen sich später häufig mit Fachliteratur auf Englisch befassen. Die Power-Point-Präsentation wird den Studierenden auf einer DVD zur Verfügung gestellt.

An mehreren Stellen werden die Inhalte aus dem *Arni*-Buch fachlich bzw. überfachlich ergänzt und so für die zukünftigen Journalisten in einen beruflich sinnstiftenden Kontext gestellt:

- Fachlich kommt im zitierten Buch z. B. das wellenmechanische Atommodell zu kurz. Deshalb wird ein Exkurs in die *Wissenschaftstheorie* eingeschoben und die historische Entwicklung vom *Dalton'schen* über das *Rutherford'sche* und das *Bohr'sche* Atommodell zum modernen nach *Schrödinger* und *Heisenberg* aufgezeichnet. Wissenschaftstheorie wird auch im Rahmen des sozial- und kulturwissenschaftlichen Begleitstudiums der angehenden Wissenschaftsjournalisten ausführlich behandelt, da entsprechende Aspekte recht häufig in Artikeln, die von Wissenschaftsjournalisten verfasst werden, vorkommen.

Beim Verständnis und vor allen Dingen bei der Beurteilung immer neuer Zusammenhänge aus oft wenig vertrauten Umgebungen helfen Wissenschaftsjournalisten fundierte Kenntnisse in Chemie, Physik und Biologie (Foto: RK).



- Im Anschluss an die fachsystematische Behandlung der Ammoniak-Synthese wird die Historie ihrer Entwicklung erzählt, um den Studierenden exemplarisch zu verdeutlichen, wie eine Neuheit in einer Naturwissenschaft die *Zeitgeschichte* – hier die Zeit um den Ersten Weltkrieges – maßgeblich prägen kann. Eine Charakterisierung der zwiespältigen Persönlichkeit des Erfinders der Synthese, *Haber*, kommt dabei nicht zu kurz [2, 3] und ist für junge Studierende sehr beeindruckend.
- Nachdem die anwendungstechnischen Vor- und Nachteile von Hoch- und Niederdruckpolyethen verglichen wurden, folgt eine weitere Erzählung: die von der Entdeckung der metallorganisch katalysierten Olefinpolymerisation. Mit *Ziegler* steht wieder eine faszinierende Forscherpersönlichkeit im Zentrum, sowie dessen Streit mit *Natta* um eines der wertvollsten Patente, der erst mit der Verleihung des gemeinsamen Chemie-Nobelpreises an den Mülheimer und den Mailänder Forscher beigelegt wurde [4].
- Der physikalischen Beschreibung der Metalleigenschaften mit Begriffen wie elektrische Leitfähigkeit, Duktilität sowie Neigung zur Kation- bzw. Legierungsbildung wird ein Text über die sinnliche Stoffe-fahrung mit einem Metall gegenüber gestellt. Der Auszug aus der Staats-examensarbeit von *Soentgen* „Das Blei – Element der Melancholie und des Todes“ [5] ist eine sprachliche Meisterleistung und hat gerade deshalb für die angehenden Wissenschaftsjournalisten Vorbildcharakter.
- Die Reaktion von Calciumcarbonat mit Schwefelsäure zu Calciumsulfat, Kohlenstoffdioxid (Kohlensäure) und Wasser, die als Beispiel für einen Prozess dient, bei dem Volumenarbeit geleistet wird, wird überfachlich als ein Gleichnis von Chemie und Liebe interpretiert. Urheber dieses Gedankens war *Goethe* mit seinem Roman „Die Wahlverwandtschaften“. Eine chemiedidaktische Interpretation dazu [6] dient als Grundlage für diese Seminarstunde.
- Das chemische Gleichgewicht, formelmäßig durch das Massenwirkungsgesetz ausgedrückt, wird mit dem biologischen Gleichgewicht am Beispiel des Räuber-Beute-Verhältnisses verglichen – ein fachübergreifender Denkanstoß.
- Am Ende seines Buches behandelt *Arni* mit den Proteinen, der DNA, RNA und dem Genetische Code die molekularen Grundlagen der Evolutionstheorie. Hier wird eine *Buchempfehlung* angeschlossen: „*Darwin – Das Abenteuer des Lebens*“ [7]. Drei Seiten aus dem Buch, auf denen der preisgekrönte Autor, *Neffe*, auf die biochemischen Aspekte der Entstehung der Arten eingeht, werden gelesen und fachlich und sprachlich analysiert.

Die von *Arni* formulierten *Verständnisfragen zu den einzelnen Lerneinheiten* werden im Seminar immer dann aufgegriffen, wenn sie weiterführend sind und nicht nur repetierenden Charakter haben. Die *Lernkontrollen am Ende jedes Kapitels* werden von den Studierenden zuhause bearbeitet und mit Hilfe der im Anhang des Buches formulierten Lösungen autodidaktisch korrigiert. Offen gebliebene Fragen werden zu Beginn der folgenden Seminarstunde beantwortet.

Fazit: Durch das Arbeiten in kleinen Lernschritten und durch die wöchentlichen Lernkontrollen wird sichergestellt, dass die Lerninhalte „sitzen“. Die Studierenden sind zusätzlich besonders motiviert, das *Arni*-Buch fleißig durchzuarbeiten, weil ihnen der Dozent garantiert, nur solche Fragen in der Klausur am Ende des Semesters zu stellen, die auch *Arni* in seinen Lernkontrollen formuliert hat. Mit Fleiß ist das Lernpensum also auf jeden Fall zu schaffen.

### Chemie-Praktikum

Am Ende des Wintersemesters, aber noch vor der Klausur findet ein viertägiges Praktikum statt. Die angehende Wissenschaftsjournalisten werden mit wichtigen handwerklichen Dingen im Laboralltag

vertraut und lernen repräsentative Arbeitsgebiete der Chemie kennen, z. B. die Synthese-, Elektro- und Analytische Chemie sowie die Anwendungstechnik. Des Weiteren befassen sie sich mit zentralen Aspekten der Naturwissenschaft, nämlich der Säure/Base-, der Redoxchemie und der Energetik sowie punktuell auch mit dem Chemischen Rechnen. Die Theorie zu den Experimenten und ihre Relevanz werden bereits in den letzten beiden Seminarstunden im ersten Semester besprochen, so dass die Studierenden gut vorbereitet in das Praktikum gehen.

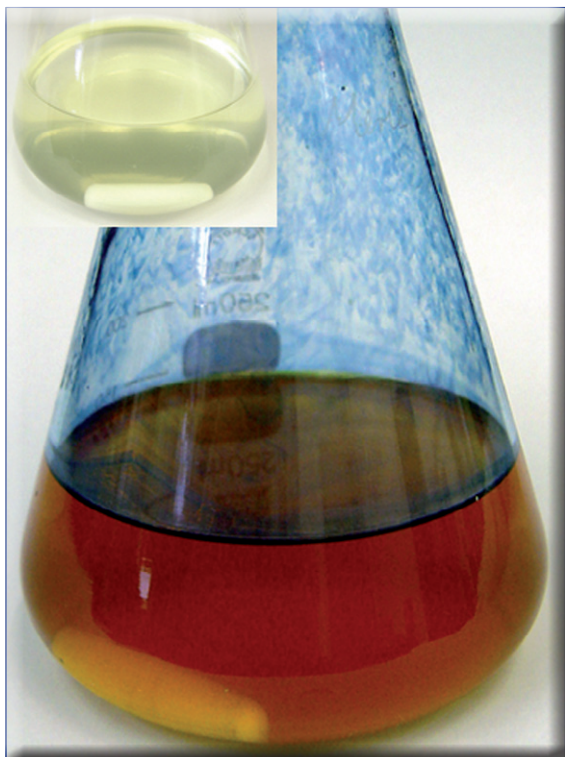
### pH-Werte und Puffersysteme

Die Studierenden stellen eine Pufferlösung her (Essigsäure/Acetat, Ammonium/Ammoniak oder Dihydrogenphosphat/Hydrogenphosphat) und bestimmen deren pH-Wert mit Hilfe von Indikatorlösungen, -teststreifen und einer Einstabmesskette. Dann versetzen Sie ihre Pufferlösung mit 0,1 mol/L bzw. 1,0 mol/L Salzsäure bzw. mit 0,1 mol/L bzw. 1,0 mol/L Natronlauge und interpretieren die pH-Wert-Änderungen bei zunehmender Säure- bzw. Lauge-Zugabe. Mit dem Aufnehmen vieler Messdaten und deren graphischer Darstellung erfahren die Auszubildenden eine Arbeitsweise, die besonders häufig in der Physikalischen Chemie anzutreffen ist.

### Maßanalyse und Elektrochemie

Die Studierenden lernen zunächst das präzise Arbeiten im Analytiklabor. Auf der Analysenwaage wägen sie die Ursubstanz Kaliumhydrogenphthalat ein und ermitteln damit den Titer einer selbst hergestellten, etwa 0,1-molaren Natronlauge. Anschließend pipetieren und aliquotieren sie Haushaltssessig, Zitronen- oder Apfelsaft und bestimmen den Säuregehalt durch alkalimetrische Titration.

Im zweiten Teil des Versuchsblocks werden elektrische Spannungen zwischen verschiedenen Halbzellen ( $Zn/ZnSO_4$ ,  $Fe/FeSO_4$ ,  $Cu/CuSO_4$ ,  $Ag/AgNO_3$ ) gemessen



Indigo in seiner Leukoform, am Glas hat sich oxidiertes Indigo abgesetzt. Indigo ist fast wasserunlöslich und muss vor dem Färben durch Reduktion in das wasserlösliche Indigoweiß (Leuko-Indigo) umgewandelt werden. Nach dem Färben entsteht durch Oxidation wieder Indigo. Diesen Vorgang, der so auch bei anderen Textilfarbstoffen angewandt wird, bezeichnet man als Küpenfärberei (Abb.: Michael Merle).

und mit den theoretisch zu erwartenden verglichen, die vorab mit der *Nernst*'schen Gleichung und Zahlen aus der elektrochemischen Spannungsreihe kalkuliert wurden. Abschließend werden Konzentrationszellen untersucht, bei denen die beiden Halbzellen mit verschiedenen konzentrierten Kupfersulfat-Lösungen gefüllt sind.

### Präparative Chemie

Dieser Versuchsblock umfasst präparative und anwendungstechnische Arbeiten. Zunächst isolieren die Studierenden den Wirkstoff Acetylsalicylsäure aus einer Tablette. Dies geschieht durch Extraktion mit heißem Wasser und Kristallisation. Eine Identitätskontrolle er-

folgt durch Schmelzpunktmessung und Aufnahme eines IR-Spektrums.

Im zweiten Versuchssteil bringen die Praktikanten Kupfersulfat mit Ammoniak zur Reaktion und isolieren das tiefblaue Komplexsalz Tetramminkupfer(II)-sulfat-Monohydrat durch Ausfällen mit Ethanol und Saugfiltration.

Im nächsten Experiment geht es um die Küpenfärbung von Baumwolle mit Indigo (siehe Abbildungen auf dieser Seite). Ihr farbiges Abwasser bereiten die Auszubildenden im Sinne des Verursacherprinzips selbst durch Oxidation der Inhaltsstoffe mit Wasserstoffperoxid und Adsorption an Aktivkohle auf. Sie lernen also neben einer wichtigen Färbetechnik gleichzeitig zentrale Verfahren in der Umwelttechnik kennen.

Auch der vierte Versuch hat mehrere Gesichtspunkte. Die Studierenden geben einen Tropfen *trans*-Azobenzol-Lösung auf eine Kieselgel-Dünnschichtplatte und legen diese danach 20 Minuten unter eine UV-Lampe. Dabei stellt sich ein photostationäres Gleichgewicht zwischen *trans*- und *cis*-Azobenzol ein. Dieser Prozess ist nicht nur theoretisch (radikalischer Reaktionsmechanismus) interessant, sondern kann auch als ein Modell für den Sehprozess im Auge sowie eine Form der optischen Datenspeicherung mit Hilfe azogruppenhaltiger flüssigkristalliner Polymerer interpretiert werden. Die abschließende dünnschichtchromatographische Trennung der beiden Isomeren macht die Studierenden weiterhin mit einer wichtigen analytischen Trennmethode vertraut.

### Vielseitige Einzelexperimente

Der letzte Versuchsblock beinhaltet 17 Einzelversuche zu den Themen „Energetik“, „Redox-Re-

aktionen“, „Säure-Base-Reaktionen“ und „Sonstiges“.

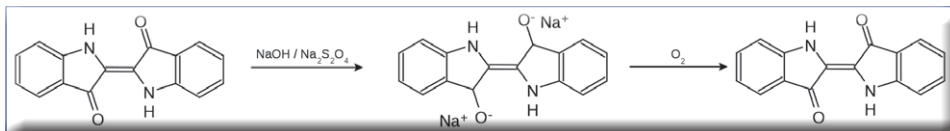
Der „Fauchende Gummibär“, so der Titel des ersten Experimentes, bei dem ein Gummibär in eine Kaliumchlorat-Schmelze geworfen wird, ist nicht nur ein spannend-schauriger Feuersversuch, sondern lässt sich mit dem Denkanstoß verbinden, dass die gleiche Energiemenge, die bei der spektakulären Verbrennung frei wird, ebenfalls freigesetzt wird, wenn wir Menschen ein Gummibärchen naschen und verstoffwechseln. Allerdings sind wir Menschen keine Wärmekraftmaschinen und werden deshalb auch keine Feuerspucker, sondern setzen die aufgenommenen „Kalorien“ in biochemische Speicher, insbesondere Adenosintriphosphat, um.

Etwas Phosphor(V)-oxid wird in ein Becherglas mit Wasser geworfen. Die Exothermie der Phosphorsäure-Bildung ist beeindruckend und gibt den Studierenden ein Gefühl dafür, welche große Energie abgegeben wird, wenn eine P-O-P-Einheit (Phosphorsäureanhydrid) hydrolytisch gespalten wird, was auch beim Übergang von Adenosintriphosphat zu Adenosindiphosphat und Phosphat im menschlichen Organismus passiert.

Eine Katalyse erleben die Studierenden beim Versetzen einer Wasserstoffperoxid-Lösung mit einer Spatelspitze Braunstein. Mit der Glimmspanprobe können sie das entstehende Gas als Sauerstoff identifizieren und die Reaktion insgesamt dahin gehend interpretieren, dass das in kleiner Menge zugesetzte Mangan(IV)-oxid die Zersetzung des Wasserstoffperoxid zu Sauerstoff und Wasser enorm beschleunigt.

Nachdem die Studierenden die unterschiedlichen Reaktionen von Eisen, Kupfer und Aluminium mit Salzsäure, Salpetersäure bzw. Natronlauge beobachtet haben, üben sie das Aufstellen der dazu gehörigen Redoxgleichungen. Des Weiteren diskutieren sie die Bedeutung der durchgeführten Versuche unter den Aspekten Korrosion/Korrosionsschutz sowie Oberflächenbehandlung von Metallen.

Die grundlegende Reaktionsgleichung der Küpenfärbung mit Indigo sollten angehende Wissenschaftsjournalisten schon verstehen, vom Indigo (blau) über Leuko-Indigo (farblos-gelblich) zum Indigo (blau).



Von diesen anorganischen wird zu zwei biochemischen Redoxreaktionen übergeleitet. Zunächst geht es um die oxidative Kopplung zweier Thiole zu einem Disulfid, die u. a. zur Querverstrebung von Proteinketten dient. Anschließend wird die reduzierende Wirkung von Ascorbinsäure (Vitamin C) gegenüber dreiwertigem Eisen studiert und mit einer Diskussion über die generelle Funktion von Antioxidanzien (auch von Vitamin A) im menschlichen Organismus verknüpft.

Das Thema Säure-Base-Reaktionen schließt sich an. Zunächst führen die Studierenden einen alkalischen Aufschluss von Sand durch, der im Vorfeld der industriellen Kieselgel- und Silicat-Chemie, z. B. der Herstellung von Zeolithen, eine große Rolle spielt. Im zweiten Versuch wird frisch gefälltes Calciumcarbonat mit Ethylendiaminacetat aufgelöst. Die eintretende Komplexbildung wird im Sinne der Säure/Base-Theorie nach *Lewis* interpretiert: Ein Metallkation (Elektronenpaar-Akzeptor) bindet sich an ein (hier sechszähniges) Ligandmolekül (Elektronenpaardonor). Über die bindungstheoretische Bedeutung hinaus wird den Studierenden etwas über den praktischen Nutzen von EDTA erzählt, z. B. über dessen Funktion als Metallioncarrier beim Waschen in der Waschmaschine oder als Medikament bei akuten Schwermetallvergiftungen (Chelatkomplextherapie).

Noch einmal wird Calciumcarbonat durch Zusammengeben einer Calciumchlorid- und einer Natriumcarbonat-Lösung frisch gefällt. Nun wird Kohlenstoffdioxid in die Suspension eingeleitet, bis eine klare Lösung von Calciumhydrogencarbonat entstanden ist. Diese Reaktion dient u. a. der Erklärung, warum CO<sub>2</sub>-Emissionen zu einer zunehmenden Versauerung der Ozeane führen, die wiederum die schleichende, aber stetige Auflösung der calciumcarbonathaltigen Korallen des Barrier-Riffs und vieler anderen Schalentiere in den Meeren zur Folge hat [8].

Proteine sind empfindlich gegenüber Säuren und Laugen.

Davon überzeugen sich die Praktikanten beim Versetzen von Milch mit Salzsäure bzw. Natronlauge. Im ersten Fall werden die Eiweißstoffe denaturiert, d. h., die starke Salzsäure zerstört die intramolekularen Wasserstoffbrücken, so dass die Sekundärstruktur der Proteine zusammenbricht. Das koagulierte Milcheiweiß kann abzentrifugiert werden. Natronlauge ist noch aggressiver. Sie initiiert die Spaltung der Säureamidbindungen, was letztendlich zur Zerlegung der Makromoleküle in ihre Aminosäure-Bausteine führt und an einer deutlichen Aufklärung der Milch zu beobachten ist.

Der Versuchsblock „Sonstiges“ beinhaltet weitere interessante Lerninhalte. Zunächst wird Kokosfett aus geraspelten und getrockneten Kokosflocken mit Hilfe von Petrolether extrahiert. Die Studierenden probieren dies zunächst im Reagenzglasmaßstab aus. Anschließend wird ihnen an einer Soxhlett-Apparatur das halotechnische Verfahren vorgeführt. Damit erleben sie exemplarisch die Bedeutung des Scale-Up in der chemischen Industrie.

Auch der folgende Versuch spiegelt einen wichtigen industriellen Prozess wieder: die Glasproduktion und Färbung. Hierzu stellen die Studierenden eine mit Cobaltoxid blau gefärbte Boraxperle her.

Das anschließende Experiment verdeutlicht die Temperaturabhängigkeit chemischer Reaktionen. Im Reagenzglas wird eine Spatelspitze Ammoniumchlorid erhitzt, wobei sich die Verbindung zu Chlorwasserstoff und Ammoniak zersetzt (endotherme Reaktion). Diese beiden für die Experimentatoren unsichtbaren Gase gelangen in den oberen, kalten Teil des Reagenzglases und reagieren dort wieder zu Ammoniumchlorid (exotherme Reaktion), was am Entstehen eines weißen Beschlages an der Innenwand des Glases zu erkennen ist. Das Salz ist also von der heißen zur kalten Stelle des Reagenzglases transportiert worden.

Das Praktikum wird mit der IR-spektroskopischen Analyse von

rotem und gelbem Blutlaugensalz sowie Berliner Blau abgeschlossen, die Struktur-Eigenschaftskorrelationen für die drei Cyanoferrate erlaubt. Im gelben Blutlaugensalz, K<sub>4</sub>[Fe<sup>II</sup>(CN)<sub>6</sub>], ist der Cyanid-Ligand, CN<sup>-</sup>, an zweiwertiges Eisen komplexiert, im roten Blutlaugensalz, K<sub>3</sub>[Fe<sup>III</sup>(CN)<sub>6</sub>], an dreiwertiges und in dem tief blauen Charge-Transfer-Pigment K[Fe<sup>II</sup>Fe<sup>III</sup>(CN)<sub>6</sub>] an Eisen, das die mittlere Oxidationsstufe 2,5 aufweist. An zweiwertiges Eisen ist Cyanid am stärksten gebunden, folglich ist die Bindung zwischen dem C- und dem N-Atom gelockert und die Anregung der C-N-Streckschwingung erfordert nur ein Energieäquivalent von 2043 cm<sup>-1</sup>. Umgekehrt ist Cyanid an dreiwertiges Eisen schwächer gebunden, weshalb die C-N-Bindung fester ist und mehr Energie zur Schwingungsanregung erfordert, nämlich 2116 cm<sup>-1</sup>. Erwartungsgemäß liegt die Anregungsenergie für die C-N-Streckschwingung im Berliner Blau ziemlich genau in der Mitte, und zwar bei 2080 cm<sup>-1</sup>.

## Zweites Semester: Chemie in unserer Welt

Das vier Semesterwochenstunden umfassende Seminar im zweiten Semester wiederholt und vertieft den im ersten Halbjahr und im Praktikum behandelten Lernstoff und stellt ihn in einen Kontext zu Themen, über die Wissenschaftsjournalisten recht häufig schreiben bzw. die für sie wichtig sind, um Neuentwicklungen in Wissenschaft und Technik zu verstehen.

Am Ende des Moduls gibt es eine halbstündige mündliche *Prüfung*. Diese umfasst einen zehnmütigen freien Vortrag des Prüflings über einen der im Seminar behandelten Themenbereiche sowie daran anschließende Fachfragen des Dozenten. Welches Thema drankommt, wird zu Beginn der Prüfung per Los entschieden. Auf den Losen stehen die im Seminar behandelten Themen. Der Prüfling zieht zwei der Lose und muss sich dann spontan für eines der beiden Themen entscheiden. Da die Studierenden

genau wissen, welche Lose es zu gewinnen gibt, können sie sich auf die Kurzvorträge in der Prüfung, für die sie allerdings keine Unterlagen mitbringen dürfen, bestens vorbereiten. Dies erfordert zunächst Fleiß. Wie man eine große Stofffülle strukturiert, zusammenfasst und anschaulich präsentiert, wird im Seminar exemplarisch geübt. Außerdem wird den Studierenden empfohlen, in Kleingruppen die für die Abschlussprüfung in Frage kommenden Kurzvorträge zu erarbeiten, zu üben und sich gegenseitig Fragen dazu zu stellen.

Im Folgenden werden die im Seminar behandelten Themen vorgestellt. Die verwendeten Power-Point-Präsentationen und begleitende Fachartikel sind den Studierenden auf einer DVD zugänglich.

### Chemie rund ums Auto

Methodisch nach dem im gymnasialen Schulunterricht bewährten Konzept „Chemie im Kontext“ [9] geht es in dieser Seminarstunde um (fast) alles, was unter chemischen Gesichtspunkten etwas mit dem Auto, zu tun hat.

- Wie wird der Stahl für die Karosserie hergestellt?
- Welche Maßnahmen zum Korrosionsschutz werden getroffen?
- Was ist ein Lack?
- Welche Kunststoffe begegnen uns im Auto?

- Wie funktioniert die Autobatterie?
- Was ist Benzin? Gibt es Alternativen dazu?
- Was ist im Autoabgas?
- Welche chemischen High-Tech-Produkte gibt es im Auto? (Flüssigkristalle, Airbag, Zündkerze, Lambda-Sonde)
- Was passiert mit dem ausgehenden Auto?

Der im ersten Semester bereits besprochene Hochofenprozess zur *Eisengewinnung* wird wiederholt. Des Weiteren wird diskutiert, wie hoch reines Eisen und *Eisenlegierungen* hergestellt werden.

Anschließend werden die Phosphatierung (Aufbringen einer weitgehend wasser- und luftundurchlässigen Eisen-Zink-Phosphat-Sperrschicht) und die Feuerverzinkung (Aufbringung einer Opferanode) einer Stahlkarosserie als *Methoden des Korrosionsschutzes* erläutert.

Danach geht es um die *Lackierung*, auch ein Verfahren zum Korrosionsschutz, wobei die aus ökologischen Gründen betriebene Entwicklung zu lösungsmittelfreien Lacken aufgezeigt wird. Insbesondere die elektrostatische Pulverlackierung wird vorgestellt. Da die Lackierung auch der Ästhetik dient, werden exemplarisch Kupferphthalocyanin- und Perlglanzpigmente und der von ihnen erzeugte Farbeindruck in Abhängigkeit von der Teilchengröße behandelt. Auf die Anwendung von Aluminiumflittern zur Antistatik-Ausrüstung und zur Erzeugung eines Metallic-Effektes wird hingewiesen.

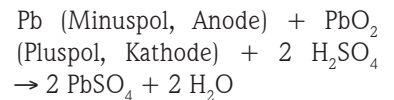
Das Thema Korrosionsschutz wird abgeschlossen, indem das in der Grundvorlesung bereits vorgestellte Eloxal-Verfahren (elektrisch oxidiertes Aluminium) wiederholt wird. In der Automobilindustrie dient es zur Veredelung von Aluminiumteilen.

Wo immer es sinnvoll ist, werden im Auto schwere Metall- durch leichte Kunststoffteile ersetzt. Dies kommt der Umwelt zugute,

weil ein leichteres Auto weniger Treibstoff benötigt. Fünf im Auto besonders häufig vorkommende *Kunststoffe* werden in Hinblick auf ihre Synthese und ihre anwendungstechnischen Eigenschaften vorgestellt, womit die Studenten gleichzeitig einen repräsentativen Einblick in die industrielle makromolekulare Chemie bekommen:

- Isotaktisches Polypropylen durch Insertionspolymerisation von Propen an einem Zirconocen-Katalysator
- Polycarbonat durch Phasengrenzflächenkondensation von Bisphenol A und Phosgen
- Herstellung von Polyurethan-Schaumstoff
- Herstellung von Plexiglas durch radikalische Substanzpolymerisation von Methylmethacrylat
- Herstellung von Polyisopren und Vulkanisation mit Schwefel

Wie der *Bleiakku*, der den elektrischen Strom im Auto bereitstellt, funktioniert, sollten die Studierenden aus dem Chemieseminar im ersten Semester wissen:



Es folgt die Besprechung der *Kraftstoffe* Benzin und Diesel. Wie werden sie aus Erdöl gewonnen? Was bedeutet „Oktanzahl“? Wieso ist das klassische Antiklopfmittel Tetraethylblei toxisch? Wodurch wurde es ersetzt? Nachwachsende Kraftstoffe, Bioethanol und Biodiesel, werden an dieser Stelle nur kurz angesprochen. Ausführlich werden sie in einer späteren Unterrichtsstunde über nachwachsende Chemieprodukte diskutiert.

Die Überleitung von den Brennstoffen zu den Verbrennungsprodukten fällt leicht. Wie es durch *Autoabgase* und Sonnenlicht zu Fotosmog kommt, ist ein Hauptthema in der späteren Vorlesung über Atmosphärenchemie und wird deshalb nur kurz erwähnt. Ausführlich besprochen wird hingegen der 3-Wege-Katalysator, dem die drei Hauptfunktionen zukommen, die

Immer mehr Kunststoffe kommen heute im Automobilbau zum Einsatz (hier ein Experimentalfahrzeug; Foto: RK).



vollständige Verbrennung der aus den Verbrennungszylindern entkommenen Kohlenwasserstoffe zu katalysieren sowie die Entgiftung der im Motorblock entstandenen Gase Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffmonoxid zu Kohlenstoffdioxid und Distickstoff zu ermöglichen. Des Weiteren wird auf die Gefährlichkeit (eventuelle Kanzerogenität) von Ruß-Nanopartikeln hingewiesen, die aus dem Auspuff insbesondere von Dieselfahrzeugen entweichen und mit Filtern zurückgehalten werden können und müssen.

„Volltanken mit Wasserstoff“ lautet der Titel eines Beitrages im *Spektrum der Wissenschaft* [10], den die Studierenden als Hausarbeit lesen und zu dem sie Verständnisfragen beantworten sollen. Chancen und Risiken des potenziellen Autokraftstoffes mit der umweltfreundlichen Emission Wasser werden in der folgenden Seminarstunde kontrovers diskutiert. Darüber hinaus werden die Studierenden gebeten, den Artikel auch unter journalistischen Gesichtspunkten zu beurteilen.

Weiter geht es mit High-Tech-Produkten im Auto, beispielsweise den Sonderkeramiken aus Yttriumoxid-dotiertem Zirkonoxid ( $Y_2O_3/ZrO_2$ ) oder aus Molybdändisilicid ( $MoSi_2$ ), die für die Lambda-Sonde bzw. für Zündkerzen erforderlich sind, sowie Flüssigkristallen, die für die Displays auf dem Armaturenbrett unverzichtbar sind. Und dass Natriumazid – gewiss eine chemische Kuriosität – lebensretend sein kann, ist für die Studenten faszinierend. Der Stoff zerfällt nämlich bei einer unfallbedingten Schlageinwirkung explosionsartig in die Elemente, wobei der entstehende gasförmige Stickstoff einen *Airbag* aufbläst.

Am Ende der Unterrichtsreihe „Chemie rund ums Auto“ steht die Frage, was mit dem Auto geschieht, wenn es als Fahrmobil ausgedient hat. Der negativ klingende Begriff „Schrott“ wird zu „wertvoller Reststoff“ umgedeutet. In der Tat kann mit den Einzelteilen eines Altautos noch viel gemacht werden.

Die angerostete Karosserie kann zerschreddert und zu Roheisen geschmolzen oder als Reduktionsmittel für die Kupfer-Gewinnung eingesetzt werden. Das letztere Verfahren haben die Studierenden bereits im Praktikum als Modellexperiment kennengelernt. Abgefahrenen Reifen können granuliert und die Gummipartikel als Füllstoffe für Polyurethan oder Bitumen genutzt werden, so dass dem vulkanisierten Polyisopren in Belägen für Sportplätze oder in so genanntem Flüsterasphalt für Autobahnen eine neue Funktion zukommt. Stoßstangen aus Polycarbonat oder Trittkanten aus Polypropylen lassen sich thermoplastisch verformen und können dann beispielsweise als Wasserrohre oder Schallschutzwände weiter „leben“. Plexiglasteile können pyrolysiert werden, wobei das Polymethymethacrylat nahezu quantitativ in seine Monomerbausteine zerfällt. Das so gewonnene Methylnmethacrylat kann erneut polymerisiert werden, womit ein Stoffkreislauf geschlossen ist.

*Fazit:* Die Studierenden lernen in dieser Unterrichtseinheit nicht nur vielseitige Aspekte der Chemie kennen, sondern es wird ihnen vor allem bewusst, wie stark die Automobilindustrie und die Chemische Industrie zusammenhängen – in Forschung und Entwicklung sowie unter betriebs- und volkswirtschaftlichen Aspekten. Dies einem Laienpublikum transparent zu machen, ist eine von vielen Aufgaben der Wissenschaftsjournalisten.

Fortsetzung in CLB 07/08-2010 mit den Anwendungsbereichen Energie; Photosynthese und Stoffwechsel; Lebensmittel; Wasser; Atmosphäre; nachwachsende Rohstoffe; Pflanzenschutz; Medizin; Drogen und Doping; Nanotechnologie; dazu die Literaturangaben zu dem gesamten Aufsatz.

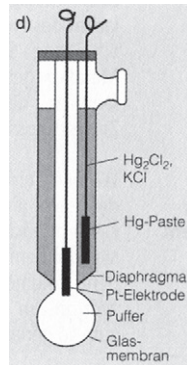
## Aus der Bildungslandschaft

- Mit 4,5 Millionen Euro fördert Nordrhein-Westfalen in den nächsten fünf Jahren die Lehrerbildung an der Universität Köln. Mit rund drei Millionen Euro soll ein **Zentrum für Lehrerbildung** aufgebaut werden. 1,5 Millionen Euro stehen für eine Graduiertenschule bereit, an denen Lehramtsstudierende eine Dissertation anfertigen können.
- Bund und Länder haben den **Wettbewerb „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“** vereinbart. Für die Finanzierung des Wettbewerbs stellt der Bund 2010 bis 2018 insgesamt 250 Millionen Euro zur Verfügung, und die Länder stellen die Gesamtfinanzierung sicher. Damit soll ein klares Signal zur Verbesserung der Durchlässigkeit zwischen beruflicher und akademischer Bildung gesetzt werden, auch zu lebenslangem wissenschaftlichen Lernen und beim berufsbegleitenden Studium. Der Wettbewerb startet im Sommer.
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg: Für die beiden Masterstudiengänge **Renewable Energy Systems und Nachhaltige Energiesysteme** im Maschinenbau können sich Studieninteressierte jetzt bewerben. Bewerbungsschluss für das Wintersemester 2010/2011 ist der 15. Juli 2010.
- Erstmals zum Wintersemester 2010/2011 bietet das Institut für Wirtschaftsrecht der Universität Kassel den **Masterstudiengang Umweltrecht** an. Der Masterstudiengang ist für drei Semester als forschungsorientierter konsekutiver Vollzeitstudiengang konzipiert. Bewerbungen sind bis 30. September möglich.
- Die Heinz Nixdorf Stiftung und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft haben jetzt die Initiative **„Wandel gestalten! Programm zur Stärkung der Autonomiefähigkeit von Hochschulen“** gestartet. Für vier Hochschulen stehen jeweils bis zu 400 000 Euro zur Verfügung. Alle staatlichen und staatlich anerkannten Hochschulen in Deutschland können sich bewerben. Ziel der Partner ist es, die Veränderungsbereitschaft in den Hochschulen zu fördern.
- Wer Interesse hat, im pädagogischen Bereich zu arbeiten, aber nicht in den Schuldienst möchte, der findet an der Universität Bremen einen Weg dafür: Hier bietet der Fachbereich Erziehungs- und Bildungswissenschaften seit kurzem den Masterstudiengang M.A. Erziehungswissenschaft an. Ziel ist es, auf **leitende Positionen in außerschulischen pädagogischen Feldern** oder auf wissenschaftliche Tätigkeiten an der Universität oder Fachhochschule vorzubereiten. Anmeldungen sind bis 15. Juli 2010 möglich.
- An der PFH Privaten Fachhochschule Göttingen wird es ab Oktober 2011 die **Bachelor- und Masterprogramme Orthobionik** geben, die Know-how an der Nahtstelle zwischen moderner Medizin und Orthopädiertechnik vermitteln. Partner der PFH bei der Entwicklung der Studiengänge sind die Universitätsmedizin Göttingen, die Bundesfachschule für Orthopädiertechnik (BUFA) in Dortmund und die Otto Bock HealthCare GmbH.

# Prüfungsfragen für Chemielaboranten

## Beispiele zu der Buchvorstellung auf Seite 268

**A**uf Seite 268 stellen wir das „Prüfungsbuch für Chemielaboranten“ vor. Wir denken, dass ein besserer Eindruck zu dem Buch entsteht, wenn wir einige wenige Beispiele daraus wiedergeben; dazu gehören natürlich auch die Antworten. Um Ihnen die Arbeit allerdings nicht zu leicht zu machen, haben wir hier Fragen und Antworten nicht wie in dem Buch in fein säuberlichem Layout gestaltet nebeneinander gestellt, sondern durcheinander gewürfelt. Viel Spaß beim Ordnen ;-)



**Formulieren Sie das BOUGUER-LAMBERT-BEER Gesetz und benennen Sie die darin enthaltenen Größen!**

Bilden zwei Elemente mehrere Verbindungen miteinander, so stehen die Massenverhältnisse der Elemente zueinander im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen.

In einer Verbindung ist das Massenverhältnis der beteiligten Elemente konstant (Elemente verbinden sich in einem bestimmten Verhältnis zu einer Verbindung).

**Skizzieren Sie die Experimentieranordnung zur Elektrolyse einer Natriumchloridlösung.**

**Berechnen Sie die Schwingungsfreiheitsgrade für das Wassermolekül.**

**Welche Bedingungen führen bei Alkylaromaten zu Seitenkettensubstitution?**

Das Prinzip einer Wasserdampfdestillation beruht darauf, dass der abzudestillierende Stoff in Wasser praktisch unlöslich ist. Dies gilt besonders für mit Wasser nicht mischbare organische Stoffe, die schonend (niedrige Temperatur < 100 °C) abgetrennt werden sollen (z. B. ätherische Öle, Alkaloide).

KKK-Regel: **K**atalysator und tiefe Temperaturen („Kälte“, Zimmertemperatur) führen zu Substitution von Wasserstoff am **K**ern (Ring). Als Katalysator dient eine **L**ewis-Säure.

**Wie wird eine Kontroll- bzw. Qualitätsregelkarte geführt?**

**Erläutern Sie den Begriff Einstabmesskette bzw. Einstabglaselektrode. Skizzieren Sie den Aufbau dieser Elektrode.**

Die Polarimetrie untersucht die Eigenschaft von optisch aktiven Stoffen, den Polarisationswinkel von linear polarisiertem Licht zu verändern. Diese Eigenschaft bezeichnet man als optische Aktivität. Stoffe, die diesen Winkel in Richtung des Uhrzeigersinns verändern, bezeichnet man als rechtsdrehend, im umgekehrten Fall als linksdrehend. Das Messgerät zur Bestimmung nennt man Polarimeter.

**Welches Produkt wird bei der Seitenkettenchlorierung von Toluol (Toluol) gebildet?**

Unter Wirkung von UV-Licht werden die Wasserstoffatome der CH<sub>3</sub>-Gruppe nacheinander substituiert, sodass Benzylchlorid C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CH<sub>2</sub>Cl, Benzylidenchlorid C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CHCl<sub>2</sub> und schließlich Benzotrichlorid C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CCl<sub>3</sub> entsteht.

**Was wird als CANNIZZARO-Reaktion bezeichnet?**

Die durch Stichproben ermittelten Werte werden gegebenenfalls nach statistischen Berechnungen in Tabellen eingetragen und in der Regelkarte grafisch dargestellt. Abschließend werden die Koordinatenpunkte zu einer Kurve verbunden.

**Wie lautet das Gesetz von den multiplen Proportionen (DALTON-Gesetz)?**

Das Gesetz lautet:  
 $E = \epsilon \cdot c \cdot d$

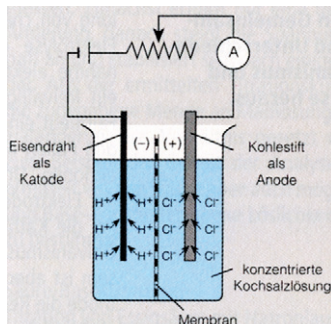
- E: Extinktion
- $\epsilon$ : Molarer dekadischer Extinktionskoeffizient
- c: Konzentration
- d: Schichtdicke (Die Schichtdicke wird auch häufig mit l bezeichnet)

**Mit welchen Stoffen ist eine Wasserdampfdestillation durchführbar?**

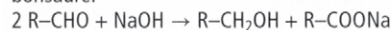
SSS-Regel: Hohe Temperaturen (Siedehitze) und Bestrahlung mit UV-Licht („Sonnenlicht“) führen zur Substitution von Wasserstoff in der Alkylgruppe (Seitenkette).

Da es sich beim Wassermolekül um ein gewinkeltes Molekül handelt, erfolgt die Berechnung nach der Formel  $Z = 3N - 6$ . Somit ergibt sich  $Z = 3 \cdot 3 - 6 = 3$ . Die Anzahl der Schwingungsfreiheitsgrade beträgt also 3.

**Unter welchen Bedingungen erfolgt bei Aromaten eine Kernsubstitution?**



Aldehyde, die kein  $\alpha$ -ständiges H-Atom zur C=O-Gruppe besitzen, wie Methanal und somit keine Aldoladdition eingehen können, bilden in alkalischer Lösung aus 2 Mol Aldehyd ein Mol primären Alkohol und ein Mol Alkalisalz der Carbonsäure:



**Erläutern Sie kurz das optische Verfahren der Polarimetrie.**

**Wie lautet das Gesetz von den konstanten Proportionen (PROUST-Gesetz)?**

**Lösungen zu Seite 230 (CLB 05/2010):**

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



# 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



06151/88 06-0  
Fax 06151/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com

## DICHTUNGSSCHEIBEN AUS GUMMI MIT AUFVULKANISierter PTFE-FOLIE

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

## FTIR-SPEKTROMETER-ZUBEHÖR



06151/88 06-0  
Fax 06151/89 66 67  
www.LOT-Oriel.com

## GEFRIERTROCKNER

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

## GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN



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

## HOHLKATHODENLAMPEN



06151/88 06-0  
Fax 06151/89 66 67  
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



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

## PH-MESSGERÄTE



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

## REINIGUNGSMITTEL FÜR LABORGAS



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

## SAUERSTOFF-MESSGERÄTE



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

## STERILISATOREN

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

## TEMPERATUR-MESSGERÄTE

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



## TEMPERATUR-MESSGERÄTE



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

## THERMOMETER

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



## VAKUUMKONZENTRATOREN

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

## CLB-Geschichte

Fortsetzung von Umschlagseite 3



68

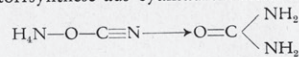
Neue Wege der Forschung

von unschätzbarem Wert war die Einführung der Türme hinter den Bleikammern bei der Schwefelsäurefabrikation („Gay-Lussac-Türme“).

Wenig bekannt ist, daß *Gay-Lussac* bereits Gedanken äußerte, die später in der Dissoziationstheorie zu Ehren kamen. Er nahm an, daß Salze in gelöstem Zustand in saure und basische Anteile zerfallen; was aus diesem „véritable pêle-mêle“ sich ausscheidet, das hängt von dem verschiedenen Grade der Löslichkeit, Flüchtigkeit, Schmelzbarkeit usw. ab.

Am 9. Mai 1850 ist *Gay-Lussac* nach schwerem Leiden gestorben.

Mit der Harnstoffsynthese aus cyansaurem Ammonium



wurde zugleich ein neuer Beweis erbracht, „daß zwei ganz verschiedene Körper dieselbe Proportion von denselben Elementen enthalten können, und daß nur die ungleiche Art der Vereinigung die Verschiedenartigkeit in den Eigenschaften hervorbringt.“ *Wöhlers* Arbeit mit den cyansauren Salzen, die zur Harnstoffsynthese geführt hatten, entfesselten einen wissenschaftlichen Streit mit *Liebig*, der für die knallsauren Salze dieselbe Zusammensetzung gefunden hatte wie *Wöhler* für die cyansauren. Dieser Streit endete mit einer lebenslänglichen Freundschaft der beiden Forscher, über die *Liebig* gleich zu Beginn (1829) die prophetischen Worte schrieb: „Ich bin überzeugt, daß unser Freundschaftsverhältnis durch die Scharmützel, die wir uns geliefert haben und noch liefern können, nie eine Störung erleiden wird.“ Wissenschaftlich erbrachte der Streit die Erkenntnis, daß die Eigenschaften einer Verbindung nicht nur von der Art und Zahl der elementaren Atome abhängen, sondern auch von ihrer gegenseitigen Lage. *Berzelius* hat hierfür den Begriff „Isomerie“ geprägt.

In den nachfolgenden gemeinsamen Arbeiten mit *Justus Liebig* über die Cyansäure, über das Bittermandelöl und über die Harnsäure entfalteten sich diese epochenmachenden Gedanken zu leuchtenden Blüten, aus denen als Früchte die Methoden und das Lehrgebäude der organischen Chemie entstanden. Kennzeichnend für den Wert der Tätigkeit *Wöhlers* und *Liebigs* ist der scherzhafte Trost, den *Berzelius* seinem Freunde spendete, als dieser dem Vanadium auf der Spur war, ohne es zu erkennen: „Wer den Weg zur Bildung eines organischen Körpers aufgefunden hat, kann wohl auf die Entdeckung eines neuen Metalls verzichten, und man kann 10 unbekannte Elemente entdeckt haben, ohne daß dazu soviel Ingenium gehörte als zu einer so meisterhaften Arbeit, wie die ist, welche Sie in Gemeinschaft mit *Liebig* ausgeführt haben.“ (21. Jan. 1831).

Nicht minder wichtig und folgenswer waren *Wöhlers* Arbeiten „Über die Gewinnung des Phosphors“. In seinem Berliner Laboratorium hatte er Schmelzöfen einbauen lassen, die „eine höllische Hitze“ gaben. Mit ihrer Hilfe gewann er durch Reduktion der Phosphate mit Sand und Kohle den elementaren Phosphor. In seinem Bericht hierüber verwies *Wöhler* ausdrücklich auf die technische Verwendbarkeit des Vorgangs: „Vielleicht kann diese Methode bei Gewinnung des Phosphors

im großen Anwendung finden.“ Das ist geschehen. An die Stelle des früher üblichen diskontinuierlichen, umständlichen und gesundheitsschädlichen Betriebes ist mit den Mitteln der Elektrotechnik ein ununterbrochenes, ungefährliches thermochemisches Verfahren getreten. Der Nachweis, daß Phosphor in Gegenwart von Silicium nicht oxydiert wird, gab einige Jahrzehnte später den Anstoß für das *Thomas-Verfahren*, dessen wesentliche Neuheit das Ausschalten des Siliciums aus den Konvertern war.

Eins der wichtigsten elektrochemischen Erzeugnisse ist heute das Calciumcarbid. Man sollte deshalb nicht vergessen, daß *Wöhler* diesen Stoff entdeckt hat. An ihm arbeitete er „täglich ein paar Stunden, um über das Kohlenstoffkalzium, das mit Wasser Acetylen bildet, ins Klare zu kommen.“

Der Lebensweg *Wöhlers* führte von Berlin über die Gewerbeschule Kassel (1832) an die Universität Göttingen (1836), die voll Stolz ihn als Forscher und Menschen verehrte. Bis an sein Lebensende, 23. 9. 1882, legte er niemals Wert auf persönlichen Ruhm. Bezeichnend hierfür ist sein Brief an *Liebig* vom 26. 10. 1842: „Ich bin weit davon entfernt zu leugnen, daß ich ohne Ehrgeiz bin, aber ob ein anderer meine Ansicht teilt oder nicht, ob ich einmal von einem anderen, wenn es durch Tatsachen geschieht, widerlegt werde, ist mir sehr einerlei. Die Wahrheit ist die Hauptsache.“ Im Drange nach Wahrheit hat er sich trotz seines von Geburt an schwächlichen Körpers der Hitze der Öfen, den Säuredämpfen und erkältendem Luftzug ausgesetzt; aber er hat auch bei seiner tiefen Freude an der Natur weite Reisen leidenschaftlich geliebt und auf ihnen sich stets erholt. Seine Tätigkeit als Lehrer und als wissenschaftlicher Schriftsteller war nicht minder wertvoll als seine Forschungen. Viele Geschlechter von Chemikern sind durch seine Schule gegangen, für deren Bedürfnisse er einen „Grundriß der organischen Chemie“ und eine wahrhaft klassische „Mineralanalyse in Beispielen“ schrieb. Seine Schüler haben in seinem Geiste weitergewirkt; seine Gedanken und die von ihm entdeckten Tatsachen werden in gleicher Weise, wie er dem heißblütigen *Liebig* über dessen Tätigkeit mahnend prophetisch schrieb, „noch in den spätesten Zeiten bekannt und anerkannt sein.“

Zum Titelbild: Bedienung einer kontinuierlich arbeitenden Säure-Eindampfanlage. Einregulieren der Zulaufmenge zu dem Verdampfer. Aus der chemischen Fabrik Boehringer (Photo: Wolff & Tritschler).

## Chemie FÜR LABOR UND BETRIEB

Nr. 2

Frankfurt a. M., 1950

1. Jahrgang

### GAY-LUSSAC

Ein Gedenkblatt zur hundertsten Wiederkehr seines Todestages  
Von Prof. Rudolf Winderlich, Oldenburg.

Am 6. Dezember 1778 wurde *Joseph Louis Gay-Lussac* in St. Léonard (Limousine) geboren. Während seines Studiums an der Polytechnischen Schule zu Paris nahm sich Graf *Berthollet* des hochbegabten, entschlossenen und unerschrockenen Jünglings an, der 1802 für die gewährte Hilfe mit einer grundlegenden Arbeit „Über die Ausdehnung der Gasarten und Dämpfe durch die Wärme“ dankte. Neu und für alle Zukunft zu beachten war darin der Nachweis, „daß alle Gasarten sich durch gleiche Grade von Wärme unter gleichen Umständen verhältnismäßig ganz gleich expandieren“.

Der wissenschaftliche Erfolg brachte dem jungen Forscher den Auftrag des National-Instituts, zusammen mit *Biot* auf einer Luftfahrt festzustellen, ob der Erdmagnetismus mit zunehmender Höhe abnimmt. Der Aufstieg am 9. fructidor an XII (24. August 1804) bis zu 4000 m Höhe brachte keine befriedigenden Ergebnisse, weil der kleine Ballon sich heftig drehte. Drei Wochen später stieg *Gay-Lussac* nochmals allein bis zu 7016 m auf. Trotz Frostgefahr und Atemnot zeichnete er unablässig den Gang der Magnetaedel auf, desgleichen die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit, er sammelte außerdem Luftproben aus allen durchfahrenen Schichten. Die Analysen nach der Rückkehr lieferten das wichtige Ergebnis, daß die Luft auch in großen Höhen aus Stickstoff und Sauerstoff in demselben Verhältnis gemischt ist wie an der Erdoberfläche, und daß sie frei ist von Wasserstoff.

Seine Luftanalysen veranlaßten *Gay-Lussac* zu einer scharfen Kritik der unvollkommenen Methoden, nach denen *Alexander v. Humboldt* gearbeitet hatte. Ohne gekränkt zu sein, schlug dieser vor, gemeinsam zu prüfen, ob das Eudiometer *Volta* zur Luftanalyse geeigneter ist. Als Ergebnis konnten sie berichten, daß die Methode des Verpuffens der Luft mit überschüssigem Wasserstoff innerhalb bestimmter Grenzen sehr genau ist und „daß 100 Teile Sauerstoffgas sehr nahe 200 Teile Wasserstoffgas zu ihrer Sättigung erfordern“. Fortan beherrschte den jungen Forscher der Gedanke, „daß die anderen Gasarten sich wohl nach ebenso einfachen Verhältnissen miteinander verbinden möchten“. Seine genauen Versuche lieferten tatsächlich hierfür den Beweis.

Mit einer Probe Jod, die ihm der Entdecker *Courtois* überlassen hatte, ermittelte *Gay-Lussac* eine staunenswerte Fülle neuer Tatsachen, die bewiesen, daß Jod ein Grundstoff ist, der wie Schwefel und Chlor sich unmittelbar mit Metallen zu Salzen verbindet und mit Wasserstoff verbunden eine starke Säure liefert. Damit wurde die alte Lehre *Lavoisiers* vom Sauerstoffgehalt aller Säuren erschüttert.

Zusammen mit *Thenard* hat *Gay-Lussac* das erste brauchbare Verfahren zur Analyse organischer Stoffe ausgearbeitet. Sie fanden, daß Rohrzucker, Stärke, arabischer Gummi und Milchzucker nur aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff bestehen und die Elemente O und H genau in dem Verhältnis enthalten, in dem sie Wasser bilden. Dies Ergebnis führte zu dem heute noch gebräuchlichen Namen „Kohlenhydrat“. Das anfänglich verwendete gefährliche Kaliumchlorat als Oxydationsmittel ersetzte *Gay-Lussac* durch Kupferoxyd, dem blanke Kupferspäne vorgelegt werden, damit auftretende Stickoxyde zerlegt werden.

Unter den organischen Arbeiten widmete *Gay-Lussac* seine Kräfte der Untersuchung der Blausäure die Entdeckung des Cyans und den bündigen Beweis, daß dieses „Radikal“ sich genau so verhält wie ein einfacher Grundstoff und gleich dem Chlor und Jod mit Wasserstoff verbunden eine Säure bildet.

Neben und nach diesen Arbeiten widmete *Gay-Lussac* seine Kräfte der angewandten Wissenschaft. Dabei schuf er die maßanalytischen Methoden der Chlorometrie und Alkalimetrie und, für die Technik bedeutsam, ein „Verfahren, Silber auf nassem Wege zu probieren“. Technisch und wirtschaftlich, sowie für das Reinhalten der Luft,

Zu nebenstehendem Bilde: Gay-Lussac. Nach einer Lithographie. Aus dem Besitz des Deutschen Museums in München.



Das Online-Magazin  
für Labor und Analytik

---

[Kontakt](#) [Newsletter](#) [Anzeigen schalten](#) [Über uns](#) [FAQ](#) [Shop](#)
Suche

---

**Labor Magazin**

- Produktneuheiten
- Stellenangebote
- Veranstaltungskalender
- Aktuelle Nachrichten
- Fachbeiträge
- Webseite des Monats

**LAB-SUPPLY Special**

- Labor interaktiv
- Diskussionsforum
- Stellensuche
- Gebrauchtes

**Labor Branchenbuch**

- Labor Linktips
- Analysentechniken
- Qualitätssicherung
- Arbeitsicherheit
- Fachliteratur
- Laborsoftware
- Sonstiges

**Ihr Ansprechpartner**



Torsten Beyer

**Weitere Webseiten**

- [LabFirms.de](#)
- [LabCrawler.com](#)
- [LaborShop.de](#)
- [Chemiker.info](#)
- [Chemie-Datenbanken](#)

**Labor Magazin ANALYTIK NEWS**

---

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

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

An indispensable resource for synthetic chemists

6.0 million molecules

2.8 million reactions

**Produktneuheiten** | alle | [Anzeigen schalten](#)

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

- **Wie Millipores Wasseraufbereitungssysteme die Arbeit im Labor rationalisieren**  
In der heutigen schwierigen Wirtschaftslage, in der Labore "mehr mit weniger leisten" müssen, suchen Labormitarbeiter nach Mitteln und Wegen, um ihre Produktivität zu steigern. Ein oftmals ...
- **TemPro Spektrometer - Fluoreszenzlebensdauermessungen für jedes Labor leicht gemacht**  
HORIBA Jobin Yvon, führender Hersteller auf dem Gebiet der Fluoreszenzspektroskopie, hat die Palette der Spektrometer zur Bestimmung der Fluoreszenzlebensdauer um ein weiteres System erweitert. Das S...
- **Tischzentrifugen ROTINA 380 / 380 R setzen Maßstäbe in Kapazität und Effizienz**  
Mit den Modellen ROTINA 380 und ROTINA 380 R (gekühlt) ergänzt die Firma Hettich nicht nur ihr eigenes umfassendes Zentrifugenprogramm, sondern setzt auch innerhalb der Wettbewerbsklasse Maßstäbe in ...
- **Ministat® - Maßstab der Kompaktthermostate**  
Ministat® sind äußerst kompakt aber leistungsstark. Seit 1976 ist der Ministat® der kleinste Kälthelostat der Welt. Heute gibt es drei Ministat® - jeder ist Kleinsten in seiner Klasse. Die gerin...

-> alle Produktneuheiten    -> Chromatographie    -> Spektroskopie    -> Probenvorbereitung

**Stellenangebote** | alle | [Stellenanzeige schalten](#)

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

- **Chemielaborant, CTA (m/w)**  
Für unseren neuen Laborstandort in Augsburg suchen wir ab sofort Chemielaboranten/innen für die Bereiche Organik, Elementanalytik und die Probenvorbereitung. Ihre Aufgaben: Probenvorbereitung von Boden...
- **Teamleitung Qualitätskontrolllabor Pharmaproduktion (m/w)**  
Planung, Koordination und Organisation der fristgerechten Bearbeitung von analytischen Untersuchungen flüssiger und fester Wirk- und Hilfsstoffe, Führung und Entwicklung eines Teams von etwa 10 Mitar...
- **Mitarbeiter Qualitätsmanagement - Auditierung und Zertifizierung (m/w)**  
Das sind Ihre Aufgaben: Weiterentwicklung des Qualitätsmanagement-Systems gemeinsam mit dem Qualitätsmanagementbeauftragten Unterstützung des Qualitätsmanagementbeauftragten bei der Vorbereitung, Durc...

-> alle Stellenangebote



**Titration**



**Ionenchromatographie**



**Elektroanalytik**



**ProcessLab**



---

© 2000-2010 Dr. Beyer Internet-Beratung
[Kontakt](#) [Newsletter](#) [Anzeigen schalten](#) [Über uns](#) [FAQ](#) [AGB](#) [Impressum](#)

## Was Sie bei uns finden

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